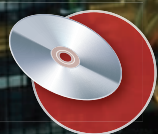


Gabriel Baca U.
Margarita Cruz V.
Marco A. Cristóbal V.
Gabriel Baca C.
Juan C. Gutiérrez M.
Arturo A. Pacheco E.
Ángel E. Rivera G.
Igor A. Rivera G.
María G. Obregón S.

Introducción a la Ingeniería industrial

2^a edición





INGENIEROS LEAN

Para más contenido como este, síguenos en:



LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/ingenieros-lean>



Facebook: <https://www.facebook.com/IngenierosLean>



YouTube: https://www.youtube.com/channel/UCf9EhLUPE-TFRh-wlJ1Z0g?view_as=subscriber

Si tienes la facilidad y te gusta este tema, apoya al autor
comprando este libro.

#SomosIngenierosLean

¡Crece con nosotros!

Introducción a la Ingeniería Industrial

Gabriel Baca U.
Margarita Cruz V.
I. Marco Antonio Cristóbal V.
Gabriel Baca C.
Juan Carlos Gutiérrez M.
Arturo Andrés Pacheco E.
Ángel Eustorgio Rivera G
Igor Antonio Rivera G.
María Guadalupe Obregón S.

Segunda edición ebook
México, 2014



**Para establecer comunicación
con nosotros puede hacerlo por:**



correo:
Renacimiento 180, Col. San Juan
Tlihuaca, Azcapotzalco,
02400, México, D.F.



fax pedidos:
(01 55) 5354 9109 • 5354 9102



e-mail:
info@editorialpatria.com.mx



home page:
www.editorialpatria.com.mx

Dirección editorial: Javier Enrique Callejas
Coordinadora editorial: Estela Delfín Ramírez
Supervisor de pre prensa: Gerardo Briones González
Diseño de portada: Juan Bernardo Rosado Solís
Fotografías: © Thinkstockphoto
Diseño y diagramación: Gustavo Vargas M. y Jorge Martínez J.

Introducción a la Ingeniería Industrial

Derechos reservados de la segunda edición:

© 2014, Gabriel Baca Urbina, Margarita Cruz Valderrama, Isidro Marco Antonio Cristóbal Vázquez,
Gabriel Baca Cruz, Juan Carlos Gutiérrez Matus, Arturo Andrés Pacheco Espejel, Ángel Eustorgio Rivera González,
Igor Antonio Rivera González, María Guadalupe Obregón Sánchez.

© 2014, GRUPO EDITORIAL PATRIA, S.A. DE C.V.
Renacimiento 180, Colonia San Juan Tlihuaca
Delegación Azcapotzalco, Código Postal 02400, México, D.F.

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana
Registro Núm. 43

ISBN ebook: 978-607-438-919-7

Queda prohibida la reproducción o transmisión total o parcial del contenido de la presente obra
en cualesquiera formas, sean electrónicas o mecánicas, sin el consentimiento previo y por escrito del editor.

Impreso en México
Printed in Mexico

Primera edición ebook: 2014

Dedicatorias

Margarita Cruz:

*Con amor a mi institución que me ha permitido
crecer y desarrollarme. Con cariño y admiración
a mis hijos y a Daniel,
Natalia, Aranza y Gabriel.*

Ángel Rivera:

*A mi familia, siempre llena de consejos y aprendizajes;
a la vida, a sus cosas y casos impredecibles y fascinantes.*

Igor Rivera:

Para mi querida Mavi.

Gabriel Baca Cruz:

*A mi esposa Claudia y a mis hijos
Aranza y Gabriel que son mi razón de vivir
y el motor para ser una mejor persona.*

Marco Antonio Cristóbal:

*A Marco Román, mi motivación. A Nelly, mi inspiración.
A mi familia consanguínea y política en quienes encuentro
apoyo y consejo.*

Juan Carlos Gutiérrez:

A mi esposa Rosa e hija Itzel.

Gabriel Baca Urbina:

*Agradezco a mis queridos maestros su apoyo.
A mi esposa e hijos. A mis nietos que son mi futuro.*

María Guadalupe Obregón Sánchez:

*Fuiste y serás una columna importante
en mi vida. Gracias por darme la vida.*

Prefacio a la segunda edición

Una nueva edición siempre debe contener no sólo actualizaciones de la edición previa sino también material nuevo, además de formas distintas y novedosas que permitan facilitar el aprendizaje de los contenidos del texto.

La segunda edición de **Introducción a la Ingeniería Industrial** contiene, en capítulos seleccionados, la actualización de algunos conceptos que cada coautor pensó más relevantes, es decir, no en todos los capítulos se agregaron actualizaciones, sino sólo en aquellos que se creyó necesario. En el resto de los capítulos, cada coautor consideró que el contenido es el correcto para el público hacia el cual va dirigido el texto.

Pero, lo que definitivamente distingue a esta nueva edición, es que al final de cada capítulo se agregaron uno o dos problemas resueltos de cierta complejidad, no con el objetivo de que el alumno recién iniciado en los estudios de la carrera de Ingeniería Industrial intente resolverlos, sino con la intención de mostrar el tipo de problemas reales que un egresado de esta licenciatura se encontrará, tarde o temprano, en su desempeño profesional. Para un mayor aprovechamiento de esta sección, se considera conveniente que el maestro discuta en el salón de clase las soluciones posibles a este tipo de problemas, esperando que con estas discusiones el estudiante, así como el docente, perciban la enorme complejidad que puede haber en la práctica de algunos campos de la Ingeniería Industrial, y con esa base, el estudiante vaya eligiendo el campo de especialidad al cual le gustaría dedicarse profesionalmente.

Otro rasgo importante de esta nueva edición es que se ha preparado un CD-ROM en el cual cada coautor ha incluido material que, de acuerdo con su experiencia profesional, considera que facilitará la comprensión de algunos

conceptos de esa materia. Se espera que como material visual, no sólo sea entretenido y llame la atención del alumno, sino que sea una verdadera herramienta auxiliar para el docente en la enseñanza y el aprendizaje de ciertos conceptos de ingeniería. El CD-ROM contiene tanto videos reales como animaciones para mostrar la comprensión de algunos los conceptos.

Finalmente, esta nueva edición incorpora un capítulo adicional (capítulo 13) que aborda ampliamente a la **ergonomía**, una materia relativamente de nueva creación (de unos 50 años atrás) en la Ingeniería, pero que cada día adquiere más importancia debido a que uno de sus objetivos principales es que al aplicarse logre un ambiente laboral adecuado, estudiando y optimizando el espacio de trabajo, la disposición de las máquinas y de los equipos dentro del área productiva y que el trabajador se sienta cómodo y seguro en su trabajo, cualquiera que sea la actividad que realice. En la actualidad se considera que cualquier persona es más eficiente en las labores que desempeña si su entorno es el adecuado, y cuando se habla de entorno no sólo implica al ambiente laboral sino también al entorno social. En dicho capítulo se analizan los tres pilares básicos de la ergonomía: el sistema hombre, el sistema máquina y el sistema entorno.

Todos los coautores desean agradecer el esfuerzo que realizó Grupo Editorial Patria en la publicación de este texto, en especial a Estela Delfín Ramírez y Javier Enrique Callejas, sin cuyo trabajo no sería posible la publicación de esta obra.

Los autores

Contenido

Prefacio	V	Las operaciones en la industria metal-mecánica	33
1 GENERALIDADES DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL	1	Métodos de protección de los metales	37
Definición de ingeniería	1	Electrólisis	37
Breve historia mundial de la ingeniería	2	Procesos electrolíticos	37
Inicios de la ingeniería industrial	5	Unión de los metales	38
El papel del ingeniero industrial en la empresa y en la sociedad	8	Operaciones unitarias en la ingeniería industrial	39
La empresa vista como una serie de procesos	11	Transporte de materiales	39
Relación de la ingeniería industrial con otras disciplinas	20	Transporte de líquidos y gases por bombeo	40
Tendencias de la ingeniería industrial	21	Compresión de gases	40
Palabras clave	23	Manejo de sólidos, reducción de tamaño (quebrantado, trituración, molienda)	40
Para discusión	23	Transferencia de calor (calentamientos y enfriamiento)	40
Bibliografía	23	Mezclado	41
2 NATURALEZA DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES	25	Operaciones de separación	41
La clasificación de los sectores productivos y las cadenas productivas	25	Destilación	41
Conocimientos que requiere un ingeniero industrial	28	Evaporación	42
Definición y clasificación de empresas y conceptos básicos	29	Secado	42
Áreas generales con las que cuenta una empresa industrial	30	Filtración	43
Los procesos industriales	32	Centrifugación	43
		Tamizado	43
		Sistemas de unidades	43
		Equivalencias de temperatura	45
		Palabras clave	47
		Casos prácticos	47
		Casos para resolver	50
		Para discusión	51
		Bibliografía	52

3 LOGÍSTICA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN

53

Introducción	53
Actividades logísticas a través de la historia	55
Actividades logísticas empresariales	56
Definición de logística	57
Relaciones entre la logística y la Supply Chain Management	58
Actividades logísticas	59
Servicio al cliente	61
Inventarios	62
Localización o ubicación de instalaciones	63
Transporte	63
Sistemas logísticos de información	64
Conceptos logísticos actuales	66
Caso práctico	68
Palabras clave	69
Casos para resolver	69
Para discusión	71
Bibliografía	71

4 PRODUCTIVIDAD Y MEJORA CONTINUA

73

Introducción	73
La productividad (Enfoque en los resultados)	74
Definición	74
Mejora continua (Enfoque en los procesos)	77
Definición	77
Metodología para la mejora continua	88
Otras dimensiones de la mejora continua	88
Dimensión política	88
Dimensión macroeconómica	89
Palabras clave	90
Casos prácticos	90
Casos para resolver	97
Para discusión	98
Bibliografía	98

5 CALIDAD: SU CONCEPTO, GESTIÓN Y CONTROL ESTADÍSTICO

99

Introducción	99
Historia del concepto de calidad	100
Los pensadores de la calidad	102
W. Edward Deming	102
J. M. Juran	104
Kaoru Ishikawa	105
Armand V. Feigenbaum	106
Philip Crosby	107
Hiroyuki Hirano	107
El cliente y los proveedores	108
El concepto de calidad	109
Momentos de la calidad	110
Funcionalidad de la calidad	112
Sistemas de gestión de calidad	112
Documentación	116
Auditorías	116
Implementación y verificación ISO	117
Control estadístico de la calidad	118
Primera herramienta: Estratificación	119
Segunda herramienta: Diagrama de causa y efecto	119
Tercera herramienta: Hoja de verificación	120
Cuarta herramienta: Histogramas	121
Quinta herramienta: Diagrama de Pareto	124
Sexta herramienta: Diagrama de dispersión	125
Séptima herramienta: Gráficas de control	130
Palabras clave	130
Casos para resolver	130
Para discusión	131
Bibliografía	132
Páginas electrónicas	132

6 LA ADMINISTRACIÓN DE LAS OPERACIONES

133

Introducción	133
Concepto, evolución e importancia de la administración de las operaciones	134

¿Qué hace un administrador de las operaciones?	138
Las operaciones como una estrategia competitiva	140
Administración de proyectos	145
Organización del recurso humano	146
Control de proyectos	147
Determinación de CPM	149
Pronósticos, combate a la incertidumbre	153
Métodos de juicio (subjetivos)	154
Métodos objetivos	155
Planeación agregada	163
Administración de los inventarios	166
Tendencias futuras de la administración de las operaciones	170
Palabras clave	171
Casos para resolver	171
Para discusión	172
Bibliografía	173

7 ESTUDIO Y DISEÑO DEL TRABAJO 175

Introducción	175
Estudio de métodos	176
Medición del trabajo	186
Medición directa. Estudio de tiempos con cronómetro	187
Muestreo del trabajo	190
Sistemas de tiempos predeterminados y MOST	192
Herramientas sociotécnicas en el estudio del trabajo	198
Aspectos básicos de ergonomía	199
Aspectos básicos de higiene y seguridad industriales	205
La OSHA	206
Análisis de HySI	206
Palabras clave	211
Casos prácticos	211
Caso para resolver	214
Bibliografía	214

8 DISEÑO DE INSTALACIONES 215

Las instalaciones productivas	215
La problemática del diseño de instalaciones	216
Objetivos del estudio	216
El proceso de diseño	217
Localización de instalaciones	218
Localización en la cadena de suministro	219
Factores que impactan la localización	219
Características del problema de localización	221
Modelación de distancias en el plano	222
Problemas continuos de localización única	222
Problemas discretos de localización única	224
Problema de carga recorrida	225
Distribución de instalaciones	225
Características del problema de diseño	225
Planeación sistemática de la distribución, SLP	226
Análisis de flujos	226
Tipos básicos de distribución	228
Análisis de relación de actividades	230
Diagrama de relación de actividades	231
Diagrama de relación de espacios	232
Plano por bloques y distribución detallada	233
Palabras clave	233
Caso práctico	234
Casos para resolver	235
Para discusión	237
Bibliografía	237

9 ADMINISTRACIÓN DE LA EMPRESA 239

Introducción	239
Historia de la administración	240
El proceso administrativo	241
La planeación	241
Los objetivos como parte de la planeación de la empresa	244
La organización	247
La ejecución	248
El control	249

Liderazgo	251	Características de los sistemas industriales	298
Líder autocrático	252	Ventas	299
Líder participativo	252	Distribución	300
Líder liberal	253	Almacenes	301
Características de un líder	253	Producción	301
Un administrador y un líder	256	Mantenimiento	302
La creatividad y la visión estratégica	257	Control de calidad	303
Ética en los negocios	258	Finanzas	304
Palabras clave	260	Recursos humanos	306
Caso práctico	260	Dirección general	308
Casos para resolver	261	La complejidad del sistema llamado empresa	309
Para discusión	261	Palabras clave	310
Bibliografía	262	Caso práctico	310
10 LA PLANEACIÓN Y LAS DECISIONES DE INVERSIÓN	263	Casos para resolver	311
Antecedentes	263	Para discusión	311
La evaluación de proyectos, una planeación idealizada.		Bibliografía	311
La planeación estratégica, una planeación no idealizada	264	12 LA CONTAMINACIÓN Y GESTIÓN DE LA CONTAMINACIÓN PROVENIENTE DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES	313
Cuantificación de las necesidades del producto o servicio, también llamada estudio del mercado	265	Introducción	313
Estudio técnico o ingeniería del proyecto	269	La contaminación del agua y métodos de prevención y biorremediación	315
Análisis económico	279	Composición	315
Evaluación económica y análisis de riesgo	283	Uso de sistemas integrales de tratamiento	317
Planeación financiera de la empresa	286	Contaminación del suelo y procesos para el tratamiento de los contaminantes	322
Palabras clave	287	Tratamientos para contaminantes del suelo	324
Caso práctico	287	Principales contaminantes del aire y su tratamiento	326
Casos para resolver	288	Particulado	327
Para discusión	288	Gases	328
Bibliografía	289	Procesos para tratar los contaminantes del aire	330
11 LA EMPRESA VISTA COMO UN CONJUNTO DE SISTEMAS	291	La gestión de la contaminación en los procesos industriales	330
Introducción	291	Palabras clave	334
El concepto de sistema y sus características	292	Caso práctico	334
La empresa como un sistema diseñado por el hombre	295		

Casos para resolver	336	Iluminación	350
Para discusión	336	Ruido	353
Bibliografía	337	Temperatura	356
		Vibraciones	360
13 ERGONOMÍA	339	Presión atmosférica	362
Introducción	339	Entorno vital	363
Antecedentes históricos		Palabras clave	364
de la ergonomía	341	Caso práctico	364
Sistema hombre	342	Casos para resolver	367
Sistema máquina	345	Para discusión	371
Sistema entorno	350	Bibliografía	371



GENERALIDADES DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL

Gabriel Baca Urbina
M. en C. en Administración
UPIICSA-IPN

No basta haber estudiado ingeniería para ser un verdadero ingeniero, hay que pensar y actuar como ingeniero, sin olvidar el aspecto humano de las organizaciones.

GBU

Objetivos

- Presentar un bosquejo histórico del desarrollo de la ingeniería industrial, mencionando los hechos y las personas que han contribuido más al desarrollo de esta disciplina.
- Desarrollar el papel de la ingeniería industrial dentro de la industria, con un enfoque de sistemas.

Definición de ingeniería

De acuerdo con la definición del Consejo de Acreditación para la Ingeniería y la Tecnología de Estados Unidos de América, la ingeniería es la profesión en la que los conocimientos de matemáticas y ciencias naturales, obtenidos a través del estudio, la experiencia y la práctica, se aplican con juicio para desarrollar diversas formas de utilizar, de manera económica, las fuerzas y los materiales de la naturaleza en beneficio de la humanidad. Con base en esta definición, se considera que la ingeniería no es una ciencia, sino una aplicación de la ciencia. Como la mayoría de

las profesiones, es más un arte que una ciencia, ya que no basta estudiar ingeniería en cualquiera de sus ramas para ser un buen ingeniero. Hay que tener juicio y habilidad para aplicar los conocimientos científicos en la solución de problemas de la vida diaria.

Según el *Diccionario Merriam Webster* de la lengua inglesa, la palabra **ingeniero** proviene del vocablo inglés *engine*, y éste a su vez del latín *ingenium*, y se define como disponer de un talento natural, o bien, un dispositivo mecánico; de ahí que, por deducción, se considera que un ingeniero es aquella persona que, con cierta base científica, diseña o construye máquinas y aplica su conocimiento e ingenio para resolver problemas en bien de la comunidad; también, tiene la acepción de guía o líder. Esto concuerda con la primera definición, que establece que un ingeniero es aquel profesional que tiene conocimientos adquiridos con base en estudio, que posee un talento natural, que es creativo y que aplica sus conocimientos en el diseño de máquinas y *procesos* industriales para el beneficio de la humanidad.

Breve historia mundial de la ingeniería

No se sabe con exactitud quién creó el nombre de *ingeniero* para aplicarlo a la profesión de una persona. Lo que sí se sabe es que la primera escuela de ingeniería fue fundada en Francia, en 1795, durante el mandato de Napoleón. Las guerras en las que participaron los ejércitos de este emperador dieron lugar a múltiples necesidades. Tal vez la más conocida de éstas fue la de conservar los alimentos en buen estado para las tropas, ya que uno de los grandes problemas de la guerra en aquellos tiempos era abastecer de comida a los ejércitos que permanecían durante meses transitando por campos desiertos y, muchas veces, en un clima hostil.

Napoleón ofreció un premio monetario a quien diseñara la forma de conservar los alimentos en buen estado. Como resultado de esta convocatoria, se creó el primer alimento enlatado en envase de plomo. Seguramente con el paso de los años, el plomo de los envases absorbido en la sangre de los soldados cobró una gran cantidad de vidas, pero al margen de estos errores, las necesidades cotidianas fueron el motor para forzar el ingenio de las personas.

Es muy probable que los requerimientos y los problemas planteados por las guerras napoleónicas fuera lo que orillara al emperador a fundar la *École Polytechnique* en

París, conocida históricamente como la primera escuela de ingeniería en el mundo. Aunque, desde 1646, Colbert J. B. ya había formado un cuerpo de ingenieros franceses de carácter estrictamente militar.¹ No es de sorprender que Napoleón utilizara la mayoría de los conocimientos generados en esa escuela para apoyar sus actividades en la guerra. En pleno siglo *xxi*, muchas universidades estadounidenses tienen departamentos dedicados de manera exclusiva a apoyar las también múltiples guerras en las que participan los Estados Unidos de América. La necesidad es la que despierta el ingenio.

Sin embargo, hay que destacar que desde que el hombre se considera como tal, su ingenio es lo que le ha permitido, primero, sobrevivir, y luego dominar muchísimas actividades. De hecho, cuando el hombre aprendió a controlar el fuego, precisamente gracias a su ingenio, logró crear una tecnología primitiva para generarlo. Cuando pasó de nómada a sedentario y aprendió a cultivar los campos, nació el primer ingeniero agrónomo, cuando aprendió a fundir metales nació el primer ingeniero metalúrgico, etcétera.

El hombre aprendió a ser ingeniero desde hace miles de años. Basta contemplar las pirámides de Egipto o las de México, las colosales construcciones de la Roma antigua o los templos chinos que datan de hace miles de años. El hombre siempre ha sido ingenioso para resolver problemas; es decir, siempre ha sido ingeniero, aun sin saberlo. En 1794, se fundó en Francia la *École des Ponts et Chaussées* (Escuela de Puentes y Pavimentos), que en tiempos modernos sería considerada una escuela de arquitectura, aunque por el tipo de obras que edificaron, sería más propiamente dicho una escuela de ingenieros civiles.

Por otro lado, existen algunos libros de ingeniería de gran valor, escritos durante el Renacimiento. En el campo de la metalurgia, hacia 1560 apareció el libro de Jorge Agrícola *De re metallica*, que es un tratado de geología y minería.² Asimismo, *Tratado*, de Guido Toglieta, escrito hacia 1587, describe con gran detalle la técnica de construcción de caminos. En 1622, apareció la obra de Nicolás Bergier, *Carreteras del imperio romano*. Hacia 1700, los gobiernos de las ciudades emergentes de Europa empezaron a destinar fondos públicos a la construcción de redes de abastecimiento de agua y drenajes para el desalojo de aguas de albañal.

Respecto a la enseñanza formal, la educación básica medieval se conocía como *trivium*, porque ésta enseñaba tres materias: gramática, retórica y lógica. En el siguiente grado de enseñanza o *quadrivium*, se impartían cuatro

¹ Forbe. *Historia de la Técnica*. Porrúa. México. 1958.

² *Op. cit.*

materias: aritmética, geometría, música y astronomía. En realidad no eran materias tal como las conocemos hoy, sino áreas de conocimiento y su contenido era muy distinto al actual. La reforma de las escuelas primitivas hacia el año 1000 en Italia, provocó que casi cualquier persona pudiera estudiar en escuelas públicas. A pesar de eso, la educación estaba controlada por el clero, y algunas áreas adicionales que se podían estudiar eran Filosofía natural y moral, Metafísica y Teología, Derecho, Medicina y Arquitectura religiosa. Desde el siglo XII, se fundaron las universidades de París, Oxford y Cambridge. Las universidades medievales sólo formaban doctores en teología, derecho y medicina. Por ello, en la actualidad a un título de doctorado en Estados Unidos de América, se le llama Ph.D., que significa *Doctor of Philosophy*, título dado en honor de aquellos primeros estudios doctorales.

La Escuela de Puentes y Pavimentos francesa formó, con bases y estudios científicos, a los primeros ingenieros civiles mecánicos encargados de la construcción de todo tipo de puentes y carreteras. Se dice que algunos de los 21 puentes del río Sena en París fueron construidos por ingenieros egresados de aquella escuela, la cual influyó fuertemente en el desarrollo de la ingeniería civil del mundo entero. También se dice que los egresados de esa primera escuela trabajaron en empresas privadas, las cuales, al percatarse de la enorme utilidad de contar con personal capacitado científicamente para resolver los problemas que se presentaban en sus incipientes procesos de producción, incitaron al Estado a la creación de otras escuelas similares.³

Sin embargo, el gran cambio en las especialidades de la ingeniería que existían hasta ese momento vino con la Primera Revolución Industrial en Inglaterra. Antes de este suceso, la producción en cualquier país era a pequeña escala, para mercados limitados, con productos artesanales y haciendo uso rudimentario de tecnología; no obstante, la industria textil y la cerámica se desarrollaron más en aquel tiempo en Inglaterra. Por ejemplo, productos de alfarería, básicamente toda la loza empleada en el hogar, como platos, tarros y ollas de producción simple, eran fabricados por una sola persona. Si su elaboración era más sofisticada, con colores, asas y formas especiales, involucraba la participación de diversos especialistas, en la que cada quien realizaba una parte del trabajo; es decir, una persona preparaba la arcilla, otra dibujaba, otra pintaba, etc. La producción era totalmente artesanal y muy limitada.

La Primera Revolución Industrial inició con el advenimiento de la primera máquina de vapor, inventada por James Watt en 1765, junto con otra serie de pequeños inventos tecnológicos de la época. En ese entonces, la in-

dustria textil era la más desarrollada, fabricaba una gran diversidad de productos, con demanda en el mercado; los primeros avances fueron husillos para hilar y telares semiautomáticos, de modo que las telas ya no se hacían a mano. Pero, las máquinas no trabajan solas; la máquina de vapor de Watt sustituyó la fuerza del hombre por la fuerza de la presión de vapor para mover las máquinas. Para ello hubo necesidad de diseñar pequeños dispositivos, como ejes, bandas, engranes, etc., de modo que la presión de vapor moviera las máquinas tejedoras e hiladoras en forma autónoma. Posteriormente, esta tecnología del movimiento rotatorio autónomo se empleó en los más diversos campos, como barcos, trenes y minas, de donde se extraía el mineral con un gusano sinfín. Para accionar la máquina de vapor se necesitaba agua y carbón, por lo que los grandes centros industriales se asentaron cerca de donde se encontraban estos elementos. Si el agua provenía de ríos era mucho mejor, pues se podían producir y transportar por barco grandes cantidades de productos. El uso de la tecnología de la máquina de vapor y su movimiento rotatorio provocó la disminución de los costos de producción y los precios de los productos, por lo que se ampliaron los mercados a sitios cada vez más distantes y se sustituyó la mano de obra por máquinas; lo que se necesitaba era dinero para construir más máquinas de todo tipo. Por otro lado, la mano de obra artesanal se empezó a relegar y surgió la clase obrera, es decir, la mano de obra no especializada y barata, necesaria para la producción en masa, y se crearon las primeras industrias.

Fue precisamente en Inglaterra, el gran colonizador mundial, donde tuvo lugar la llamada Primera Revolución Industrial, es decir, donde comenzó la producción en masa, convirtiendo a este país en la primera fuerza mundial, en todos sentidos, y demostró al mundo cómo se puede conquistar sin la fuerza de las armas.

Inglaterra era el único país que poseía el gran secreto de la producción masiva, y se dio a la tarea de transformar todo tipo de materias primas para elaborar productos baratos y llevarlos a los sitios más lejanos fuera de su territorio, incluido el continente americano, donde se fundó una colonia que, con el paso de poco más de 200 años, se convertiría en el nuevo imperio mundial: Estados Unidos de América. La nueva colonia inglesa se estableció en un continente vasto, con recursos naturales casi ilimitados, que al momento de su independencia hizo sus propias reglas de vida y sus leyes, sin considerar en absoluto las viejas costumbres y tradiciones de la antigua Europa; los nuevos pobladores tomaron de los europeos sólo lo que les convino, como los conocimientos generados durante

³ J. Evans. *The Flowering of the middle age*. 2nd edition. London. Thomas and Hudson. 1967.

siglos en las universidades europeas, ejemplo de ello fue la idea de empresa y la incipiente tecnología de la producción en masa.

Con la Revolución Industrial nació la industria como tal y, con ello, todos los problemas inherentes para hacerla funcionar cada vez mejor. David Hume (1711-1776), científico inglés, sentó las bases para desarrollar lo que hoy se conoce como *método científico*, es decir, la aplicación de la racionalidad en todo intento de creación de nuevos conceptos y objetos. Fue el primero en proponer que en los hechos siempre hay una relación causa-efecto y que las causas y los efectos se pueden descubrir no por la razón sino por la experiencia.⁴ Esto dio origen a verdaderas escuelas no sólo de pensamiento científico, formando a científicos con un enfoque pragmático.⁵

Desde este enfoque, la ciencia estadounidense dio paso a la Segunda Revolución Industrial. La Inglaterra del siglo XVIII tenía leyes muy estrictas que prohibían la exportación a cualquier parte del mundo, en especial a Estados Unidos de América, de todo tipo de planos, modelos, asesores técnicos, etc., que revelaran los secretos tecnológicos de la industria inglesa, ya que en esos secretos basaba su potencial económico. Los estadounidenses intentaron repetidas veces desarrollar tecnología textil, minera, etc., pero siempre fracasaron. No obstante, fue la avaricia personal de un granjero inglés, Samuel Slater, lo que cambió la historia: dos codiciosos capitalistas estadounidenses ofrecieron a Slater compartir las ganancias si éste revelaba los secretos de una hiladora de algodón que conocía perfectamente; el trato fue que Slater debía salir de Inglaterra y construir una hiladora de algodón en Estados Unidos de América. Así, en 1793 en Pawtucket, Rhode Island, se construyó la primera fábrica textil de producción masiva en todo el continente americano. Con este hecho, se puede decir que Estados Unidos de América importó "ilegalmente" el primer ingenio textil a su territorio.

La instalación de esta primera industria textil en América (específicamente en Estados Unidos de América), en un ambiente abundante en recursos como agua, carbón y madera para producir vapor, sin leyes ancestrales, sino totalmente nuevas y con un enfoque pragmático, sin la presión de los gremios de artesanos que prevalecían en Europa, con la ética protestante antepuesta en todos los negocios⁶ y, sobre todo, con un espíritu innovador, hizo que se redujeran aún más los costos de los productos

textiles, convirtiendo rápidamente a esta empresa en una gran exportadora. Sus propietarios, Slater, Moses Brown y William Almy, la administraron de manera inteligente y novedosa, ganando enormes cantidades de dinero. Se dice que esta primera empresa fue el centro de atención de los futuros capitalistas estadounidenses y el primer ejemplo que convirtió a Estados Unidos de América en la tierra de los grandes negocios.

La Segunda Revolución Industrial empezó por dos hechos sin precedente: la forma de administrar la industria textil de Brown y Slater, llamada administración *integración vertical*, y el uso de partes intercambiables. Hasta antes de este concepto, las máquinas eran fabricadas por artesanos, quienes construían y ajustaban cada pieza. Fue durante la fabricación de pistolas que dos ingenieros, Eli Whitney y Simeon North, crearon el concepto de *sistema uniforme de producción*. El ejército de Estados Unidos de América encargó la producción de miles de pistolas, y la única alternativa de fabricación masiva era dividir el arma en partes estandarizadas y finalmente unir esas partes. Esta idea, incluso, tenía la ventaja de que si una parte de la pistola trabajaba mal o se averiaba, se reemplazaba por otra, ya que había partes de repuesto estándar. Este sistema de producción acabó con los artesanos, pues incluso los obreros también eran intercambiables. Había nacido una idea básica de la industria actual: la estandarización de partes.

A este hecho se llamó Segunda Revolución Industrial, porque acabó con los artesanos y surgieron los obreros como clase social. En Inglaterra, los artesanos eran necesarios para construir las máquinas; pero con el sistema de partes intercambiables esto cambió, pues lo que se necesitaba para la producción en masa eran obreros no especializados que trabajaran las máquinas y diseñadores de maquinaria cada vez más sofisticada, así como administradores o controladores de los obreros y, principalmente, aportadores de capital. Los conocimientos técnicos y la creatividad en el diseño, características básicas de un ingeniero de cualquier especialidad, fueron desde ese momento más importantes que la destreza manual. Esta especialización dio origen a clases sociales bien diferenciadas: los dueños del capital, los técnicos o intelectuales y los obreros.

En este ambiente, y al percatarse de las ventajas de contar con personal especializado para la producción masiva, los estadounidenses adoptaron un sistema de educación liberal, que fue una marca de refinamiento social,

⁴ Marcus Singer. *Introductory Readings in Philosophy*. Ed. CSS. New York. 1960.

⁵ Pragmatismo: Sistema filosófico que sostiene que el único criterio válido para juzgar la verdad de una doctrina debe fundarse en sus efectos prácticos.

⁶ La ética protestante significa, para quien la practica, que si él puede lograr algo a costa de cualquier tipo de acción, lo debe hacer porque Dios se lo está permitiendo.

pues estudiar garantizaba no ser obrero y percibir mejores salarios. Quien estudiaba, podía ascender en la escala social y mejor aún era estudiar una especialidad en ingeniería. La administración, como disciplina de estudio, aún no entraba en escena sino hasta principios del siglo xx. Para fines del siglo xix, en 1880, los estadounidenses fundaron la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME, por sus siglas en inglés) que realizó enormes aportaciones a la ingeniería industrial.

La producción masiva tuvo una consecuencia natural: ¿a quién se venderían tantos productos? El problema, ahora, era la creación de mercados, los cuales estaban cada vez más alejados. Esto provocó la necesidad de construir no sólo nuevos caminos, sino también novedosos transportes, lo que a su vez dio origen al surgimiento de nuevas industrias. Así se inició la construcción de trenes y vías férreas, sin embargo, para sustentar esto hubo necesidad de incrementar la producción de la industria del acero, ubicada en Pennsylvania, debido a que ahí se encontró mineral de hierro, carbón y agua. Luego se tuvo que impulsar el negocio de la madera para la fabricación de los durmientes que requerían los miles de kilómetros de vías férreas. Con el surgimiento del telégrafo y del teléfono, prosperaron también las industrias del cobre y de los recubrimientos plásticos de los cables. La producción no debía ser pequeña sino que había que cubrir miles de kilómetros de ferrocarril, de alambres de energía eléctrica y de teléfono. Muchos ferrocarriles se construyeron con la idea de anticiparse varios años al futuro crecimiento del comercio, lo que propició que muchos nuevos empresarios ubicaran sus fábricas en lugares distantes, pues ya contaban con una línea de ferrocarril que les facilitaría el transporte de materias y de productos terminados hacia los sitios más distantes de la pujante nación.⁷

Este inmenso progreso de las comunicaciones y de la elaboración de materiales de construcción, propició la necesidad, también creciente, de más ingenieros de todas las especialidades, no sólo civiles o textiles, sino también eléctricos, mecánicos, químicos, en comunicaciones, etc., lo que a su vez era suelo fértil para el desarrollo de otras disciplinas, básicamente administrativas. En 1884, se fundó la Sociedad Americana de Ingenieros Eléctricos, y en 1908, la Sociedad Americana de Ingenieros Químicos.

Otras disciplinas también tuvieron necesidad de crecer y lo hicieron de manera pragmática. Por ejemplo, el concepto básico de la contabilidad y la partida doble, fueron creadas por el monje y comerciante italiano Lucca Paccioli, entre 1520 y 1530. Como el tamaño de las industrias no varió sustancialmente desde esa fecha hasta mediados del

siglo xix, los conocimientos contables tampoco se modificaron durante ese largo periodo. Y cuando los estadounidenses empezaron a crear las grandes empresas, como los ferrocarriles, la industria del acero, del cobre, del plástico, etc., no contaban con conceptos contables y administrativos, y se vieron en la necesidad de generar esos conocimientos de manera pragmática, es decir, ideaban una forma de llevar la contabilidad, si funcionaba, era la forma correcta. Desde luego, después de cometer muchos errores y lograr muchos aciertos, dieron origen a la contabilidad y a la administración moderna, practicando conocimientos nuevos, de los cuales no existía la teoría.

Inicios de la ingeniería industrial

Imagínese el ambiente fabril de fines del siglo xix en Estados Unidos de América. Casi todas las actividades que ocurren actualmente dentro de una industria, en aquel tiempo no existían. Las industrias funcionaban gracias a algunos conocimientos científicos que se tenían sobre química, electricidad, metalurgia, mecánica, etc. (el conocimiento de los plásticos era muy primitivo); lo que sí había eran hombres emprendedores con extraordinario talento.

No existía la administración tal y como se conoce hoy en día. Sólo el talento de los dueños de las grandes empresas hacía que éstas crecieran. La fabricación de nuevos productos y máquinas no se llevaba a cabo como se hace en la actualidad; un método muy común para lograrlo era la llamada *ingeniería inversa*. Cuando el dueño de una industria quería diseñar una nueva máquina, hablaba con los ingenieros metalúrgicos y mecánicos y transmitía su idea verbalmente. Cuando ellos, más o menos entendían su idea, se construía la máquina o el nuevo producto; luego, mediante varias pruebas, se comprobaba si funcionaba de acuerdo con la idea original. La máquina podía hacerse y deshacerse varias veces hasta que funcionara y sólo hasta entonces se construían los planos de la nueva máquina.

En este punto hay que mencionar al francés Henri Fayol, ingeniero de minas, quien durante 19 años fue director general de una compañía minera. Fayol, a finales del siglo xix, fue el primer ingeniero que creó los conceptos administrativos que permanecen vigentes hasta nuestros días. En 1916 escribió su libro clásico *Administración industrial y general*, donde describe el proceso administrativo formado por planeación, dirección, administración y control. Fayol sostenía que para que una empresa contratara a un ingeniero, éste debería haber estudiado ingeniería, pero que a los ingenieros o personas con cualquier otra especialidad que ocupaban cargos administrativos, nunca se les exigía

⁷ Gabriel Baca. *Introducción a la Ingeniería*. McGraw-Hill. México. 1999.

tener estudios en administración, tal vez porque esta disciplina aún no estaba desarrollada. Con su libro hizo reflexionar a todos los propietarios de empresas sobre la necesidad de contratar a profesionales en Administración y no sólo a ingenieros que aprendieran a administrar por necesidad.

Por el lado de la administración de la producción, la situación no era muy distinta. Había un dueño y un encargado de la producción. Los obreros trabajaban a destajo y normalmente se les pagaba de acuerdo con una cuota mínima de producción, aunque siempre se les forzaba a trabajar más después de rebasar esa cuota y si no la alcanzaban se les pagaba menos o eran despedidos. Hay que enfatizar que todos los obreros eran personas sin instrucción, la capacitación para el trabajo era totalmente nula. Los métodos de trabajo se establecían tomando como base al obrero que producía más. Los dueños de las industrias suponían que el trabajo de los obreros era tan simple (de hecho lo era), que ellos deberían aprender y mejorar, simplemente haciendo la misma actividad miles de veces a través de los años. No hay que olvidar que el antecedente de las nacientes industrias era el trabajo artesanal.

Sin embargo, tres grandes hombres cambiaron el curso de la historia de los Estados Unidos de América y también del resto del mundo: Andrew Carnegie, Henry Ford y Frederick W. Taylor. Sus aportaciones y aplicaciones en la ingeniería son trascendentes básicamente por el instante histórico en que se originaron. Carnegie fue un excelente ingeniero y un gran administrador de la industria del acero. Hasta 1850, la industria estadounidense del hierro y del acero se constituía de pequeñas plantas dispersas en todo el país, aunque mayoritariamente en Pittsburgh. La necesidad de acero era enorme y creciente, debido al auge de la industria ferroviaria. En 1868, Estados Unidos de América apenas producía 8 500 toneladas de acero, lo cual, comparado con el coloso británico que producía 110 000 toneladas, era menos que una amenaza para el dominio inglés de este producto. Sin embargo, a partir de 1872, Andrew Carnegie mezcló todas las incipientes técnicas de producción de acero conocidas y aplicó los métodos modernos recién creados en la administración de los ferrocarriles, generando niveles de eficiencia en la producción del acero que nadie había imaginado. Para 1879, es decir, sólo siete años después, Estados Unidos de América producía una cantidad de acero casi igual a la de Inglaterra, y para 1902 se fabricaron poco más de 9 millones de toneladas, mientras que la producción inglesa apenas alcanzó 1 826 000 toneladas de acero. Además, sus aportaciones a la contabilidad de costos fueron extraordinarias, y sus ideas para bajar y controlar los costos de producción del acero le dieron una enorme ventaja en todo el mundo, llegando a acumular una de las más grandes fortunas que la humanidad haya conocido para un solo hombre.

Por su parte Henry Ford se inició en el mundo de los negocios a finales del siglo XIX, cuando fundó su propia fábrica de autos. Época en la que ya había una serie de conocimientos importantes para la producción masiva de la mayoría de los productos conocidos. Sin embargo, él dio al mundo una grandiosa innovación conocida como *línea de ensamble móvil*. A fin de hacer posible su afán de que todos los estadounidenses fueran propietarios de un automóvil, su interés se encaminó a la velocidad de producción. Su idea básica fue que en lugar de que los trabajadores acudieran al automóvil para armarlo por partes, el automóvil debería acudir a ellos de manera que el trabajo, es decir, la producción de autos, fuera continua. Así surgió la línea de ensamble móvil.

Para que todos los estadounidenses pudieran poseer un automóvil, habría que producirlo a un precio accesible para todas las clases sociales. En 1906, un automóvil de la Ford costaba 1 000 dólares. En 1908, Ford introdujo su Modelo T a un precio de 850 dólares. Haciendo mejoras continuas en este modelo, Ford logró bajar el precio a 360 dólares en 1916, y en 1920, hasta la increíble cantidad de tan solo 290 dólares; es decir, de 1906 a 1920, bajó el precio del mismo artículo hasta una tercera parte de su valor original. Esto hizo que casi todos los estadounidenses tuvieran un automóvil. En 1916 Ford vendió 730 000 unidades, lo cual representó casi 70% de las ventas de automóviles para ese año en el país. Su gran aportación a la ingeniería consistió en la importancia estratégica que le dio a la velocidad de producción, la cual era tal que sus inventarios fueron siempre bajísimos. Esto le permitió bajar el costo de los automóviles a un nivel tan competitivo que lo colocó en el liderazgo de la industria. Además de esta aportación, como ingeniero Ford logró grandes innovaciones relacionadas con la industria automotriz: en la manufactura del vidrio, en el hule sintético de los neumáticos, en el hule artificial que recubría los asientos de los automóviles, en los resortes para la suspensión, etcétera.

A Frederick W. Taylor, el tercer hombre que más ha influido en los procesos industriales de manufactura de Estados Unidos de América y todo el mundo, se le considera el *padre de la ingeniería industrial*. Su aportación central fue la llamada *administración científica*, que por cierto poco tiene que ver con la administración pura. Taylor empezó su brillante carrera como aprendiz de operador de máquinas en una empresa que realizaba trabajos hidráulicos. Después de convertirse en maestro operador de máquinas, en 1883, obtuvo el título de ingeniero mecánico y empezó a trabajar en una compañía productora de acero. Taylor provenía de una familia con recursos económicos altos, y varios factores influyeron en su visión por aprovechar el tiempo al máximo, uno de ellos fue que probablemente leyó las obras de Leonardo Da Vinci, en donde se mencionaba

el arte de acarreo y se calculaba la velocidad a la cual se podría mover cierta cantidad de tierra para realizar algunos proyectos. También se dice que Taylor tuvo un maestro de Matemáticas en la universidad que dejaba tareas con base en el tiempo promedio que un estudiante necesitaba para resolver un problema.⁸

Como jefe de ingenieros en la industria acerera, Taylor empezó a generar los conceptos de diseño del trabajo y la medición de las actividades de los obreros con un cronómetro, lo que dio inicio al estudio de métodos de trabajo, y posteriormente, a la estandarización de tiempos de ciertas actividades repetitivas en los procesos; asimismo, propuso la programación de la producción, estudió la geometría de las herramientas para cortar metal, optimizó las velocidades de acarreo y de alimentación del acero para el corte, determinó que el tipo y diseño de las herramientas son vitales para incrementar la eficiencia de las actividades, etcétera. Con esto propuso la determinación de métodos, herramientas y equipo con los que debía contar la empresa, y el tipo de capacitación que debía recibir cada obrero, pues de otra forma no podría llevar a la práctica los métodos de trabajo que él sugería. De hecho, cuando él proponía nuevos métodos de trabajo, personalmente se encargaba de la capacitación de los obreros; de esta forma logró cambios sustanciales en la productividad y en el manejo del hierro en bruto en la empresa donde trabajaba.

Pero no se piense que llegar a convertirse en el padre de la ingeniería industrial fue fácil. La primera escuela de ingeniería en Estados Unidos de América se formó en 1852, conocida como *Sociedad Americana de Ingenieros Civiles*. Mientras que en 1871 se fundó el Instituto Americano de Ingenieros de Minas y en 1880 se creó la *Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos* (ASME, por sus siglas en inglés), la cual aún subsiste hasta nuestros días. Estas sociedades científicas sirvieron de foro para el intercambio de ideas y experiencias entre ingenieros industriales y, como tal, era la única vía para la presentación de investigaciones en ingeniería. El rechazo inicial de las ideas de Taylor se debió, primero, a que en la ASME había principalmente ingenieros mecánicos poco interesados en administrar la producción; y en segundo lugar, a la resistencia natural al cambio con el uso de nuevas ideas dentro de las industrias. Si las cosas funcionaban bien, ¿para qué experimentar nuevos métodos? Sin embargo, los industriales (para quienes las cosas no funcionaban tan bien) empezaron a prestar más atención a los escritos de Taylor.

Entre 1885 y 1903, Taylor presentó una serie de artículos ante la ASME. Sus investigaciones y propuestas eran tomadas con escepticismo y muchas veces éstas fueron

rechazadas, pero en la práctica siempre funcionaban; en algunas aplicaciones logró hasta cuadruplicar la producción y reducir costos y, por tanto, se podría pagar mejores salarios a los obreros. En 1910 fue despedido de la compañía acerera y a partir de entonces se dedicó a dar conferencias y asesorías industriales. Murió en 1915 sin ver totalmente aceptadas sus teorías. Taylor y Fayol (de quien se habló antes) nunca se conocieron personalmente, de hecho, el libro de Fayol se publicó un año después de la muerte de Taylor.

El ambiente industrial que se vivía en Estados Unidos de América a principios del siglo xx era propicio para la generación de todo tipo de ideas novedosas. En el mismo campo de la ingeniería industrial surgieron hombres muy creativos, cuyas ideas y métodos subsisten hasta nuestros días. Entre ellos puede mencionar a Frank B. Gilbreth y su esposa Lillian Gilbreth, cuya fama proviene de haber llevado hasta los detalles más finos el estudio de tiempos y de micromovimientos, ayudados por cámaras de video, con lo cual lograron la optimización de muchos procesos de ensamble realizados manualmente. También destaca la aportación de Lawrence Gantt, cuya gráfica para el control de actividades a través del tiempo todavía se utiliza. En 1927, F. W. Harris creó el concepto de *lote económico para inventarios*, y también el primer modelo de inventarios conocido como *diente de sierra*, que más tarde se conocería como el *modelo de Wilson*. Al inicio del siglo xxi, ambos conceptos todavía se mencionan en algunos textos.

El desarrollo de técnicas para el control de la producción era tan escaso que muchos libros escritos entre 1930 y 1950 permanecieron en el mercado por más de 40 años, gracias a la visión de los hombres que los escribieron, ya que se adelantaron tanto a su tiempo que en casi 40 años hubo pocas aportaciones nuevas sobre sus ideas. Los temas de aquellos libros fueron, entre otros, control de calidad e ingeniería económica.

En 1917, en Estados Unidos de América, se formó la primera Sociedad de Ingenieros Industriales, dedicada exclusivamente a tratar temas de administración de la producción, que eran los temas que interesaban a los ingenieros industriales en la práctica. Sin embargo, fue hasta 1948 que se fundó el Instituto Norteamericano de Ingenieros Industriales que representaba los intereses de los profesionales en esta rama de estudio. Fue tanta la difusión y el prestigio de esta sociedad, que se difundió internacionalmente a más de 70 países, y en 1981 pasó de ser un instituto local para Estados Unidos de América, a ser simplemente el Instituto de Ingenieros Industriales (IIE), dedicada a representar los intereses de todos los ingenieros industriales en el mundo.

⁸ Frank Barkley. *Frederick W. Taylor*. Harper & Row Publishers, Nueva York. 1923.

Algunos autores, como Forrester, sostienen que se puede hablar de una Tercera Revolución Industrial, provocada por el uso de computadoras en la industria. Es bien sabido que las computadoras ahorran al hombre muchísimas horas de trabajo; y la automatización de muchos procesos y máquinas se controla por medio de éstas, lo que ha revolucionado la forma de administrar y producir industrialmente. Por otro lado, existe un sinnúmero de softwares que ayudan a los ingenieros a efectuar su trabajo; desde hacer una serie de cálculos complicados en forma rápida y precisa, y diseñar equipo y procesos industriales, hasta simular la actividad de una máquina o de un proceso productivo completo. En fin, se puede hablar mucho de la ayuda que las computadoras proporcionan a la industria en general y a los ingenieros que trabajan con éstas.

La aparición de nuevos conceptos como la *logística*, la *cadena de suministros*, ERP (Planeación de Recursos Empresariales o Sistemas Integrales de Gestión), etc., han dado un giro importante a la forma de administrar las empresas y específicamente la producción industrial. Las empresas líderes en el mundo en su ramo invierten miles de millones de dólares en sistemas de información. Los principios básicos de la ingeniería industrial han cambiado poco, lo que realmente se ha modificado es la velocidad a la que se mueve la información dentro de las empresas y las industrias, lo cual a su vez, ha aumentado la velocidad con la que se produce (desde la compra de materia prima hasta la entrega del producto final) y se vende.

La ingeniería industrial aplicada en el siglo *xxi* ya contempla cómo los inventarios se controlen solos. Basta conectar los sistemas de información de dos empresas, proveedora y compradora, para que cuando los inventarios de materia prima de la empresa compradora disminuyan hasta su punto de reorden, la computadora de esta empresa le comunique automáticamente al sistema de producción de la empresa vendedora que debe empezar a elaborar cierta cantidad de producto.

Los robots, por otro lado, que han sustituido gran cantidad de mano de obra en muchas empresas, son controlados por medio de computadoras. El diseño de nuevos productos o nuevas máquinas ya se hace con un software llamado CAD (Diseño asistido por computadora). Asimismo, muchas ventas de productos industriales se efectúan por *e-commerce*, es decir, por comercio electrónico. Si una empresa busca un nuevo proveedor de determinado producto, no es necesario que reciba la visita de un vendedor que lleve un catálogo impreso de los productos,

simplemente consulta la página de Internet del proveedor y solicita el producto de su elección; incluso, en algunas empresas es posible que el consumidor diseñe el producto de acuerdo con sus necesidades y esto lo puede hacer a través del software que tiene el vendedor en Internet.

La principal característica de la ingeniería industrial del nuevo siglo es el incremento increíble en la velocidad con la que se ejecutan la mayoría de las actividades de las industrias, desde la compra de materia prima hasta la entrega del producto final, aunque los principios básicos hayan cambiado muy poco.

Por otro lado, hay que destacar que al iniciar el siglo *xxi*, la ingeniería industrial es la especialidad de la ingeniería que más población estudiantil tiene en todas las universidades del mundo.

El papel del ingeniero industrial en la empresa y en la sociedad

Es interesante analizar brevemente la evolución del ingeniero industrial desde hace poco más de 100 años hasta el presente, y el papel que ha desempeñado en la industria y en la sociedad a lo largo de todo ese tiempo.

En el apartado anterior se mencionó que el antecesor del ingeniero industrial, el ingeniero mecánico en Estados Unidos de América, desempeñaba un papel más bien de capataz de obreros. Los mercados eran tan amplios y crecían con tal rapidez que lo importante era producir la mayor cantidad posible; el concepto de calidad, tal como se conoce hoy en día, no existía. Los obreros trabajaban a destajo. La poca comunicación que había entre la dirección de la empresa y el área de producción era para comunicar las cantidades a producir. La forma y responsabilidad de hacerlo correspondía al encargado de producción, llamado superintendente, que generalmente era un ingeniero mecánico, a quien también le correspondía dar mantenimiento a las máquinas y como era especialista en ello, les prestaba más atención a las máquinas. El único contacto con los obreros era para negociar la paga en forma individual, de acuerdo con la producción generada en el día y, desde luego, para abastecerlos de todos los insumos necesarios. Se podrá deducir, de acuerdo con la historia que relatan los libros estadounidenses, que el papel de los ingenieros mecánicos era muy limitado, tanto en la industria como en la sociedad. En pocas palabras, eran capataces de los obreros.⁹

⁹ Hace unos 100 años, en México se le llamaba capataz a la persona encargada de las labores del campo en las haciendas. Por extensión, se aplicó a las industrias y ahí era la persona encargada de vigilar y controlar que los obreros trabajaran casi sin descanso. El sentido que se da a este adjetivo era peyorativo, ya que es sinónimo de explotador de obreros.

Al nacer en realidad la ingeniería industrial, después de la muerte de Taylor, en 1915, los propietarios de las industrias se dieron cuenta de que era posible elevar la producción y disminuir los costos si se contrataba a un ingeniero especializado en la producción. Las ideas de administrar la producción junto con las ideas de Fayol de administrar de manera correcta la empresa, y no sólo el área de producción, propiciaron que los ingenieros industriales que alcanzaron puestos directivos en las empresas tuvieran una visión más amplia de lo que es una empresa y cómo administrarla. El ingeniero industrial dejó de ser, así, capataz y pasó a ser diseñador de métodos de trabajo y de herramientas y, poco a poco, se convirtió en un mejor administrador.

En 1927, Elton Mayo, vendedor técnico australiano, pidió permiso a la Western Electric Company para estudiar los efectos de la iluminación sobre el rendimiento de los trabajadores. Su primer experimento consistió en aumentar la cantidad de luz en el espacio donde un grupo de trabajadores armaban bombillas eléctricas. El resultado fue que se incrementó el rendimiento de los trabajadores. En un segundo experimento, diseñó sillas y respaldos más cómodos, a fin de observar la influencia de este factor en el rendimiento; el resultado fue que también aumentó el rendimiento de los trabajadores. Después de hacer variar otros factores de menor importancia en la producción, Mayo llegó a la conclusión de que no es la variación de los factores lo que eleva la productividad, sino la atención que la alta gerencia prestaba a los experimentos. Así, concluyó que si los directivos trataban mejor a los trabajadores y les prestaban más atención en muchos sentidos, el trabajador respondería positivamente en forma recíproca. Por su aportación, a Elton Mayo se le considera el fundador de la *escuela de relaciones humanas*.

Con esta nueva idea, los ingenieros industriales adquirieron el compromiso de mejorar no sólo los métodos de trabajo y el diseño de herramientas, sino también las condiciones físicas en que se efectuaba el trabajo. Con el tiempo, estas ideas derivaron en el desarrollo de la higiene y seguridad en el trabajo y, después, en la ergonomía. Desde hace algunas décadas, la higiene y la seguridad en el trabajo es tan importante que existen reglamentos en prácticamente todos los países que regulan la cantidad de ruido, luz, calor, radiación, inhalación de solventes, etc., que un trabajador es capaz de soportar por determinado tiempo, sin poner en riesgo su salud y mucho menos su vida. Con ayuda de médicos y fisioterapeutas, los ingenieros industriales han determinado los llamados umbrales de tolerancia, para cada uno de los factores físicos presentes en el trabajo diario de los obreros, con el fin de evitar afectar su salud.

De hecho, la higiene y seguridad en el trabajo es la especialidad de la ingeniería industrial encargada de proteger

la integridad física del trabajador, una más de las responsabilidades del ingeniero industrial. Por otro lado, la *ergonomía* se encarga, con la colaboración de la antropometría, de diseñar excelentes espacios físicos, asientos, respaldos y, sobre todo, herramientas, para que la máquina y el hombre se adapten en el trabajo cotidiano de la mejor manera y con el menor esfuerzo posible. Los diseños ergonómicos son una tarea más del ingeniero industrial, que han traspasado el ámbito industrial; es decir, el hombre cuenta actualmente con muchos diseños ergonómicos no sólo en la industria, sino también en la oficina y en el hogar.

En la década de 1950, el ingeniero industrial amplió en gran medida su papel en la industria. De un modo mucho más científico, ya podía controlar los inventarios de materia prima y producto terminado; podía planear y controlar la producción; mejorar los procesos productivos con el estudio de tiempos y movimientos; controlar estadísticamente la calidad; tenía especial cuidado por la seguridad de los obreros en el trabajo, diseñaba herramientas, utensilios y espacios físicos más ergonómicos y podía ascender de puesto para desempeñarse, de manera bastante aceptable, como gerente o administrador general de una empresa. El ingeniero industrial superaba al administrador puro en que él conocía los aspectos técnicos de la empresa como el control de inventarios, máquinas, herramientas, control de la producción, etcétera, mientras que el administrador puro no tenía tantos conocimientos técnicos, como para diseñar y proponer cambios en los sistemas y procesos productivos.

Sin embargo, en la década de 1960, hubo una gran transformación en el mundo que también hizo cambiar el papel del ingeniero industrial en las organizaciones: a raíz de la terminación de la Segunda Guerra Mundial, en 1945, y al ser Estados Unidos de América el ganador de la contienda, y en menor medida Inglaterra, la economía del mundo empezó una era de expansión. Hay que recordar que estos países poseían las tecnologías de producción más avanzadas. Básicamente en Estados Unidos de América, el crecimiento industrial fue tan grande que en la década de 1960, casi toda persona en edad de trabajar podía emplearse de manera bien remunerada con relativa facilidad. Cuando sucede esto en una economía, la mano de obra se vuelve muy cara.

Esa situación, obligó el traslado de industrias hacia países donde la mano de obra fuera más barata. Sin embargo, no sólo en Estados Unidos de América e Inglaterra se instalaron subsidiarias, sino en todo el mundo. De hecho, los países que tenían tecnología propia, como Alemania, Bélgica, Italia y Francia, entre otros, ya contaban con subsidiarias en varias partes del mundo desde fines del siglo xix, pero fue en la década de 1960 que esta migración fue a gran escala, en especial por parte de Estados Unidos de

América. Esta migración, en su mayor parte a países de economías emergentes, generó la necesidad de formar a ingenieros industriales en esas naciones.

Hasta antes de 1970, al menos en México, todas las licenciaturas de ingeniería que se podían estudiar eran totalmente técnicas. Las ingenierías mecánica, química, en telecomunicaciones, etc., enseñaban materias exclusivamente del área de esa especialidad. Fue en la década de 1960, que algunas universidades empezaron a agregar el término *industrial* a la especialidad; por ejemplo, las ingenierías química industrial, mecánica industrial, etcétera, y al iniciar la década de 1970 apareció en México la primera licenciatura en ingeniería industrial, pero con características totalmente distintas a las de otras ingenierías.

Por primera vez, una licenciatura en ingeniería tenía la connotación de ser interdisciplinaria. Esto significa que por primera vez a un ingeniero se le enseña química, sin ser ingeniero químico; electricidad, sin ser ingeniero eléctrico; pero lo que hacía la gran diferencia es que a ese nuevo ingeniero se le enseñaban entre otras cosas administración, contabilidad, derecho y economía. Hasta antes de 1970, un ingeniero mecánico, químico o de cualquier otra especialidad técnica, que ocupaba puestos directivos, tenía que aprender los conceptos principales del área de ventas, de administración de la producción, de contabilidad y de administración, por citar sólo algunos, simplemente porque ya era directivo, era una necesidad y en muchas ocasiones un obstáculo para desempeñarse en puestos administrativos o directivos. Cuando empezaron a egresar los primeros ingenieros industriales, en México, al final de la década de 1970 gracias a su formación interdisciplinaria, éstos conocían el lenguaje de cualquier área en la industria, por lo cual se les facilitó escalar a puestos directivos y resultaron ser, por su preparación, mucho más aptos para ello que los de las otras especialidades de ingeniería.

Aunque de manera lenta, los países de economías emergentes se empezaron a industrializar, ya sea con industrias propias o transnacionales. Esto generó una necesidad industrial y social de ingenieros industriales, que fue satisfecha por este nuevo tipo de ingenieros.

Sin embargo, hay que diferenciar claramente a los ingenieros industriales de los países industrializados de aquellos provenientes de las economías emergentes. En los países industrializados, la ingeniería industrial se formalizó entre finales de la década de 1940 y principios de la de 1950, como siempre de manera lenta. Cuando inició la ingeniería industrial en los países de economías emergentes, básicamente en América Latina, en la década de 1970, los nuevos ingenieros ya traían un bagaje de tareas que heredaron de los estadounidenses: tener a su cargo el diseño de algunas herramientas, el diseño de procesos, controlar todas las áreas de producción, negociar con los

trabajadores y una nueva tarea que era ser director o gerente de la industria o empresa. Su formación los capacitaba para ello.

Pero faltaban todavía desarrollar algunas tareas que posteriormente debería desempeñar el ingeniero industrial. Para la década de 1980, el entonces presidente de Estados Unidos de América, Ronald Reagan, y la primera ministra de Gran Bretaña, Margaret Thatcher, impusieron en todo el mundo la política neoliberal, tan discutida hasta nuestros días. Negociaron o forzaron a muchos países a abrir sus fronteras por medio de tratados comerciales. Desde luego no en todos los tratados comerciales estuvo presente Estados Unidos de América, ya que pequeños grupos de países, considerando las ventajas de este tipo de tratados, firmaron acuerdos de libre comercio entre ellos. Para fines del siglo xx, el apogeo del verdadero libre mercado en el mundo se convirtió en una nueva tarea para el ingeniero industrial.

Como más de 90% de los países abrieron sus fronteras a todo tipo de mercancías, la competencia comercial se hizo mucho más agresiva que en cualquier otra época. El proteccionismo comercial era en muchos países una práctica común, pero habría que cambiar la mentalidad para enfrentar las nuevas condiciones. En la década de 1980 se publicó el libro clásico de Michael Porter, *Planeación estratégica*, en el que el autor considera que los negocios comerciales se habían convertido en una verdadera guerra, y toma a la palabra *strategos*, que literalmente significa “actividades que efectúa el general de un ejército en un campo de batalla a fin de derrotar al enemigo”, para indicar que los gerentes o directores de empresas ya no debían planear el crecimiento o evolución de la empresa de manera idealizada, sino principalmente teniendo en cuenta al enemigo, es decir, a otras empresas con quienes competía por ganar el mercado. En su libro, Porter genera la idea de que es necesario analizar las debilidades y fortalezas, tanto propias como de la competencia, así como las amenazas y oportunidades que presenta el mercado. También generó el concepto de ventaja competitiva.

Con este cambio en los negocios, además de realizar todas las tareas ya mencionadas, el ingeniero industrial pasó de ser un administrador o director a ser un estratega de la empresa. Ya no bastaba planear pensando que no hay enemigos al frente, ahora había que planear diseñando acciones encaminadas a aprovechar las debilidades del enemigo y las fortalezas propias, y analizar cómo superar las debilidades propias y debilitar las fortalezas del enemigo.

El mercado por sí mismo también presentaba amenazas. Por ejemplo, cuando hubo guerra en Medio Oriente, los precios del petróleo se elevaron a corto plazo. Si esto sucede es muy probable que aumenten los precios de algunos productos importados, pues se habrán incrementado

sus costos de producción por la elevación del precio del petróleo. Asimismo, si se aumentan los precios de algunos productos importados, se causará inflación, etc. El mercado también puede presentar oportunidades, por ejemplo, si se da la noticia de que se ha firmado un nuevo tratado comercial con algún país lejano y se sabe que aquel país está importando o necesita determinados productos que no elabora, entonces se abrirá esa oportunidad de crecimiento y de exportación.

El análisis de situaciones de este tipo obliga al ingeniero industrial, como planeador estratega, a tener conocimientos básicos de asuntos macroeconómicos, no sólo del país, sino del mundo. Puede haber muchas oportunidades y amenazas, pero para tomar las acciones correctas, primero hay que estar informados de los sucesos económicos del mundo.

En la actualidad cuando se habla de las tareas que puede desempeñar el ingeniero industrial no significa que él sea el único profesional que puede desempeñarlas. Durante años, muchas empresas han crecido sanamente dirigidas por profesionales de las más diversas áreas: ingenieros de todas las especialidades, contadores, administradores, abogados, etc., e incluso personas sólo con estudios básicos han sido exitosos directores, pues no basta estudiar maestrías o doctorados especializados para garantizar el éxito como directores de empresas. Mucho se ha discutido acerca de que ser un buen director es más un arte que el resultado de una preparación.

Sin embargo, la preparación interdisciplinaria que adquiere un ingeniero industrial en la universidad le da más elementos para llegar a desempeñarse con éxito en la industria, preparación que no tiene ningún otro tipo de profesión.

Además, hay otro aspecto que también es importante destacar respecto del papel que el ingeniero industrial desempeña en la sociedad: debe ser sensible hacia los aspectos sociales, es decir, entender y tener información actualizada sobre las leyes o los reglamentos que protegen a los trabajadores en todos los sentidos, sobre moral y ética en el mundo contemporáneo, conocer sobre las leyes y los reglamentos ambientales, y esencialmente sobre el papel que debe tener la empresa en la que se está trabajando, dentro del entorno social local y nacional.

La carga de materias de todos los estudios de licenciatura debe incluir materias de tipo humanístico. Por fortuna, ciertas asignaturas de algunas instituciones tratan varios de estos temas, aunque no estén enfocadas exclusivamente al aspecto social. Por ejemplo, si en las universidades en

las que la licenciatura en ingeniería industrial contempla una o varias materias relacionadas con la contaminación que generan las industrias, se incluyen temas sobre reglamentos locales, nacionales y hasta mundiales, como las normas ISO 14000; se entiende que estas materias por sí mismas podrían provocar en el estudiante algún grado de conciencia ecológica, en el sentido de cuidar el medio ambiente cuando ya esté trabajando en la industria.

La empresa vista como una serie de procesos

En 1954 se fundó la Sociedad para el avance de la Teoría General de Sistemas, la cual en 1957 cambió su nombre al de Sociedad para la Investigación General de Sistemas. Hacia 1956, esta institución publicó el libro *Sistemas generales*, donde Ludwig Von Bertalanfy expuso los propósitos de la recién creada disciplina, entre los que destacan los siguientes:

- Existe una tendencia general hacia la integración de las diferentes ciencias, naturales y sociales.
- Esta teoría puede ser un medio importante para llegar a la teoría exacta de los campos no físicos de la ciencia.
- Esto puede conducir a la integración muy necesaria de la educación científica.¹⁰

Con éstos y otros postulados, los miembros de esta sociedad generaron el concepto de *sistema* por analogía con el cuerpo del ser humano. Se dieron cuenta de que hasta ese momento la ciencia médica había descrito con bastante meticulosidad cada uno de los sistemas del cuerpo humano: el óseo, el digestivo, el nervioso, etcétera, pero que si se querían comprender muchas enfermedades, había que considerar un suprasistema que era el cuerpo total.¹¹

El concepto básico de suprasistema significa que si se observa, por ejemplo, una enfermedad en los pulmones, no es suficiente con estudiar éstos, sino que dado que el sistema respiratorio está conectado con todos los otros sistemas corporales, y éstos a su vez se encuentran conectados entre sí, de una manera compleja, para comprender dicha enfermedad hay que observar no sólo al suprasistema, sino también la dependencia que existe entre los sistemas individuales.

Uno de los pilares para el desarrollo de la Teoría General de Sistemas fue el filósofo alemán George Hegel

¹⁰ John Van Gigch. *Teoría General de Sistemas*. Trillas. México. 1987.

¹¹ Suprasistema: literalmente sistema superior, o que está arriba de otros sistemas.

(1770-1831), quien declaró, sin referirse de manera específica a los sistemas:

- El todo es más que la suma de sus partes.
- El todo determina la naturaleza de las partes.
- Las partes no pueden comprenderse si se consideran en forma aislada del todo.
- Las partes están dinámicamente relacionadas o son interdependientes.

Es evidente que los creadores de la Teoría de Sistemas dedujeron que *el todo* de Hegel era en realidad un sistema, compuesto a su vez de otros más pequeños (subsistemas).

Cuando estos conceptos se aplicaron a la empresa en general y a la industria en particular, se observaron muchas analogías entre el cuerpo humano y una industria: ya que ambos están formados por sistemas. Aunque no con una semejanza directa, en la industria se practican sistemas de inventarios, de producción, de ventas, contables, etc. Tal como lo hizo Hegel, también se llegó a la conclusión de que el todo es más que la suma de sus partes, es decir, una industria es mucho más que tan solo sumar cada uno de los sistemas que la forman.

Esta declaración es cierta porque entre los sistemas, tanto corporales como empresariales, existen procesos que le dan sentido a la existencia de cada sistema que forma parte del suprasistema. Para que el cuerpo humano viva a través de sus sistemas, en el organismo circulan básicamente tres elementos: información genética, gases que respiramos y nutrientes.¹²

En la industria también se presenta de manera constante una serie de procesos y para que esa industria esté viva, también necesita tres elementos que fluyan continuamente por su interior: información, materias primas y dinero.

Las figuras 1.1, 1.2 y 1.3 muestran las principales áreas que forman a una industria, sin importar su tamaño; en cada una de éstas se esquematiza el flujo correspondiente. En la figura 1.1 se presenta cómo fluye la información; en la figura 1.2 se muestra cómo fluye dinero, y en la figura 1.3 aparecen los flujos de materia prima. Y aunque el elemento humano que es el que le da vida, y es parte vital de la empresa, no es un sistema de ella.

Describir el funcionamiento de una empresa o industria no es simple, como tampoco lo es describir el funcionamiento del cuerpo humano. Cuando se realiza una di-

sección del cuerpo humano sólo se muestra una pequeña parte de los sistemas corporales, por lo que para entender más su funcionamiento es necesario separar cada sistema, explicar su funcionamiento de forma independiente y luego detallar cómo funciona cada sistema en relación con los demás. De hecho, la ciencia médica actual no ha explicado por completo todas las relaciones entre los sistemas corporales, por lo que aún existen algunas enfermedades incurables de origen desconocido.

Por analogía con el suprasistema tan complejo que es el cuerpo humano, formado por sistemas más sencillos, se puede decir que la industria o empresa también es un suprasistema integrado por sistemas más simples. Para describir el funcionamiento de la industria también es necesario dividirla en subsistemas, los cuales individualmente son considerados sistemas en sí mismos. La ingeniería industrial, apoyada por otras disciplinas, ha hecho esta separación y ha logrado estudiar a fondo esos subsistemas, creando métodos que intentan mejorar la forma en que trabaja cada uno; la idea es que si cada pequeño sistema funciona de manera óptima, el suprasistema o empresa funcionará mejor. Si se retoma el pensamiento de Hegel y se adaptan sus palabras a los sistemas de la industria, se puede decir que las partes de un sistema no pueden comprenderse si se consideran de forma aislada. Esto significa que hay una serie de materias que analizan y explican a fondo los sistemas empresariales, por ejemplo, el sistema de producción, el sistema contable, etc., pero si se consideran como disciplinas aisladas será más difícil comprender cómo se aplican y qué papel desempeñan dentro de una empresa.

Esta parte del texto no pretende describir cada sistema que forma parte de la empresa, sino explicar cómo funcionan los principales flujos que tiene cualquier empresa, como la información, el dinero y la materia prima; de dónde provienen, hacia dónde van y cómo interactúan. Según Hegel: *las partes de un sistema están dinámicamente relacionadas o son interdependientes*, y esto es lo que estudiaremos.

Para describir cómo funciona la empresa, es necesario considerar cómo se lleva a cabo el procesamiento de los flujos, es decir, los *procesos* de información, del dinero y de la materia prima. Y cuando se habla de procesos también se habla de la transformación.

Analicemos la figura 1.1: los rectángulos son áreas físicas dentro de la empresa o entidades fuera de ella donde se genera o hacia donde se envía información. El rectángulo con sombreado más oscuro representa a los accionistas

¹² Se cree que respiramos sólo oxígeno, pero en realidad el aire que respiramos está formado por muchos gases, aunque el principal es oxígeno y en menor medida el nitrógeno.

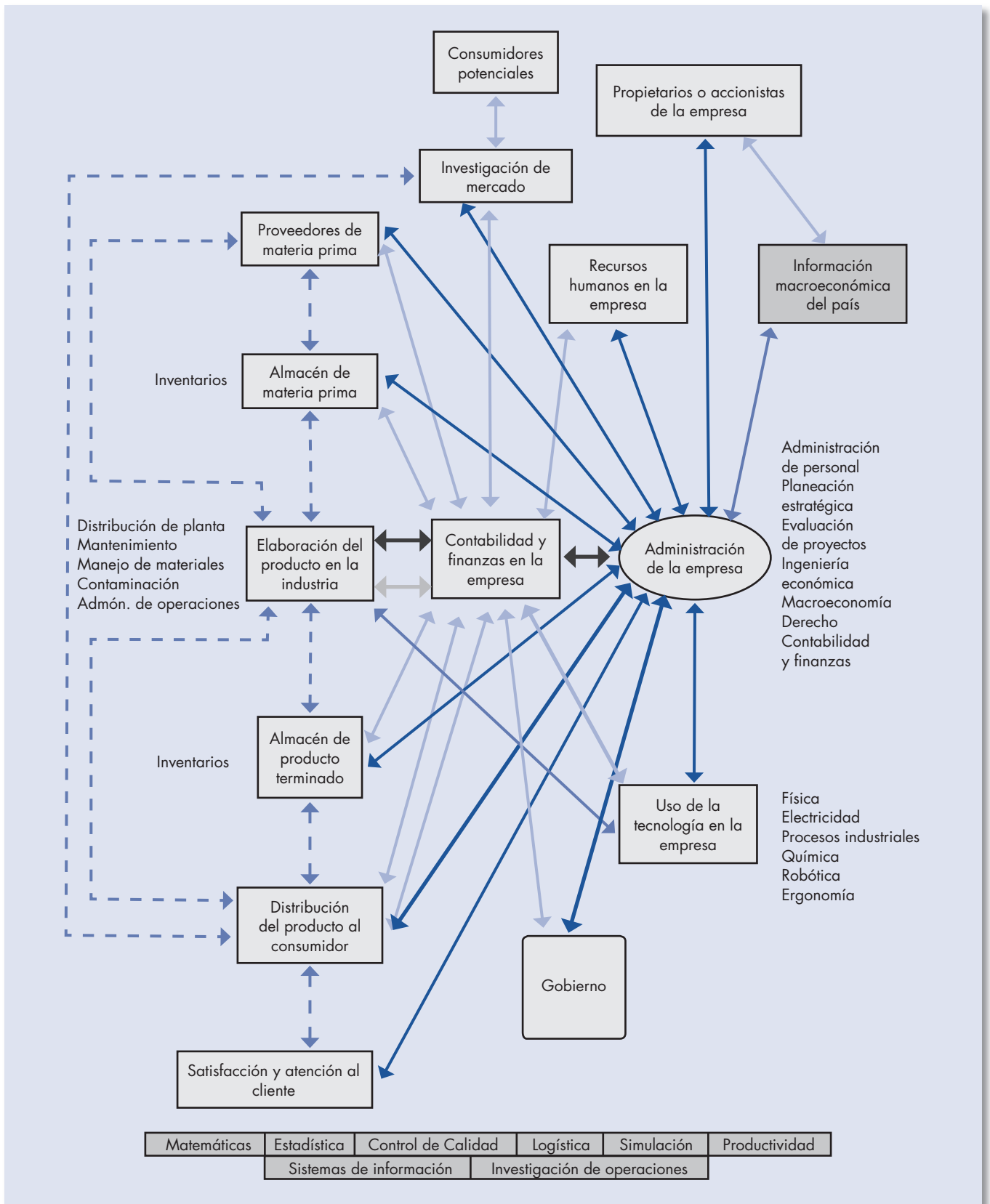


Figura 1.1 Principales flujos de información dentro de una industria.

o propietarios de la empresa. Las flechas representan información que fluye de un área o entidad a otra. Obsérvese que hay flechas con tres fondos distintos; las de fondo blanco se refieren a la información que maneja el área contable, las de fondo oscuro son para la información que maneja la dirección general y las de fondo de rayas son para la información que fluye fuera de las dos áreas mencionadas. El óvalo, o administración de la empresa, se puede considerar el cerebro del suprasistema, pues es la única entidad que debe tener información en ambos sentidos, es decir, recibir y enviar información de todo lo que sucede dentro y fuera de la compañía. La representación de los flujos de información en la figura 1.1 es incompleta, pues resulta imposible representar todos los flujos que entran y salen de los subsistemas internos y externos.

La figura 1.1 se complementa ubicando las materias que se imparten en los estudios de ingeniería industrial y que son útiles principalmente en el área junto a la cual están anotadas. Por ejemplo, la enseñanza de la física y la química son útiles para entender la tecnología, pero no lo son para una investigación de mercado. Asimismo, en la base de la figura se citan, en recuadros sombreados, las materias que ayudan a resolver problemas en cualquier área, dentro y fuera de la empresa. Por ejemplo, es innegable la utilidad de dominar las matemáticas y la estadística en los estudios de mercado, el control de calidad, los pronósticos de ventas, etc. Asimismo, la simulación y sus técnicas se pueden aplicar prácticamente en cualquier actividad, pequeña o grande, que se lleve al cabo en la compañía, incluso se han creado simuladores de toda la organización; la productividad también puede medirse en las diferentes actividades de la empresa. La necesidad de aprendizaje y la forma de aplicar cada una de estas materias se irá presentando en el capítulo correspondiente.

Empecemos por describir de manera breve cómo y para qué fluye la información dentro y fuera de la empresa. Hay que especificar que en este apartado sólo se describirán los flujos de información de industrias que están en funcionamiento, ya que los datos necesarios para la planeación de una empresa se mencionan en un capítulo posterior.

Para una empresa en funcionamiento no hay un área o entidad donde haya un inicio en el flujo de la información, simplemente los suprasistemas viven e intercambian información de manera permanente.

A la información que es básica para la empresa se le llama *necesidades del consumidor actual o potencial*. La filosofía o actitud que en la actualidad debe tener cualquier empresa elaboradora de productos o generadora de servicios es satisfacer las necesidades de los consumidores o clientes. Si no hace esto, sus productos o servicios tendrán poca demanda y al paso de pocos años la empresa enfren-

tará graves problemas para permanecer como negocio en el mercado. Por lo anterior, uno de los principales flujos de información que debe tener toda empresa es detectar la necesidad del cliente, que puede ser satisfecha por los productos o servicios de la compañía. Para obtener esa información, la dirección general puede, por un lado, encargar estudios de mercado para encontrar nuevas necesidades de los clientes actuales, o localizar clientes potenciales; por otro lado, el departamento de distribución y ventas de la empresa debe estar constantemente investigando con sus clientes actuales si sus necesidades son satisfechas con los productos o servicios que se le entregan.

De cualquier forma, esta información, que pasa primero por la dirección general y es procesada por ella, debe determinar si el diseño de los productos y la tecnología que se tiene para elaborarlos es satisfactoria, o si hay necesidad de nuevos diseños en el producto o de un cambio de tecnología. Por tanto, puede haber dos decisiones en esta etapa: mantener la tecnología y el diseño de producto actuales o cambiarlos.

Cuando hay necesidad de un cambio, primero se deben determinar los recursos económicos para cambiar o adquirir nueva tecnología. Se le comunica este dato al área de tesorería de la empresa (contabilidad y finanzas), para confirmar que se cuenten con los recursos económicos suficientes. De lo contrario, se debe determinar de qué fuente se obtendrá el dinero; por último, la decisión pertinente la toma la dirección general. Si no hay propuestas de cambios en la tecnología o en el diseño del producto, significa que los clientes están satisfechos con el producto, las ventas se mantienen estables o se incrementan, aunque sea ligeramente, por lo que el departamento de ventas enviará información al área de producción para que se elabore el o los productos en las cantidades requeridas por el mercado para el siguiente periodo. El área de producción calcula la cantidad de materia prima que requerirá para satisfacer el pedido que ha hecho ventas y comunica al almacén de materias primas la cantidad y la fecha en que las necesita; por su parte, el almacén hará el pedido correspondiente a los proveedores.

Una vez recibida la mercancía, el almacén informa a contabilidad sobre las deudas contraídas (pasivos) por concepto de compra de materias primas, las cuales deberán pagarse en el futuro. El dato del costo de las materias primas se convierten en un costo de producción que es controlado por contabilidad. Al cumplirse el vencimiento de la deuda, y una vez que este departamento haya cubierto el pago, informará al proveedor que éste fue realizado. Obsérvese cómo en este proceso de flujo informativo es imposible separar la información de la consecuencia que muchas veces implica, en este caso, el envío de materia prima del proveedor a la empresa y el envío de dinero de

la empresa al proveedor. Como declaró Hegel, las partes están dinámicamente relacionadas y son interdependientes; por ejemplo, la compra de materia prima implica su pago. No se puede adquirir materia prima si no hay dinero suficiente en la empresa, por más necesaria que ésta sea.

Una vez recibida la materia prima en el almacén, se entrega en la fecha programada a producción, donde será transformada agregándole valor, es decir, cada vez que a la materia prima se le aplique algún proceso, por simple que éste sea, la materia prima elevará su valor. Por ejemplo, no es lo mismo vender frijol a granel que frijol envasado en bolsas de 1 kg, ya que al aplicarle al frijol el proceso de envasado se eleva su precio.

Una vez transformada la materia prima por la tecnología, se informa a ventas que el producto está disponible en tiempo y forma según lo solicitado. El producto se envía al almacén de producto terminado, desde donde se distribuirá a los consumidores. Toda la información respecto de la cantidad de producto terminado que se recibe en el almacén, se envía a contabilidad; este departamento le da seguimiento para verificar la cantidad de producto que se venderá, respecto de la cantidad de producto que hay en el almacén. Con toda la información que a diario colecta el área de ventas sobre cantidades y sitios de reparto del producto, ésta tiene la información suficiente que le permite conocer sitios, cantidades y frecuencias de entrega del producto a los consumidores. Asimismo, realiza la entrega e informa a contabilidad de la operación realizada y la fecha de cobro del producto entregado. Se entiende, idealmente, que en la fecha de vencimiento el consumidor pagará a la empresa por los productos comprados. En este punto, hay que distinguir que el consumidor no es la persona física que consume el producto, sino que por lo general es un distribuidor ajeno a la empresa, como las tiendas departamentales o pequeñas tiendas vendedoras al menudeo. En algunos casos, el consumidor sí es una persona física o moral, como en el caso de la venta de maquinaria, donde la empresa fabricante del equipo entrega de manera directa al consumidor el producto, pues el consumidor es otra empresa. Cuando el área de contabilidad realiza el cobro, el ciclo se vuelve a repetir cuando ventas le informa a producción que necesita más producto.

En la figura 1.1 también se observa que hay información que fluye en dos sentidos entre producción y proveedores de materia prima, ya que una preocupación constante de producción es recibir la materia prima con las especificaciones de calidad requeridas, por lo que es necesaria una comunicación constante y directa entre estos dos departamentos.

Por otro lado, está la comunicación entre contabilidad y recursos humanos. Contabilidad recibe no sólo la información respecto a faltas y retardos de los trabajadores, sino

también la de sueldos devengados, promociones de sueldo, prestaciones, jubilaciones, etc. Desde luego, todo este flujo de información está acompañado de flujo de dinero.

Posteriormente está la información que fluye entre la dirección general hacia los accionistas o propietarios de la empresa en ambos sentidos. Excluyendo a las empresas demasiado pequeñas, donde el gerente o director general es también el propietario, en las demás organizaciones, comúnmente los propietarios no trabajan dentro de la propia empresa, por lo que el director general está obligado a entregar informes periódicos del desempeño de la compañía en todos los aspectos, básicamente aquéllos sobre las ganancias monetarias y datos de mercado.

En realidad, quienes deciden el destino de la empresa son los propietarios. Si hay ganancias monetarias ellos disponen cómo y a quién repartir esas ganancias. Si hay pérdidas, ellos también determinan cómo solventarlas. Si hay necesidad de invertir más dinero, son ellos quienes deciden si lo consiguen en alguna entidad externa (como un banco) o aportarán el capital extra solicitado. En cualquier caso, sus decisiones las toman con base en la información que les proporciona el director general, quien elabora su informe basándose en los datos que recibe continuamente de todas las áreas de la empresa. El director general toma decisiones de operación para la empresa, pero los propietarios son quienes determinan qué se hace con ésta, según los datos obtenidos de la operación de la compañía.

Hay otra fuente de información importante para la empresa: el gobierno. Algunas dependencias de gobierno deben mantener información directa con la empresa; por ejemplo, en el caso de México, la Secretaría de Hacienda recibe información de la compañía sobre los ingresos y costos incurridos durante cierto periodo y físicamente capta los impuestos que le corresponde pagar a la empresa. Otras entidades gubernamentales reciben los datos y las cuotas de la seguridad social para los trabajadores, la información y las cuotas de las aportaciones de la empresa para la vivienda de los trabajadores, etc. Por tanto, el gobierno de cualquier país es un actor importante dentro del desempeño laboral de las empresas, pues es el que vigila el estricto cumplimiento de las leyes que regulan el funcionamiento de una organización en muchos aspectos; por tanto, la comunicación y el intercambio de datos entre empresa y gobierno siempre es muy estrecho.

La última fuente importante de información son los datos macroeconómicos locales e internacionales. Hay múltiples fuentes en un país para obtener esta información; por ejemplo, en el caso de México, el Banco de México, es el encargado de controlar el desarrollo económico, apoyado por todas las secretarías de Estado. También están las cámaras comerciales, que son agrupaciones de industriales por sector; en muchos países existen, por ejemplo, la

Cámara de la Industria del Acero, la Cámara de la Industria del Cemento, etcétera. Estas cámaras captan y distribuyen mucha información importante para sus afiliados, ya que representan los intereses de ese sector industrial ante el gobierno.

Obsérvese en la figura 1.1 que los más interesados en contar con este tipo de información son los propietarios y el director general de la empresa, pues son quienes toman las grandes decisiones y dirigen el rumbo de la empresa, y esto sólo se puede hacer correctamente si se cuenta con la información necesaria al interior y el exterior de la com-

pañía. Mientras se cuente con información más precisa, las decisiones que se tomen serán mejores.

Ahora, analicemos los flujos de dinero que se generan dentro de una empresa y que se representan en la figura 1.2. Obsérvese en ésta que tanto las asignaturas que se cursan en la licenciatura y que están anotadas junto a ciertas áreas como las que aparecen en la base de la figura son las mismas. Las flechas son sólo blancas, lo que quiere decir que únicamente es flujo de dinero; sin embargo, no hay flujo de dinero real entre áreas. Contabilidad es la única que distribuye y recibe dinero, dentro y fuera de la empresa.

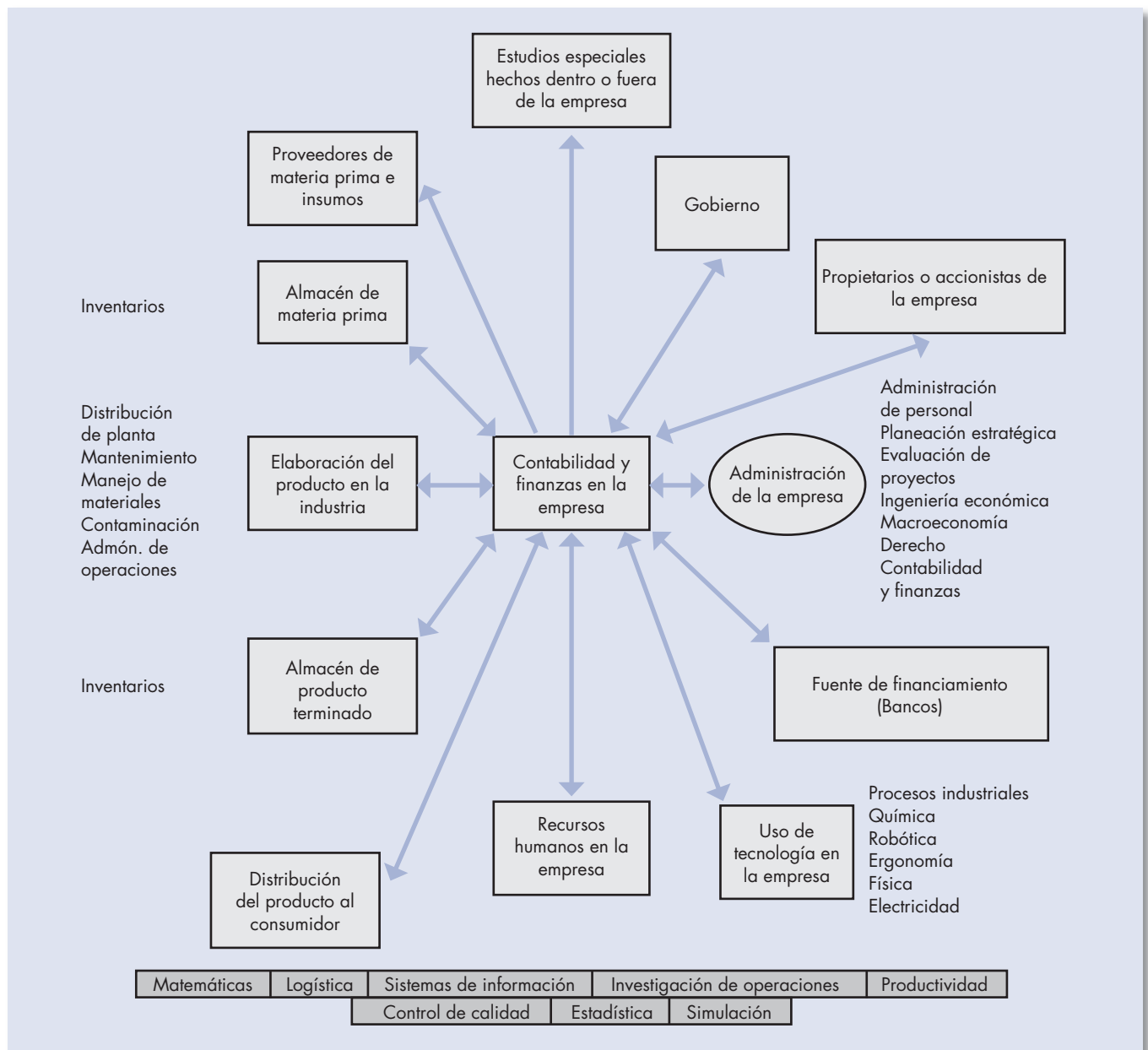


Figura 1.2 Principales flujos de dinero dentro de una empresa industrial.

La principal fuente de ingresos son las ventas de los productos o servicios que genera la compañía. Aquí aparece una flecha de doble sentido, pues de algunas ventas ya realizadas puede haber devoluciones, bonificaciones o descuentos por pronto pago. Por ejemplo, si hay devolución de producto por cualquier causa (como una cancelación de pedido de última hora), además de la devolución física del producto, contabilidad debe dar de baja el activo¹³ que ya tenía, lo cual significa que debe cancelar un ingreso que ya había considerado. En este caso, se maneja sólo información, pero hay un movimiento contable necesario. Respecto a las bonificaciones, significa que cuando el producto terminado ya está en el almacén, entonces contabilidad lo considera un ingreso potencial por determinada suma de dinero. Se puede presentar el caso de un comprador de ese producto que puede hacer una adquisición excepcional, por ejemplo, comprar todo el lote de producción, ante lo cual podría solicitar a la empresa que le haga un descuento de precio al producto, pues estaría generando un pequeño ahorro a la compañía, que en vez de vender y entregar el producto en pequeñas cantidades (como es lo normal), haría toda la venta en una sola operación. Si la empresa productora acepta rebajar el precio del producto, realiza una bonificación, que también da lugar a un movimiento contable, pues el ingreso calculado por la venta se verá disminuido. También se puede presentar el caso de descuentos por pronto pago, lo cual significa que cuando una empresa vende a crédito un producto, espera recibir cierto ingreso dentro uno, dos o varios meses. Si el comprador ofrece pagar el total de la deuda antes de la fecha de vencimiento, generalmente recibe un descuento de la cantidad total a pagar, ya que a la empresa vendedora le conviene más tener dinero en efectivo en ese momento, que una promesa de cobro en meses. Esta acción genera un movimiento contable similar a las acciones anteriores.

Del ingreso total que percibe una empresa por la venta de productos, paga principalmente a todos los proveedores de insumos para la producción, como materia prima, energía eléctrica, teléfono, Internet, etcétera. También cubre los gastos de servicios externos, como estudios de mercado y de otro tipo.

En los almacenes de materia prima y de producto terminado pueden suceder situaciones especiales. Las flechas hacia esas áreas no implican necesariamente flujos de dinero, sino movimientos contables. Cada vez que un

artículo entra o sale de un almacén, genera un movimiento contable, de manera que el área de contabilidad debe conocer, en cualquier momento, cuál es el valor monetario de los productos que hay en los almacenes. En éstos casi siempre existe la llamada obsolescencia del producto, es decir, que algunos de los artículos almacenados, ya sea materia prima o producto terminado, pueden perder su utilidad. La vida de almacén es fundamental para ello. Por ejemplo, si una empresa procesa y vende leche fresca, la vida de almacén de ese producto es de dos o tres días como máximo, de manera que si no se vendió el producto en ese lapso, ya no se puede vender y habrá que darlo de baja física y de manera contable. Lo mismo sucede con las medicinas, se deben destruir físicamente y dar de baja en el aspecto contable si no se vendieron antes de su fecha de caducidad.

La flecha que indica el flujo de dinero entre producción y contabilidad se puede deber a varias razones. La primera es que se cambie la tecnología de producción y se adquieran nuevos equipos. En este caso, por un lado la empresa tendría que pagar el estudio en el cual se basó para hacer un cambio de tecnología o adquirir más equipo para ampliar la capacidad de producción. Este hecho se señala con la flecha que une a contabilidad con uso de la tecnología en la empresa.

La segunda razón es que la tecnología empleada cause alguna contaminación, ya sea atmosférica, en el agua de desecho del proceso de producción o por materiales de desecho contaminante, como: cáscaras, en caso de procesar frutas, sobrantes del proceso de suajado en metales o en papel, etcétera. En estos casos, la empresa está obligada, por las leyes de control ambiental, a invertir en tecnología anticontaminante o a disponer adecuadamente de los desechos que se generan en el proceso productivo, lo cual tiene un costo.

La tercera razón para que contabilidad envíe dinero a producción es por el mantenimiento de los equipos productivos. El mantenimiento preventivo y correctivo es una disciplina que se ha puesto en práctica desde hace bastantes años, debido a las ventajas que representa para la empresa proporcionar un mantenimiento adecuado a cualquier activo fijo que posea.¹⁴

La última razón por la que contabilidad envía dinero al área de producción es para realizar pruebas de calidad. No se debe confundir la gestión o administración de la

¹³ En contabilidad se llama *activo* a cualquier derecho o propiedad que posea la empresa. Cuando se vende un producto a crédito, la empresa compradora genera una factura por el monto de la compra, llamada contablemente *cuenta por cobrar*, la cual se clasifica dentro del rubro o concepto de *activo circulante*.

¹⁴ Activo fijo son todos aquellos bienes que posee la empresa, los cuales son tangibles y sujetos a mantenimiento, como máquinas, inmuebles, computadoras, vehículos, etcétera.

calidad con las pruebas de calidad sobre los productos. Dichas pruebas pueden ser destructivas o no destructivas y suelen ser muy costosas. Algunas pruebas de calidad requieren equipos especializados, por lo que se vuelven impracticables, sobre todo en negocios pequeños. En esos casos, se debe pagar a algún servicio externo para que las practique. En caso de que la empresa realice sus propias pruebas de calidad, como sucede con los fabricantes de automóviles, fármacos y medicinas en general, deberá pagar un alto costo y muchas de éstas serán destructivas, lo que implica un costo atribuible a producción, y por tanto una transferencia de dinero hacia esta área.

Para la distribución y venta del producto, la empresa también debe aportar dinero. Si distribuye con vehículos propios, habrá que pagar su mantenimiento y gasolina. Si los vendedores trabajan por comisión, habrá que hacer este pago, el cual es variable; asimismo, en muchas ocasiones se pagan viáticos o gastos de publicidad y promociones para estimular el consumo del producto.

La siguiente entidad importante a la que se transfiere dinero es el gobierno por concepto del pago de impuestos. Sin embargo, no es esa la única área de gobierno hacia la cual las empresas deben transferir dinero. Ya se había comentado en la figura 1.1, que también se transfiere dinero para la seguridad social, el fondo de vivienda, el fondo de pensiones que el gobierno tiene para los trabajadores y la seguridad física en el trabajo.¹⁵

El gobierno, en cambio, nunca regresa dinero a las empresas. Cuando una empresa tiene una pérdida monetaria en su operación durante determinado periodo contable, de acuerdo con las leyes mexicanas, el gobierno no puede obligar a esa empresa a pagar impuestos. La acción que se toma es que la compañía pagará menos impuestos en los periodos contables futuros, hasta que recupere la totalidad de la pérdida declarada, pero el gobierno nunca regresa dinero en efectivo a las empresas.

Otras entidades de intercambio de flujos de dinero con la empresa son las fuentes de financiamiento. Por lo regular, éstas son bancos, nacionales o extranjeros, donde los flujos de dinero son evidentes. El banco otorga un préstamo a la compañía, la cual paga el préstamo a través del tiempo. Sin embargo, la banca, como tal, no es la única fuente de financiamiento. Las empresas también pueden obtener dinero por la emisión y venta de nuevas acciones, por la emisión de papel comercial, que es un instrumento

a corto plazo de financiamiento que emiten las empresas, o por la emisión de bonos empresariales.

Finalmente, está la relación de contabilidad con los accionistas o propietarios de la compañía. El pago común que se hace son las ganancias obtenidas durante el ejercicio operativo de la empresa. La junta de accionistas se reúne al menos una vez al año y puede encontrar dos resultados: se ganó o se perdió dinero en ese año. Si hubo ganancia, los propietarios decidirán qué hacer con el dinero. Una práctica común es dejar un porcentaje determinado de las ganancias para las necesidades de la empresa y el resto repartirlo entre los propietarios. Si la compañía necesita dinero para crecer, por ejemplo, para ampliar la capacidad instalada a través de la compra de equipo nuevo, o comprar otra empresa, pagar deudas pendientes, etc., los propietarios decidirán si estos gastos se hacen con las ganancias obtenidas o si se aporta más capital, incluso puede darse el caso de que se requiera mucho dinero y no sea suficiente con retener todas las ganancias del año, con lo cual los propietarios decidirán si ellos aportan el capital restante o buscan alguna fuente que financie o preste el dinero faltante. En cualquier caso, éstos son los flujos financieros que se generan entre la tesorería de la empresa y los propietarios o accionistas.

Ahora analicemos la figura 1.3, donde se muestran los flujos que tiene la materia prima dentro de una industria. El paso inicial es el envío de los proveedores de la materia prima a la empresa, pero éstos son proveedores de materias primas o de insumos, como energía eléctrica, agua, combustibles y servicio telefónico (incluido Internet), sin los cuales se podría hacer poco para transformar la materia prima.

El siguiente paso del flujo de la materia prima es su recepción en el almacén de la empresa, donde se somete a un severo control de calidad. Si esta área lo aprueba, pasa al área de producción para su transformación. Transformar alguna materia prima quizás no es tan complicado, pero hacerlo de manera eficiente se ha convertido en una ciencia. Las técnicas utilizadas actualmente, en el diseño y transformación óptima de la materia prima tienen una base científica. La medición de tiempos y movimientos, la programación de la producción, los métodos de pronóstico a corto plazo sobre los que se planea la producción, los estudios de explosión del producto,¹⁶ la optimización de la mano de obra, etc., son parte del uso de la tecnología que

¹⁵ En México, las industrias de la transformación están obligadas a pagar una cuota periódica a la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, de acuerdo con las condiciones de seguridad física que existan dentro de la empresa para los trabajadores, con base en ciertos estándares. Si las condiciones de riesgo son elevadas, la cuota que se paga es mayor.

¹⁶ Explosión del producto se refiere a una técnica que con el uso de diagramas, permite determinar con mucha precisión la cantidad y el tipo de materia prima que requiere la elaboración de un producto, por muy complicada que sea su estructura o composición.

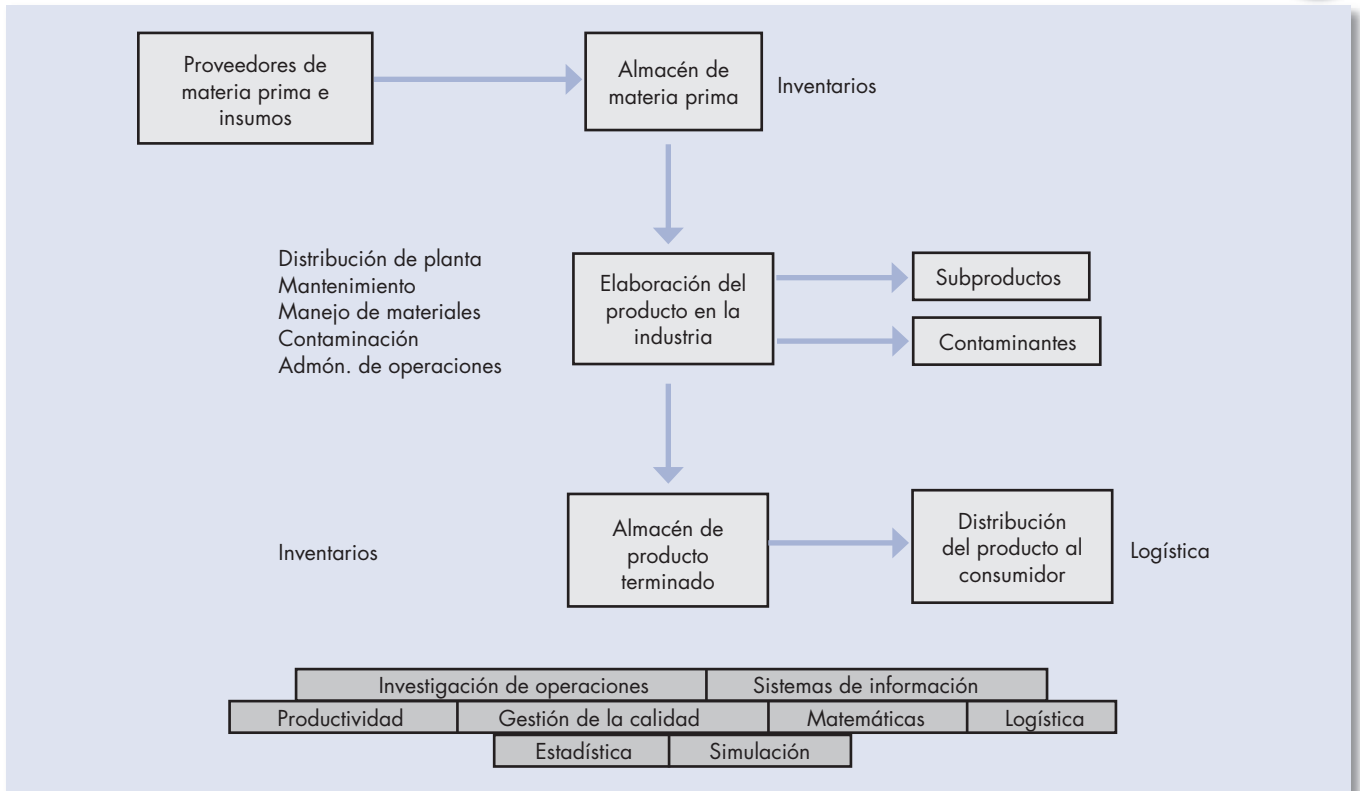


Figura 1.3 Principales flujos de materia prima e insumos dentro de una industria.

se utiliza en la transformación de la materia prima. Una cosa es la compra de la tecnología, por lo general en la forma de maquinaria, de fórmulas, de planos del producto, etc., y otra es el uso eficiente de esa tecnología. En esta distinción, que puede parecer sutil, radica la esencia de la ingeniería industrial. El ingeniero industrial no se prepara para crear tecnología, aunque ocasionalmente pueda hacerlo; lo que hace es diseñar lo que está alrededor del uso eficiente de esa tecnología.

Si los flujos de materia prima a través de la empresa se ven de manera simplista, se diría que la materia prima se transforma mediante la producción para agregar valor. Sin embargo, lo interesante es describir el papel que desempeña el ingeniero industrial en esta transformación.

En el área de producción, por lo general, ocurre otro fenómeno. A través de los procesos industriales se elaboran productos, pero también se generan subproductos y desechos contaminantes. Los *subproductos* son productos no deseados que tienen algún valor comercial; es decir, son desechos que se venden, ya que pueden servir como materias primas para otras industrias. Por ejemplo, al procesar limón fresco para obtener jugo de limón, el subproducto es la cáscara y las semillas, que lejos de ser un desecho éstos son productos con alto valor comercial. De la cáscara de limón se extrae la pectina, que tiene usos

farmacéuticos y se emplea como aditivo de alimentos. De las semillas se pueden extraer aceites llamados *limonoides* de alto valor comercial.

Los desechos contaminantes, por su parte, presentan una situación muy distinta. Por ejemplo, las armadoras de automóviles tienen un área dedicada al pintado de la carrocería. Esta área tiene, entre otros procesos, la preparación de la lámina para pulirla finamente y el pintado. Ambos procesos son muy contaminantes, el pulido de la lámina provoca que el agua con que se lavan las carrocerías, antes de pintarlas, se contamine con miles de pequeñísimos pedazos de metal que son arrastrados hacia el drenaje. Por su parte, el proceso de pintado contamina la atmósfera con solventes y pintura en forma de aerosol. Los productos de ambos ejemplos, es decir, la cáscara y la semilla de limón y el agua con partículas de metales y los solventes en la atmósfera, son productos no deseados. Los primeros tienen un elevado valor comercial, los segundos causan un costo adicional a la empresa, pues se deben instalar dispositivos anticontaminantes para su control.

La contaminación originada por los procesos industriales ha dado lugar a disciplinas que estudian los reglamentos, las leyes y las tecnologías disponibles para el control de la contaminación proveniente de las industrias. La aplicación eficiente de las tecnologías anticontaminantes y el

control de los procesos de producción tendentes a generar menos contaminación, también son del interés de los ingenieros industriales.

Posteriormente, las materias primas ya convertidas en producto terminado son enviadas al almacén para ser distribuidas a los consumidores. Esto que parece sencillo es otra rama de la ingeniería industrial llamada *logística*. La distribución de productos se ha convertido en toda una disciplina científica y tiene una mayor aplicación que sólo hacer eficiente el reparto de productos; en la actualidad, ésta se tiene que auxiliar de técnicas de simulación y de investigación de operaciones.

Con toda la información anterior se habrá dado cuenta el lector de la complejidad para representar una industria en funcionamiento. Formada de múltiples sistemas, aunque con tres flujos principales, tal y como se ha descrito, es imposible separar los sistemas y los flujos para explicar su funcionamiento. Para comprender cómo funciona una industria, es decir, para imaginar *cómo se ve viva*, hay que unir las tres figuras en una sola e imaginar también que la información fluye sin parar entre todas las áreas y que el dinero y las materias primas e insumos, aunque de manera más lenta, también fluyen de manera continua.

Por esta razón, es tan difícil entender a la empresa en el aspecto integral. En este apartado se estudió a la empresa sólo con un enfoque de los procesos que suceden en su interior aunque, por supuesto, hay muchos otros enfoques para analizarla, igualmente importantes e interesantes. Tal vez algunos estudiantes de ingeniería industrial piensan erróneamente que producción es la principal área de aplicación de sus estudios. En el pasado quizás lo fue, pero en la actualidad no es así. Debido a que algunas disciplinas que se cursan en esta licenciatura hacen mucho énfasis en esta área, podría parecer que la ingeniería industrial está principalmente enfocada al área de producción. Por ejemplo, en la carrera hay asignaturas como planeación y programación de la producción, distribución de planta, mantenimiento, estudio de tiempos y movimientos, técnicas de manejo de materiales, control estadístico de calidad, entre otros.

No obstante, si se tienen en cuenta las disciplinas que aparecen en la base de las tres figuras, que son materias obligatorias para los estudios de ingeniería industrial, se comprenderá que el ámbito de influencia de sus egresados va mucho más allá del área de producción.

Relación de la ingeniería industrial con otras disciplinas

La práctica de la ingeniería industrial se caracteriza por ser multi e interdisciplinaria. La *multidisciplina* implica el uso de muchas o múltiples disciplinas en una sola área de es-

tudio, en este caso, en la teoría y la práctica de la ingeniería industrial. En las bases de las figuras 1.1, 1.2 y 1.3, se muestran una serie de disciplinas como la investigación de operaciones, los sistemas de información, la medición de la productividad, la gestión de la calidad, la logística, las matemáticas, la estadística y la simulación.

Esto significa que para entender lo que sucede al manejar flujos de información, de dinero o de materiales dentro de la empresa, siempre se puede hacer uso de una o varias disciplinas. Por ejemplo, una parte de la teoría financiera que se maneja en la bolsa de valores de cualquier país está basada en modelos de álgebra lineal, los cuales también se pueden aplicar dentro de la empresa. Los Sistemas Integrales de Gestión o Planeación de Recursos Empresariales, conocidos como ERP (Enterprise Resourcing Planning, por sus siglas en inglés), tienen un uso muy extendido hoy en día para ayudar a la planeación, precisamente, de todos los recursos de la empresa. La productividad y la calidad pueden ser medidas en cualquier área de la compañía, o en la empresa completa. Sobre mencionar la enorme utilidad que tienen las matemáticas y la estadística en la planeación de la industria; por ejemplo, en las proyecciones de venta o en los pronósticos de la economía, los cuales a su vez son utilizados para la elaboración de presupuestos a corto y largo plazos de todos los recursos de la empresa. Por otro lado, al plantear un modelo matemático, por sencillo que éste sea, de cualquier actividad empresarial, es posible simular su comportamiento en diferentes escenarios: macroeconómicos, de recursos financieros, de recursos humanos, etcétera. Así pues, la multidisciplinaria es una necesidad, si se quiere abordar la solución de problemas empresariales de manera integral y científica.

Por otro lado, la *interdisciplina* es la interacción de diferentes disciplinas para la solución de un problema determinado. Por ejemplo, se puede enseñar matemáticas, probabilidad y estadística de manera teórica y aislada de todo problema empresarial. Cálculo diferencial e integral, álgebra lineal, etc., se pueden estudiar como se hace en una escuela de física y matemáticas; donde se deben enseñar y demostrar los axiomas básicos de las matemáticas. La interdisciplina surge cuando se aplica esa teoría a la solución de problemas empresariales en el caso de la ingeniería industrial.

En la aplicación de la teoría se requiere de un ente real donde se haga palpable el sentido de las matemáticas y la estadística, y ese ente es la empresa con todos sus problemas. Pero eso no es la interdisciplina completa, ésta va más allá. Supóngase que se está realizando una investigación de mercado para determinar la posibilidad de una introducción exitosa de un nuevo producto en el mercado. No existen estadísticas del producto, puesto que es

totalmente nuevo, por tanto, se decide hacer la investigación por medio de encuestas. La interdisciplina empieza con la realización de encuestas y la interpretación de los resultados, planteando preguntas como:

- ¿Cuántas encuestas hay que realizar?
- ¿A qué tipo de personas se entrevistará?
- ¿Qué preguntas se harán?
- ¿Es conveniente dar a probar el producto en determinada presentación?
- ¿Qué porcentaje de confiabilidad estadística se quiere tener?
- ¿Cuál es la magnitud del error estadístico que se quiere cometer?

Obsérvese que aunque las teorías matemática y estadística desempeñan un papel fundamental para contestar algunas preguntas; para responder otras, intervienen disciplinas como sociología, psicología, técnicas de investigación de mercado, mercadotecnia, pruebas panel, etcétera. También hay que observar que no basta tener una teoría y un problema por resolver, es necesaria la intervención de otras disciplinas para entender y solucionar el problema de manera adecuada.

La multidisciplina se puede utilizar en la solución de problemas de cualquier tipo, pero definitivamente se debe emplear en la solución de problemas sociales, que es el ámbito de acción de la ingeniería industrial. Los problemas que plantea una empresa son, con frecuencia, tan complejos que por lo general éstos son afectados por muy diversas variables, la mayoría de ellas de tipo social; por tanto, es importante considerar todos los factores para tener una visión y, en consecuencia, una propuesta de solución integral del problema. De otra forma, la solución de los problemas empresariales sería parcial e incompleta. En términos de ingeniería, sería una solución no óptima, que es lo que se observa con frecuencia en la práctica empresarial.

Entre las ciencias sociales que intervienen en la actividad industrial está la sociología y la psicología. Para realizar un estudio de mercado por medio de encuestas hay que estratificar la muestra, es decir, incluir las características de la población, las cuales son socioeconómicas. No consumen los mismos artículos los consumidores de clase económica baja, media o alta; tampoco consumen lo mismo las personas con cierta educación que aquellas que no la tienen, incluso los aspectos religiosos también pueden determinar el consumo de ciertos alimentos, como los alimentos tipo *kosher* preferidos por los que profesan cierta religión, de

manera que al decidir el tipo de personas al que se va a entrevistar se deben tomar en cuenta todos estos puntos, para que la muestra *tenga las mismas características de la población*.

Dentro de la empresa, la psicología se utiliza para la contratación de personal, promoción de puestos, solución de conflictos, análisis del clima y cultura organizacionales, etcétera. En la planeación estratégica de la empresa intervienen no sólo las matemáticas y la estadística, sino también un conocimiento de las condiciones políticas, sociales y económicas del país. La verdadera interdisciplina consiste en hacer análisis y resolver conflictos empresariales teniendo en cuenta todos los aspectos involucrados.

Tendencias de la ingeniería industrial

El *Instituto de Ingeniería Industrial* (IIE, por sus siglas en inglés), define a la ingeniería industrial como: "lo concerniente con el diseño, mejoramiento e instalación de los sistemas integrados de personas, materiales, información, equipo y energía, soportado por el conocimiento especializado y la habilidad en las matemáticas, la física y las ciencias sociales que, junto con los principios y métodos de análisis de la ingeniería y el diseño, especifican, predicen y evalúan los resultados que serán obtenidos de cada uno de los sistemas de la industria".¹⁷

Esta definición refleja la amplitud y complejidad de la ingeniería industrial. La brevísima historia que se ha presentado en este capítulo, pretende reflejar de dónde viene, cómo y por qué ha evolucionado la ingeniería industrial en la forma en que lo ha hecho. A su vez, su secuencia evolutiva da pie a poder elaborar, de forma arriesgada, el futuro que le espera a esta interesante disciplina.

Recuerde que hace más de cien años, la ingeniería industrial no existía como disciplina o área de estudio claramente definida. La ASME (American Society of Mechanical Engineering, por sus siglas en inglés) fue la primera asociación con reconocimiento mundial que se encargó de proponer soluciones industriales del tipo más variado. Tomó esa tarea sobre sus hombros, porque no había nadie más que lo hiciera, y los ingenieros mecánicos de aquel tiempo estaban en contacto directo con las máquinas en el área de producción.

A principios del siglo xx, en Estados Unidos de América se crearon los primeros estudios formales de ingeniería industrial, y en 1917 se fundó en ese mismo país la *Sociedad de Ingenieros Industriales*, primer grupo de este tipo de profesionales, cuyo objetivo era desarrollar esta área de

¹⁷ IIE. *Solutions Magazine*. No. 11, vol 28. Nov. 1996.

conocimiento ante el creciente número de empresas estadounidenses. Posteriormente, entre 1920 y 1950, vino el periodo de evolución de todas las teorías, muchas de las cuales aún vigentes sobre los procesos industriales.

La segunda mitad del siglo xx se caracterizó básicamente por el auge de las computadoras y de los sistemas de información, que ayudaron en gran medida al progreso de las industrias y, por tanto, de la ingeniería industrial. Otra aportación importante de esa época fue el control de la calidad de los productos, la cual se inició con un control estadístico sencillo que al finalizar ese siglo también se aplicó a la administración de la calidad con base en las normas ISO 9000.

Con el éxito de estas normas, se generaron las ISO 14000, enfocadas a la protección del ambiente, y otras series de normas, como la 18000, que aún están en proceso de elaboración. Los sistemas de información industrial que actuaban de manera separada dentro de la empresa, se convirtieron en los ERP, Sistemas Integrales de Gestión o Planeación de Recursos Empresariales, que han apoyado mucho a la planeación y el control de todas las áreas industriales.

Los científicos e investigadores del campo de la ingeniería industrial son quienes, desde un principio, han diseñado y siguen diseñando la industria. Como diseñadores, fijan las normas y los estándares con los que hay que comparar el funcionamiento de una empresa. Evidentemente, al comparar miden el desempeño, lo cual implica que también lo han perfeccionado.

Hay una medida del buen desempeño de una empresa que ha subsistido desde que se fundó la primera empresa; inicialmente esa medida se llamó ganancia y en la actualidad se conoce como rentabilidad económica. El estándar de comparación, los criterios y los métodos con los que se mide, están claramente definidos en la ingeniería económica. Tales criterios se crearon en Estados Unidos de América hace unos 160 años y aún siguen vigentes.

Sin embargo, la generación de riqueza por medio de la operación de las industrias está empezando a cambiar de manera lenta. Muchas empresas contaminan el ambiente y todas consumen recursos. La generación de riqueza también implica acumulación de capital. Estos dos últimos aspectos han dejado hasta ahora un mundo muy contaminado y vastas regiones del planeta sumidas en la miseria, o en el mejor de los casos en el subdesarrollo, con sólo siete u ocho países considerados desarrollados.

La ingeniería industrial ha contribuido a la optimización del manejo de todos los recursos de la empresa, y con ello al incremento de la generación de riqueza. Eso no está mal, diseñar métodos para optimizar el uso de recursos escasos es lo mejor que puede hacer la ingeniería industrial o cualquier otra área de la ingeniería. Generar productos que

resuelvan más problemas y satisfagan más necesidades sociales también es lo mejor que puede hacer cualquier área del conocimiento.

El ingeniero industrial actualmente es el diseñador de empresas. Ha pasado, en más de 100 años, de ser explotador de obreros o capataz, a controlador de procesos, administrador, planeador, diseñador de sistemas industriales e incluso de la empresa completa. El ingeniero industrial busca la perfección en los sistemas que ha diseñado, para que éstos funcionen a la perfección. Inicialmente, los diseñó por separado, tal vez su escaso conocimiento provocó que primero planeara un sistema de producción que agregara técnicas y más técnicas para entenderlo y hacerlo más eficiente. Luego, vio que también debía cuidar los inventarios y optimizarlos. Después, se enfocó en el mantenimiento, en la calidad estadística y la administración de la calidad, etcétera.

La idea más reciente que tiene el ingeniero industrial acerca de la industria es que se le puede conceptualizar como una *cadena de suministros*; no termina en los límites físicos de la misma, sino que empieza donde están los proveedores de todo tipo, básicamente de materia prima, y termina con un consumidor satisfecho, no sólo con un consumidor que compra el producto por única vez. Ahora, lo que el ingeniero industrial también persigue no son clientes satisfechos, más bien satisfechos y leales al producto, y esto se logra optimizando de manera justa la cadena de suministros; además del área de producción o la empresa misma, también hay que optimizar lo que se encuentra alrededor de ésta y que recibe influencia de ese ambiente.

Dentro de este contexto, habrá que decir que el ingeniero industrial ya se ha empezado a preocupar por el ambiente, pues cada día más empresas están adoptando las normas ISO 14000. En la actualidad, la mayoría de los estudios que se imparten en cualquier país a ingenieros industriales tiene una buena dosis de aspectos ambientales y del cuidado de los recursos como la energía y el agua.

La tendencia que tiene la ingeniería industrial es el perfeccionamiento de la cadena productiva y no sólo de la empresa. No se sostiene sólo de los logros; por el contrario, sabe que le falta mucho por diseñar, optimizar y perfeccionar. Si se analiza detenida y seriamente el perfil y las actividades que tenía el ingeniero industrial de hace cien años, comparándolo con lo que ha logrado y con su desempeño actual, se verá la clara tendencia a la mejora y la preocupación por resolver los problemas que están fuera de los límites físicos de la empresa, lo cual lo está logrando.

Además del mencionado IIE (Institute of Industrial Engineering), que es la asociación de profesionales en ingeniería industrial de más influencia en el mundo, en México también existen al menos tres entidades reconocidas

enfocadas al estudio y mejoramiento de todas las áreas de la ingeniería industrial, que son el Colegio Nacional de Ingenieros Industriales, la Asociación Mexicana de Ingenieros

Industriales y la Sociedad Mexicana de Ingenieros Industriales, A. C., que bajo diferentes perspectivas se interesan por estudiar esta interesante disciplina.

Palabras clave

Procesos, multidisciplina, interdisciplina.

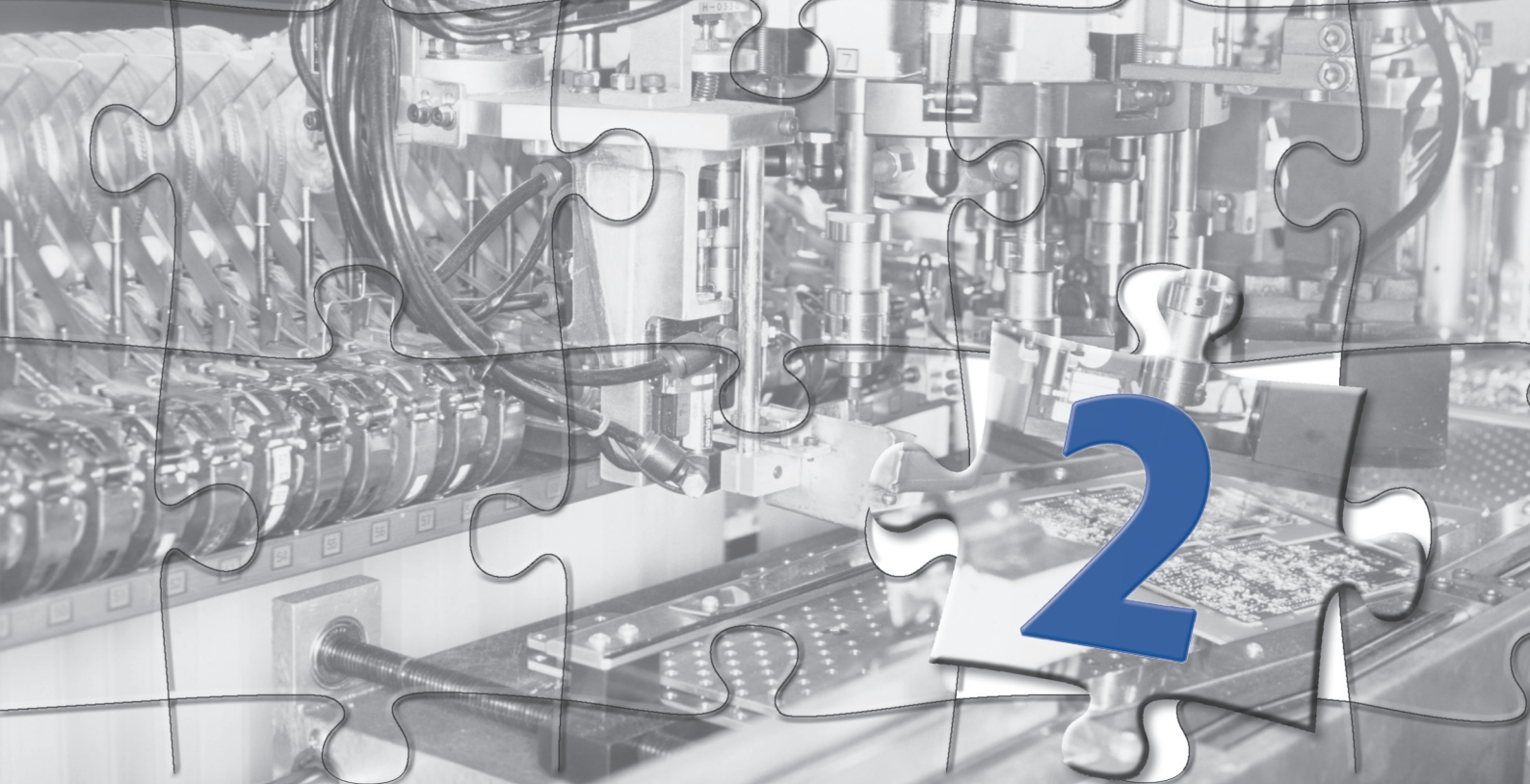
Para discusión

1. ¿Por qué se conoce a Frederick W. Taylor como el padre de la administración científica?
2. ¿Qué hechos marcaron el inicio de la Primera y Segunda Revolución Industrial?
3. ¿Cuál fue la principal aportación de Henry Fayol al campo de la ingeniería?
4. ¿Cuáles fueron las principales aportaciones de Henry Ford y Andrew Carnegie a la ingeniería industrial?
5. ¿Dónde y cómo nació la Escuela de Relaciones Humanas?
6. ¿Cuáles fueron las ideas de George Hegel sobre el todo y sus partes?
7. ¿Cuáles son los flujos principales que tiene cualquier empresa?
8. ¿Por qué es importante el enfoque de sistemas cuando se trata de entender el funcionamiento de cualquier empresa?
9. ¿Quién fue el iniciador de la Teoría de Sistemas y cuáles fueron sus principales ideas sobre los sistemas?
10. Mencione al menos tres materias que estudien los ingenieros industriales en la universidad, las cuales tengan una amplia aplicación casi en cualquier ámbito de la empresa. Cite ejemplos de tales aplicaciones.

Bibliografía

Barkley, Frank. *Taylor Frederick W.* Harper & Row Publisher. New York. 1923.
 Chalmers, Alan. *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Siglo XXI Editores. México. 2001.
 Elster, John. *El cambio tecnológico.* Gedisa. 2000.
 Espíndola, José Luis. *Creatividad: estrategias y técnicas.* Pearson. México. 2003.
 Evans, J. *The Flowering of the middle age.* 2nd edition. Thomas and Hudson. London. 1967.
 Forbe. *Historia de la técnica.* Porrúa. México, 1958.

Pacheco, Arturo. *Metodología crítica de la investigación.* Grupo Editorial Patria. México. 2005.
 Rodríguez, Mauro. *Creatividad en la empresa.* Pax. México. 1993.
 Singer, Marcus. *Introductory Readings in Philosophy.* CSS. New York. 1960.
 Van gigch, John. *Teoría General de Sistemas.* Trillas. México. 1987.
 Weston, Anthony. *Las claves de la argumentación.* 9^o edición. Ariel. 2003.



NATURALEZA DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES

Margarita Cruz Valderrama
Maestría en Educación Superior
UNAM

Las innovaciones tecnológicas tienden a transformar los sistemas de culturas tradicionales, produciéndose, con frecuencia, consecuencias sociales inesperadas, por ello la tecnología debe concebirse como un proceso creativo y destructivo a la vez.

MCV



- Presentar los conceptos básicos de los procesos y las operaciones unitarias más comúnmente utilizados en la industria.

La clasificación de los sectores productivos y las cadenas productivas

Cuando se realizan actividades económicas, se puede agregar valor a las materias primas, ya sea por la transformación de los materiales en un bien que tiene características diferentes de aquellas que tenía al inicio y de aquellas que tiene al final de la actividad o el proceso. Cuando se trata de un servicio, se obtiene valor cuando los usuarios de éste logran un fin, como obtener préstamos, utilizar transportes, tener educación, gozar de esparcimiento, etcétera. Si dichas actividades o procesos se clasifican, permitirán la planeación económica y social, tanto de corte sectorial como nacional, convirtiéndose en un soporte fundamental para que los empresarios

puedan efectuar análisis para apoyar la toma de decisiones de inversión y comercialización de sus productos.

Por esa razón, en los países existen instituciones que se encargan de crear sistemas de clasificación de actividades económicas, basadas en clasificaciones internacionales, con el fin de que exista homogeneidad en la información. En México, el organismo encargado de esta sistematización es el INEGI.¹ La figura 2.1 constituye un cuadro sinóptico que resume la estructura del aparato productivo en la que se inserta el ingeniero industrial, con el objeto de entenderla con mayor claridad.

La actividad económica es la suma de diferentes actos económicos, los cuales se definen como la combinación de recursos que permiten, bajo un procedimiento o conjunto de tareas, la generación de bienes o la prestación de servicios, para satisfacer las necesidades de las personas dentro del grupo o sociedad a la que pertenecen.

La economía de un país se fundamenta en un conjunto de actividades, las cuales se clasifican en:

- **Actividades primarias.** Su función principal es generar toda una serie de materias primas prove-

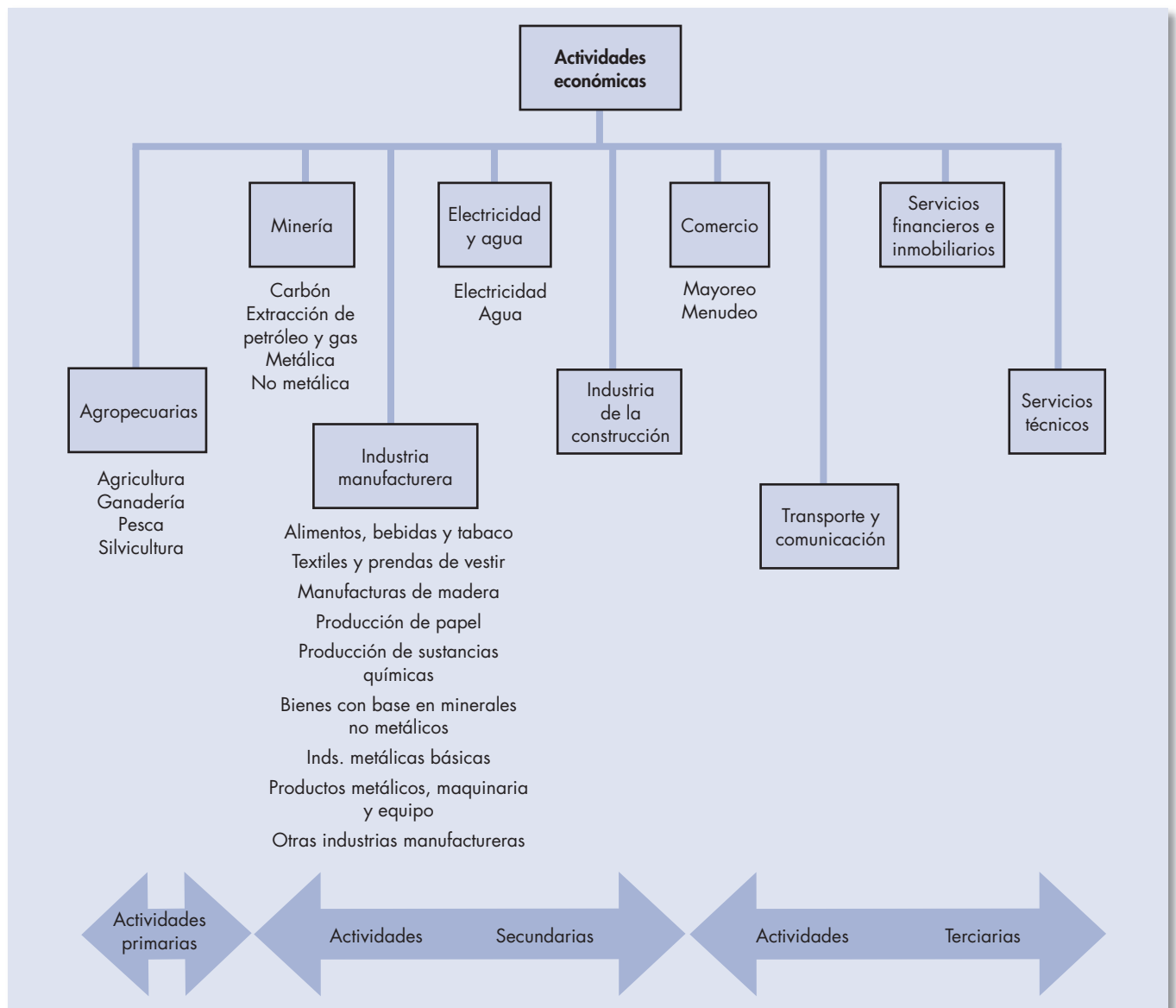


Figura 2.1 Clasificación de las actividades económicas.

¹ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

nientes de la agricultura, la ganadería, la pesca y la silvicultura, cuyo destino es el consumo directo o la industrialización.

- **Actividades secundarias.** Son las encargadas de transformar las materias primas, por medio de cambios químicos y/o físicos, para generar productos de valor comercial. Entre éstas se incluye la industria en general, el ramo de la construcción, electricidad y agua.
- **Actividades terciarias.** Su fin principal es prestar servicios, como el comercio, el turismo, la educación, la salud, el transporte, las comunicaciones, los bancos y la telefonía, entre otros.

Como se puede observar, existe una interrelación, directa o indirecta, entre todas las actividades; es decir, todas éstas constituyen un sistema. En la figura 2.1 también se describen, en un cuadro sinóptico, las actividades económicas y su clasificación.

En la actualidad, se viven grandes cambios que se hallan inmersos en un proceso continuo de innovación. Las empresas que asumen el cambio como la oportunidad para crecer, posicionarse y lograr un liderazgo en el mercado, dedican parte de sus fondos a realizar actividades de investigación y desarrollo.

Para la supervivencia y el éxito del sector secundario, la industria de la transformación está forzada a optimizar permanentemente sus métodos de producción. Por tanto, se hace necesaria la evaluación continua de las materias

primas utilizadas, de las necesidades energéticas y del rendimiento en cada etapa de la transformación, para reducir los costos de producción.

Dentro de estos grandes cambios generados como producto de la globalización, también se hace necesario un enfoque integrador donde se enlacen las actividades que intervienen en el proceso productivo de un bien, de modo que el logro de la competitividad no sea exclusivo de una sola empresa sino de todos los actores que intervienen en ese sector, con el fin de aumentar el valor agregado en la producción nacional de un país, generar mayores empleos y buscar que todos los participantes se beneficien. Así nace el concepto de cadenas productivas; con base en este enfoque, se destaca la interdependencia tecnológica existente entre las diferentes actividades productivas y comerciales que recorre un producto, desde su condición de materia prima, hasta su presentación como producto final en el mercado, ante el consumidor, como se muestra en la figura 2.2.

Estas interrelaciones de eslabonamientos productivos están determinadas por las tecnologías utilizadas en los eslabones que conforman las cadenas, los cuales están condicionados por las características del producto en el mercado, como calidad, tamaño, presentación, oportunidad de entrega, precio y variedad. Conocer y definir la estructura y el funcionamiento de las cadenas productivas, permiten la identificación de los principales problemas: ofrecer mejores precios, reducir costos, disminuir riesgos, facilitar el acceso a insumos, acceso a tecnología de punta y aprovechamiento de mano de obra.

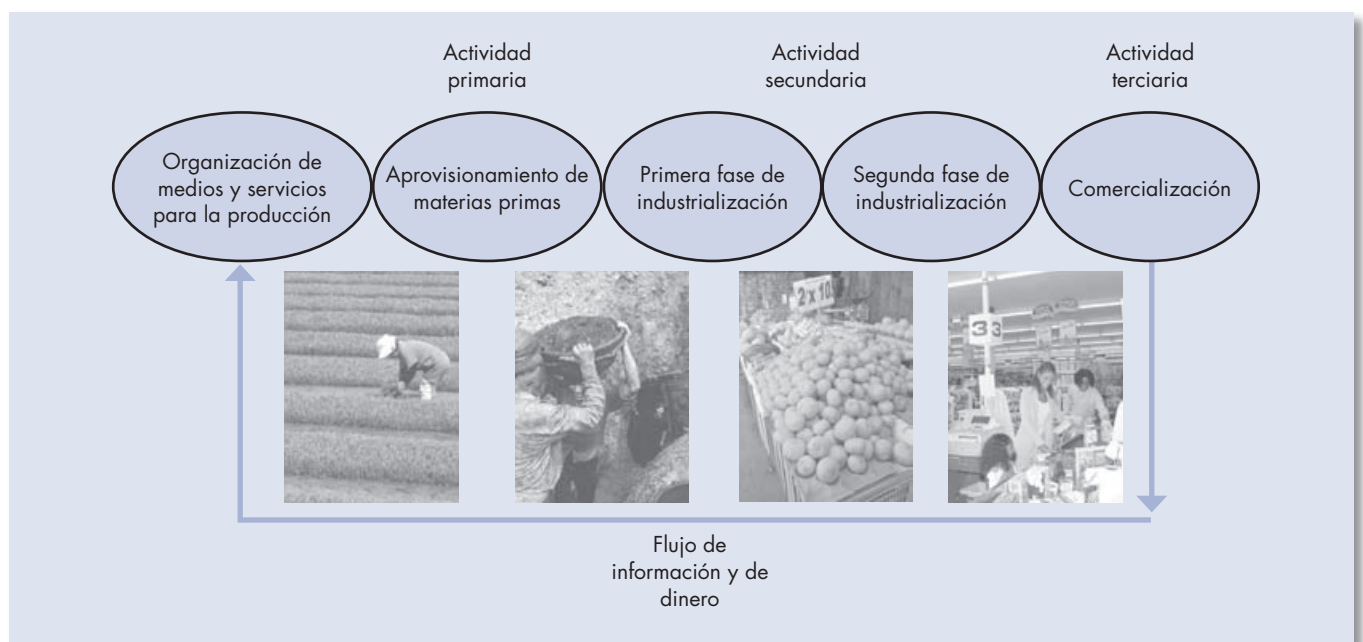


Figura 2.2 Estructura de la cadena productiva.

En este sentido, el ingeniero industrial participa integrando sistemas de producción que requieren de materias primas obtenidas en diferentes actividades económicas, muchas de ellas del sector primario o bien de la extracción de recursos minerales y petroleros, las cuales deberán ser transformadas a través de una serie de cambios físicos y químicos. Como ya se dijo, el sector secundario se conforma básicamente por la industria de la transformación, y una empresa de este tipo necesita, para su funcionamiento, una serie de áreas y conocimientos científicos y tecnológicos que le permitan mantenerse en el mercado y a la larga llegar a ser líderes en el ramo de producción.

Conocimientos que requiere un ingeniero industrial

La mayor parte de los objetos que rodean al ser humano y que utiliza para proporcionarse bienestar, son obras de la ingeniería. Es decir, se han creado sistemas y productos capaces de proporcionar bienes y servicios que satisfagan las necesidades humanas. Por ello, un ingeniero industrial requiere de muchos conocimientos y cualidades. El primer atributo es comportarse, invariablemente, como científico, en el sentido de aplicar conocimientos que estén basados en hechos comprobados de manera científica. Sólo con base en este postulado, es capaz de tener los elementos suficientes y necesarios para transformar la realidad.

En el capítulo 1 se mencionó que el hombre siempre se ha comportado como ingeniero, aun sin saberlo. Las grandes construcciones de la antigüedad, como las pirámides, los puentes, los palacios, etcétera, fueron construidos de forma empírica e intuitiva. Con el transcurrir de los siglos, el conocimiento se fue sistematizando y se fueron creando los primeros centros de enseñanza, donde el hombre aprendió a pensar en forma sistemática y a conservar y a transmitir los conocimientos que había generado.

En un principio, el conocimiento sólo explicaba los fenómenos naturales que se observaban a diario; la lluvia, la noche, el día, etc. Los sitios donde se enseñaba y transmitía el conocimiento, las primeras escuelas, constituyeron el fundamento de lo que hoy se conoce como ciencia, pues los hombres conocieron, de manera sistemática, cada vez más la naturaleza, y con ese conocimiento la empezaron a controlar. Dominaron el fuego, aprendieron a manipular los metales, aprendieron a sembrar y a predecir los fenómenos naturales, como las estaciones de lluvia y el frío, es decir, generaron el conocimiento básico.

Con el paso de los siglos, y con los conocimientos básicos adquiridos, inventaron herramientas que facilitaron,

tecnificaron y potenciaron las actividades que ya realizaban, como el arado de la tierra, la fundición de metales, el corte de la piedra que utilizaban en sus construcciones, entre otras, lo que generó las primeras tecnologías, entendiéndose este conocimiento como aquel que se utilizó en un principio para crear e innovar herramientas, y posteriormente para inventar dispositivos y máquinas. El desarrollo del conocimiento tecnológico fue, en realidad, la base para la transformación física del mundo.

En la época moderna, el conocimiento no ha cambiado, al contrario se ha sofisticado. Para generar conocimiento, el hombre creó una serie de disciplinas, dirigiendo su esfuerzo hacia áreas muy específicas, lo cual ayudó a mejorar la eficiencia de las organizaciones, mejorar los métodos de trabajo, ser más productivo con los recursos renovables y no renovables que utiliza en los procesos productivos, etcétera.

El conocimiento que el hombre ha creado recibe el nombre genérico de ciencia, y es tan vasto ese conocimiento que hubo necesidad de clasificarlo. De acuerdo con Mario Bunge,² la ciencia actual presenta la siguiente clasificación:

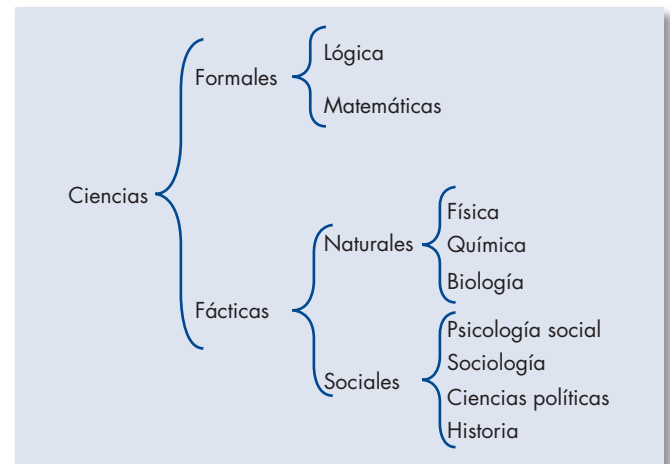


Figura 2.3 Clasificación de las ciencias.

Según la clasificación mostrada en la figura 2.3, el ingeniero industrial, en sus labores profesionales cotidianas, cualesquiera que éstas sean, utiliza tanto ciencias formales, como ciencias fácticas. A excepción de la historia, puede decirse que el ingeniero utiliza las demás disciplinas en la industria o en cualquier organización, dependiendo de la actividad que realice.

Por lo general, un ingeniero puede desempeñar cargos en alguno de los tres niveles normales existentes en las

² Mario Bunge. *La ciencia, su método y su filosofía*. Patria Cultural. México. 1996.

organizaciones: operativo, medio o táctico y directivo, e incluso desempeñarse como asesor o consultor independiente. Cualquiera que sea su cargo, necesitará del conocimiento y dominio de ciertas disciplinas.

Un ingeniero industrial recién egresado, por lo regular, suele trabajar en una industria en puestos inferiores debido a su falta de experiencia laboral. En el nivel operativo, el ingeniero industrial trabaja en las áreas de producción, desempeñando actividades como control estadístico de calidad o gestión de la calidad, es decir, en la implantación y el control del uso de las normas ISO 9000 en la empresa; en el mantenimiento de máquinas, la supervisión de las actividades de producción y, probablemente, también tendrá relación con la implantación de las normas ISO 14000.

Para llevar a cabo cualquiera de estas actividades, requiere conocimientos básicos de estadística, matemáticas, administración de la producción, control de calidad, logística, medición de la productividad, sistemas de información y, quizá también, de investigación de operaciones. En los capítulos 3 a 9 se exponen todas las actividades que se realizan en estas áreas. Incluso, también es necesario tener conocimientos de psicología industrial y sociología, ya que al tratar y tener a su cargo a trabajadores, es necesario la solución de conflictos o, al menos, entender a cada trabajador en sus necesidades y aspiraciones.

En el desempeño laboral de este nivel también es indispensable contar con conocimientos profundos de química, física, matemáticas y biología, ya que deben controlarse tanto personas como procesos, por lo que es necesario entender los procesos fisicoquímicos que se llevan a cabo dentro de las industrias o las organizaciones, ya sea para dirigirlos o para modificarlos en caso necesario.

En los mandos medios o nivel táctico, las principales actividades del ingeniero, son de planeación; aquí empieza a vislumbrarse su capacidad de estrategia. Los análisis de todo tipo, para tomar decisiones, se realizan en este nivel, por tanto, nuevamente son necesarios el conocimiento y el dominio de matemáticas, física, investigación de operaciones, evaluación de proyectos, ingeniería económica, sistemas de información, medición de la productividad, logística, simulación, robótica, contaminación, manejo de materiales, etcétera, y, desde luego, de psicología, pues se espera que la mayoría de los conflictos laborales se pueda resolver satisfactoriamente. Los capítulos 3 a 9 tratan específicamente las actividades que se realizan y por qué hay necesidad de dominar ciertos conocimientos.

Por último, está el nivel superior o directivo. Se entiende que cuando algún ingeniero industrial alcanza esa posi-

ción, ya ha pasado, en esa o en otras empresas, por todos los puestos inferiores y medios, de forma que, habiendo alcanzado este nivel, se espera que ya domine todos los conocimientos necesarios en los niveles precedentes. En su posición directiva, el ingeniero industrial necesita otras habilidades, básicamente: liderazgo, visión de planeación a largo plazo y visión estratégica. La necesidad de estos conocimientos se enfatiza en los capítulos 11 y 12.

Desde luego, el directivo no se encarga de la evaluación de los nuevos proyectos o de las nuevas inversiones o estrategias, para eso cuenta con un equipo multidisciplinario de profesionales en diferentes ramas. El directivo da la orden para que se efectúen ciertos estudios, pero él es el responsable de tener la visión para saber hacia dónde debe dirigir la empresa y cómo lo hará. Aunque en cualquier nivel se administra a la empresa, en realidad es en el nivel superior donde se aplica toda la teoría del proceso administrativo. El liderazgo y la creatividad son esenciales en este puesto.

Al directivo le interesan los informes de desempeño interno de la empresa y la información más reciente de la economía del país, e incluso de la mundial. Dicha información, aunada a su intuición, visión, experiencia y creatividad, es lo que forman a un directivo exitoso. El ingeniero industrial debe aprender y, finalmente, dominar todo el lenguaje que se utiliza en cada una de estas disciplinas.

Definición y clasificación de empresas y conceptos básicos

Empresa. Es un grupo organizado de personas que, a través de la administración del capital y del trabajo, produce bienes y/o servicios, que tienen como finalidad la satisfacción de las necesidades de una comunidad.³

Empresa industrial. Entidad económico-social en la que se realiza una serie de acciones orientadas a la transformación mecánica, física o química de recursos naturales o materias primas sintéticas, empleando diversas tecnologías, para producir artículos que satisfagan las necesidades humanas o industriales.

Las *empresas industriales* o *industrias* pueden ser de carácter público o privado. La empresa industrial es un escape para las energías y el potencial creativo de los individuos; es, al mismo tiempo, un medio de vida, una fuente de trabajo y una fuente de beneficios. La industria también tiene como propósito, generar productos en el menor tiempo posible, con el mínimo esfuerzo y al menor costo, es

³ El lector podrá encontrar en la literatura especializada un sinnúmero de definiciones de empresa. Aquí se ha considerado una propia que se adapta al contexto del capítulo.

por eso que la industria, en general, tiene un impacto político, social y cultural, pues incide en todas las actividades del ser humano. Las dos fuerzas motrices de la industria son: los beneficios y la competencia, ya que el dueño de la industria, motivado por la competencia o por los beneficios que obtiene, se ve obligado a generar productos de mejor calidad, en mayor cantidad, en un tiempo más breve y a un mejor precio que sus competidores.

Existen varios criterios para clasificar a las empresas. Debido al enfoque de esta obra, sólo se considera el giro de actividad; de acuerdo con ese criterio, las empresas se clasifican como se muestra en la figura 2.4.

Las empresas manufactureras elaboran una serie de productos que se clasifican en:

- **Bienes intermedios.** Son aquellos que ya han pasado por transformaciones, pero que son materia prima para otras empresas; por ejemplo, las empresas productoras de telas surten esta materia prima a la industria del vestido.
- **Bienes de capital.** Están constituidos por maquinaria y equipo, son de vital importancia para el sector secundario, pues un país que no genera estos bienes mantiene una dependencia tecnológica.
- **Bienes de uso final.** Son productos para el consumo inmediato, de acuerdo con su tiempo de vida, se distinguen dos tipos: perecederos, por ejemplo, leche pasteurizada, y productos no perecederos como un televisor.

El ingeniero industrial debe conocer ampliamente su campo de acción, pues es necesario que adquiera conocimientos científicos y tecnológicos que lo capaciten para el mejor desempeño de su función, ya que de acuerdo con su preparación, puede ocupar cualquier nivel jerárquico en

una empresa, incluyendo el ser propietario de la misma. Por tanto, debe tener una visión general de su campo de acción al egresar de la universidad.

El proceso para ofrecer un producto en óptimas condiciones de calidad, cualquiera que éste sea, en el momento y lugar indicados, requiere de un complejo y completo nivel de planeación y organización de distintas áreas dentro de una empresa. Así comprende desde la realización de un pronóstico de ventas, seguido de la compra de materias primas, confirmación de la producción, fabricación del producto, hasta su entrega en el punto de venta, para colocarlo a la disposición de los consumidores finales. Las etapas se conforman y se complementan a través de flujos y análisis de información, control de variables de operación, calidad, generación de órdenes y reportes de distinta naturaleza como: ventas, compras, producción, liberación de productos, análisis de control de calidad, investigación de nuevas necesidades de productos, etcétera.

La sociedad actual demanda continuamente bienes para satisfacer sus necesidades, lo cual constituye la esencia misma de los procesos industriales y de los procesos económicos. Uno de los medios para obtener los bienes es la transformación de los materiales, utilizando diversos sistemas de fabricación en las plantas productoras; por consiguiente, la industria debe estar dirigida por una administración que conozca la organización y sus recursos para lograr un mejor manejo de ésta.

Áreas generales con las que cuenta una empresa industrial

Toda industria y/o empresa está dividida en diversas áreas funcionales. Para que el nuevo estudiante de ingeniería industrial se vaya familiarizando con estas áreas y su funcionamiento, a continuación se presenta una descripción



Figura 2.4 Clasificación de las empresas.

breve de las características y las actividades de cada una de éstas.

- *Laboratorio de investigación y desarrollo.* Éste tiene como función principal la generación de conocimiento y la investigación de nuevas ideas científicas y tecnológicas, con el fin de aplicarlas, de forma inmediata, usando procesos físicos, químicos y físico-químicos, para desarrollar la nueva tecnología que se utilizará en la industria. La innovación se concibe como una estrategia o decisión empresarial relacionada con la creación de nuevos productos y procesos, con la adquisición y adaptación de nueva tecnología y con los cambios en las prácticas gerenciales o el comportamiento de la empresa, lo que le permite incrementar su productividad y competitividad, con el objetivo de mantener o mejorar su posición en el mercado. Para ello, es necesario que existan modelos iterativos de creación y de aplicación del conocimiento e impulsar las relaciones de cooperación entre las empresas, las universidades y otras entidades que desempeñan un papel preponderante en este proceso.
- *Contabilidad.* Es el área encargada de controlar el dinero de la empresa, desde compras y costo de producción, hasta ingresos por ventas. También controla las erogaciones por el pago de los préstamos que la empresa pudo haber adquirido, las inversiones que se han hecho, el pago de impuestos, los cargos de la depreciación de todos los activos fijos, etcétera.
- *Administración.* Área constituida por diferentes niveles del organigrama de la empresa para dirigir, controlar, ejecutar, planear, modificar y ampliar las políticas de la empresa, no sólo las productivas, sino también las políticas de crédito, las de prestaciones sociales a los trabajadores y el plan de pensiones, entre otras.
- *Recursos humanos.* Es el área que tiene a su cargo el reclutamiento de todo el personal que trabaja en la empresa. También es la responsable, entre otras actividades, de planear la capacitación del personal.
- *Ingeniería industrial.* Área encargada de la elaboración de los productos, en todos los sentidos, de la empresa o la organización. Se enfoca principalmente en la optimización del empleo de todos los insumos del proceso productivo, como materias primas, mano de obra, energía eléctrica, entre otros. También se encarga de controlar los alma-

cenes, tanto de materia prima y de producto en proceso, como de producto terminado.

- *Gestión y control de calidad.* Es una de las áreas más importantes de la empresa, ya que, como su nombre lo indica, gestiona y administra la calidad de todas las materias primas, productos semielaborados y los productos fabricados, basándose en normas emitidas por consenso de los empresarios e instituciones gubernamentales. Hoy en día, la calidad es la puerta de entrada a todos los mercados, incluyendo al internacional; por esa razón, además gestiona la calidad aplicando las normas ISO 9000 en todas las actividades de la industria.
- *Laboratorio de control de calidad.* Se pide no confundir esta área con la anterior, ya que el laboratorio de control de calidad forma parte del área de gestión y control de calidad. Éste tiene como finalidad controlar, de forma estadística y analítica, la aceptación o el rechazo de las materias primas que ingresan a la fábrica productiva y controlar la calidad del producto elaborado, verificando que cumpla con todas las especificaciones asentadas en las normas de calidad, previamente establecidas, para el producto final, o bien rechazarlo si no las cumple.
- *Mantenimiento.* Es el área encargada de conservar los equipos que intervienen en el proceso de producción en óptimas condiciones de trabajo, para que la producción no se detenga por fallas del equipo.
- *Ventas.* Área que tiene a su cargo no sólo la distribución de los productos a los intermediarios, sino que también es la encargada de la publicidad y la mercadotecnia.
- *Control de la contaminación.* Esta área sólo existe cuando los procesos industriales generan contaminantes de cualquier tipo. Es la encargada de transportar y, en su caso, tratar con alguna tecnología los desechos contaminantes, así como de gestionar una producción limpia, por medio de la implantación de las normas ISO 14000.

A continuación se presentan algunos conceptos que se consideran importantes, sobre todo para el nuevo aspirante a ingeniería industrial:

- *Planta productiva.* Área de la empresa en la que los equipos, la tecnología y la mano de obra transforman las materias primas en productos terminados por medio de una serie de trabajos físicos y/o químicos.

- **Proceso físico.** Serie de operaciones mecánicas sobre las materias primas, que pueden cambiar su estado físico, pero no alterar sus propiedades físicas ni químicas. Ejemplo: destilación, fusión, cristalización, filtración, fresado, barrenado, pulido, etc. Algunos ejemplos de operaciones unitarias son la fabricación de hielo, la obtención de sal común (cloruro de sodio) del agua de mar por evaporación.
- **Proceso químico.** Serie de trabajos que se aplican a las materias primas, con el fin de cambiar las propiedades físicas y químicas de la sustancia; en este caso, es necesario que exista una reacción química, por ejemplo, hidrólisis, reacciones de saponificación, procesos de fermentación, etc. Este tipo de transformación se conoce como proceso unitario; un ejemplo de ésta es la obtención de la cal apagada a partir de la calcinación de la piedra caliza.
- **Proceso físico-químico.** Operación combinada de manipulaciones físicas y reacciones químicas, por ejemplo, la electrólisis de una barra fundida. En este proceso hay un cambio de estado y de propiedades químicas.
- **Tecnología.** Conjunto de conocimientos organizados y sistematizados, técnicas, métodos y herramientas propias o adquiridas de manera externa por una industria, que al aplicarlo en sus procesos productivos la capacita para lograr sus fines de producción.
- **Técnica operacional.** La constituyen las operaciones efectuadas en un orden lógico para la obtención del producto.
- **Producto final.** En el contexto de una industria de transformación, es el resultado final de los procesos y las actividades de transformación de la materia prima.
- **Subproducto.** Es, también, el resultado de un proceso de transformación de la materia prima; aunque puede tener cierto valor económico, no es el objetivo principal de las actividades de transformación de la industria. En algunos casos, puede servir como materia prima para otros procesos productivos dentro o fuera de la propia empresa.
- **Materia prima.** Son los insumos físicos de cualquier tipo que pueden ser transformados en un producto final mediante la aplicación de ciertas actividades que le agregan valor. Existen distintos tipos de materia prima:
 - **Inorgánica.** Es todo aquello que corresponde a la química inorgánica, como los minerales.
 - **Orgánica.** Material que proviene o contiene carbono, como el petróleo y sus derivados.
 - **Vegetal.** Todo material proveniente de las plantas.
 - **Animal.** Material que proviene de cualquier tipo de animales como huesos, pezuñas, orina, carne, grasa, etcétera.
- **Producto y subproducto recuperado.** Se denomina así al material que, en un principio, ha sido rechazado por su deficiente calidad y que, después de haber sido procesado, ha elevado su calidad y al final ha sido aceptado por el laboratorio de control de calidad como un producto apto para su venta y consumo.
- **Desechos contaminantes.** Son sustancias que se obtienen como resultado del proceso productivo, pero que no pueden ser aprovechados ni reutilizados en una segunda fase de industrialización y que al ser desechados se convierten en un factor de contaminación para el ambiente.
- **Suministros o servicios.** Son los recursos necesarios para realizar el proceso de transformación; por ejemplo, agua, energía, combustible, aire.
- **Equipo productivo.** Es el conjunto de maquinaria e instalaciones necesarias para realizar el proceso de transformación. Una vez establecido el proceso de producción, el siguiente paso es elegir el equipo de producción, el cual eventualmente será necesario sustituir debido a su obsolescencia, falta de capacidad, producción excesiva de piezas defectuosas, baja eficiencia respecto a otros equipos similares u otros factores.

Los procesos industriales

En general, un proceso se define como la aplicación de una serie de etapas lógicas y ordenadas que persigue un objetivo común. Si a este término se le agrega la palabra industrial, entonces se refiere a cualquier conjunto de actividades o serie de trabajos físicos y/o químicos que provoca un cambio físico o químico en la materia prima, con la finalidad de generar productos de valor comercial.

La transformación de las materias primas se realiza por medio de una serie de etapas lógicas y ordenadas para obtener un producto de valor comercial. Al conjunto de dichos cambios que experimenta el producto final se le conoce como *proceso industrial*; como se explicó antes, todo proceso industrial se caracteriza por el uso de insumos y suministros que, sometidos a una transformación,

generan productos, subproductos y residuos, como agua residual, emisión de gases o material peligroso. En la figura 2.5 se observa una representación general de un proceso industrial en forma de diagrama.

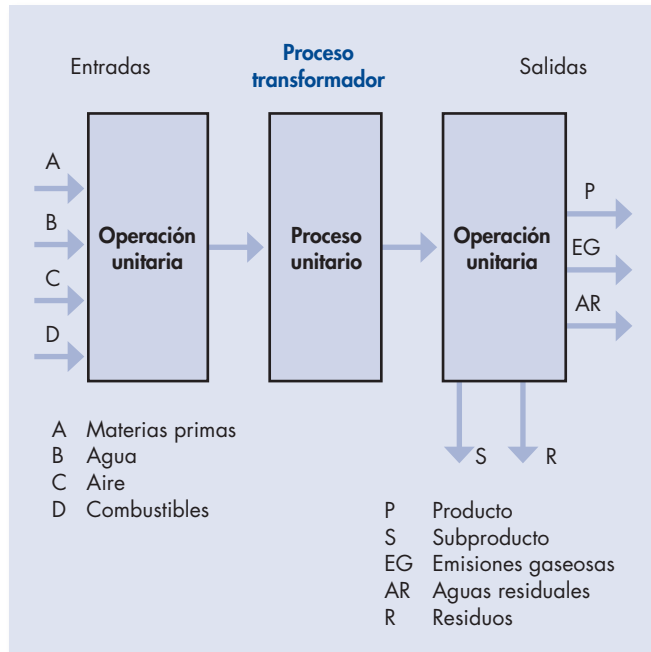


Figura 2.5 Representación general de un proceso industrial.

Para ser capaces de entender lo que ocurre en un proceso de transformación, se requiere tener conocimientos de todas las ciencias puras: matemáticas, química y física, entre otras, y de muchas ciencias aplicadas: tecnología de materiales, fundición, soldadura de metales y electrolisis, entre otras, que formarán nuevos productos que satisfagan algunas necesidades humanas y ayuden a resolver los problemas más comunes en una sociedad, como la salud, el combate a la contaminación, la alimentación, la producción de energía, etcétera. Cuando se emplean los términos satisfacer necesidades y resolver problemas de la sociedad, en realidad se habla de la generación de nuevas tecnologías.

Como se sabe, en los países latinoamericanos somos dependientes tecnológicamente de las naciones desarrolladas. Esta dependencia tecnológica provoca un déficit económico permanente en el comercio exterior de los países dependientes, hecho que limita el crecimiento económico. Es claro que la única salida a esa dependencia es crear tecnología propia, lo cual se ha hecho a un ritmo muy lento, respecto de los adelantos que tienen los países desarrollados.

Una premisa básica para crear tecnología, es conocer y dominar a la perfección los conocimientos indispensables

para ese desarrollo, como las matemáticas en todas sus ramas, álgebra lineal y cálculo; la física, en todas sus ramas y derivaciones, como la mecánica, y la química, tanto orgánica como inorgánica. La segunda premisa es el conocimiento de todos los procesos industriales. Todo proceso industrial, por sencillo que sea, agrega valor a la materia prima sobre la cual se aplica ese proceso; un simple cribado o un triturado de material, son suficientes para que el material adquiera más valor.

Los ingenieros industriales son, en buena medida, los responsables principales de que un país pueda salir de la dependencia tecnológica. Al estar en contacto cotidiano y dominar los procesos industriales, aunado al hecho de que tienen conocimientos teóricos y prácticos de todos los procesos, es posible que logren no sólo modificar algunos procesos para mejorarlos, sino también que logren generar nuevos, a través de la creación de nueva tecnología. La generación de tecnología y la forma en la cual se introduce en la industria se presentan en la figura 2.6 (véase página siguiente).

En este apartado se hace una revisión pormenorizada, aunque no exhaustiva, de los principales procesos industriales. Su conocimiento y dominio son esenciales para proponer modificaciones en cualquier sentido, siempre con el objetivo de mejorar su eficiencia.

Aunque haya procesos que parezcan puramente físicos, como el fresado o el barrenado de metales, en realidad éstos tienen una base química, ya que la eficiencia de estos procesos tiene como punto de partida la dureza de ambos metales, aquel con el que se realiza el proceso, el esmeril o el barreno y el material que sufre el proceso. Para que el proceso sea más eficiente, se necesita, en primera instancia, que tanto el esmeril como el barreno tengan una dureza superior al metal sobre el cual van a actuar, lo cual sólo se logra a través del estudio de las propiedades químicas de la dureza de los metales; con base en este conocimiento, se fabrican los esmeriles y los barrenos o brocas.

Las operaciones en la industria metal-mecánica

En este apartado se presentan los aspectos generales de los procesos que se llevan a cabo en la industria metal-mecánica. Hay que enfatizar que, aunque un ingeniero industrial está estrechamente relacionado con los procesos de manufactura de esta industria, puede desempeñarse apropiadamente en cualquier otro tipo de industria, como la de los plásticos, la química o la de los alimentos.

Un metal adquiere su forma por un proceso llamado vaciado. En éste, el metal se funde y se vacía en un molde con la forma deseada, generalmente lingotes de sección

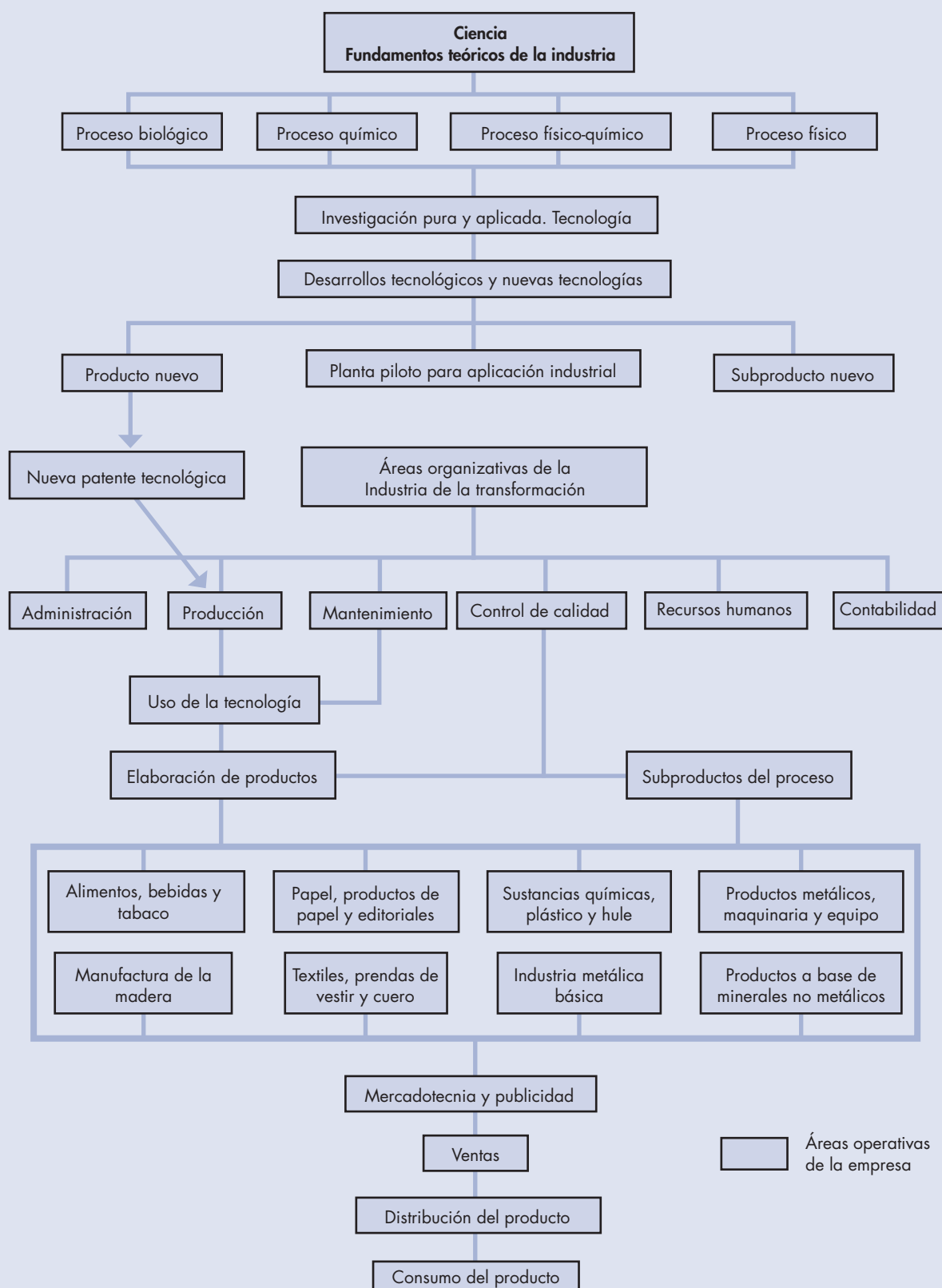


Figura 2.6 Generación y uso de la tecnología en la industria.

cuadrada, redonda o rectangular. Al enfriarse, el metal se contrae. La reducción en tamaño (índice de contracción) puede variar entre 1/8 de pulgada, para hierro fundido, y hasta 5/32 de pulgada, para el magnesio. De acuerdo con el método de vaciado es la calidad del metal, pues éste puede contener burbujas de aire en su interior o presentar fisuras o partes de diferente densidad en su interior una vez solidificado. Existen varios métodos de vaciado, como el vaciado en arena, vaciado evaporativo, en moldes de casco, que proporcionan un acabado más fino al metal, vaciado en moldes permanentes, la colada centrífuga, el vaciado a la cera perdida y el método de inyección.

Una vez que el metal ha adquirido forma, por cualquiera de los métodos de vaciado, se somete a un procesamiento. Si se desea obtener láminas de acero como producto final, se deberán producir lingotes o barras de acero en el vaciado, y posteriormente someter los lingotes a un proceso de laminación, que consiste en hacer pasar el lingote caliente por una serie de rodillos que ejercen presión sobre éste y le van dando forma laminar hasta el espesor deseado. Al término del proceso de laminación se puede obtener acero estructural, perfiles, viguetas, ángulos o cualquier otra forma. Si se han fabricado al acero de bajo carbono simple, se podrán taladrar o soldar sin que el acero se agriete o se haga más frágil.

Otra forma de obtener láminas de acero es mediante el método de colada continua, mediante el cual el metal fundido se hace pasar a través de un molde de cobre enfriado por agua del que sale, de manera continua, en la forma deseada, ya sea como lingotes o como planchas de acero. Hay un soplete viajero a la salida del metal solidificado, para cortar los tramos de acero a la medida deseada.

Sin embargo, al producir partes metálicas directamente de los lingotes, con frecuencia se suscitan fracturas en el acero, al sobrepasar ciertas cargas de trabajo o de impacto, por lo que es necesario que el acero sea sometido al proceso de forja o laminación, también llamado recristalización, el cual le otorgará la resistencia necesaria. La forja, que consiste en calentar y golpear repetidamente al metal, hace que los cristales de carbono que lo constituyen, se hagan cada vez más pequeños, con lo cual el metal adquiere ductilidad y más resistencia a las fracturas. Esta característica es muy importante en los procesos de soldadura y torsión de metales, sin olvidar que las características de los metales mejoran con las aleaciones.⁴ La forja de acero

es un método muy estudiado, por lo que se han diseñado máquinas que efectúan la forja de manera mecánica, así se ha desarrollado la forja de matriz por impacto, el prensado, la forja por estampación y el recalado.

Los metales no sólo se procesan en caliente, también se han inventado procesos para trabajarlos en frío. Una vez que se ha laminado el acero en caliente, se le aplica un decapado químico, que consiste en sumergir a la barra o lámina de acero en un baño de ácido clorhídrico o sulfúrico para eliminar el óxido de la superficie del metal; después, se pasa por una serie de rodillos a alta presión y velocidad, con lo cual la estructura química del acero se modifica en forma definitiva. El trabajo en frío de los metales se hace a base de la aplicación de altas presiones. Al deformar el metal con presión, se evita el calentamiento del metal, provocando un ahorro de energía, es decir, los costos son menores.

Con la estructura química del acero de manera definitiva, el metal se corta para obtener cualquier forma deseada. El corte se puede hacer por la aplicación de una presión de varias formas; si se quiere obtener placas pequeñas de metal a partir de una placa grande, a la operación se le llama *cizallado*; si a partir de una placa grande se quieren obtener piezas redondas u ovaladas de tamaño pequeño, se utiliza el *punzonado*, y si se desea obtener piezas pequeñas, pero de forma irregular, se pueden utilizar *dados* o *troqueles*, que harán un corte por presión en la lámina de acero. Es evidente que la cizalla, el punzón o el troquel deberán tener una dureza muy superior al acero que cortarán. La dureza de los instrumentos de corte a presión se mide en *grados Rockwell*.⁵

Por ejemplo, si se desea obtener tuercas hexagonales con un diámetro de 2 pulgadas y un espesor de 1/2 pulgada, se corta un cilindro de 1/2 pulgada de espesor y 2 pulgadas de diámetro. La forma hexagonal se logra con punzones; en un primer golpe, el punzón crea una ligera forma hexagonal en el cilindro, operación conocida como recalcar; un segundo golpe desplaza el metal hacia las esquinas del hexágono y un tercer golpe termina las caras y señala el agujero para la perforación central de la tuerca. El golpe final termina la pieza conformando el agujero. Dependiendo del uso de la tuerca, será el tipo de acero y la presión que deba ejercer el punzón para obtener la pieza. Por lo regular, se logran piezas de alta precisión con este método (véase figura 2.7).

⁴ Aleación es el proceso de adición y mezcla de otros metales al acero para mejorar alguna de sus características. Las principales aleaciones de acero son carbono, cromo, manganeso, tungsteno y molibdeno.

⁵ La dureza Rockwell utiliza un penetrador y pesos conocidos y hay varias escalas que cubren desde metales suaves hasta los más duros. Se expresa como el contenido de carbono en el acero; por ejemplo, una dureza Rockwell C60-C62 indica que el acero tiene determinada cantidad de carbono que le confiere cierto grado de dureza.

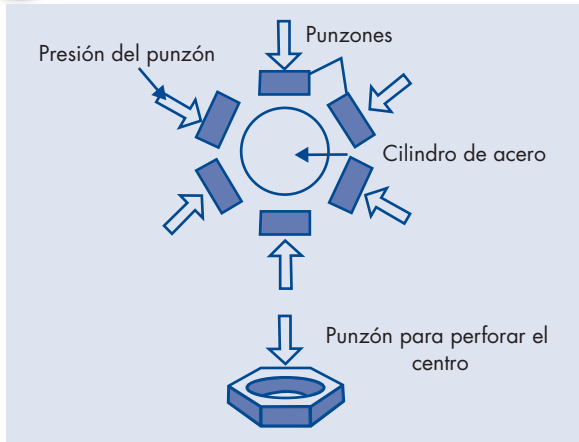


Figura 2.7 Esquema de la fabricación de una tuerca.

Para obtener tubos de acero, se utilizan dos métodos, uno es rolar placas de acero y el otro es por medio de presión, en el cual una placa de acero se va deformando en pasos sucesivos hasta alcanzar la forma cilíndrica. La roladora es un dispositivo que consiste en dos rodillos, donde al pasar la placa de acero adquiere la forma cilíndrica. Cuando el tubo ya está casi formado, los bordes de la placa se sueldan con arco eléctrico. El formado de tubos por presión se muestra de manera esquemática en la figura 2.8.

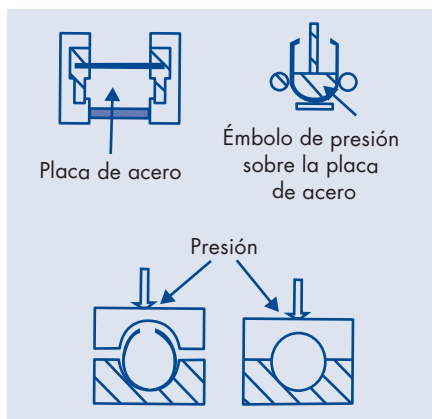


Figura 2.8 Formación de tubos de acero por el método de presión.

Una vez que se tiene el metal en placa o en tubo de cualquier tipo de sección, ya sea cuadrada, rectangular o circular, se pueden aplicar los procesos de maquinado, ya sea para dar al metal un mejor acabado o bien para adaptarlo a ciertos usos. Para maquinar un metal se utiliza una gran variedad de materiales, algunos deberán ser de alta dureza, en tanto que otros deberán resistir más a la abrasión. Los materiales de que están hechas las herramientas de corte van desde carburo de tungsteno, algunos con agregados con carburo de titanio, hasta el carburo de silíce.

Las principales operaciones de maquinado de metales son:

- **Taladrado.** La pieza sobre la que se taladra se mantiene fija, mientras que la broca gira y ejerce presión, como se muestra en la figura 2.9.

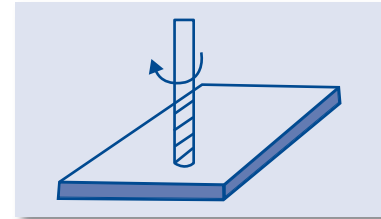


Figura 2.9 Operación de taladro.

- **Esmerilado horizontal.** Con una esmeriladora de superficie, que puede moverse en cualquier dirección si es manual, o hacia adelante y hacia atrás si es de banco, el metal que se desea esmerilar se coloca fijo sobre una mesa (véase figura 2.10).

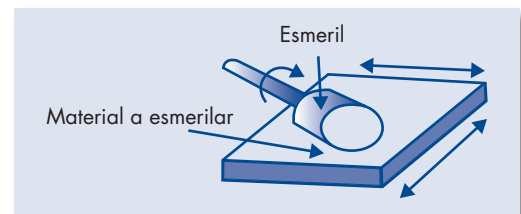


Figura 2.10 Operación de esmerilado.

- **Corte vertical con sierra.** Como se observa en la figura 2.11, la banda sinfín se mueve de arriba abajo, haciendo un trabajo similar a aserrar madera; con ésta se pueden hacer cortes rectos, o incluso cortes curvos, dependiendo de la forma en que se guíe la placa metálica. Desde luego, la sierra sinfín puede cortar todo tipo de metales, ya sea láminas o barras de sección cuadrada, ovalada o rectangular. La sierra permanece fija.

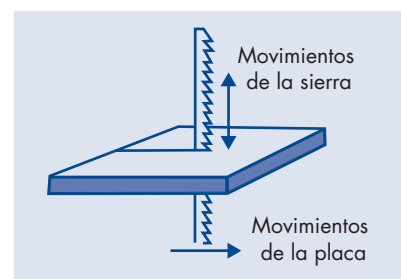


Figura 2.11 Corte de metal con la sierra sinfín.

- **Fresado.** La fresadora es una herramienta de abrasión para desbastar superficies de metales. La pieza metálica se coloca en la fresadora, la cual puede moverse en tres dimensiones (véase figura 2.12). También se puede realizar un fresado de orificios, llamado alisado, y fresado de punta, en el cual la fresa se coloca en forma vertical para realizar el trabajo.

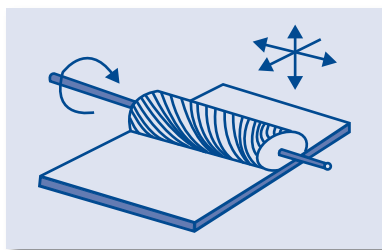


Figura 2.12 Fresado horizontal en tres direcciones.

- **Torneado.** Este trabajo se logra con un buril, el cual constituye una herramienta de corte de alta dureza. El material a tornear gira a alta velocidad sobre un eje fijo, como se observa en la figura 2.13.

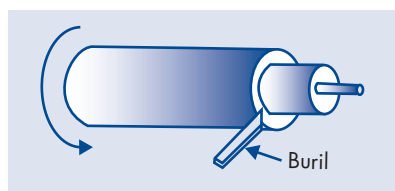


Figura 2.13 Torneado de metal con buril.

Métodos de protección de los metales

Cualquier tipo de metal sufre los efectos adversos del ambiente, que normalmente se está oxidando. Se han inventado diversos métodos para proteger a todo tipo de metales de estos efectos.

Electrólisis

La electrólisis es una reacción química provocada mediante corriente eléctrica continua (directa). Los aparatos en los que se lleva a cabo esta operación se llaman celdas electrolíticas. La transformación tiene lugar entre dos electro-

dos, de los cuales uno es positivo (ánodo) y otro negativo (cátodo); estos electrodos están sumergidos en soluciones capaces de conducir la corriente eléctrica, a las cuales se les conoce como electrólitos.

Esta operación unitaria tiene varias aplicaciones industriales, sobre todo en la metalurgia. Por ejemplo, en la obtención de metales en forma pura, en el tratamiento de superficies metálicas o en la industria química, pues se utiliza en la descomposición de agua y sales. La construcción de un electrolizador depende de los detalles de la reacción química a realizar y de ello, a su vez, depende la selección del material de los electrodos, o bien, la selección de un electrólito adecuado. La figura 2.14 muestra el proceso de recubrimiento electrolítico.

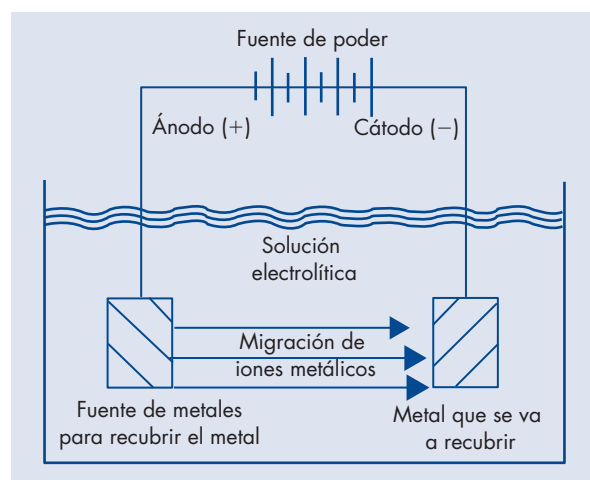


Figura 2.14 Proceso de recubrimiento electrolítico.

Procesos electrolíticos

Estos procesos revisten gran interés para el mundo moderno, pues proporcionan una protección y un acabado fino a los metales. Dentro de los procesos electrolíticos, son muy utilizados los de galvanoplastia o electrodeposición en los diseños arquitectónicos de las construcciones modernas. Éstos consisten en depositar una fina capa de metal sobre la superficie de otro metal, lo cual da un acabado que mejora sustancialmente su apariencia y evita su oxidación por el medio ambiente, alargando su duración.

La galvanoplastia consiste en sumergir la pieza metálica a recubrir en un electrólito;⁶ como ya se dijo, en la solución electrolítica existen dos electrodos, uno con carga negativa (cátodo), que es la pieza metálica que se pretende

⁶ Electrólito es una solución que contiene iones con cargas positivas y negativas, llamados, respectivamente, cationes y aniones, que son capaces de conducir la corriente eléctrica.

recubrir, y otro con carga positiva (ánodo). Cuando fluye la corriente eléctrica entre los electrodos, ocurren procesos de óxido-reducción,⁷ lo cual implica que el cátodo atrae a los iones positivos del metal, que recubrirá la placa metálica. El ión metálico que recubre con una fina capa otro metal, puede ser de varios tipos; si se usa cobre se llama cobrizado; si se utiliza cromo se llama cromado; si se emplea la plata se llama plateado; si se usa níquel, niquelado; si se usa zinc, zincado; si se usa estaño, estañado, etcétera. La capa que se deposita en la superficie, por lo general tiene el grosor de 1 a 100 micras.⁸

Los beneficios que se obtienen por este tipo de procesos son protección anticorrosiva de la superficie metálica que fue recubierta, síntesis de material en una superficie para restaurar piezas gastadas, mejoramiento estético de superficies, protección contra el desgaste, dureza, reflexión óptica o térmica, conductividad eléctrica y capacidad para soldarse.

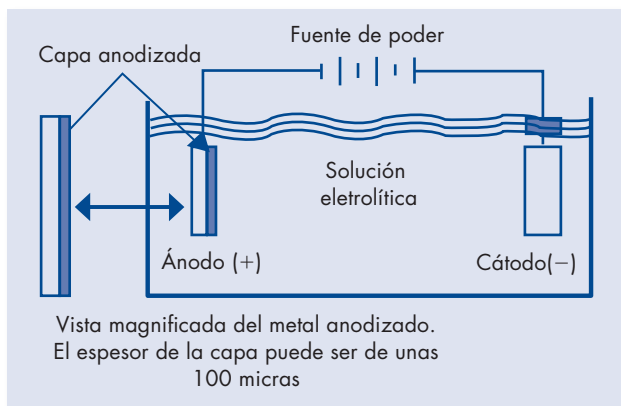


Figura 2.15 Proceso electrolítico de anodizado.

Unión de los metales

Existen dos formas de unir metales. La primera es por medios mecánicos, para ello se utilizan tornillos con tuerca o tornillos solos (pijas), grapas, remaches, chavetas, prensado y engarce. Este tipo de sujetadores de metales es tan seguro que se puede ver en las láminas que forman el cuerpo de cualquier avión. Otra forma de unir metales es usando adhesivos; la desventaja de estos materiales es que no son de alta resistencia, por lo que su uso es básicamente como selladores entre dos metales, siempre

que no sellen recipientes a presión. Los adhesivos para metales más comunes son los adhesivos naturales, como almidones, goma arábica, silicato de sodio, caucho, asfalto, etc., aunque con el desarrollo de la tecnología, los adhesivos plásticos (sintéticos) han cubierto, en gran medida, las necesidades que se requieren para un adhesivo de metales; algunos de ellos son de alta resistencia y duración, aunque todavía no son apropiados para recipientes a alta presión.

Pero, sin duda, el mejor proceso para unir metales es la soldadura, de la cual existen dos tipos básicos: la oxia-cetilénica y la de arco eléctrico. En la primera se utiliza un flama de acetileno en combinación con una corriente de oxígeno para calentar, a muy alta temperatura, los metales que se van a unir. El principal uso de este tipo de soldadura es para reparar metales que se han roto y que no es posible reparar con otro tipo de soldadura; por tanto, es necesario agregar un metal de aporte,⁹ similar a los que se van a reparar. Las temperaturas altas (de 700 a 1 000 °C) que se generan con la mezcla acetileno-oxígeno, funden los metales provocando que el metal aportado se una apropiadamente a las dos partes metálicas dañadas.

Sin embargo, el método de soldadura más utilizado es el de arco eléctrico, por las múltiples aplicaciones que se le han descubierto. Su uso es muy intenso y en la actualidad no hay edificio que no contenga una estructura metálica soldada. Consiste en una fuente de poder que genera elevadas corrientes eléctricas a tensiones relativamente bajas y cables apropiados que se conectan a las piezas de metal que se sueldan, cerrando un circuito eléctrico. Las elevadas corrientes eléctricas se convierten en calor que eleva la temperatura de los metales en forma instantánea hasta fundirlos. Con este método se pueden soldar desde estructuras metálicas o láminas gruesas, hasta placas metálicas delgadas, y se puede aplicar desde acero simple hasta acero inoxidable. Hay varios tipos de soldadura eléctrica, como la de electrodo de aporte, en atmósfera de gas inerte, por resistencia eléctrica, de arco sumergido y soldadura de pernos o puntos.

En la figura 2.16 se puede observar que el material de aporte es un electrodo recubierto de un material fundente y de fácil adhesión a una superficie metálica. El electrodo se elabora de acuerdo con el material que se pretende soldar, que puede ser varilla, acero colado o acero inoxidable; así que el material del electrodo será distinto en cada aplicación.

⁷ El proceso de óxido-reducción consiste en intercambio de electrones entre iones (aniones y cationes).

⁸ Una micra equivale a 0.000001 metros.

⁹ Metal de aporte es el cordón de soldadura que forma parte de los metales que han sido soldados. En la soldadura de arco eléctrico el metal de aporte es el electrodo.

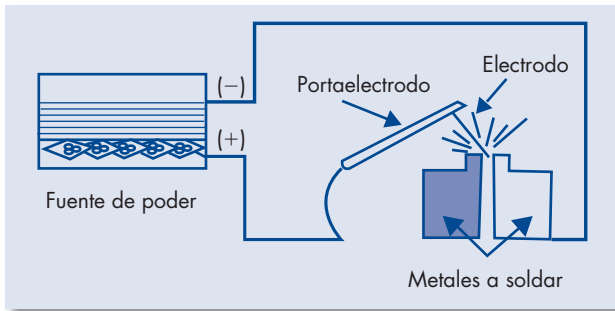


Figura 2.16 Esquema del principio de la soldadura de arco eléctrico.

La soldadura en atmósfera de gas inerte se utiliza para soldar metales no ferrosos, que tienen una afinidad mayor con el oxígeno, que aquella que tiene el acero. Esta afinidad ocasiona que al aplicar el arco eléctrico, el metal se funde antes de que pueda ser unido por la soldadura. Para solucionar este problema, unido al electrodo de soldadura, se coloca un tubo que arroja gas inerte¹⁰ de manera directa sobre la superficie de trabajo, de forma que el metal no ferroso prácticamente no entra en contacto con el oxígeno del aire. Una variante de este método es utilizar un electrodo metálico para soldar metales muy delgados o aluminio.

Existen dos variantes interesantes en las cuales no es necesario el material de aporte para soldar. El primero es calentando los metales casi a punto de fusión, y sólo por presión hacer que se unan físicamente. El segundo método, la soldadura por puntos o pernos, consiste en calentar con un arco eléctrico los metales y agregar un pequeño punto de soldadura de manera automática, es decir, no por medio de un electrodo, sino mediante unas puntas de soldadura. Ambos métodos son muy utilizados para soldar cercas o rejas de alambre, pues sólo permiten soldar metales delgados, por lo general hilos de alambre (véase figura 2.17).

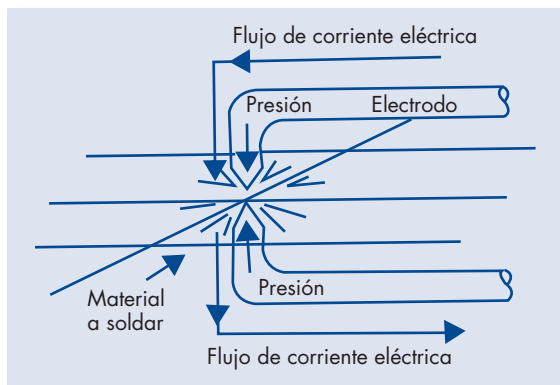


Figura 2.17 Esquema de soldadura de punto.

Existen otros tipos de soldadura de menor importancia, como la soldadura ultrasónica y de láser, que se utilizan para soldar capas delgadas de metal, pero los dispositivos del equipo son costosos.

Operaciones unitarias en la ingeniería industrial

Durante un proceso de transformación ocurren trabajos de tipo físico en los que la materia no sufre cambios químicos, por ejemplo, en la reducción de tamaño, traslado y almacenamiento de materiales; separación de los componentes de una mezcla, transferencia de energía o unión de los componentes. A este tipo de operaciones se ha convenido llamarles operaciones unitarias. A continuación se explican las operaciones más comúnmente aplicadas para transformar los materiales, las cuales se agrupan de acuerdo con ciertas características. También se han establecido formas para representarlas por medio de bloques o símbolos; estas representaciones no son universales, incluso cada empresa adapta los iconos convenidos y con ellos construye los llamados diagramas de flujo.

Transporte de materiales

Es el traslado de un material determinado de un lugar a otro dentro de la planta o fábrica, en el proceso productivo, o bien, de un aparato o equipo a otro, en espera de ser procesado como producto terminado o semielaborado. En la industria, existen diferentes dispositivos para el transporte de materiales, por ejemplo, grúas, bandas transportadoras, montacargas y elevadores, con movimientos ascendentes, descendentes, verticales, horizontales o inclinados. A continuación se muestran algunas representaciones esquemáticas de esos medios de transporte.

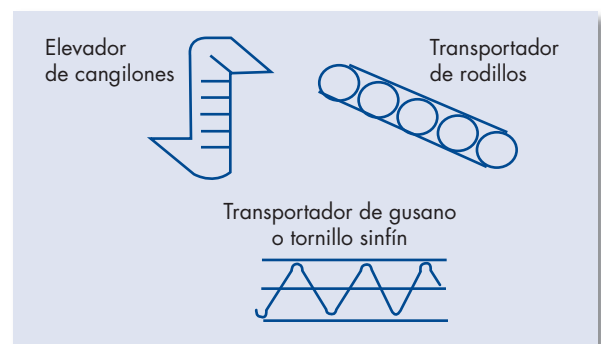


Figura 2.18 Iconos de algunos tipos de transporte utilizados en la industria.

¹⁰ Los gases inertes son helio, argón, xenón, freón, criptón y radón.

Transporte de líquidos y gases por bombeo

Las bombas y los compresores son medios de propulsión para el transporte de fluidos (líquidos y gases) por conductos (tuberías). Casi toda industria requiere de bombas para transportar fluidos, incluso las más simples necesitan una bomba para el transporte de agua potable. La construcción de las bombas se condiciona por las propiedades y las cantidades de los materiales a transportar, así como por la presión que se desea tener en el fluido transportado; por ejemplo, bomba de émbolo, bomba de simple efecto, bomba centrífuga, entre otros. La bomba centrífuga se representa en la figura 2.19.

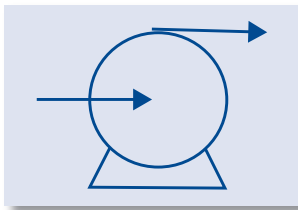


Figura 2.19 El tipo más utilizado en la industria es la bomba centrífuga.

Compresión de gases

Cuando se requieren presiones altas, se emplean compresores, los cuales consisten en una gran cantidad de fluido a mayor presión hasta lograr la presión deseada. De acuerdo con las etapas y los efectos del compresor, se logra mayor presión. Por lo regular, las industrias requieren presión para comprimir aire. El aire comprimido se utiliza para mover algún dispositivo dentro de una máquina. En otras ocasiones, es necesario comprimir algún gas, como el freón o el amoníaco, para generar frío. El proceso de compresión de gases se representa en la figura 2.20.

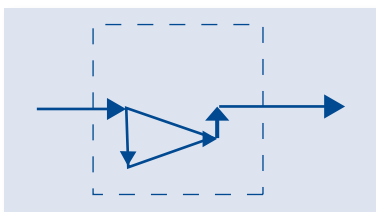


Figura 2.20 Representación esquemática de un compresor.

Manejo de sólidos, reducción de tamaño (quebrantado, trituración, molienda)

En ocasiones, las materias primas sólidas y los productos sólidos elaborados deben someterse a un proceso adecuado de trituración, que permita obtener granos de 30 a

40 cm o polvos muy finos, según las necesidades técnicas del proceso. Por lo general, los materiales deben reducirse de tamaño en forma gradual, es decir en etapas. Las tres operaciones básicas para reducir tamaño son:

- **Quebrantar.** Significa romper en pedazos un sólido hasta el tamaño de una nuez.
- **Triturar.** Consiste en triturar hasta el tamaño de una lenteja.
- **Moler.** Es una trituración fina (talcos o polvos) para reducir el tamaño de los materiales que requiere la aplicación de fuerzas mecánicas de compresión, impacto y frotamiento (véase figura 2.21).

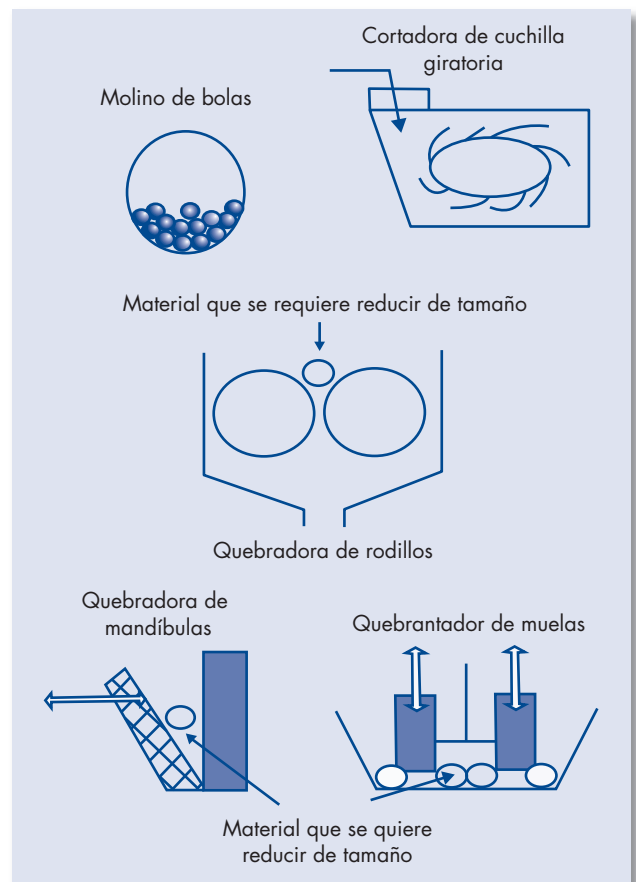


Figura 2.21 Diferentes iconos para el manejo y reducción de tamaño de los sólidos.

Transferencia de calor (calentamientos y enfriamiento)

Esta operación consiste en la transferencia de energía de una sustancia caliente a una de menor temperatura hasta que se alcance un equilibrio. Dentro de los procesos industriales para calentar y enfriar se utilizan los cambiadores

de calor, equipos cuyo fin es poner, de manera indirecta o directa, en contacto dos sustancias, las cuales intercambian energía en forma de calor. Un intercambio de calor se genera cuando se requiere elevar la temperatura de un material, aprovechando el calor generado por un proceso de combustión, o bien utilizando algún medio de calentamiento.

Cuando se desea eliminar una determinada cantidad de calor (enfriamiento) se utilizan los aparatos creados para tal fin: refrigerantes o enfriadores. Los cambiadores de calor, como los refrigerantes, se basan en la necesidad de intercambiar energía para disminuir la temperatura de una sustancia con objeto de enfriarla o congelarla.

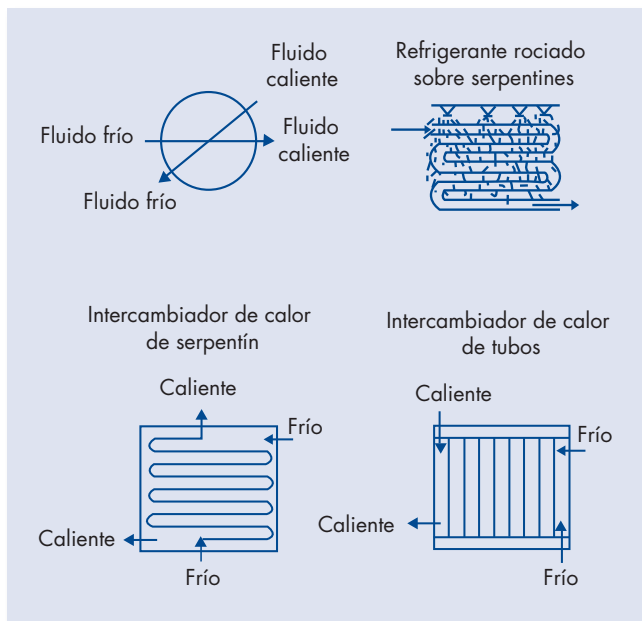


Figura 2.22 Diferentes tipos de intercambiadores de calor.

Mezclado

Operación que consiste en la unión de dos o más sustancias, ya sea en estado sólido, líquido o gaseoso, de tal forma que conserven sus propiedades originales. La unión se logra por medio de fuerzas mecánicas, generándose mezclas homogéneas o heterogéneas, denominadas soluciones, emulsiones, suspensiones, pastas o empapillado.

Es una de las operaciones unitarias observadas más comúnmente dentro de los procesos, ya que su aplicación se hace necesaria para homogeneizar mezclas o para uniformar reacciones. A fin de llevar a cabo la agitación, los equipos de dispositivos tienen formas diversas, según sea el material a agitar o la mezcla de reacción (véase figura 2.23).

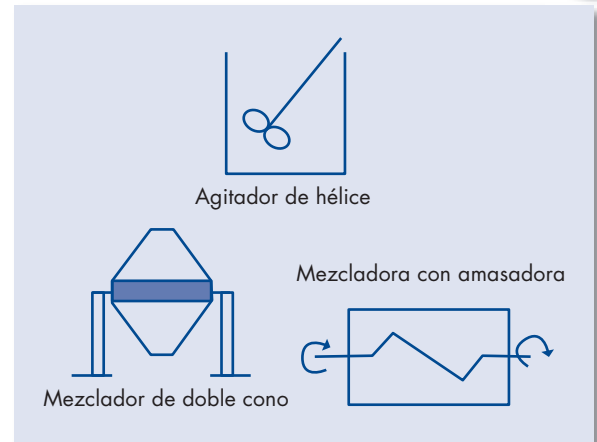


Figura 2.23 Diferentes tipos de mezcladores.

Operaciones de separación

Destilación

Operación que sirve para separar los componentes de una mezcla de líquidos miscibles; consiste en calentar la mezcla e ir obteniendo los componentes a determinadas temperaturas, basándose en los diferentes puntos de ebullición de cada líquido. Primero se evapora, luego se condensa y finalmente se separa. La destilación se utiliza con mucha frecuencia en la industria del petróleo, en la química y en la elaboración de bebidas alcohólicas finas (véanse figuras 2.24 y 2.25).

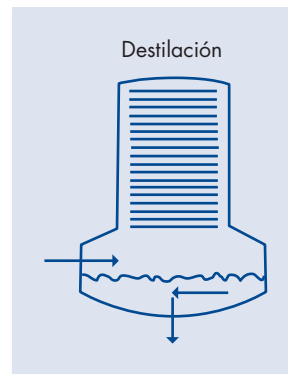


Figura 2.24 Destilador.

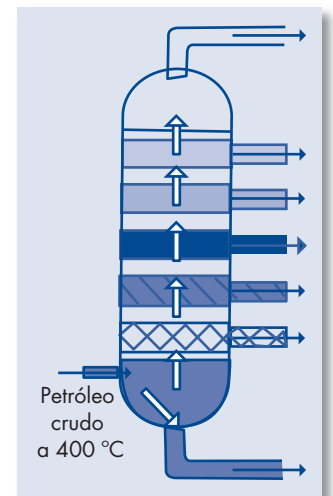


Figura 2.25 Columna de destilación fraccionaria.

La destilación sirve para recuperar disolventes y otros líquidos valiosos y separar mezclas, pero muchas veces hace posible la separación de líquidos en alto grado de pureza; para lo cual, se utilizan equipos especiales llamados torres de destilación.

Con este proceso es posible purificar o recuperar muchas sustancias, por lo que es necesario que la mezcla de líquidos sometida a destilación esté constituida por sustancias de alto grado de pureza; en el proceso, una parte del vapor condensado se regresa a la columna y con esto se logra un incremento notable en la pureza del destilado.

Evaporación

Proceso mediante el cual una sustancia en estado líquido se transforma en vapor, debido al suministro de energía en forma de calor. Mientras mayor sea la cantidad de energía de la que se dispone o que se utiliza, y menor la presión que haya que vencer para lograr el cambio de fase, más rápida será la evaporación. A temperatura ambiente, una sustancia se evapora con mayor o menor rapidez, pero aquí se entiende como evaporación a la transformación deliberada de un líquido en vapor. Al evaporar una disolución, sólo el disolvente pasa a vapor, mientras el sólido disuelto y la disolución residual se concentran. A este proceso se le conoce como concentración por evaporación.

Evaporar una disolución implica que sólo el disolvente pasa a la fase de vapor, mientras que el sólido disuelto (soluto) permanece, y la solución residual sólo se concentra. La evaporación es propiamente una operación que se utiliza para concentrar soluciones. Véase figura 2.26 para distinguir los principales evaporadores que se usan en la industria.

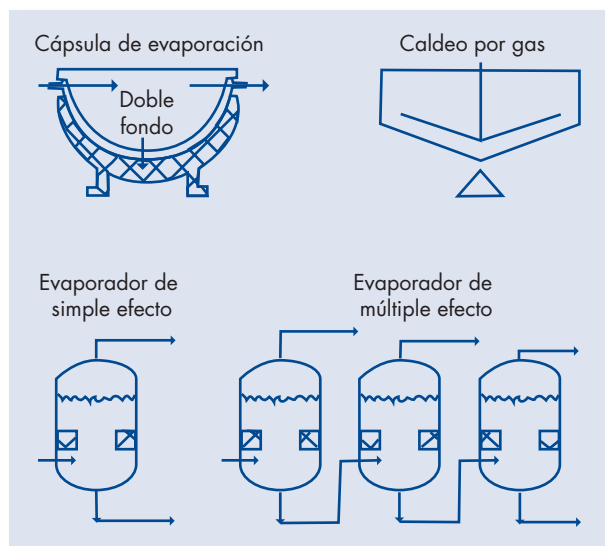


Figura 2.26 Diferentes tipos de evaporadores.

Secado

Es la eliminación completa de restos de líquidos (agua u otros disolventes) en una mezcla final. Es evidente que la cantidad de líquidos principales se elimina primero de otras maneras más económicas, como la evaporación o la filtración, de este modo sólo se someten a secado los sólidos con un contenido de líquido relativamente pequeño (húmedos).

El secado es un proceso de evaporación, pero por debajo del punto de ebullición del disolvente, pues resulta necesario conservar el material al secar, lo mejor que sea posible. Cuanto mayor es la superficie del material a secar y la temperatura de trabajo más alta, el secado será más rápido y completo. Para aumentar la superficie de contacto, se recomienda triturar el material y extenderlo sobre una superficie grande. El aire de los gases secadores calientes se mueve por succión con ventiladores (sopletes) o por difusión. En la figura 2.27 se ilustran esquemáticamente los principales tipos de secadores que existen.

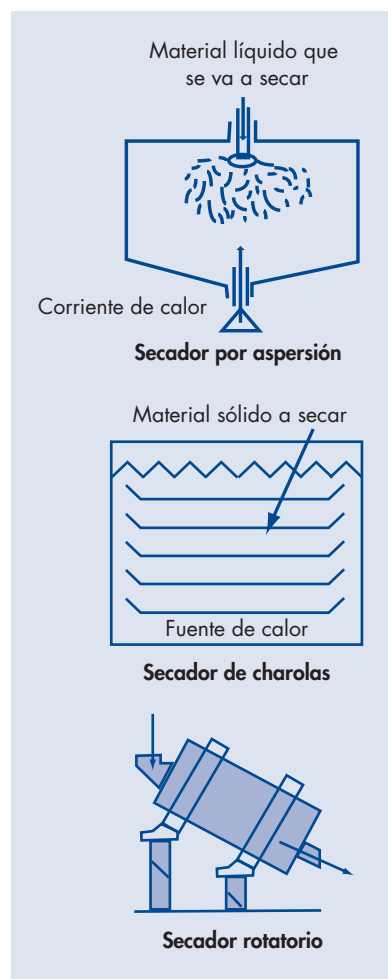


Figura 2.27 Diferentes tipos de secadores.

Filtración

Es una de las operaciones más frecuentes cuando se trata de purificar soluciones, eliminar partículas no disueltas o separar una mezcla de sólidos insolubles y líquidos formados en un proceso, e incluso eliminar sustancias en suspensión de un gas. Los filtros de todo tipo tienen un uso muy amplio en el tratamiento de algunos desechos contaminantes, ya sean líquidos o polvos. Existen diferentes agentes de filtración (filtros) que se usan en los distintos equipos de filtración, según el procedimiento y las necesidades de la operación (véase figura 2.28). Son agentes de filtración: arena, arcilla, cuarzo, carbón, papel, telas, algodón, lana, seda, fibras artificiales, yute, asbesto y vidrio, entre otros materiales.

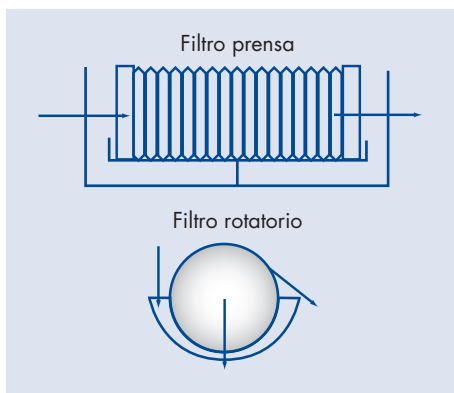


Figura 2.28 Diferentes tipos de filtro.

Centrifugación

Operación que consiste en separar los sólidos no disueltos que están suspendidos en un líquido o en separar dos líquidos no miscibles, por medio de la aplicación de la fuerza centrífuga; este proceso acelera la velocidad de separación de los componentes de la mezcla. Existen diversos equipos de centrifugación, como las centrifugas de canasta vertical y horizontal y las de discos o platos (véase figura 2.29). Recuérdese que la fuerza centrífuga también se utiliza en el vaciado en moldes, para trabajar el acero en la industria metalúrgica.



Figura 2.29 Icono de una centrifuga de platos.

Tamizado

Es una operación adicional a través de la cual se pretende separar, por medio de mallas, partículas quebrantadas o trituradas, según sus tamaños. Cuando se hace un quebrantado, en seguida se pasa al tamizado, con el fin de que los trozos que tengan tamaños adecuados continúen el proceso y los que no sean quebrantados nuevamente. Como ya se mencionó, esta separación se hace a través de mallas metálicas, de diferentes calibres; el calibre es el tamaño del orificio de una malla (véase figura 2.30).

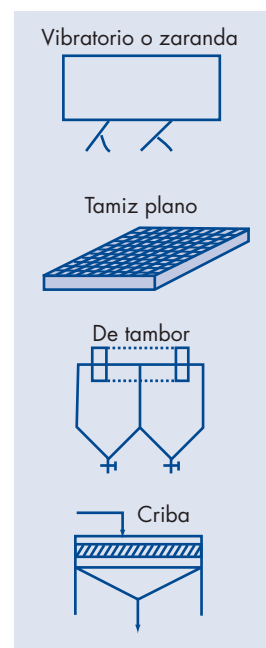


Figura 2.30 Diferentes tipos de filtro.

Sistemas de unidades

Medir es comparar una cantidad con su respectiva unidad, con el fin de determinar cuántas veces la primera contiene a la segunda. Para un ingeniero industrial es indispensable conocer y dominar los principales sistemas de unidades de medición que se utilizan en las ciencias y los negocios.

Los sistemas de unidades de mayor uso son el sistema **cgs** (centímetro, gramo, segundo), el sistema **mks** (metro, kilogramo, segundo), el sistema **fps** o **pfs**, o sistema **inglés** (pie, libra, segundo; sus siglas se derivan del inglés *foot*, *pound* y *second*) y el Sistema Internacional (SI), el cual es el más aceptado en el mundo.

Las unidades constituyen los medios para expresar dimensiones. Las dimensiones primarias son: masa, longitud, tiempo y temperatura. A partir de éstas se derivan las cantidades secundarias como área, volumen, densidad, peso, aceleración y velocidad (véase tabla 2.1).

Tabla 2.1 Unidades básicas del Sistema Internacional

Cantidad física	Unidad	Símbolo
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s
Fuerza	Newton	N
Corriente eléctrica	Ampere	A
Temperatura termodinámica	Kelvin	K
Intensidad luminosa	Candela	Cd
Cantidad de sustancia	Mol	mol

Tabla 2.2 Prefijos de SI

Factor	Prefijo	Símbolo	Factor	Prefijo	Símbolo
10^{18}	Exa	E	10^{-1}	Deci	d
10^{15}	Petra	P	10^{-2}	Centi	c
10^{12}	Tera	T	10^{-3}	Mili	m
10^9	Giga	G	10^{-6}	Micro	μ
10^6	Mega	M	10^{-9}	Nano	n
10^3	Kilo	k	10^{-12}	Pico	p
10^2	Hecto	h	10^{-15}	Femto	f
10^1	Deca	Da	10^{-18}	Atto	a

Tabla 2.3 Cantidades primarias en otros sistemas de unidades

Dimensión	Símbolo	cgs	mks	pls
Masa	M	Gramo masa	Kilogramo masa	Libra
Longitud	L	Centímetro	Metro	Pie
Tiempo	O	Segundo	Segundo	Hora o segundo
Temperatura	t	°Celsius	°Celsius	°Fahrenheit
	T	Kelvin	Kelvin	°Rankine
Fuerza	F	Dina	Newton	Libra fuerza

Tabla 2.4 Definición de algunas cantidades secundarias

Cantidad	Símbolo	Unidades			SI	
		cgs	mks	pls	Nombre	Símbolo
Velocidad	v	cm/s	m/s	Pie/s		
Aceleración	a	cm/s ²	m/s ²	Pie/s ²		
Densidad	p	g/cm ³	kg/m ³	lb/pie ³		
Peso	p	(g) (cm) /s ² (dina)	(kg) (m) /s ²	(lb) (pie) /s ²	Newton	N
Presión	p	[(g) (cm) /s ²] /cm ² (dina/cm ²)	[(kg) (m) /s ²] /m ² (Newton/m ²)	[(lb) (pie) /s ²] / pie ² (lb/pie ²)	Pascal	Pa
Trabajo	w	[(g) (cm) /s ²] /cm (dina/cm)	[(kg) (m) /s ²] /m (Newton/m)	[(lb) (pie) /s ²] pie (lb) (pie)	Joule	J
Calor	q	[(g) (cm) /s ²] /cm (caloría)	[(kg) (m) /s ²] /m (Joule)	[(lb) (pie) /s ²] pie (BTU)	Joule	J

Tabla 2.5 Factores de conversión

Magnitud	Conversión
Longitud	1 m = 100 cm = 3.20884 pie = 39.3701 pulg
Masa	1 kg = 10 ³ g = 2.20462 lb _m
Fuerza	1 N = 10 ⁵ dina = 0.224809 lb
Presión	1 bar = 10 ⁵ N/m ² = 10 ⁵ Pa = 10 ² kPa = 10 ⁶ dina/cm ² = 0.986923 atm = 14.5038 psia = 750.061 torr
Volumen	1 m ³ = 10 ³ dm ³ = 10 ⁶ cm ³ = 35.3147 pie ³
Densidad	1 g/cm ³ = 10 ³ kg/m ³ = 62.4278 lb _m /pie ³
Energía	1 J = 1 Nm = 1 m ³ Pa = 10 ⁻⁵ m ³ bar = 10 cm ³ bar = 9.86923 cm ³ atm 10 ⁷ dina cm = 10 ⁷ erg = 0.239006 cal = 5.12197 × 10 ⁻³ pie ³ psia = 0.7375 pie lb _f = 9.47831 × 10 ⁻⁴ Btu
Potencia	1 KW = 10 ³ W = 10 ³ kg m ² /s ⁻³ = 10 ³ J/s = 239.006 cal/s = 737.562 pie lb/s = 0.947831 Btu/s = 1.34102 hp

Equivalencias de temperatura

$$^{\circ}\text{C} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{1.8}$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$$

Uno de los aspectos más importantes para el cálculo es el uso de las unidades adecuadas y homogéneas, así como los de factores de conversión, ya que no es posible mezclar unidades de diferentes sistemas. Por ejemplo, para sumar 3 metros y 80 centímetros, lo lógico es transformar los centímetros a metros y sumar; esto es, 80 centímetros es igual a 0.8 metros y el resultado es 3.8 metros.

La forma más cómoda de realizar las conversiones es mediante eliminación algebraica de unidades; por ejemplo, se hace la siguiente operación para convertir 3 centímetros a metros, sabiendo que 1 metro tiene 100 centímetros:

$$3 \text{ cm} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ m}} = 0.03 \text{ m}$$

La conversión de áreas o volúmenes puede hacerse sólo elevando la medida a la potencia correspondiente; por ejemplo, para conocer cuántos cm² hay en 1 m² se realiza esta conversión:

$$1 \text{ m}^2 = 100 \text{ cm}^2$$

$$1 \text{ m}^2 = (100 \text{ cm})^2 = 10\,000 = 1 \times 10^4 \text{ cm}^2$$

Otro aspecto a considerar es el uso de la notación exponencial para abreviar cantidades numéricas grandes; por ejemplo, 100 000 kilogramos se expresa como 1 × 10⁵, o 0.000987 pulgadas se abrevia 98.7 × 10⁻⁵ pulgadas.

A menos de que se especifique otra cosa, las cantidades con muchos dígitos pueden expresarse, para su abreviación, en el sistema que permita su reducción; por ejemplo, 1 500 gramos puede escribirse como 1.5 kilogramos.

La separación de cantidades numéricas en miles, se hace dejando un espacio entre cada millar y no usando comas, por ejemplo, la cantidad 1,589,730 debe escribirse 1 589 730.

El redondeo de las cifras depende de la precisión con la que convenga expresar la cantidad.

Longitud	
1 milla = 5 280 pies	1 km = 1 000 m
1 milla americana = 1.625 km	1 m = 100 cm
1 yarda = 3 pies	1 m = 10 dm
1 pie = 30.48 cm	1 m = 1 000 mm
1 pulg = 2.54 cm	1 cm = 10 mm
1 pie = 12 pulgadas	

Volumen

1 barril inglés = 143.2 l	1 l = 1 000 cm ³
1 barril americano = 159 l	1 m ³ = 1 000 l
1 galón = 3.785 l	1 m ³ = 1 000 000 cm ³
1 oz (onza) líquida = 29.6 ml	1 ml = 1 cm ³
1 galón = 4 quarters (cuartos)	1 dm ³ = 1 l
1 qt (quarter) = 57.75 pulg ³	1 l = 1 000 ml
1 pie ³ = 28.32 l	1 cm ³ = 1 000 mm ³
1 pie ³ = 28 316.8 cm ³	1 l = 1.057 qt
1 pulg ³ = 16.378 cm ³	

Masa

1 oz (onza) sólida = 28.35 g	1 g = 1 000 mg
1 ton = 1 000 kg	1 lb = 16 oz
1 kg = 1 000 g	1 ton métrica = 1 000 000 g
1 kg = 2.2 lb (libra)	1 lb = 453.6 g

Área

1 pulg ² = 6.45 cm ²	1 cm ² = 100 mm ²
1 pie ² = 929 cm ²	1 cm ² = 0.0001 m ²
1 hectárea = 10 000 m ²	

Temperatura

°F = (9/5)°C + 32
°C = 5/9(°F - 32)
Sistema Internacional K = °C + 273
°R = °F + 459.69

El conocimiento de todas las unidades de medida sirve (entre otras cosas) para que un ingeniero industrial controle la calidad, tanto de las materias primas como del producto terminado. En el capítulo 5 se analizará con detalle el concepto de calidad en la industria, pero por el momento sólo se expondrán los tipos de pruebas que, por lo común, se realizan en la industria metal-mecánica.

Como en ésta básicamente se trabaja con metales, las pruebas de calidad incluyen inspección visual y pruebas químicas, espectrográficas y mecánicas. Dentro de las últimas, se incluyen pruebas de dureza, de resistencia a la tracción y de resistencia a la compresión y a la torsión, entre otras. Estas pruebas pueden ser destructivas y/o no destructivas.

Una prueba destructiva significa que, después de la prueba, el material queda inservible; por ejemplo, si se realiza una prueba de resistencia a la torsión en una barra de acero, se aplicará una fuerza de torsión incremental, hasta que la barra pierda su forma original. Es evidente que la barra ya no podrá tener un uso posterior, pues estará deformada en su totalidad. Por el contrario, una prueba no destructiva es, por ejemplo, someter una placa de acero a un análisis de espectrofotometría para comprobar que ésta no tenga burbujas internas de aire o no tenga la más mínima fisura. El análisis no afecta en absoluto la integridad de la placa.

Como la industria metal-mecánica se caracteriza por la elaboración de piezas de alta precisión, uno de sus objetivos principales es el análisis dimensional de las piezas producidas. Para efectuar dicho análisis se han diseñado instrumentos que sirven para medir dimensiones. El instrumento que se utilice para la medición, depende de la precisión deseada. Así, se requiere tener una precisión de hasta centésimas de centímetros o pulgadas, se pueden utilizar micrómetros o calibradores de alta precisión, llamados Vernier. Para calibrar estos instrumentos se creó en Estados Unidos de América un patrón de medición llamado bloques de calibración, el cual tiene una precisión de hasta dos millonésimas de pulgada, si se mantiene a determinada temperatura (20 °C) y humedad (menos de 25% de humedad en el ambiente). Estas barras de acero calibrado reciben el nombre de bloques de calibración grado laboratorio.

Si se requiere una precisión absoluta, se pueden utilizar sistemas avanzados de medición electrónicos tridimensionales o de tres ejes coordenados. Estos dispositivos permiten medir las dimensiones de una pieza metálica con una precisión de una millonésima de pulgada, sin someter al material a condiciones controladas. Este tipo de precisión se necesita para aprobar el uso de piezas metálicas en las naves espaciales, en engranes de autos y en sellos metálicos sometidos a altas presiones. Todas las pruebas de calidad que no miden dimensiones se llaman pruebas no dimensionales y se pueden citar las pruebas de temperatura, de presión, de viscosidad, de contenido químico y de contenido bacteriano, entre otras.

Para el control de la calidad de todos los procesos, es necesario el conocimiento del sistema internacional de unidades de medida.

Palabras clave

Ingeniería, cadena productiva, proceso industrial, operación unitaria, proceso unitario, unidades de medición, balance de masa, estequiometría.

Casos prácticos

El ingeniero industrial no sólo puede resolver problemas referentes a la industria metalmecánica. Su preparación le permite laborar en cualquier tipo de industria, como se muestra en los siguientes casos.

Caso 1: Cadena productiva del jugo de maracuyá industrializado

La empresa que se estudia se dedica a la producción de jugo de maracuyá. El maracuyá es una planta de origen tropical, cuyos frutos tienen un sabor agrídulce, muy apreciado en Estados Unidos de América y en el continente europeo, donde tiene gran demanda. La gran aceptación que tiene en los mercados internacionales, lo hacen uno de los cultivos frutales más rentables. Por lo común, se cultiva en regiones tropicales y subtropicales y se introdujo en México procedente de Hawai. Existen 400 especies de pasifloras, y alrededor de 60 de estas especies dan frutos comestibles. La producción agrícola se destina a consumo directo o se envía a las agroindustrias para ser transformado en jugo pasteurizado y concentrado para fabricar néctares, mermeladas, helados y en pastelería (véase figura 2.31).



Figura 2.31 Fruta de maracuyá.

La cadena de la empresa que se dedica al jugo de maracuyá industrializado inicia con la fase agrícola, que comprende la siembra de 25 000 hectáreas; por cada hectárea sembrada, se cosechan 10 toneladas de frutos;

30% de la producción se industrializa para la fabricación de jugo. La composición porcentual típica de la fruta de maracuyá es:

Cáscara	Jugo	Semillas
55%	35%	10%

En la que el jugo es el de mayor importancia.

En una primera etapa, el fruto se exprime para extraer el jugo o zumo; en tanto, la cáscara se desecha y las semillas se industrializan para obtener un sedante natural, llamado maracuyina. El jugo natural extraído tiene la siguiente composición porcentual:

Agua	Sólido
85%	15%

El jugo se envía a un evaporador con la finalidad de concentrarlo; a la salida del cuerpo de evaporación, la descarga del producto tiene la siguiente composición porcentual: 45% de sólidos y 55% de agua. El jugo se transporta y se distribuye a tres diferentes líneas de producción en las siguientes proporciones: 25% para néctar, 35% para jugo light y 40% para jugo combinado con otras frutas, como el mango. El jugo se enfría y se envía a un tanque de mezclado para elaborar las formulaciones que aparecen en la tabla 2.6.

Las formulaciones se envasan en latas con una capacidad de 355 ml. Considere la densidad de cada formulación mostrada en la tabla.

Con base en la información presentada en este capítulo, realice las siguientes acciones:

- Clasifique la empresa de acuerdo con su giro y su actividad económica.
- Identifique los eslabones de la cadena productiva.
- ¿Qué subproductos genera la empresa y cuáles son sus usos?
- ¿Cuáles son las operaciones unitarias aplicadas?

Tabla 2.6

Presentación	Componente	Componente	Componente	Componente
Néctar Densidad del néctar 1.045 kg/l	Azúcar 8.4%	Jugo concentrado de maracuyá 20%	Agua 71.6%	
Jugo light Densidad del jugo 1.03 kg/l	Aspartame 0.5%	Jugo concentrado de maracuyá 18%	Agua 72.7%	Otros 8.8%
Jugo con mango Densidad del jugo 1.045 kg/l	Azúcar 9.3%	Jugo concentrado de maracuyá 14.4%	Agua 72.7%	Pulpa de mango 3.6%

- e) Delimite el sistema, elaborando un diagrama de flujo, y calcule la cantidad de jugo concentrado generado a partir de la cantidad de fruto cosechado, considerando la cantidad que se destina para la industrialización.
- f) Determine la cantidad de agua separada durante la evaporación.
- g) Determine la cantidad de azúcar adicionada al néctar para obtener la formulación.
- h) Calcule la cantidad de envases utilizados para envasar el néctar.
- i) Para la formulación de jugo con mango, el operario de la máquina se distrajo y creyó leer que se habían adicionado 20 000 t de agua. Calcule si fue correcto lo que se adicionó o existió un error.
- j) Calcule la cantidad de Aspartame que debe tener disponible el almacén de materias primas, para la formulación de jugo light.

Respuestas

- a) Empresa industrial manufacturera del subsector de alimentos, bebidas y tabaco.
- b) Eslabones: actividad agrícola integrada por la plantación, el cultivo y cosecha del maracuyá. Otro eslabón es la industrialización para la obtención de diversos productos y uno más es la segunda fase de industrialización de las semillas para obtener el tranquilizante natural llamado maracuyina.
- c) Semillas del fruto. Se utilizan para extraer un sedante natural llamado maracuyina.
- d) Extracción, evaporación, transporte, intercambio de calor y mezclado.

- e) Para el cálculo de jugo concentrado obtenido a la salida del evaporador.

Cantidad de frutos cosechados

1 ha ----- 10 t

25 000 ha ----- X = 250 000 t de frutos

Base de cálculo = 250 000 t de fruto

$$\frac{30\% \times 250\,000\text{ t}}{100\%} = 75\,000\text{ t frutos para industrializar}$$

$$\frac{75\,000\text{ t} \times 30\%}{100\%} = 22\,500\text{ t de jugo extraído}$$

El jugo natural extraído contiene 85% en peso de agua y 15% en peso de sólidos,

$$\frac{22\,500\text{ t} \times 85\%}{100\%} = 19\,125\text{ t de agua en el jugo}$$

$$\frac{22\,500\text{ t} \times 15\%}{100\%} = 3\,375\text{ t de sólidos presentes en el jugo}$$

Como la operación unitaria de evaporación tiene como objetivo separar líquidos y concentrar los sólidos, éstos permanecen constantes a la salida del evaporador, por tanto a la salida del evaporador se obtiene:

$$\frac{3\,375\text{ t} \times 55\%}{45\%} = 4\,125\text{ t de agua contiene el jugo a la salida del evaporador, por tanto, la cantidad de jugo obtenido es } 19\,125\text{ t} + 4\,125\text{ t} = 23\,250\text{ t de jugo concentrado.}$$

- f) Cantidad de agua separada en forma de vapor:
 $19\,125\text{ t} - 4\,125\text{ t} = 15\,000\text{ t de agua separada en el evaporador.}$

- g) Para generar la presentación de néctar:

Base de cálculo: 8 750 t de jugo concentrado

$$\frac{8\,750\text{ t} \times 25\%}{100\%} = 2\,187.5\text{ t de jugo se destinan para elaborar néctar.}$$

Como se debe agregar azúcar:

$$\frac{2\,187.5\text{ t} \times 8.4\%}{20\%} = 918.75\text{ t de azúcar se adicionan}$$

- h) Cantidad de envases requeridos para envasar el néctar:

Base de cálculo: 2 187.5 t de jugo concentrado

$$\frac{2\,187.5\text{ t} \times 100\%}{20\%} = 10\,937.5\text{ t de néctar para envasar}$$

La cantidad de néctar para envasar se expresa en unidades de masa y la capacidad del envase se expresa en volumen, por ello es necesario convertirla por medio de la fórmula de densidad:

$$\vartheta = \frac{m}{v};$$

$$\text{por tanto, } V = \frac{m}{\vartheta}$$

Para sustituir datos, se deben homogeneizar las unidades de medición y, así, eliminar las de masa; en este caso, las toneladas se convierten a kg, utilizando la equivalencia 1 t = 1 000 kg.

$$\begin{aligned} 10\,937\text{ t} \frac{1\,000\text{ kg}}{1\text{ t}} &= \frac{10\,937\text{ t} \times 1\,000\text{ kg}}{1\text{ t}} = \\ &= 1\,093\,700\text{ kg de néctar y ahora sustituyendo en la fórmula } \vartheta = \frac{1\,093\,700\text{ kg}}{1.045\text{ kg/l}} \\ &= 1\,046\,602.871\text{ l de néctar.} \end{aligned}$$

Para transformar a ml 1 l = 1 000 ml

$$1\,046\,602.871\text{ l} \frac{1\,000\text{ ml}}{1\text{ l}} = 1\,046\,602\,871\text{ ml}$$

1 envase — 355 ml

$$X \text{ ————— } 1\,046\,602\,871\text{ ml} = 2\,948\,177\text{ envases para néctar.}$$

- i) Base de cálculo = 8 750 t de jugo concentrado
= 3 500 t para jugo con mango
= 17 670.139 t de agua se requieren para la formulación y si se agregaron 20 000, existe un error, 20 000 — 17 670.139 t = 2 329.861 t de agua se agregaron en exceso.

- j) Base de cálculo = 8 750 t de jugo concentrado

$$\frac{8\,750\text{ t} \times 40\%}{100\%} = 3\,500\text{ t para jugo light.}$$

$$\frac{3\,500\text{ t} \times 72.7\%}{14.4\%} = 85.069\text{ t de Aspartame para la formulación de jugo light.}$$

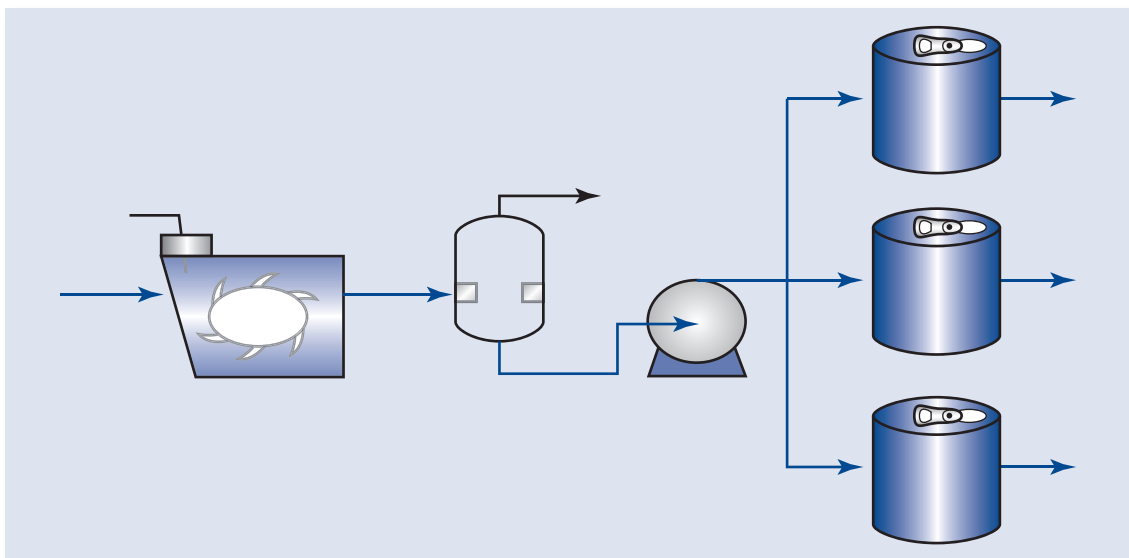


Figura 2.32 Diagrama de flujo para la fabricación de jugo de maracuyá.

Caso 2: Cálculo del tiempo de corte de un metal

Para calcular el tiempo en que una máquina realiza un corte de metal en minutos, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$T = L \div FN$$

Donde:

T = Tiempo de corte en minutos.

F = Alimentación del metal.

N = Revoluciones por minuto (rpm) de la herramienta de corte.

L = Largo de corte, que incluye el largo de la superficie cortada más la distancia que recorre la herramienta, desde el inicio hasta terminar el corte.

Por lo regular, un valor típico para el torneado es de 1.5 a 6.5 mm.

Ejemplo

Una pieza que tiene un diámetro de 2.5 mm (1 pulg) por 50 mm (2 pulg) de largo se corta a 30 m/min (100 pie por min) con una alimentación de 0.25 mm/rev (0.010 pulg por revolución). Determine el tiempo de corte.

Solución

El número de revoluciones por minuto es

$$N = 333 \times 30/25 = 4 \times 100/1 = 400 \text{ rpm.}$$

$$\text{El tiempo } T = 51.5/(0.25 \times 400) = 2.06/(0.010 \times 400) = 0.52 \text{ min.}$$

Casos para resolver

Caso 1:

Analizar resultados de forma lógica constituye una de las habilidades del ingeniero industrial, quien es el encargado de establecer las técnicas y no la calculadora.

Un rancho ganadero cuenta con 10 000 cabezas de ganado, de cada vaca se extraen 25 l de leche por día. La composición porcentual en peso promedio de la leche es:

Agua	Grasa	Proteínas	Lactosa	Cenizas
85.66	5.15	3.70	4.75	0.74

$$\text{Densidad de la leche} = 1.03 \text{ kg/l}$$

La producción se destina como materia prima a empresas industrializadoras que elaboran leche en polvo descremada a través de los siguientes trabajos físicos. En un principio, la leche se descrema en un tren centrifugado, en una primera unidad, donde se separa 80% de la grasa inicial que contiene la materia prima; en la segunda unidad, se descrema nuevamente la leche para generar una descarga de leche que contenga en su composición 0.8% en peso de grasa y el resto de los componentes representen 99.2%. En seguida, se evapora, separándose 63 313.89 kg de agua. Para separar la totalidad de agua, se envía a otra etapa, donde se genera leche en polvo, la cual contiene en su composición 3% en peso de agua y 97% en peso de los otros componentes. Para finalizar, se mezcla con lecitina para

evitar la oxidación y se obtienen 80 080.93 kg de producto ya listo para envasarse.

Con base en la información recabada, realice lo siguiente:

- Identifique los eslabones de la cadena productiva.
- Construya el diagrama de flujo, identificando las operaciones unitarias que se emplean en este proceso.

Considerando un mes de 30 días de recolección de leche de establo, calcule:

- La cantidad de toneladas de leche cruda generada.
- La cantidad de grasa separada en el tren centrifugado. Explique, ¿qué se puede fabricar con este subproducto?
- La cantidad de leche descremada generada a la salida del segundo descremador.
- La cantidad de leche evaporada obtenida y su composición porcentual.
- La cantidad de agua separada en el secador.
- La cantidad de lecitina agregada.
- La composición porcentual de la lecitina en la leche en polvo.
- Si 30% de la producción se envasa en sobres de 120 g, ¿qué cantidad de sobres se requieren para esta presentación?

Caso 2:

Una pieza de trabajo tiene un diámetro de 250 mm (10 pulg), la cual se va a reducir hasta un diámetro de 100 mm (4 pulg) en el extremo. El torno está equipado con un dispositivo electrónico que controla la velocidad de la flecha y mantiene la velocidad de corte en 60 m/min (200 pie/min), para el diámetro que la pieza esté cortando en cualquier instante. La alimentación es de 0.38 mm/rev (0.015 pulg/rev). Así, determine:

- a) El tiempo de corte.
- b) Si la velocidad de la flecha para el trabajo se ajusta a una velocidad de 60 m/min (200 pie/min) al diámetro de 250 mm (10 pulg) y no se cambia durante el corte, determine el tiempo de corte.

Para ver otro caso puedes consultar tu CD-ROM.

Para discusión

1. ¿Qué diferencia hay entre sector primario, secundario y terciario?
2. Mencione cinco actividades económicas que existen en cualquier economía.
3. Explique qué se entiende por cadena productiva y cuáles son las actividades que se llevan a cabo en ella.
4. ¿Cómo están clasificadas las ciencias? ¿A que se le llama ciencias fácticas?
5. Mencione siete áreas básicas que tiene toda empresa de transformación.
6. Mencione y describa cinco operaciones de maquinado de metales.
7. ¿Cuáles son los principales tipos de vaciado de metales?
8. Mencione cuatro procesos electroquímicos para proteger los metales de la oxidación.
9. Describa tres métodos utilizados para unir metales.
10. Describa los cuatro procesos de soldadura de metales.
11. Calcule el volumen de un tanque de almacenamiento para cerveza que tiene las siguientes dimensiones: 3 m de diámetro y 15 m de altura; una vez calculado indique:
 - a) ¿Cuántas pipas con capacidad de 20 000 l, que se llenan a 80% de su volumen, se requieren para transportar la cerveza?
 - b) ¿Cuántas latas de 355 ml se requieren para envasar la cerveza?
12. El aire caliente que se alimenta a un alto horno registra una temperatura de 1 100 °C. ¿Cuál es su temperatura en el sistema inglés y en el sistema internacional?
13. La fórmula para determinar la presión aproximada para realizar perforaciones circulares en metal con punzón es:

$$P = D \times T \times 80$$

Donde:

D = diámetro del agujero a punzonar (en pulgadas)

T = espesor de la lámina de acero

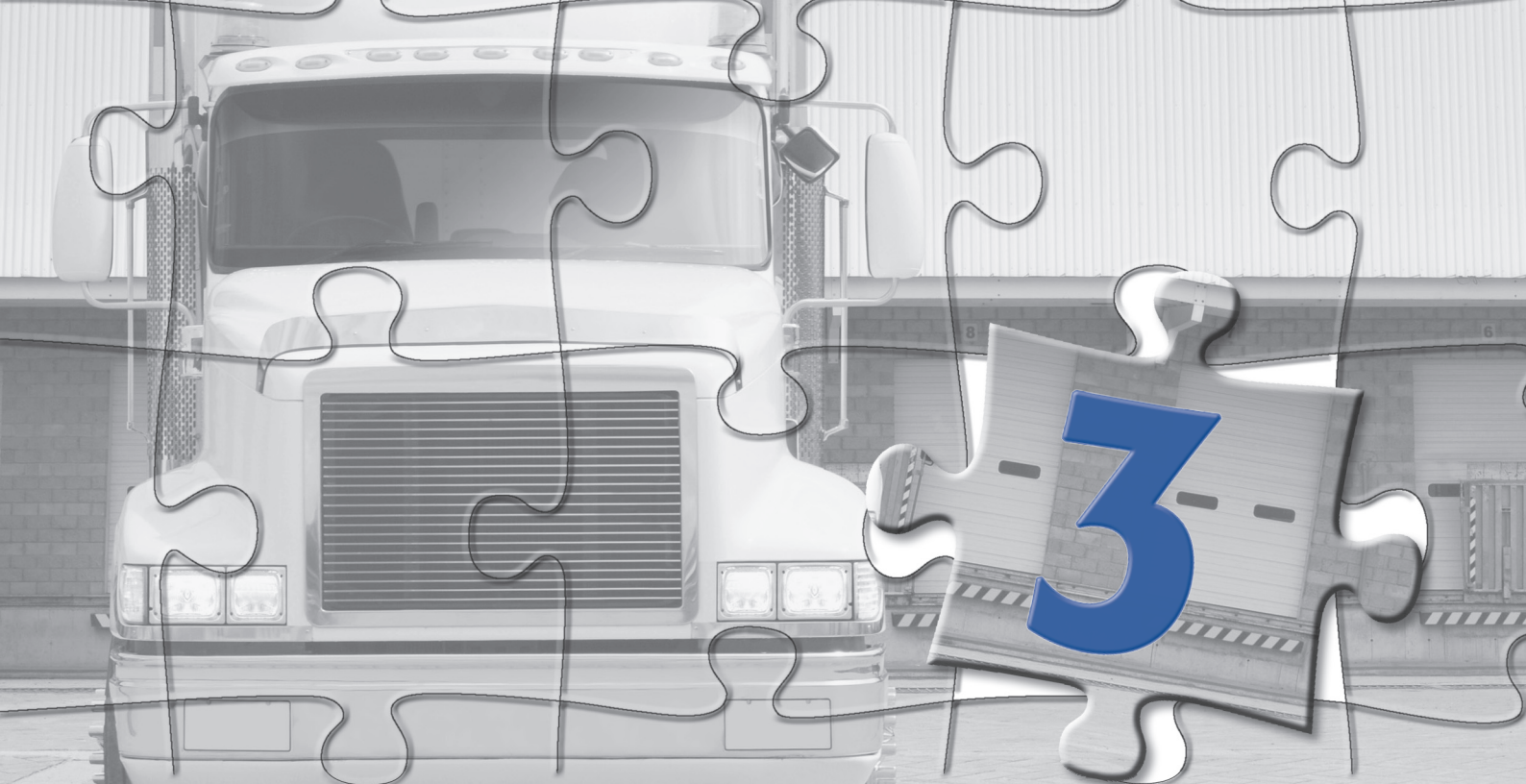
P = presión en toneladas

Se tiene un juego de cuatro punzones, dos son de 1 1/4 de pulgada de diámetro y dos son de 1/2 pulgada de diámetro. Determinar la capacidad de prensado necesaria para perforar lámina de acero de 1/4 de pulgada.
14. Mencione dos métodos de maquinado con los cuales se pueden producir estrías internas.
15. Mencione las ventajas de aserrar verticalmente una barra de sección circular, sobre otros métodos de corte.
16. ¿A qué se llama material de aporte en el proceso de soldadura?

Bibliografía

Alberty, Robert. *Fisicoquímica*. Versión SI. CECSA. 1984.
Brady, James. *Química básica. Principios y estructura*. Limusa-Noriega Editores. 2000.
Baird, Colin. *Química ambiental*. Reverté. 2001.
Doyle, Lawrence. *Materiales y procesos de manufactura para ingenieros*. Tercera edición. Prentice-Hall. 1988.
Felder, Richard. *Principios elementales de los procesos químicos*. Tercera edición. Limusa Wiley. 2004.
Geankoplis, Christie. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. CECSA. 1990.

Henley, Ernest. *Operaciones de separación por etapas de equilibrio en ingeniería química*. Reverté. 2000.
Himmelblau, David. *Principios básicos y cálculos en ingeniería química*. Sexta edición. Prentice-Hall. 1997.
Hein, Morris. *Fundamentos de química*. Thomson. 2000.
Neely, John. *Materiales y procesos de manufactura*. Limusa-Noriega Editores. 1998.
Vera, Fernando. *Diagramas de flujo*. Trillas. 2000.



LOGÍSTICA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Igor Antonio Rivera González

Doctor en Ingeniería Industrial

Instituto Nacional Politécnico de Grenoble, Francia

La logística no sólo se refiere al estudio de los flujos físicos y de información; para hacer un análisis estratégico logístico, necesitamos conocer los flujos económicos y humanos de toda la cadena de suministros.

IAR

Objetivos

- Comprender cómo ha evolucionado la logística a través del tiempo hasta llegar a ser un término que engloba a toda la empresa y su contexto.
- Conocer las principales actividades logísticas que llevan a cabo las empresas y la forma en que los sistemas de información y los nuevos conceptos y técnicas logísticas apoyan a estas actividades.

Introducción

¿Cuándo, cuánto, a qué costo y a quién debemos comprar la *materia prima*? ¿Por qué los *almacenes* de producto terminado están a punto de explotar? ¿Qué tipo de *transporte* debemos utilizar para que los productos terminados lleguen a los clientes en tiempo y forma adecuados? Responder a éstas y otras preguntas, que se plantearán más adelante, es el deber de los responsables de las áreas logísticas de las empresas. Con el paso del tiempo, las personas

especializadas en la *logística* han sido más reconocidos en las organizaciones, pero aún no han adquirido, en la mayoría de las empresas, la importancia que merecen. Muchas veces, la falta de conocimiento o el hecho de no dar el peso adecuado a esta área de la ingeniería industrial y de la administración, ocasiona que las organizaciones no puedan elevar sus estándares económicos o de producción, o mejorar las expectativas que demandan sus clientes.

La logística es un término que ha evolucionado a través del tiempo. Su definición se discutirá más adelante. Sin embargo, es importante señalar, en esta introducción, de manera básica, que la logística abarca actividades desde que la empresa analiza, compra y recibe la materia prima de los proveedores; es decir, desde que los vendedores de suministros (o materias primas) abastecen a la empresa para que ésta pueda realizar las actividades industriales. La logística también interviene en algunas labores dentro de la empresa, donde las materias primas son transformadas en productos terminados. Los productos finales son almacenados, ya sea en la empresa donde se fabrican o en almacenes externos.

Finalmente, la logística desempeña un papel importante cuando los productos terminados son distribuidos, a través de algún medio de transporte, y entregados a los clientes. Estos clientes pueden ser:

- Las empresas de distribución, es decir, empresas que concentran grandes cantidades de productos para después venderlos.
- Tiendas departamentales o de autoservicio.
- Vendedores de pequeños negocios.
- Consumidores finales.

En la figura 3.1 se muestran los elementos que constituyen, a grandes rasgos, las actividades logísticas; asimismo,

se puede vislumbrar un flujo de materiales (también llamado flujo físico), es decir, un encadenamiento de actividades en el que las materias primas son proporcionadas por los *proveedores*, para que la empresa las transformen y se obtengan los productos terminados, que luego serán distribuidos a los clientes.

Por su parte, en la figura 3.2, se observa que el flujo de materiales está ligado a información y aspectos financieros, los cuales ayudarán a controlar las actividades logísticas. El flujo de información es necesario para la comunicación de diferentes aspectos, como las demandas de los clientes, los trayectos que realizan los transportistas, los requerimientos de materias; en fin, para saber qué, cuánto, dónde, para quién y en qué momento se deben elaborar los productos. El flujo financiero es imprescindible para llevar a cabo las actividades logísticas, principalmente, al pagar a los proveedores las materias primas y todos los materiales que se necesitan para que la empresa funcione; por ejemplo,

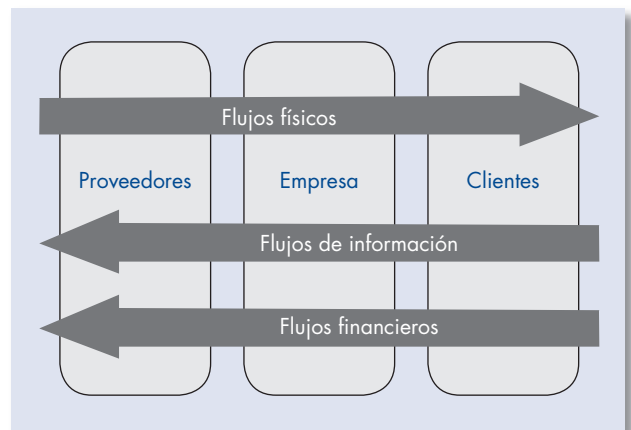


Figura 3.2 Flujos físicos, de información y financieros que intervienen en las actividades logísticas.

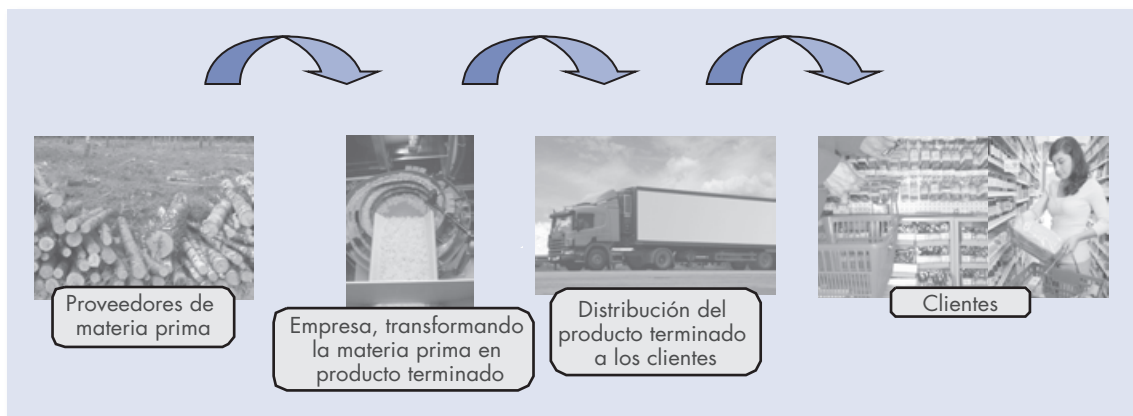


Figura 3.1 Elementos que constituyen las principales actividades logísticas.

al pagar a los transportistas que suministran los productos a los clientes y al cobrar a los clientes los productos terminados.

Actividades logísticas a través de la historia

El término logística se ha utilizado generalmente en el ámbito militar, por lo que es necesario adentrarse a la historia de las tropas militares para entender las bases del significado de logística. Los jefes de guerra de la antigüedad se preocupaban de que no faltaran los alimentos a sus soldados; muchos vestigios muestran cómo en la época de Alejandro el Grande (siglo III a.C.) era común la planeación y la puesta a disposición del personal, de material, infraestructura y servicios para el bienestar de las tropas y cómo los responsables de las mismas diseñaban sus itinerarios de manera que en su camino pudieran encontrar pasturas para sus animales, además de las condiciones más adecuadas para el ejército.

Los militares romanos, al igual que Alejandro el Grande, se caracterizaron por construir canales y conductos de agua, así como por llevar a la práctica rudimentarias cadenas de abastecimiento para las tropas militares. En el año 310 a.C., los romanos construyeron el primer acueducto en Roma, cuya técnica utilizarían en sus aventuras militares posteriores. Otra característica importante de las tropas romanas, era que plantaban viñas en los lugares que conquistaban. Luego, negociaban sus productos con los pobladores de los lugares sometidos para abastecerse de alimentos y continuar sus conquistas. Los romanos también avanzaron en el aspecto de transporte; construyeron las primeras carreteras de largas distancias para que los carruajes de sus legiones avanzaran más rápido, los cuales eran contruidos con especificaciones estrictas, principalmente la fabricación de las ruedas, para acomodar justo el ancho del trasero de los caballos. Las ruedas utilizadas por los romanos, antes ya habían sido manipuladas para facilitar el transporte.

Hacia el año 3300 a.C., la cultura mesopotámica ya utilizaba la rueda para transportar más fácil y rápido sus artículos. Al igual que los mesopotámicos, aunque un poco más tarde, los chinos hicieron lo mismo.

En el continente americano, los comerciantes mayas intercambiaban sus productos con los teotihuacanos y los mesoamericanos; para llevar a cabo estas relaciones comerciales, los mayas trazaban las rutas de transporte más apropiadas. En Sudamérica, los pueblos prehispánicos tuvieron que adiestrar llamas para que auxiliaran en el transporte de mercancías. En la cultura azteca, como no había animal alguno capaz de utilizarse en la carga, se tuvo que

emplear al hombre. Así, surgió el *tameme*, a quien León Portilla describe como “cargador entrenado... y dedicado exclusivamente al transporte de mercancías en la cultura azteca” (Expologística, 2006). Los *tamemes* empezaban a ejercitarse desde muy pequeños y los más hábiles trabajaban en las expediciones de los mercaderes. Para planear una expedición, se calculaba el número de *tamemes* que fuera necesario, teniendo en cuenta el tiempo que duraría el viaje y el número de bajas posibles. Se les daba descanso y atenciones especiales cuando se llegaba a un lugar de venta de productos, a fin de que pudieran recuperarse para la salida siguiente.

Regresando a Europa, se han encontrado varios indicios de actividades logísticas en diferentes culturas. Por ejemplo, los vikingos, en el año 900 d.C., construyeron los mejores barcos de la época a fin de transportar mercancías y con fines militares. Por otro lado, durante la Edad Media, en épocas de guerras continuas, el imperio bizantino insistió en estudiar los métodos de planeación de guerra, la técnica de fortificaciones y los principios de abastecimiento. En la obra *Táctica*, escrita en griego por el emperador bizantino León VI, se puede encontrar el término *logistike techne* (Bla, 2004), que significa el arte de cálculo, y que se ocupaba, entre otros aspectos, de la articulación y el apoyo de las tropas. Esta primera obra en donde aparece el término logística trataba también de las normas que servían para planificar la duración y los espacios de las campañas, el apoyo que éstas deberían tener, las fases de reposo de las tropas y el equipamiento de la armada. Además, analizaba los movimientos de las tropas y evaluaba la fuerza de resistencia del enemigo. La obra de León VI, basada en la lógica y las matemáticas, influyó en los autores militares subsecuentes.

En el siglo XVI, los militares franceses analizaron por qué sus tropas, a pesar de llevar una buena cantidad de productos alimenticios y armas, constantemente perdían batallas. Esta armada, después de hacer varias indagaciones, se dio cuenta de que, aunque las tropas mejoraban sus necesidades de subsistencia, perdían su movilidad. Los militares franceses crearon así al personaje *comisario de víveres*. La labor de esta nueva figura consistía en que, antes de iniciar una avanzada militar, debía visitar los mercados locales donde se planeaba llegar a descansar o atacar. Se acompañaban de proveedores civiles para hacer contratos con los habitantes de la región, a fin de que les abastecieran de productos alimenticios, antes y durante la avanzada. Los mismos militares franceses evolucionaron esta figura, convirtiéndola en los siglos XVII y XVIII en *intendentes de la armada*. Estos nuevos participantes de la guerra tenían por objetivo alquilar espacios y hospitales para el descanso de sus tropas, así como comprar productos alimenticios y forraje para sus animales. Napoleón retomó las experiencias

logísticas de sus compatriotas y además hizo una serie de mejoras para poder atacar al enemigo más eficientemente. Por ejemplo, a él se le atribuye la eliminación de la parte delantera de la capa del uniforme de los soldados para que aumentaran su velocidad.

En Estados Unidos de América la noción de logística la utilizó por primera vez el almirante Thorpe después de 1880. En su obra titulada *Pure Logistics. The Science of War Preparation*, considera a la logística como una ciencia de la conducción de la guerra, que reagrupa a las actividades de abastecimiento, transporte, ingeniería y otras actividades logísticas. Aunque fue durante la Segunda Guerra Mundial, debido a las dimensiones geográficas considerables, que la logística se expresó de manera notoria. Esto fue, sobre todo, a través de métodos y técnicas de investigación de operaciones y de tecnología de sistemas de información, para asegurar el transporte y el almacenamiento de productos necesarios en donde se requería, en tiempo, espacio y cantidad.

Actividades logísticas empresariales

Hasta ahora se ha entendido a la logística como un término utilizado sólo en el ámbito militar. Sin embargo, ésta fue la base que ha ayudado a conformar la disciplina de la logística como se conoce hoy en día, tanto en el ámbito militar, como empresarial. A continuación se presenta una breve historia de la logística en el campo empresarial, donde, obviamente, tiene más interés en la presente obra.

Se empezará describiendo algunos trabajos de Jules Dupuit, prominente ingeniero francés, quien en 1844 escribió su obra *De la Mesure de l'Utilité des Travaux Publics* (*De la medida de la utilidad de los trabajos públicos*), donde el ingeniero francés trata el estudio de comercializar un costo por otro (costos de transporte por costos de inventario), seleccionando entre los costos de transporte terrestre y los de transporte acuático (Dupuit, 1952). Jules Dupuit decía que: "El hecho es que el transporte por carretera, más rápido, más confiable y menos sujeto a pérdidas o daños, tiene la ventaja a la que los hombres de negocios frecuentemente atribuyen un valor considerable. Sin embargo, bien pudiera ser que el ahorro de 0.87 francos anime al mercader a usar el medio acuático; podría adquirir almacenes e incrementar su capital flotante (o circulante) para tener a mano un suministro suficiente de los bienes y protegerse de la lentitud y de las irregularidades de este medio, y si todo lo mencionado le supone el ahorro de 0.87 francos en transporte, le da la ventaja de unos pocos céntimos, por lo cual se decidirá a favor de la nueva ruta". En este visionario de la logística, se notan indicios, más formalizados, para atacar problemas organizacionales, rela-

cionados con el transporte y los *inventarios*, dos elementos esenciales de la logística.

Durante las primeras décadas del siglo xx, dominó la concepción de la división del trabajo. Taylor incursionaba con la "gestión científica" del trabajo, en donde el puesto de trabajo era la unidad a optimizar. Se puede decir que no existe una visión real de logística en este periodo, ya que los problemas eran tratados al interior de una actividad.

Se realizaron pocos estudios relacionados con la logística en las primeras décadas del siglo pasado. Por ejemplo, Gantt fue uno de los primeros en realizar análisis logísticos a través de la minimización de ciclos de producción, aunque es la actividad operadora a la que se le da importancia. Henry Ford, en su fábrica de automóviles, estudió la organización del flujo del producto, pero con una visión particular para cada departamento. Así, se puede ver cómo las primeras actividades logísticas empresariales se dieron en esos tiempos, aunque de manera muy dispersa, donde cada departamento de una empresa resolvía sus problemas sin tener en cuenta las relaciones posibles con otras áreas o departamentos. Por ejemplo, según Langley (1986), en la década de 1950, una gran parte de los gerentes de distribución no tenían la responsabilidad del control de inventarios, por lo que no se podía planear su cantidad y tamaño, con relación a los costos de transporte. Hoy en día, un importante número de empresas aún tiene este tipo de problemas, debido a las visiones estrechas de análisis de actividades logísticas en las mismas. En la figura 3.3 se representa esta visión de la logística, donde las problemáticas entre departamentos no son analizadas en conjunto.

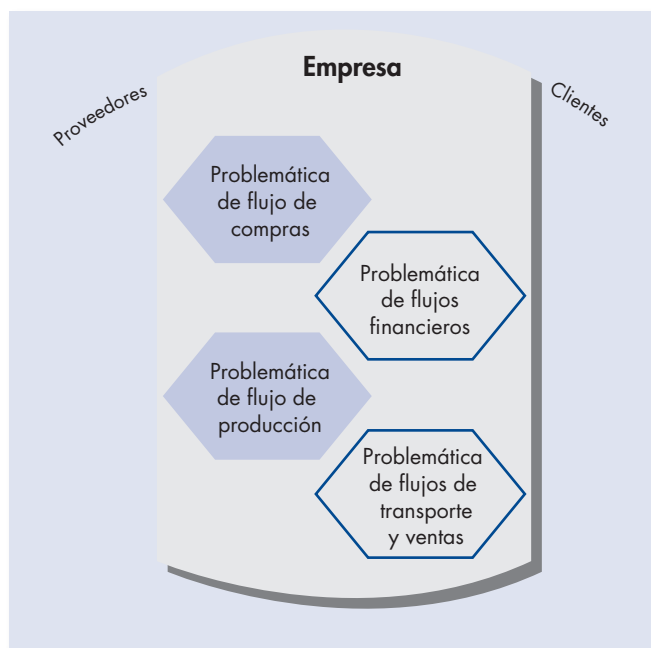


Figura 3.3 Visión logística en el interior de los departamentos.

Muchos años después de las escasas aportaciones logísticas en el ámbito empresarial, apareció una de las primeras obras que hablan de los beneficios de la dirección coordinada de la logística. El escrito mencionado pertenece a Smykay, quien en 1961 redactó *Physical Distribution Management: Logistics Problems of the Firm* (Administración de la distribución física: problemas logísticos de la empresa).

A la par de estos avances teóricos, en los primeros años de la década de 1960, empezaron a trascender los primeros sistemas de gestión-información de las empresas, como la MRP (Material Requirement Planning o Planeación de los Requerimientos de los Materiales) y más tarde la MRP II (Manufacturing Resource Planning o Planeación de los Recursos de Fabricación). Ambos conceptos se analizarán más adelante, cuando se describa la evolución de las herramientas de los sistemas de información. Entre los años 1960 y 1980, a pesar de las herramientas citadas anteriormente, se siguió dando cierta prioridad a los aspectos comerciales e informáticos, y la logística ocupó un segundo plano en la administración industrial. Sin embargo, las relaciones entre los diferentes departamentos de la empresa empezaron a establecerse, compartiendo información con herramientas informáticas integradoras, como se esquematiza en la figura 3.4.

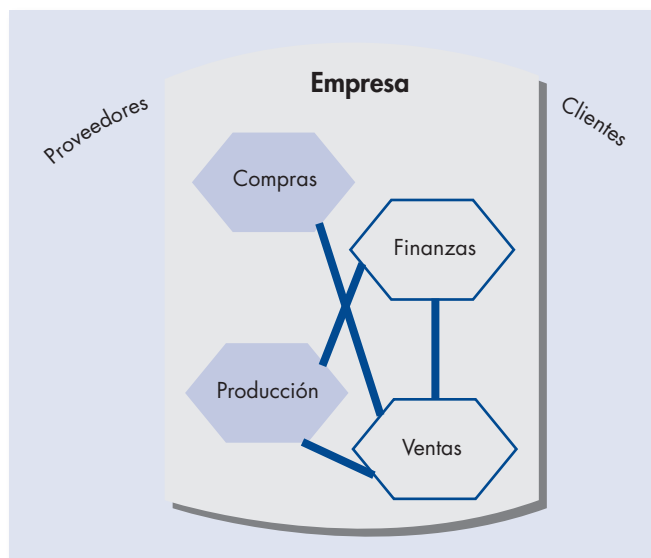


Figura 3.4 Visión logística integradora de toda la empresa.

En la década de 1980, con la mediatización del modelo japonés y las nuevas concepciones de los sistemas abiertos, los análisis de flujos logísticos adquirieron un papel central en la administración industrial. Para la década de 1990, la globalización comercial se encontraba en apogeo. Un importante número de empresas mantenía relaciones

con proveedores y clientes de otros países, con diferentes costumbres de hacer negocios, distintas monedas, lenguas y usos horarios. Las dificultades y complicaciones de las empresas se acrecentaron y aparecieron nuevas problemáticas empresariales. Las organizaciones empezaron a contar con un número mayor de proveedores y de clientes, y esta vez no necesariamente cercanas a éstas. Las empresas se preocuparon más por satisfacer a sus clientes, por lo que requerían contar con proveedores de confianza; así, establecieron cadenas de proveedores y cadenas de clientes, y no sólo relaciones al interior de la empresa. Esto se muestra en la figura 3.5.

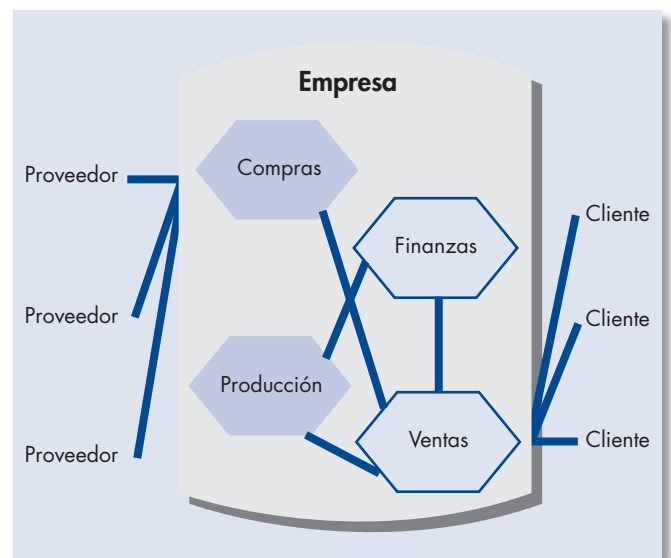


Figura 3.5 Visión logística que integra la cadena proveedores- empresa-clientes.

Al analizar estos nuevos cambios empresariales, los investigadores, académicos y practicantes de la logística en las empresas, consideraron a esta área de la ingeniería industrial como un elemento central de la estrategia de las empresas. Con este fin, se integran conceptos como el de logística integrada, es decir, una logística con una visión de la *Supply Chain Management* (administración de la cadena de suministros o administración de la cadena de abastecimientos, ambas traducciones utilizadas en lengua española). Esta nueva visión, donde las cadenas proveedores-empresa-clientes toman importancia, fundamenta la definición de la logística actual, la cual se estudia a continuación.

Definición de logística

En el apartado anterior se hizo notar cómo las actividades logísticas han evolucionado desde épocas muy remotas. Es

comprensible, por tanto, que se puedan encontrar varios significados de logística a través del tiempo. La mayoría de los diccionarios, como *El Pequeño Larousse*, *Webster's New Encyclopedic Dictionary*, *Le Petit Larousse Illustré* y *Enciclopedia Universale Garzanti*, definen a la logística con una visión militar. Por esa razón, aquí se mencionarán algunas definiciones, argumentando que el concepto que se desea comprender en este libro hace referencia a la logística organizacional o empresarial y no a la logística militar.

Primeramente, se hace alusión a un concepto de logística de la década de 1970, para analizar la evolución del mismo: "La logística engloba las actividades que controlan el flujo de productos, la coordinación de recursos y de distribución, realizando un nivel de servicio a bajo costo" (Heskett, 1973). En este concepto, se mencionan sólo las actividades internas de la empresa; respecto al servicio, sólo aparece el costo como elemento importante y el cliente todavía no es el objetivo principal de la logística.

Organizaciones logísticas de diversos países, también han dado su concepto y comprensión del término. Por ejemplo, el Instituto de Logística del Reino Unido (The United Kingdom Institute of Logistics) define a la logística como "la colocación de recursos en relación con el tiempo". Para la Asociación Francesa de Logísticos de la Empresa (Association des logisticiens d'entreprise, ASLOG), "la logística es un ensamble de actividades que tiene como objetivo la puesta en marcha, al menor costo, de una cantidad de producto, en el lugar y en el momento donde existe una demanda". Hasta aquí, las definiciones de logística hablan del ensamble de un conjunto de actividades, y, al mismo tiempo, el cliente sigue sin tomar el papel principal.

Por su parte, El Instituto de Logística de la Universidad de Georgia Tech (The Institute of Logistics at Georgia Tech, 2004) define a la logística como "la colección de actividades asociadas con la adquisición, movimiento, almacenamiento y distribución en la cadena de suministros (por ejemplo, productos en todos los procesos de manufactura, servicio e información). La logística incluye las funciones de transportación, distribución, almacenamiento, manejo de materiales, administración de inventarios e interfaces que se relacionan con la manufactura y el marketing" (The ILGT, 2004).

Finalmente, el Consejo de Dirección Logística (The Council of Logistics Management, CLM, 2004), organización profesional de gerentes de logística, docentes y profesionales, formada en 1962 en Estados Unidos de América, da una definición muy completa, la cual es el resultado de la evolución de sus conceptos anteriores: "La logística es la parte del proceso de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficientes y efectivos de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto

de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes".

Estas dos últimas acepciones tratan un punto de vista hacia la *Supply chain* (o cadena de suministros), la cual se abordará en los párrafos siguientes. También se puede notar que el concepto del CLM considera al "cliente" como elemento principal de la comprensión del término. Asimismo, este concepto trata a la logística como un proceso que incluye los flujos del producto y los de información, desde que son materias primas, hasta que llegan a los clientes.

Por lo anterior, se puede decir que este concepto es el más apropiado para la conceptualización de la logística; sin embargo, al hablar de flujos logísticos, es conveniente agregar el elemento de flujos financieros. Así, como se describió en la introducción de este capítulo, en la logística interactúan tres flujos: de producto, información y financiero.

Relaciones entre la logística y la Supply Chain Management

El concepto anterior lleva a un nuevo término: *The Supply Chain* (o como se había traducido anteriormente, cadena de abastecimientos o de suministros). Este nuevo concepto apareció a principios de la década de 1990, debido a que algunos investigadores y empresas dieron importancia al hecho de administrar, de manera integral, un conjunto de empresas que trabajaban de forma más o menos complementaria, para dar un seguimiento desde la materia prima hasta llevar los productos finales a los consumidores. Entre los investigadores que mejor definen la administración de la cadena de suministros se encuentra Mentzer *et al.* (2001), quien define este concepto como sigue:

"La administración de la cadena de suministros es la coordinación sistemática y estratégica de las funciones tradicionales del negocio y de las tácticas a través de estas funciones empresariales dentro de una compañía en particular, y a través de las empresas que participan en la cadena de suministros con el fin de mejorar el desempeño a largo plazo de las empresas individuales y de la cadena de suministros como un todo."

En la figura 3.6 se presenta la evolución de la cadena de suministros.

En la evolución representada en la figura 3.6, se puede notar que la logística está empezando a ceder terreno a la administración de la cadena de suministros. También se observa que a una logística integrada, ahora también se le puede llamar administración de la cadena de suministros. Así, es importante aclarar los términos administración de la cadena de suministros y logística integrada. Para algunos académicos (Simchi-Levi, *et al.*, 2000), entre otros, la administración de la cadena de suministros es diferente de la

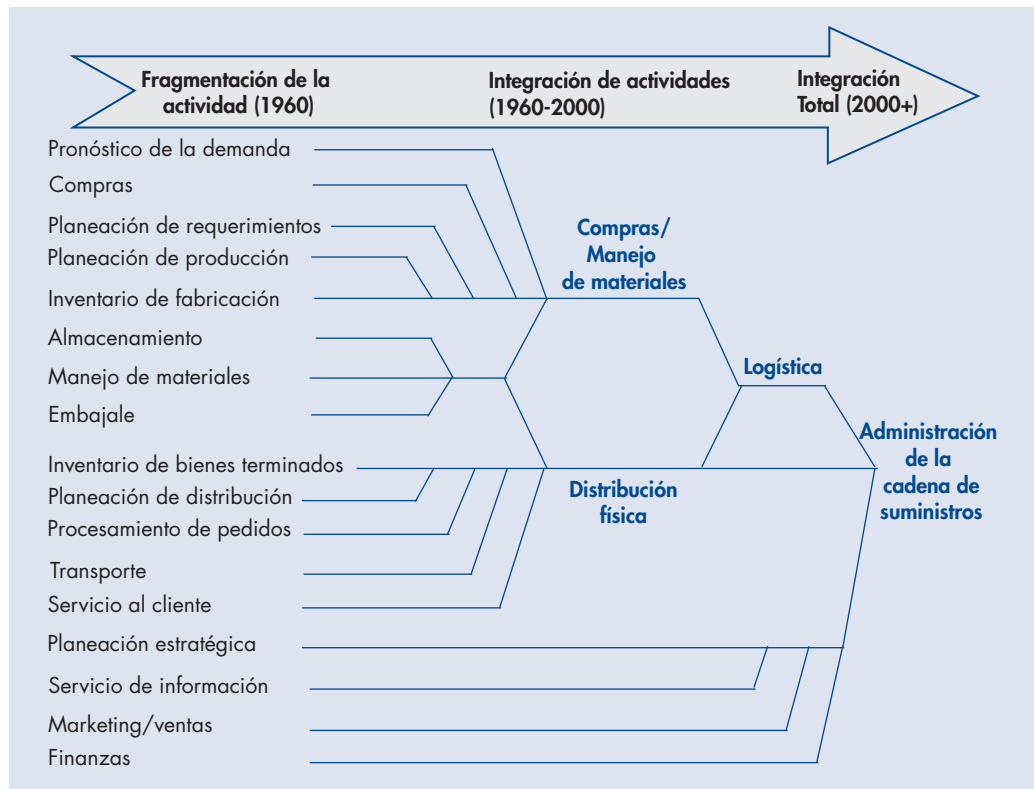


Figura 3.6 Evolución de la cadena de suministros (adaptado de Yuva, 2002).

logística integrada, debido a la toma de decisiones estratégicas.¹ Para otros académicos (Ballou, 2004 y Carranza *et al.*, 2005), la diferenciación entre estos dos conceptos es innecesaria al momento de aplicarlos. Si bien, la administración de la cadena de suministros es más amplia que la logística, la logística integrada ocupa el mismo nivel, ya que ésta se puede llevar también a términos de planeación y estrategia.

Para finalizar este apartado, se puede decir que el concepto de logística, analizado desde el punto de vista de la administración de la cadena de suministros (SCM), es decir, como logística integrada, se caracteriza por los siguientes puntos:

- Planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento de productos.
- Los flujos que maneja son de materiales (o físicos), de información y financieros.

- Estas actividades las realiza durante toda la cadena de empresas que tienen relaciones con el producto; desde la adquisición de las materias primas hasta el seguimiento del producto terminado que se vende a los clientes.
- Si estas actividades logísticas son planeadas estratégicamente y están ligadas a la estrategia empresarial, los resultados serán más importantes.
- El fin de todo esto es la satisfacción de los requerimientos de los clientes.

Actividades logísticas

Como se describió antes, las actividades logísticas se han desarrollado en distintas etapas de la historia de la humanidad. Primero, estas actividades fueron sólo de tipo militar y hasta épocas muy recientes su uso se ha extendido a

¹ Las decisiones estratégicas logísticas hacen referencia a la toma de decisiones, considerando los objetivos globales de la organización; es decir, son las decisiones que tienen en cuenta el conjunto de actividades de la cadena de suministros para poder elegir lo que más le conviene a la empresa.

aplicaciones empresariales. Con base en los elementos que componen el concepto logístico, analizado antes y relacionando con la comprensión que Ballou (2004) hace de las actividades logísticas (figura 3.7), se tienen las siguientes premisas:

- a) El objetivo de las actividades logísticas es el servicio al cliente.
- b) Las actividades logísticas principales son:
 - La ubicación de instalaciones, es decir, los espacios físicos que se utilizarán para la empresa.
 - Las decisiones de inventario, o sea, la cantidad de productos (o materiales) que la empresa mantiene en sus almacenes.
 - Las decisiones de transportación, es decir, qué tipo de transporte se utilizará para enviar los productos a los centros de distribución o a los clientes finales.
- c) Los sistemas de información son herramientas que apoyan la realización de las actividades logísticas, y que han contribuido, principalmente en los últimos años, a multiplicar la eficiencia de este tipo de actividades empresariales.

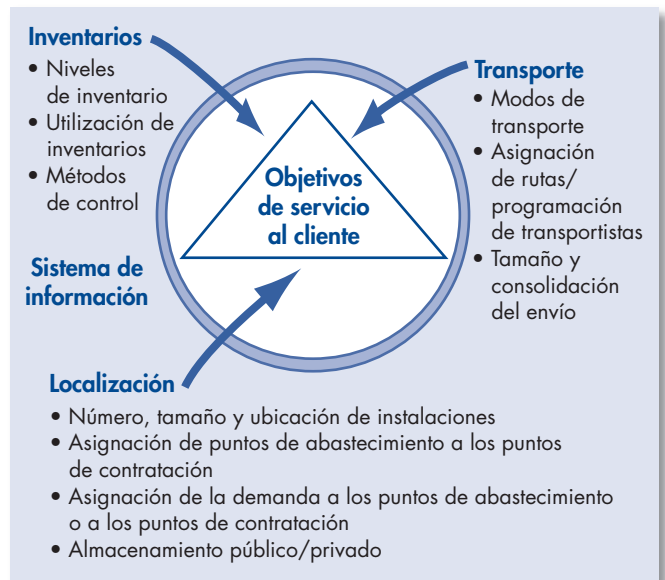


Figura 3.7 Actividades logísticas (adaptado de Ballou, 2004).

Tomando como base la figura 3.7, podemos notar varios elementos que intervienen en la logística, desde el servicio al cliente y los sistemas de información hasta los inventarios, las instalaciones y el transporte. Antes de iniciar el análisis de estos elementos, en la figura 3.8 se plantean

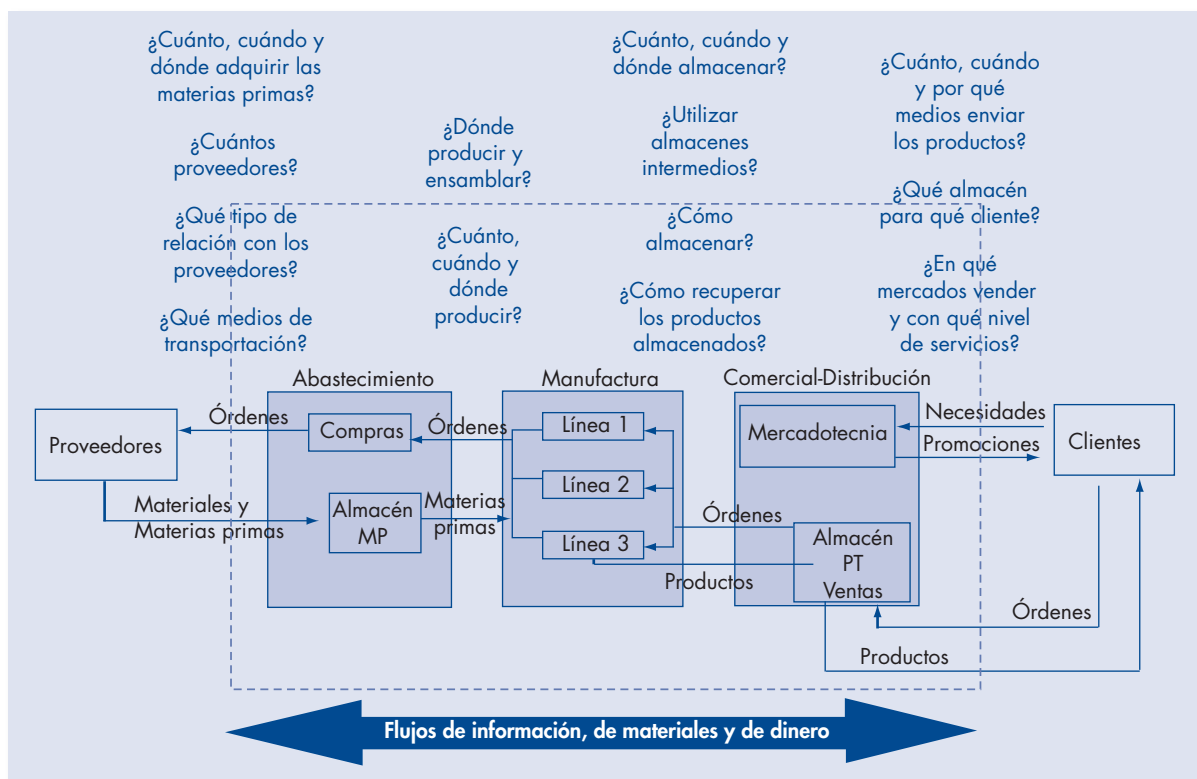


Figura 3.8 Preguntas logísticas.

algunas preguntas logísticas comunes de las empresas; ubicadas, más o menos, en el lugar donde se analizan al interior de la empresa. Para responderlas, se utilizan técnicas de varios tipos, desde aspectos de lógica, matemáticas, investigación de operaciones y optimización, hasta métodos de simulación, financieros y sistemas de información. Es importante señalar, por tanto, la afinidad que guarda la logística con varias áreas de la ingeniería industrial de la administración y de la informática, entre otras.

Servicio al cliente

La importancia de dar servicio al cliente ha cambiado a lo largo de los años, no sólo en los aspectos logísticos, sino también en las áreas de calidad, productividad y finanzas. En la figura 3.9 se analiza cómo ha evolucionado el servicio logístico a los clientes, y se describe, con apoyo de las investigaciones de Levitt (1985), la evolución del peso comercial de la logística. La explicación es la siguiente:

- El cliente del pasado daba más importancia al producto genérico, es decir, la ventaja del servicio era aportada principalmente por el producto.
- En seguida, comenzó a tomar importancia el producto esperado, el cual se compone de todo aquello que acompaña al producto genérico, como entregas a tiempo y en cantidad demandadas y servicios prestados a los clientes.
- La representación del producto aumentado en la figura corresponde a todo aquello que se ofrece de más, constituyendo una calidad distinta en relación con la competencia; por ejemplo, el servicio posventa y las entregas cortas.
- Por último, el cliente actual da más atención al producto potencial, es decir, al producto que incluye todo aquello que es potencialmente reali-

zable para atraer y conservar al cliente, como la capacidad de innovación y el crédito ofrecido para pagar.

En la figura 3.9 también se puede comprender cómo las acciones logísticas han ido cambiando las interacciones con el cliente: en un principio el producto era lo importante y ahora lo es el servicio.

Las empresas que trabajan con una visión de logística integrada, tienen la tarea de decidir el nivel de servicio logístico que proporcionan a sus clientes. Si una empresa se compromete a ofrecer niveles altos de servicio, debe poner énfasis en cada una de las actividades logísticas: inventarios, transporte y *localización*. Mientras más niveles altos de servicio logístico se proporcionen a los clientes, más elevados serán los costos y viceversa. Por tanto, si se desea tener bajos costos en el servicio al cliente, bastaría con realizar sólo inventarios centralizados en pocos almacenes; trasladar los productos en el transporte menos costoso posible, sin importar tiempos y embalaje; y contar con instalaciones escasas, indeseadas y poco flexibles. El caso contrario sería contar con excelentes servicios logísticos para los clientes, lo cual parecería ser la mejor opción para las empresas. Sin embargo, no siempre es así, pues al ser muy altos los costos de servicios logísticos podrían aumentar, de manera desproporcionada, los precios de los productos. Esto puede provocar que las empresas obtengan menos beneficios de sus ventas o que den más caros sus productos y que sea difícil que los clientes los compren. En la figura 3.10 se observa esta relación directamente proporcional.

Como se puede ver, a mayor nivel de servicio logístico requerido, habrá un mayor precio de satisfacer el servicio. Es importante destacar que, en la mayoría de los casos, no todos los clientes de una empresa requieren el mismo servicio logístico. Algunos necesitarán sus pedidos rápidamente, o con características muy específicas. Otros clientes

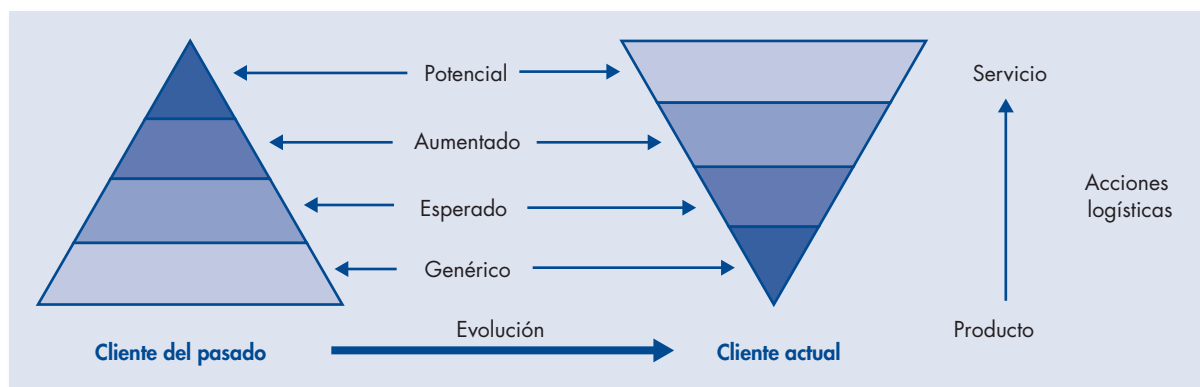


Figura 3.9 Evolución del servicio logístico hacia los clientes (elaboración propia basada en Levitt, 1985).

demandarán más el precio o la seguridad de recibir el producto. En la figura 3.10 se muestran dos letras: la A indica que el servicio logístico demandado por un cliente es bajo. El precio de este servicio logístico, naturalmente, no es alto. Por el contrario, la letra B representa a un cliente que demanda un nivel alto de servicio logístico. El precio de este servicio se eleva de manera considerable. En este ejemplo básico se puede notar la importancia de que una empresa conozca a sus clientes para poder definir el nivel de servicios logísticos que desea proporcionar a cada uno.

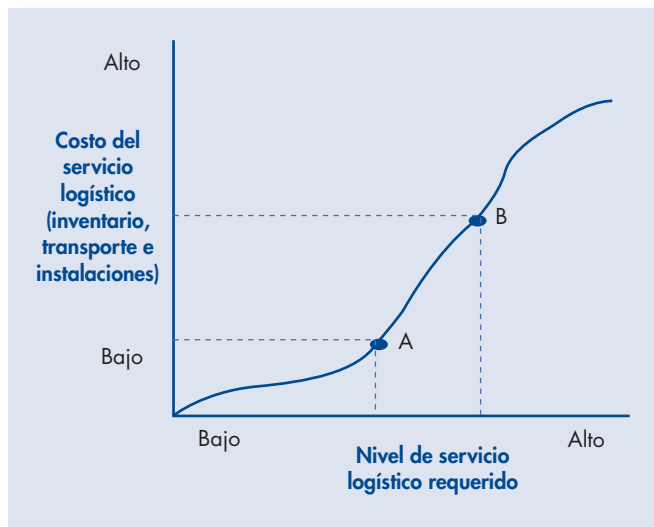


Figura 3.10 La relación entre el nivel de servicio logístico y su costo (adaptado de Ballou, 2004).

Inventarios

Los inventarios son las reservas (o *stock*) de materias primas, de productos en proceso o productos terminados y de materiales con que cuenta una empresa para soportar los procesos de producción, las actividades y las demandas de los clientes.

Los inventarios se clasifican de acuerdo con su flujo en:

- Materias primas.
- Productos en proceso o semiterminados.
- Productos terminados.
- Distribución.
- Mantenimiento, reparación y operaciones de soporte.

La inexistencia de inventarios puede ocasionar que las empresas tomen mucho tiempo en llevar a cabo sus procesos, pues al llegar el momento en que falte un instrumento, un

envase o una pieza de intercambio de una máquina se detendrían las acciones que se estuvieran llevando a cabo. De igual manera, si una empresa no contara con inventario de materia prima o de producto en proceso, no tendría el dinamismo requerido en el proceso de producción. Asimismo, si una empresa no tiene en cuenta el inventario de productos finales, no podrá satisfacer las necesidades de los clientes rápidamente. Esto provocaría que varios de ellos se fueran con otros competidores.

En el párrafo anterior se empiezan a notar ya elementos que indican la importancia de los inventarios. La lista que sigue resume los propósitos principales de los mismos:

- Anticipar futuras demandas.
- Cubrir fluctuaciones en el suministro de proveedores o en la demanda de los clientes.
- Comprar o manufacturar en cantidades mayores a las necesariamente inmediatas.
- Cubrir el tiempo necesario para mover bienes de un sitio a otro.
- Protegerse contra fluctuaciones en los precios.

Hace varias décadas, las empresas trataban de contar con inventarios importantes para no sufrir los problemas antes mencionados. Sin embargo, en los últimos años, se han estudiado más a fondo los inventarios y varias investigaciones han concluido que tener grandes inventarios no siempre hace que una empresa obtenga mayores ganancias. Si una empresa tiene inventarios, siempre estará expuesta a que éstos se vuelvan obsoletos, porque quedan descontinuados o caducan. Además, tener inventarios hace que se utilicen almacenes, los cuales tienen un costo. El extremo opuesto de contar con grandes inventarios es una visión "cero inventarios". Esto quiere decir que la empresa trabaja sin inventarios, manteniendo fuertes relaciones con los proveedores para que les suministren las materias primas en el momento, cantidad y calidad adecuados. Técnicas informáticas integradas y técnicas japonesas, como el "Justo a tiempo", son utilizadas para trabajar con cero inventarios. Sin embargo, aunque esta visión parece seductora, en realidad difícilmente puede ser aplicada, ya que se descuida al cliente.

Se puede concluir, por tanto, que la única razón de contar con inventarios es porque el costo de mantener el inventario es menor que si no se tuviera. Es decir, el costo de mantenimiento, espacio y obsolescencia del inventario es menor que el costo que paga la empresa por no dar el servicio al cliente. Nuevamente, es notorio cómo el servicio al cliente desempeña un papel importante en estas decisiones.

Localización o ubicación de instalaciones

Esta actividad logística se refiere a resolver el problema de la ubicación de la empresa, de sus almacenes y de sus puntos de abastecimiento.

Para poder planear los aspectos de localización en las empresas es necesario contar con conocimientos importantes sobre la ubicación de los proveedores principales, los puntos de almacenamiento, los clientes y los competidores. Con estos elementos es más fácil planear y establecer el número, la ubicación y el tamaño de las instalaciones; así como la asignación de la demanda del mercado, para poder determinar las rutas de transporte que llevarán los productos a los clientes.

En apartados anteriores se analizó que la logística de hoy en día se debe entender como una visión de *Supply chain*. Las cadenas analizadas desde un punto de vista logístico son muy extensas, muchas veces parten de los proveedores y terminan en los clientes finales. Así, se puede observar que las instalaciones que generalmente las empresas analizan en su cadena o red, son:

- Plantas
- Puertos
- Proveedores
- Almacenes
- Puntos de venta al menudeo
- Centros de servicio

Como se ve, muchas veces el área de localización es el centro de la planeación estratégica logística de una empresa, ya que ésta considera los aspectos de inventarios y transporte para encontrar una mejor ubicación de las instalaciones, a fin de satisfacer de mejor manera al cliente y obtener mayores ganancias para la empresa.

Transporte

Las actividades relacionadas con el transporte incluyen principalmente la selección del modo de transporte, el tamaño del envío, el establecimiento y la programación de rutas de transporte. En la figura 3.11 se señalan los cinco tipos básicos de transporte y en seguida se presentan algunas características de cada uno.

El ferrocarril es el medio de transporte que más se adapta al traslado de volúmenes grandes de mercancías, a largas distancias. Se caracteriza por ser muy económico y flexible en los tipos de mercancías trasladadas. En algunos países, principalmente europeos, donde las redes ferroviarias son importantes, los tiempos en largas distancias son muy razonables, ya que además de una velocidad considerable se puede evadir el tráfico. Sin embargo, uno de los problemas de este medio de transporte es la poca frecuencia, en comparación con los camiones. Los productos que normalmente se transportan a través del ferrocarril son materias primas de bajo valor, como carbón, madera, químicos y productos manufacturados de bajo valor, como productos alimentarios, de papel y madera.

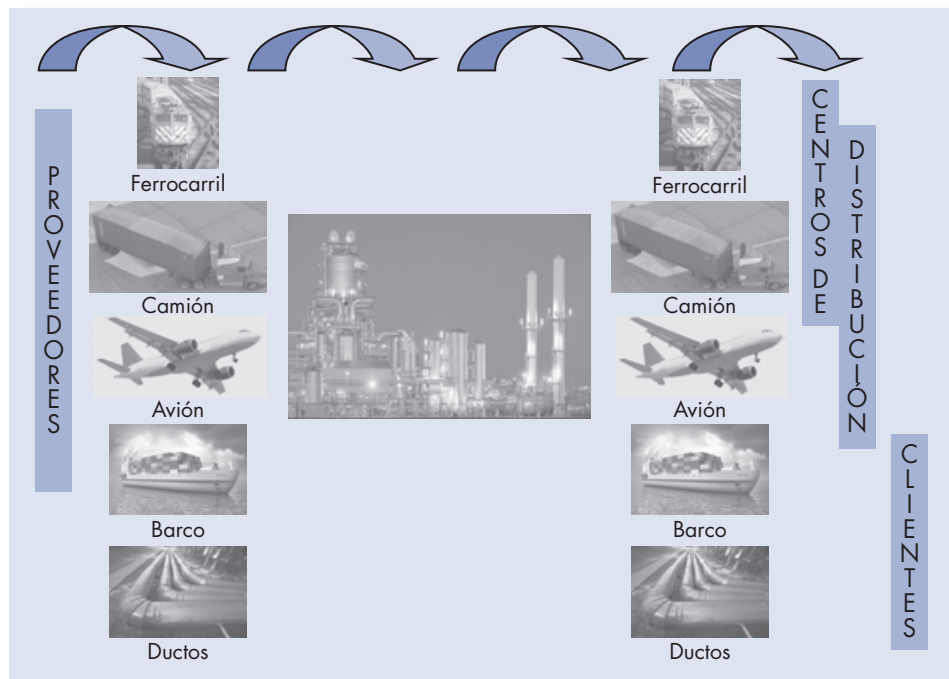


Figura 3.11 Medios de transporte básicos en la cadena logística.

El transporte por carretera se caracteriza por proporcionar un servicio a domicilio, además de ser rápido y flexible. Satisface la distribución de mercancías de bajo volumen o con mercado disperso. Este tipo de transporte tiene la ventaja de dar un buen servicio en el mercado de envíos pequeños. El uso de los camiones es principalmente para transportar productos semiterminados y terminados, con recorridos y tamaños menores que el ferrocarril.

Por su parte, el transporte aéreo es un medio bastante rápido, aunque paradójicamente los tiempos de entrega promedio son menos confiables que los de los anteriores transportes analizados. El avión se utiliza sobre todo para trasladar productos frágiles, de gran valor, de bajo peso o que representen asuntos urgentes. Sin embargo, existen inconvenientes de este servicio, como las tarifas altas y la capacidad limitada.

Los barcos se han utilizado desde hace mucho tiempo, aunque en la actualidad, los medios de transporte acuáticos se caracterizan por transportar productos de bajo valor, en largas distancias, a un bajo costo, de peso considerable y a granel. Entre sus principales inconvenientes se encuentra su lentitud y que, generalmente, no llega al domicilio, además de que el servicio es limitado y la confiabilidad del servicio la determina, de manera importante, el clima.

Finalmente, los ductos son medios de transporte que ofrecen un rango limitado de servicios, pero con altos índices de capacidad. El servicio de este tipo de transporte es muy lento, aunque es el más confiable de los transportes. Entre los principales productos que se trasladan en ductos está el gas y el petróleo crudo o productos refinados del petróleo.

Se han analizado ya los cinco principales medios de transporte que utilizan las empresas en la actualidad, sin embargo, al ofrecer servicios logísticos, muchas veces las empresas combinan los modos de transporte. Por ejemplo, una empresa ubicada en la Ciudad de México que quisiera vender productos de bajo precio a un cliente en París podría hacer el siguiente trayecto: trasladar sus productos terminados en camión de México al puerto más cercano, a unos 300 km de la ciudad, para que ahí sean embarcados y transportados al puerto de Ámsterdam (principal puerto europeo). En seguida, se haría el traslado en ferrocarril de Ámsterdam a París y, por último, ya en la estación de trenes de París, un trayecto en camión para llevar el producto terminado hasta la puerta del cliente.

Es lógico pensar que para que los productos de una empresa lleguen siempre sin retrasos a los clientes éstos deben enviarse por avión. Pero esto variará debido al costo y al tipo de servicio logístico que se le quiera dar al cliente. Cuando se hacen planeaciones logísticas de transporte en las empresas, es importante tener en cuenta los aspectos de servicio que se le quiere proporcionar al cliente y el

costo que se acepta pagar por dar ese servicio. Además, se deben considerar otros factores, como costos de instalaciones o de inventario, que servirán para poder tomar la mejor decisión. En la figura 3.12 se esquematizan algunas de las interacciones mencionadas. En ésta, la curva superior muestra el costo total, es decir, la suma de las dos curvas inferiores. La curva del costo de servicio de transportación muestra cómo el costo aumenta si se utilizan medios de transporte más veloces y confiables, como el aéreo. Inversamente, el costo de inventario disminuye cuando se utilizan medios de transporte como el avión, esto se debe a que los productos circulan más rápido y no se necesita contar con altos niveles de inventario. Si la empresa busca reducir los costos logísticos se debe encontrar la mejor combinación entre estos dos elementos representados en el ejemplo. Para el caso analizado, el menor costo total se da al utilizar los camiones (línea punteada). Así, se puede concluir que las empresas deben buscar el equilibrio entre los diferentes costos logísticos, sean éstos costos de servicios de transportación, de localización o de inventario, para poder minimizar los mismos.

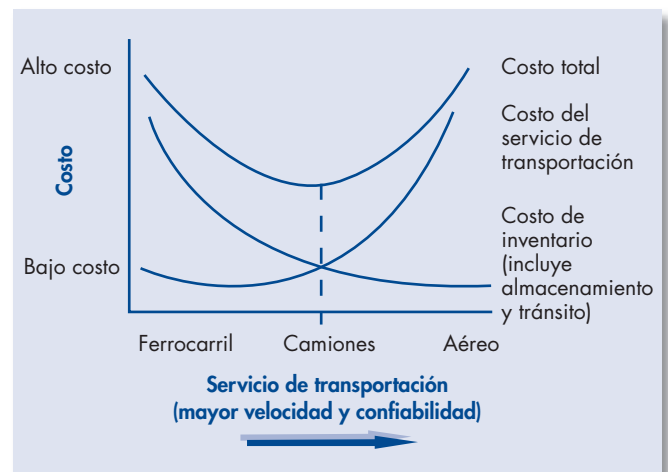


Figura 3.12 La relación entre el servicio de transportación y sus costos asociados (Ballou, 2004).

Sistemas logísticos de información

En el apartado anterior se describieron las actividades logísticas principales y la importancia que tiene el servicio al cliente en esta área. Ahora para completar la figura 3.7, es importante tener en cuenta las herramientas de información que facilitan la realización de las actividades logísticas. Estas herramientas han resuelto una gran cantidad de problemas de las empresas, sobre todo cuando éstas se llevan al cabo en diversos mercados, con un importante número de proveedores y de clientes.

Hace varias décadas, la mayoría de las empresas se desarrollaba en mercados locales, tenía pocos proveedores y clientes, y casi todos hablaban el mismo idioma que la empresa y seguían las mismas reglas de mercado; esto hacía que la transferencia de la información entre la empresa y los entes con quienes tenía relación fuera relativamente fácil. Sin embargo, con el surgimiento de la globalización, las empresas se vieron en la necesidad de compartir mercados con sus competidores, pero también tuvieron la oportunidad de contar con proveedores diversos que satisfacían mejor sus demandas y con clientes que compraban sus productos en otras latitudes del mundo. Es decir, al abrirse los mercados, las relaciones comerciales aumentaron, y, por tanto, los datos a compartir se incrementaron exponencialmente, con algunas dificultades sumadas: las empresas habían vivido en mercados diferentes, se comunicaban de manera distinta, hablaban lenguas diferentes y la cultura de trabajo y la manera de transmitir la información era diferente.

Con la explosión de la información, tanto al interior como al exterior de las empresas, se vislumbraban varias problemáticas de transmisión de la información. Las primeras herramientas de información integraban un importante número de datos dentro de la empresa, pero con la multiplicación de actividades, la obsolescencia de las herramientas o su mala utilización, se hizo necesario el uso de herramientas más integradas.

En la actualidad, un sistema de información, según Alter (1993), "es un conjunto organizado de recursos, que se apoya en la utilización de las tecnologías de información y que sirve para documentar, transmitir, almacenar, reencontrar, manipular o dar a conocer la información utilizada en uno o varios procesos de la empresa". Para otros autores, como Fawcett y Clinton (1997), "los sistemas de información logísticos desempeñan un importante papel de facilitadores, ya que ellos ligan la diversidad de datos y la dispersión geográfica de actividades".

Los trabajadores de las empresas dedicados a las actividades logísticas, se han valido de las nuevas herramientas de información para realizar pronósticos más precisos en cuanto a la administración del inventario, la optimización de redes y rutas de transporte y la distribución en almacenes, para mantener bajos niveles de inventarios y reducir el manejo de material a través de la cadena de suministro. Los logísticos, al utilizar estas nuevas herramientas, han podido suministrar la información a tiempo y de manera oportuna.

En ingeniería industrial, la evolución de las herramientas de sistemas de información inició a mediados de la década de 1970, con la MRP (Material Requirement Planning, o Planeación de Requerimientos de Materiales), seguidos de la MRP II (Manufacturing Resource Planning, o Planea-

ción de Recursos de Manufactura). La MRP sirve para programar partes, materiales y suministros, cuya demanda se conoce relativamente bien. Una de sus funciones principales es evitar en lo posible artículos en inventario. La evolución de la MRP se consagró con la MRP II, ambos sistemas de información que integran los datos de la producción, del inventario y de las finanzas. Una concepción de integración de procesos estaba evolucionando.

Más tarde, en la década de 1990, se puso en práctica una nueva concepción en las empresas, la cual influía en la visión logística de atacar las problemáticas empresariales y que, en relación con las herramientas informáticas, dio lugar a la ERP (Enterprise Resource Planning, o Planeación de Recursos Empresariales o Sistemas Integrales de Gestión). La ERP se caracteriza por contar con una base de datos común de la mayor parte de las funciones de la empresa, lo que, según Baptiste, Botta, Niel y Subaï (2001), permite administrar y optimizar el ensamble de los recursos de la empresa. En la figura 3.13 se representa la evolución antes descrita, ya que en ésta se representa la evolución de las herramientas de información, que la logística y la ingeniería industrial han utilizado para atender de manera más efectiva sus necesidades. Junto con las herramientas de información están representadas las concepciones logísticas y, finalmente, las décadas en las que aproximadamente se fueron desarrollando las visiones logísticas y las herramientas de información.

Se ha descrito cómo la MRP fue la primera herramienta informática que utilizó la logística para resolver principalmente problemas de inventarios, es decir, problemas muy puntuales y funcionales. En seguida, con la llegada de la MRP II, se generó una visión de la empresa de integración de los procesos. Más tarde, la visión logística trataba de incorporar conceptos de integración a toda la empresa y fue la ERP la que participó como herramienta informática para satisfacer estas necesidades.

Con la incorporación de las problemáticas empresariales de la década de 1990, ya descritas anteriormente, una visión de Supply Chain Management (o Administración de la Cadena de Suministros) se fue desarrollando en las empresas. La nueva visión de la logística involucraba a los entes con los que la empresa mantenía interrelaciones. Los editores y personal afín a la ERP tuvieron que relacionar esta herramienta con otras que pudieran satisfacer las nuevas necesidades de las empresas. Así, tomaron importancia la SRM (Supplier Relationship Management, o Administración de Relaciones con los Proveedores), la CRM (Customer Relationship Management, o Administración de Relaciones con los Clientes), el APS (Advanced Planning Scheduling, o Programa de Planeación Avanzada, utilizados principalmente para planear y ordenar las actividades de producción, distribución y transporte en las empresas), y muchas otras herramientas de información.

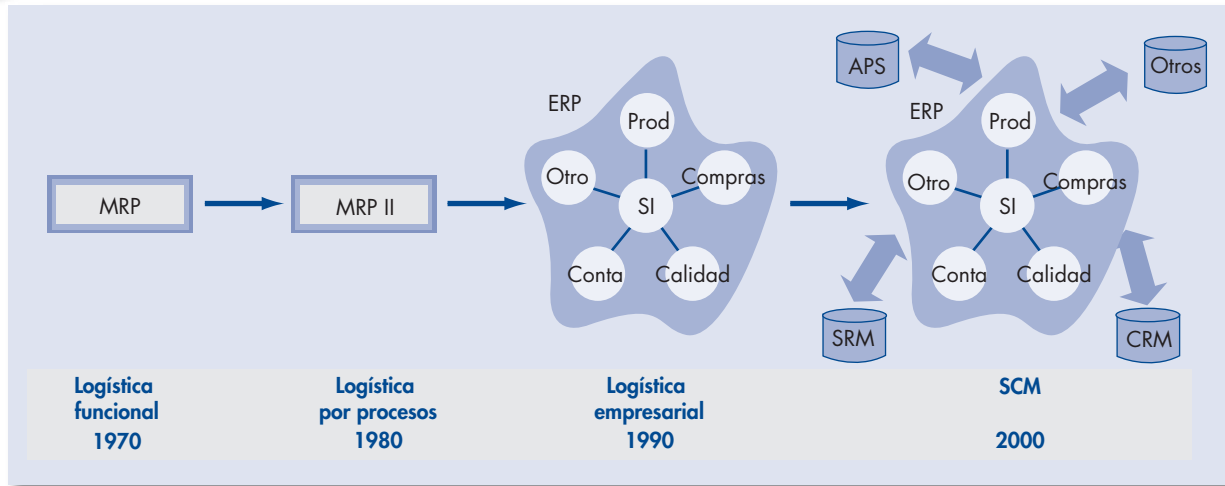


Figura 3.13 Evolución de las herramientas logísticas de información.

La ERP es una herramienta que puede crear, o editar, un grupo de profesionales de la propia empresa, haciendo una ERP a la medida o, pueden elaborarla empresas consultoras llamadas editoras de ERP, que venden sus herramientas como soluciones generales a las empresas. En el mercado informático, las nuevas herramientas, como SRM, CRM, APS y muchas otras, se han incorporado de tal modo a la ERP que varios editores las venden como herramienta única. Algunos otros, prefieren las interfaces entre ERP y estas últimas herramientas de la información.

La ERP tiene un gran impacto en las organizaciones, debido a que comprende la mayor parte (o todas) las actividades de los departamentos de una empresa.

Para concluir este apartado, se presentan brevemente algunos resultados de investigaciones que han tratado el problema de la implantación de herramientas ERP en las empresas. Varios estudios, como el de Multilignes Conseil (2000) y los de Standish Group en 1995 y KPMG Group en 1997 (Wilson, 1998), señalan que menos de 20% de los proyectos ERP no terminan como se habían planeado en un principio y 35% de los proyectos ERP fracasan por completo.

Otras investigaciones señalan que la implantación de la ERP demanda repensar la organización (Kallinikos, 2004) y que la ERP es una tecnología de ruptura, pues tiene impacto en toda la empresa (ANACT, 2004), ya que provoca el cambio organizacional (Guffond *et al.*, 2002; Koch, 2001) y su uso abre una oportunidad a la innovación (Segrestin, 2004) y a los procesos de aprendizaje (Scherer, 2000; Huang *et al.*, 2001; Rivera *et al.*, 2004).

Conceptos logísticos actuales

Los problemas actuales de las empresas, en materia logística, hacen que esta disciplina de la ingeniería industrial y de la administración esté evolucionando constantemente. El incremento de la competencia global de las nuevas tecnologías de información y la integración de actividades de valor agregado incluidas en la cadena de suministros, ha influido en que el ciclo de vida del producto sea cada vez más corto.

En el apartado anterior se estudió una pequeña muestra de la diversidad de herramientas utilizadas como sistemas de información. A éstas se debe agregar otra gran cantidad de sistemas de información que existen en los mercados. Las tecnologías de información que fueron utilizadas por los logísticos hace algunos años, hoy en día pueden parecer obsoletas.

En materia de visiones de la logística, se presentó a lo largo de este capítulo una evolución a partir de la logística funcional, pasando por la logística de procesos, la logística empresarial y la logística integrada o *Supply Chain Management*, que integra las actividades de todos los departamentos dentro de la empresa y mantiene relaciones con los proveedores, los transportistas y los clientes de la misma.²

Nuevos conceptos logísticos han surgido, como el de "Redes logísticas globales", el cual explica cómo la logística debe cubrir tres puntos clave:

- La logística empresarial debe entenderse como estrategia corporativa.

² En el contexto mexicano, algunos de estos conceptos logísticos son aplicados a las empresas. Un trabajo reciente (Rivera, Cristóbal y Aguilar, 2011) muestra ejemplos de aplicaciones logísticas en organizaciones mexicanas.

- Las empresas que practican la logística donde participan varios actores humanos, deben ser comprendidas como un sistema social.
- La logística debe entenderse como una red global de materiales, información y dinero, que se establece entre organizaciones de diferentes países.

Es importante comprender que los responsables de la logística deben estar atentos a colaborar con logísticos de otros lugares, con diversas costumbres, lenguas, documentos, modas, usos horarios y culturas.

Otro concepto que en la actualidad ha revolucionado la logística es el de logística colaborativa. Ésta se caracteriza por provocar la colaboración entre diferentes entes, aun si éstos son competidores. El fin de la logística colaborativa es obtener mayores beneficios o reducir gastos. Por ejemplo, una empresa mexicana *X* tiene un cliente en Japón y necesita enviar dos toneladas de productos por barco. El barco tiene una capacidad de cinco toneladas y si se ocupa al 100% o al 20% se paga el flete completo del barco. Utilizando la logística colaborativa, la empresa *X* puede relacionarse con la empresa mexicana *Y*, que también vende el mismo producto y enviará el mismo día dos toneladas al mismo cliente. Las empresas pueden compartir el mismo medio de transporte y así reducir costos.

Según Frazelle (2001), la logística colaborativa se refiere a modelos logísticos construidos con optimización y comunicación continuas y en tiempo real, entre todos los proveedores de una empresa. Este mismo autor también explica otro término nuevo de la logística: la logística virtual, en donde todas las actividades y gestiones logísticas son efectuadas por compañías contratadas por la empresa (esta manera de contacto se conoce como *outsourcing*). Sobre esta concepción, hay que agregar que en la actualidad el número de compañías que hacen *outsourcing* está aumentando considerablemente. En un inicio, las activi-

dades de este tipo de compañías eran sobre servicios de transporte, limpieza y seguridad, y ahora se han extendido a otras actividades, por ejemplo, de sistemas de información, actividades de reclutamiento de personal, gestión de proyectos, de proveedores y de clientes, entre otros.

El *outsourcing* representa, muchas veces, beneficios para la empresa: cubre áreas desconocidas por la organización, implica un bajo costo y ofrece un servicio especializado, ya que son compañías profesionales en el área de actividad. Pero, también, se debe tener en cuenta que algunas veces este tipo de trabajo tiene perjuicios para la clase trabajadora, pues la fuerza política de los empleados puede debilitarse. Esto sucede porque los trabajadores de las compañías que ofrecen *outsourcing* no tienen los mismos derechos que los que son contratados por la empresa. En las economías fuertes, el *outsourcing* se ha convertido en una actividad muy común, debido principalmente al ahorro económico que hacen las empresas al contratar *outsourcing* de países emergentes, donde los salarios son más bajos.

Para concluir este capítulo, se abordará otro concepto logístico actual: la logística inversa. Como ya se explicó, los servicios logísticos son cada vez más importantes para satisfacer las demandas de los clientes. Uno de los servicios que actualmente proporcionan algunas empresas es aceptar las devoluciones de mercancías. Cuando esto se hace en una cantidad importante, entonces la problemática puede ser mayor. Para contrarrestar esta situación, puede utilizarse la logística inversa, ya que ésta se encarga de implantar y controlar los flujos de producto de manera inversa al análisis que se hace normalmente. En la figura 3.14 se representa este tipo de análisis.

La logística inversa también puede aplicarse en el flujo de materia prima, inventario en proceso o de producto terminado y productos obsoletos, cuando éstos no satisfagan los requerimientos demandados. Finalmente, la visión de la logística inversa puede aplicarse en la recuperación, el reciclaje o el rediseño de los embalajes de los productos.

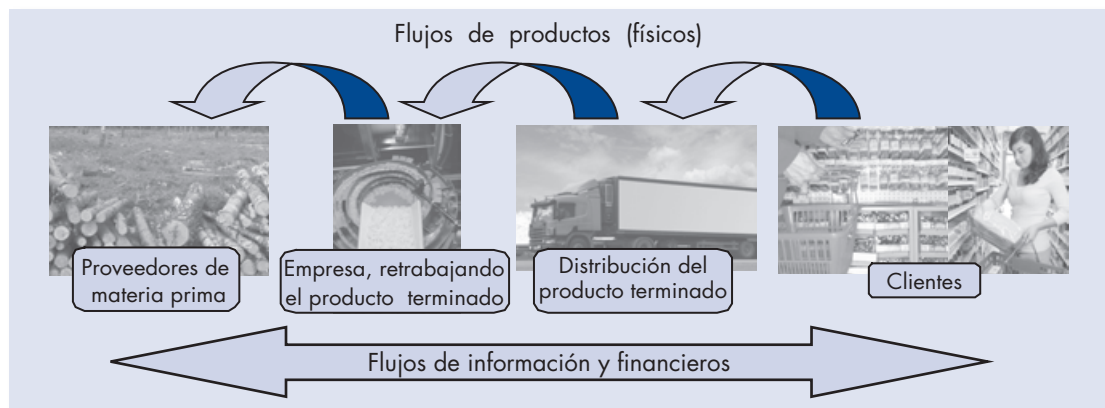


Figura 3.14 Logística inversa.

Caso práctico

La empresa mexicana GILCO, S.A. produce un artículo mediante un esquema de planeación de demanda independiente, es decir, realiza pronósticos para determinar las cantidades que se venderán en un periodo determinado.

Algunos supuestos para este caso son los siguientes: el artículo o producto final está compuesto de dos subensambles; la cantidad a producir, de acuerdo con los pronósticos, es de 1 000 productos por semana; cada semana se generan dos órdenes de compra que incluyen 1 000 subensambles "a" y 1 000 subensambles "b"; el tiempo guía de suministro desde que la orden de compra se entrega al proveedor hasta que se reciben los subensambles es de un día; los clientes de esta empresa son distribuidores mayoristas y la empresa está operando a 75% de su capacidad. Por último, se supone que en almacén de producto terminado existen 300 piezas y en el almacén de subensambles hay 150 subensambles "a" y 150 subensambles "b".

El proceso inicia cuando un cliente se comunica con un empleado del área de ventas y solicita información del artículo que se fabrica en esa empresa. El cliente pregunta por el precio de 1 500 piezas del producto, que serían entregadas la próxima semana. Al siguiente día, el cliente pide al empleado que le envíe una cotización en donde le confirme esta información. Hasta este momento la generación de la cotización no implica algún compromiso comercial entre la empresa y el cliente, ni tampoco comprende el inicio de otras acciones al interior de la organización.

Posteriormente, el cliente llama otra vez al empleado de ventas y le solicita un pedido formal por los 1 500 productos. El empleado consulta el estatus de crédito del cliente, pide información al almacén de producto terminado, confirma con el cliente la entrega de las 1 500 piezas para la siguiente semana y, finalmente, elabora el pedido de venta. La generación de este documento, ya implica un compromiso comercial entre el cliente y la empresa y también el inicio de algunas acciones al interior de la compañía.

Una vez generado el pedido de venta, el área de ventas lo entrega a producción y este documento se convierte en una orden de producción. Producción ejecuta las operaciones necesarias para cumplir con las cantidades y los tiempos comprometidos y consulta el inventario en el almacén de subensambles. Como sólo tiene 150 subensambles "a" y 150 subensambles "b", el empleado de este almacén elabora una requisición por

1 050 subensambles tipo "a" y 1 050 tipo "b". El área de compras recibe esta requisición, evalúa proveedores y una vez identificado al proveedor correspondiente, elabora una orden de compra por esos subensambles.

En el flujo transaccional intervienen determinadas áreas funcionales de los clientes y proveedores. Para el flujo de documentos que hemos mencionado, por parte de los clientes, el área que está involucrada directamente con el departamento de ventas de la empresa es el área de compras, donde, para ser más específicos, también se generan documentos, es decir, órdenes de compra que coinciden con las cantidades, tiempos de entrega y precios de las órdenes de ventas de la empresa. Asimismo, por parte de los proveedores, el área que tiene una relación directa con el departamento de compras de la empresa es el área de ventas; aquí las cantidades, tiempos y precios de los subensambles, definidos en las órdenes de ventas coinciden con las órdenes de compra de la compañía.

Este flujo transaccional termina cuando los 1 500 productos terminados han sido entregados y el cliente efectúa el pago correspondiente por esa cantidad de productos. A continuación, se detalla el flujo transaccional que va en el mismo sentido que el flujo de materiales.

Esta segunda parte del flujo transaccional comienza con la entrada al almacén del total de subensambles. En este evento se genera un documento que registra la entrada en almacén y más tarde se traslada al área de contabilidad para su registro correspondiente. Una vez terminada la producción cambia de estatus abierto a estatus cerrado.

Posteriormente, en el área de producto terminado se elabora un documento que registra una salida de 1 500 productos que se entregarán al cliente y posteriormente se traslada al área de contabilidad para su registro correspondiente. Es importante puntualizar que la actualización de la información contable se hace con el objetivo de registrar las entradas y salidas de producto físico y de dinero.

Para cerrar este flujo transaccional y su relación con el flujo de dinero, al recibir los productos en tiempo y cantidad, el área de ventas genera una factura para que el cliente pague el precio convenido y tenga un comprobante fiscal. Esa factura se lleva al área de contabilidad para registrar lo que se vendió y el pago que hizo el cliente. Asimismo, en el departamento de compras se recibe la factura correspondiente del proveedor, se crea un documento que reconoce y acepta el compromiso

de pago y, por último, se realiza el pago por el precio convenido. Finalmente, se lleva esta factura del proveedor al área contable para registrar su pago y los costos incurridos en la elaboración del producto.

Una esquematización de la cadena de suministros de este caso, incluyendo los diferentes actores y los flujos logísticos que intervienen en el mismo, se representan en la figura 3.15.

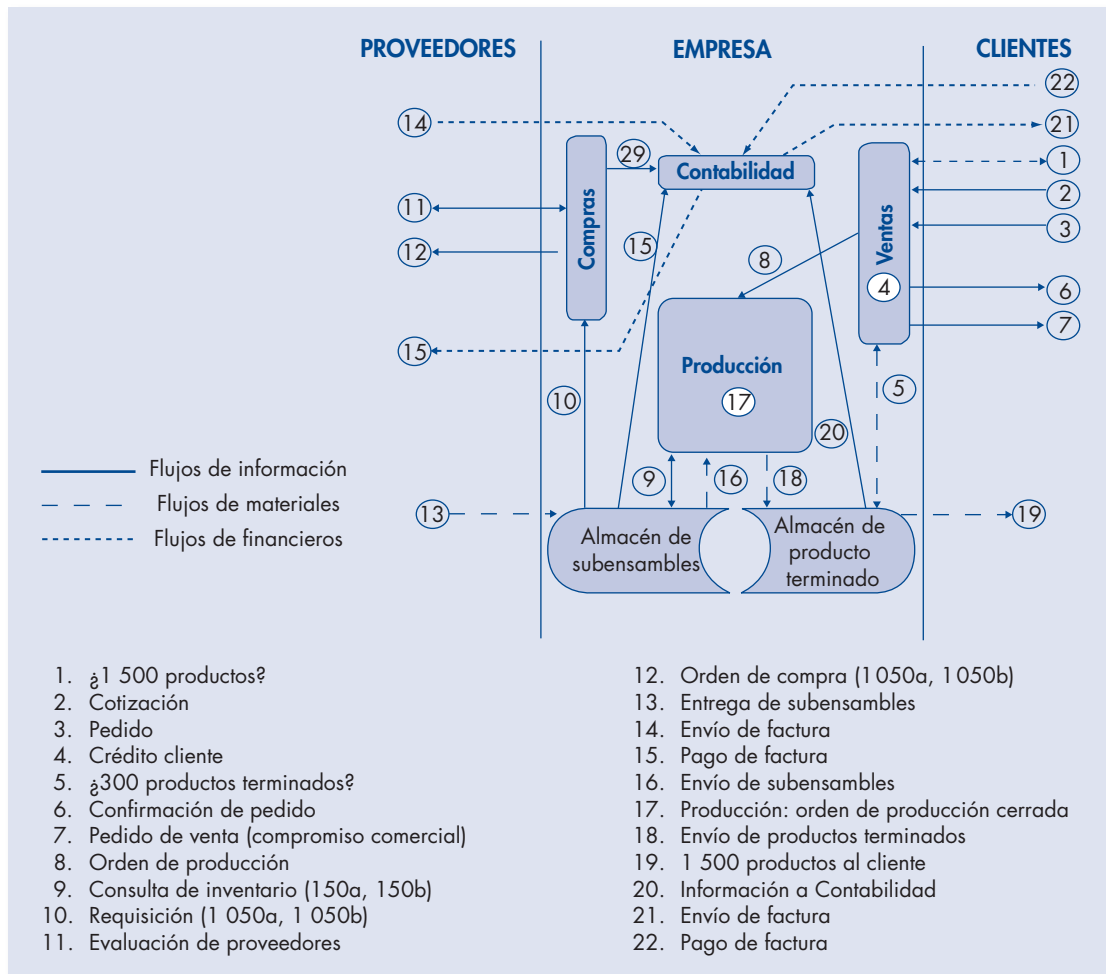


Figura 3.15 Esquematización de la cadena de suministros del caso de estudio de la empresa GILCO, S.A.

Palabras clave

Logística, administración de la cadena de suministros, sistemas de información, inventarios, transporte, localización.

Casos para resolver

Caso 1

Tecnometal es una mediana empresa que fabrica y vende polvos metálicos desde hace 10 años. En los ocho primeros, la empresa tuvo grandes ganancias económicas,

aun sin contar con tecnologías modernas de información o con un plan estratégico logístico. Sin embargo, en los últimos dos años, las ganancias de Tecnometal se han visto reducidas y los competidores, por el contrario, han estado creciendo.

Los directivos y empleados de Tecnometal han realizado reuniones en los últimos meses para analizar por qué sus ganancias han bajado, y por qué sus clientes antiguos están comprando con los competidores de la empresa. Un resultado preliminar indica que uno de los problemas más importantes se relaciona con los aspectos logísticos de la empresa, los cuales no han estado a la altura de las circunstancias. Por ejemplo, la empresa se ha dado cuenta de que responde muy lentamente a las demandas de los clientes, por lo que muchas veces éstos retiran los pedidos de producto que ya han sido hechos. Después de responder a las demandas de los clientes, Tecnometal no siempre cumple en tiempo y cantidad con estos contratos y queda mal ante sus clientes. También han visto que sus competidores han adoptado nuevas herramientas logísticas, más modernas y flexibles que las de Tecnometal y responden mejor a los clientes del mercado.

Un ejemplo de funcionamiento del flujo transaccional de Tecnometal es el siguiente: el proceso inicia cuando un cliente argentino, de gran importancia para la empresa, llama por teléfono al departamento de ventas, haciéndole un pedido de 2 000 kg de carburo de tungsteno (CW) en 40 días.

El tiempo de producción del CW, si se cuenta con la materia prima disponible, es de 15 días. El CW está compuesto de carbono (C) y de tungsteno (AW): $CW = C + AW$. Los diferentes proveedores de C pueden proporcionar la materia prima hasta en 15 días, como mínimo, ya que se encuentran en Canadá. Los proveedores del AW son de China y entregan la materia prima cada 45 días (cuando no hay contratiempos), pues el transporte de AW es por barco de China a un centro de distribución, ubicado en costas del Pacífico en México (41 días) y en seguida por tren de las costas del Pacífico mexicano hasta la planta (cuatro días, incluyendo el paso del barco al tren y del tren al almacén de la empresa).

Para la entrega de producto terminado, el departamento de ventas de Tecnometal tiene contratos con tres empresas de transporte: una por barco (que tarda entre seis y nueve días, dependiendo de la disposición de la aduana marítima argentina, para transportar el producto de la empresa Tecnometal, desde la planta, al cliente argentino); una por avión (que tarda un día y medio para transportar el producto de empresa a empresa) y una más por transporte terrestre (que tarda cinco días de Tecnometal al cliente argentino).

Para poder responder al cliente, el departamento de ventas pregunta al almacén de producto terminado si hay en existencia 2 000 kg de CW. El almacén informa que sólo hay 900 kg de CW. Ventas debe consultar al departamento de planeación sobre el pedido del cliente. La respuesta de planeación, después de consultar el sistema de información, es que en fabricación hay

500 kg disponibles en el almacén de producto terminado en una semana. Sin embargo, en el almacén de materia prima no hay C ni AW en existencia. El departamento de planeación consulta al de compras la llegada de AW al almacén de materia prima. Teóricamente, AW llegará en 20 días, pero para cerciorarse, el departamento de compras consulta con los transportistas que se encargan de llevar el AW de la costa del Pacífico mexicano a la planta y con la empresa que transporta en barco el AW de China a la costa. Según los proveedores, no habrá contratiempos con la llegada de AW a la planta.

Después de varias horas de comunicación entre los diferentes departamentos de la empresa, el área de ventas responde al cliente, proponiéndole varias opciones. Esta vez, el cliente se decide por aceptar la opción de recibir los 2 000 kg de CW en 45 días, con un descuento del precio normal. El departamento de ventas elabora el pedido de venta, después de haber consultado con el área de contabilidad el estatus de crédito del cliente.

Al interior de la empresa, las acciones se llevan a cabo: el departamento de ventas entrega el pedido al área de planeación, la cual realiza tres acciones:

1. Reserva los 900 kg existentes en el área de almacén.
2. Reserva para el cliente argentino los 500 kg que están en fabricación.
3. Realiza una orden de producción por 600 kg en cuanto se tenga la materia prima disponible.

El departamento de compras, después de haber sido notificado de la orden de producción para este cliente importante, hace una evaluación de varios proveedores de C, y una vez identificado el proveedor que proporciona la materia prima más rápidamente (en 15 días), elabora una orden de compra de C. En el contrato de compra de C hay una cláusula en donde se especifica que por cada día de retardo de la materia prima a la empresa Tecnometal se cobrará una proporción del precio de C. Asimismo, el departamento de compras anuncia al centro de distribución de la costa del Pacífico mexicano, la importancia de que llegue el AW en 20 días a la planta.

Después de 21 días, el AW entra al almacén de Tecnometal. El proveedor de C entregará la mercancía en 20 días, por lo que el departamento de contabilidad estará al tanto de cobrar este retardo de cinco días en el momento en que se pague al proveedor de C. El pago al proveedor de AW se hará sin ningún cargo extra, ya que el contrato entre ambas empresas no especifica recargos. La fabricación se lleva a cabo con algunos contratiempos y en 17 días se da por terminada la producción de CW. La orden de producción pasa de estatus abierto a estatus cerrado.

Mientras tanto, el departamento de ventas, conociendo el desempeño de fabricación del producto CW, hace una evaluación de transportistas y después de haberse entrevistado con el director de Tecnometal y de tener en cuenta la importancia de mantener buenas relaciones con el cliente argentino, decide hacer un contrato con el transportista terrestre que entregará el producto en cinco días ($21 + 17 + 5 = 43$ días < 45 días).

El transportista contratado por Tecnometal entrega los 2 000 kg de CW y su factura correspondiente al cliente en 43 días y éste a su vez realizará el pago correspondiente al departamento de contabilidad de la empresa. Asimismo, le llegará una factura a contabilidad para realizar el pago a la empresa transportista.

1. Mencione cuáles son los tres tipos de flujos logísticos en una cadena de suministros y cítelos según el caso de estudio.
2. Del estudio de caso de la empresa Tecnometal, esquematice una cadena de suministros, en don-

de estén señalados los diferentes actores, departamentos, proveedores y clientes, así como los flujos logísticos que hacen posible la relación entre ellos.

3. Considerando la opción de entrega de 2 000 kg de producto en 45 días, ¿por qué se utilizó el transporte terrestre y por qué no se usaron los otros tipos de transporte logístico?
4. Si el departamento de ventas de la empresa Tecnometal hubiera negociado con su cliente argentino para que los 2 000 kg de CW se entregaran en dos meses y no en 45 días, ¿qué estrategia logística de transporte hubiera utilizado y por qué?
5. Es evidente que en la empresa Tecnometal hay un problema de planeación de inventarios. ¿Qué mejoras propondría a la empresa en términos de inventarios para no tener las presiones de producción del ejemplo señalado?

Para discusión

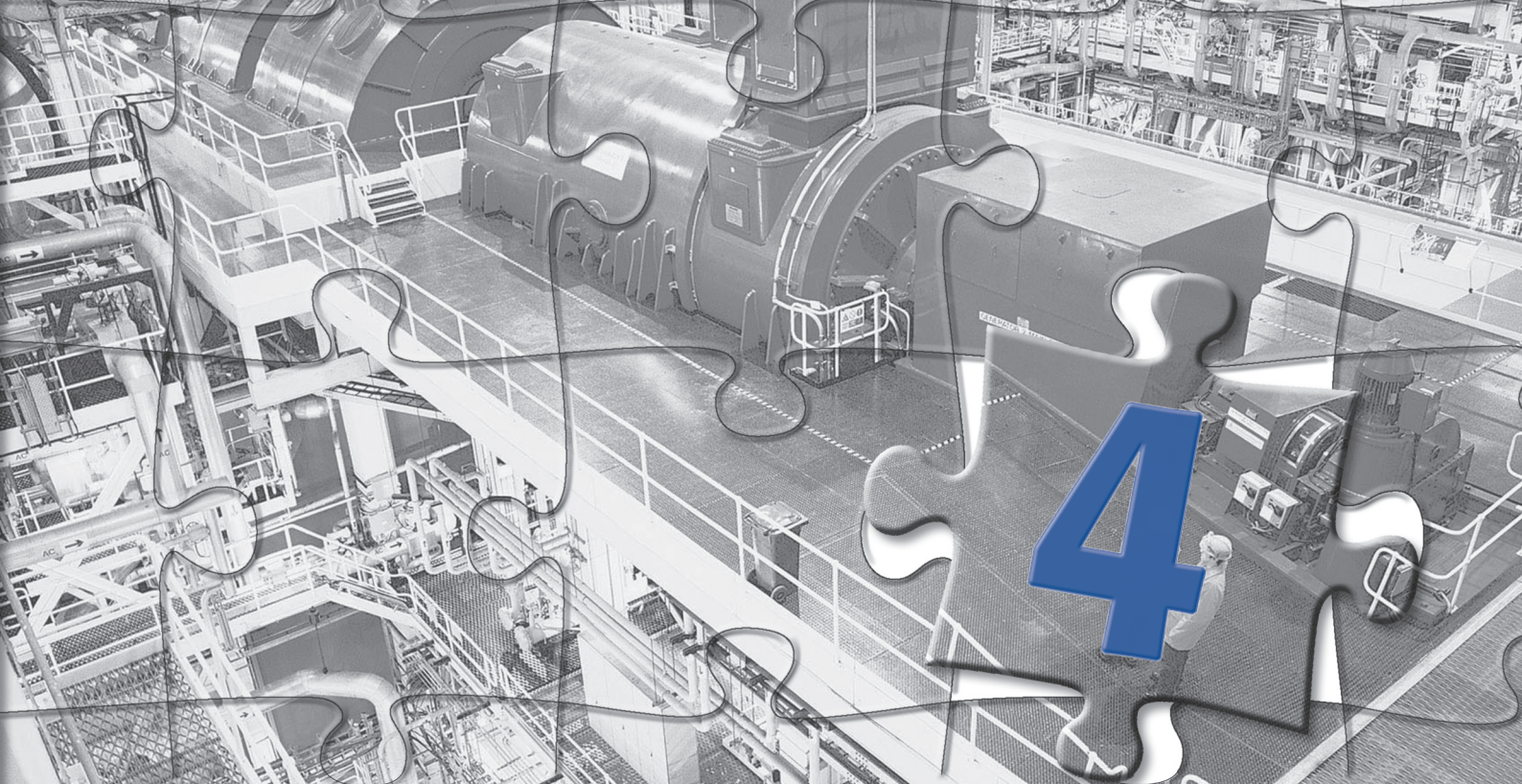
1. ¿Cómo se define la logística, a partir de una visión de la Supply Chain Management?
2. Explique por qué al cliente actual le interesa más el producto potencial que el producto genérico.
3. Describa los tres flujos logísticos y la importancia de cada uno de ellos.
4. Mencione qué tipo de tareas logísticas realizaban los mayas o los aztecas.
5. ¿Cuándo y dónde apareció el término logística por primera vez?
6. ¿Por qué la logística en la década de 1970 se define de diferente manera a la logística del año 2000?
7. ¿Cuáles son las principales actividades logísticas?
8. ¿Qué tipo de preguntas logísticas se puede hacer un empleado del área de compras, con respecto a los proveedores?
9. Explique por qué una empresa no puede proporcionar un servicio logístico muy alto a todos sus clientes.
10. ¿Para qué sirven los inventarios de productos terminados?
11. Mencione qué tipo de instalaciones son analizadas por los responsables logísticos.
12. ¿Cuáles son los principales transportes logísticos y qué tipo de productos se transportan en cada uno de ellos?
13. Explique qué es la ERP y qué impacto tiene su implantación en las empresas.
14. ¿Qué beneficios obtienen las empresas al utilizar el outsourcing?
15. ¿Cuándo se utiliza la logística inversa?

Bibliografía

Balter. *La lassitude de l'acteur de l'innovation, Sociologie du travail*. Núm. 4. pp. 447-468. 1993.
Ballou, R. *Logística. Administración de la cadena de suministro*. Quinta edición. Pearson Prentice may. México. 2004.

Baptiste, P., V. Botta-Genoulaz, E. Niel & C. Subaï. *Du paradigme Suivi/ordonnancement/GPAO au paradigme ERP/APS/MES: révolution ou évolution? In Precedings of the 2nd International Conference on integrated design and production: CPI'2001*. Fès. Maroc. 2001.

- BLA: *Base logistique de l'armée*. Disponible en: <http://www.lba.vbs.admin.ch/>, consultado el 2 de septiembre de 2004.
- Carranza, O. *Logística: mejores prácticas en Latinoamérica*. International Thomson Editores. México. 2005.
- Chang, S.-I., Yen, D., Huang, S.-M., & Hung, P.-Q. An ERP System Life Cycle-Wide Management and Support Framework for Small- and Medium-Sized Companies. *Communications of the Association for Information Systems*. Vol. 22. Article 15. 2008. Pp. 275-294.
- Davenport, T. H. Putting the Enterprise into the Enterprise System. *Harvard Business Review*. July-August 1998. P. 122.
- El Pequeño Larousse*. Décima edición. Larousse. Santafé de Bogotá, Colombia. 2004.
- Enciclopedia Universale Garzanti*. Italy: Garzanti. 2001.
- Expologística*. 2006. Disponible en: <http://www.expologistica.com/premiologistica/> consultado el 10 de julio de 2006.
- Fawcett, S. and Clinton, S. Enhancing Logistics to Improve the Competitiveness of Manufacturing Organizations: A Triad Perspective, in *Transportation Journal, American Society of Transportation & Logistics Inc.* Fall. 1997.
- Gattiker, T. F., and D. L. Goodhue. What Happens after ERP Implementation? Understanding the Impact of Inter-Dependence and Differentiation on Plant-Level Outcomes. *MIS Quarterly*. Vol. 29. No. 3. 2005. Pp. 559-585.
- Guffond, J. L., G. Leconte & D. Segrestin. L'implantation d'un ERP «travaille» l'organisation, *IPI: Concevoir et organiser la performance industrielle*. Autrans, France. Pp. 193-202. 2002.
- Heskett, J. *Business Logistics; Physical Distribution and Materials Management*. 2nd edition. Ronald Press Co. 1973.
- Huang, J., S. Newell, S. Pan & B. Poulson. ERP Systems Implementation: a Knowledge-Focused Perspective. *Journal of Decision Systems*. Special Issue of: ERP and its impact on decision making. Vol. 10. Núm. 1/2001. Pp. 99-117. 2001.
- Jules Dupuit. On the Measurement of the Utility of Public Works. Reimpreso en *International Economic Papers*. Núm. 2. Traducido del francés por R. H. Bardack (Londres: Macmillan and Co., Ltd., 1952).
- Kallinikos, J. Deconstructing Information Packages. Organizational and Behavioral Implications of ERP systems. *Information Technology & People*. Vol. 17. Núm. 1. Pp. 8-30. 2004.
- Koch, C. ERP: Managing Multiple Processes in a State of Flux. *Journal of Decision Systems*. Special Issue of: ERP and its impact on decision making. Vol. 10. Núm. 1/2001. Pp. 87-98. 2001.
- Le Petit Larousse Illustré*. Paris, Francia: Larousse / HER Le-
vitt, B. & March, J. G. 1988. Organizational Learning. *Annual Review of Sociology*. Vol. 14. Pp. 319-338. 2001.
- Mentzer, J., DeWitt, W., Keebler, J., Min, S., Nix, N., Smith, C. Y Zacharia, Z. Defining Supply Chain Management. In: *Journal of Business Logistics*. Vol. 22. Núm. 2. Pp. 1-25. 2001.
- Pérez Salazar, R. y I. Rivera. Revisión de la literatura de los modelos de Ciclo de vida del ERP. En: *Revista Reporte Final*. UPIICSA-IPN. Noviembre 2010.
- Rivera, I., D. Vinck & B. Penz. Appropriation des nouvelles connaissances par les acteurs industriels lors du processus de choix d'un ERP, *IPI: Information, Compétences et Connaissances dans les systèmes productifs*. Autrans, France. 22-23 janvier. Pp. 121-134. 2004.
- Rivera, I., I. Cristóbal y M. Aguilar (Coordinadores). *Administración de la cadena de suministros. Diseño y aplicación de modelos en empresas mexicanas*. Edit. IPN, México, 2011.
- Scherer, E. The knowledge network: knowledge generation during implementation of application software packages. *Logistics Information Management*. Emerald. Vol. 13. Núm. 4. Pp. 210-218. 2000.
- Scott, J. E. y I. Vessey. Managing Risks in Enterprise Systems Implementations. *Communication of the ACM*. Vol. 45. No. 4. 2002. Pp. 74-81.
- Segrestin, D. *Les chantiers du manager-L'innovation en entreprise: où en sommes-nous? Comment piloter les changements et les maîtriser?* Paris: Armand Colin. 2004.
- Soh, C., S. Kien, & J. Tay-yap. Cultural Fits and Misfits: Is ERP a Universal Solution? *Communication of the ACM*. Vol. 43. No. 4. 2000. Pp. 47-51.
- The Council of Logistics Management-CLM*, disponible en: <http://www.clm1.org> consultado el 17 de enero de 2004.
- The Institute of Logistics at Georgia Tech*, disponible en: <http://www.tli.gatech.edu> consultado el 17 de enero de 2004.
- Webster's New Encyclopedic Dictionary*. New York: BlackDog & Leventhal Publishers. 1993.
- Wilson, S. *Failed IT Projects (The Human Factor)*. University of Maryland Bowie State University. 16 May 1998.
- Yuva, J. Collaborative Logistics: Building a United Network in *Inside Supply Management*. Vol. 13. Núm. 5. May 2002.



PRODUCTIVIDAD Y MEJORA CONTINUA

Arturo Andrés Pacheco Espejel
Dr. en Economía por el Instituto de Economía y Finanzas
de Leningrado, ex Unión Soviética

... el error es a la vez, nuestro principal enemigo y nuestro mejor consejero.

AAPE

Objetivos

- Analizar el concepto de productividad, como una de las variables de desempeño empresarial más importantes.
- Estudiar la evolución de la concepción de productividad, desde su forma clásica, como un indicador de resultados concretos de los procesos de trabajo, hasta el concepto actual de mejora continua enfocado a la forma en que se diseñan, se llevan a cabo y se mejoran los procesos mismos de trabajo.

Introducción

Este capítulo está dedicado al estudio del incremento de la *productividad* y de la *mejora continua*, no como un fin en sí mismo, sino como un medio para elevar la competitividad de las empresas, con el objeto de que estén en condiciones de generar más puestos de trabajo y mejor remunerados. Se sabe que el problema central de economías dependientes, como las latinoamericanas, es la insuficiente generación de empleo no precario; y una de las más importantes alternativas de solución es la elevación sostenida de la productividad y la competitividad de las empresas.

En este sentido, se pone especial atención en el análisis de una visión integral de la mejora continua de los procesos que tienen lugar en las empresas privadas,¹ estableciendo sus diversas dimensiones o aristas: la técnica (la *medición*), la metodológica (el incremento), la política (la negociación) y la macroeconómica (el ambiente externo).

En este capítulo se ilustra la aplicación de los conceptos mediante dos ejemplos de medición, uno para la productividad y otro para la mejora continua.

La productividad (Enfoque en los resultados)

Definición

Para poder comprender, en toda su magnitud, el concepto de productividad, es imprescindible, previamente, tener clara la naturaleza del territorio en donde tiene lugar: la *empresa*. Considere siempre que la productividad es una de las variables de desempeño de las empresas, al igual que la calidad, la eficiencia, la *competitividad* o la *rentabilidad*.

En la literatura existen muchas definiciones de empresa, sin embargo, por lo general, éstas sólo consideran aspectos parciales de su funcionamiento; algunas, únicamente hacen énfasis en su aspecto técnico-operativo; otras, en su espacio estratégico; y otras más, en su fundamento como célula económica.²

Una definición integral de empresa privada, es la siguiente:

“Espacio físico (o virtual) dentro del cual tiene lugar un conjunto de procesos de transformación (de materia, energía e información) organizados y orientados hacia la generación de un bien o servicio (mercancía), para obtener en forma sostenida la máxima ganancia posible para sus propietarios (a través de la venta en el mercado del bien o servicio) y que tiene como soporte interno, determinadas relaciones sociales (de poder, éticas, afectivas, culturales, simbólicas, etc.) entre los actores empresariales, tanto internos (trabajadores, directivos y dueños) como externos (clientes, proveedores, competidores); y cuya dinámica interna se encuentra sustentada en una estructura organi-

zacional determinada, acotada por mecanismos macroeconómicos reguladores (mercado y políticas públicas)”.³

Como se puede ver, esta definición abarca cuatro aspectos: **técnico**, al entender a la empresa como un conjunto de procesos de transformación; el **estratégico**, en función de los objetivos de lucro que persigue, **social**, en términos de las relaciones entre los actores empresariales dentro de su propio funcionamiento cotidiano y el **estructural** dado por su configuración espacial.

Las principales relaciones sociales que tienen lugar al interior de la dinámica de la empresa, formando una compleja malla de intereses individuales y colectivos, son: las de *autoridad*, que se dan entre jefes y subordinados; las *administrativas*, que ocurren entre los diferentes departamentos o áreas formales de la empresa; las *informales*, representadas por las relaciones interpersonales que se crean y se recrean cotidianamente entre todos los trabajadores y empleados de todos los niveles; las *políticas*, que tienen lugar entre los dueños de la empresa y los trabajadores asalariados a la luz de la relación contractual de trabajo, y, por último, las *tecnológicas*, que suceden entre los trabajadores y sus equipos, herramientas y máquinas de trabajo.

Como se sabe, las empresas privadas, en economías de mercado, tienen como objetivo central, maximizar el beneficio económico para sus propietarios; esa es la razón de ser de este tipo de organizaciones. Lo anterior, obliga a las empresas, por un lado, a la mejor actuación posible en su nicho de mercado, de tal forma que sus volúmenes de ventas sean los máximos posibles, al mejor precio posible, en función de las condiciones del mercado, y, por otro, a que las compras de sus insumos sean a los precios más atractivos posibles y con la calidad requerida. Ambas situaciones, aseguran a la empresa un máximo ingreso económico para sus propietarios; es decir, la harán rentable.

En este sentido, una definición básica de rentabilidad (R) es la siguiente:

“Es la capacidad de una empresa para generar, con la venta del bien o servicio que produce, la máxima ganancia neta⁴ posible en relación con la inversión realizada, dadas las condiciones concretas del nicho de mercado donde compite.”

¹ Aunque mucho de lo que a continuación se estudiará en relación con la productividad, también es válido para las empresas públicas y sociales, aunque en este trabajo sólo se hará referencia a las empresas privadas con fines de lucro.

² Por ejemplo, Kast y Rosenzweig la definen como un sistema artificial diseñado por el hombre para alcanzar objetivos y que se encuentra en constante intercambio de recursos con su entorno. F. E. Kast y Rosenzweig, J. E. *Administración de las organizaciones. Enfoque de sistemas y contingencias*, 4ª edición. McGraw-Hill. México. 1987.

³ Con base en: Pacheco Espejel, Arturo A. El proceso de dirección de empresas. En: Baca Urbina, Gabriel (coord.) *Administración Integral. Hacia un enfoque de procesos*. Ed. Grupo Editorial Patria. México, 2010.

⁴ Ganancia neta debe entenderse, en forma general, como el resultado de restar al ingreso por ventas los costos totales y el pago de impuestos.

Hablar de mercado significa hablar de competencia en busca de clientes.⁵ Es decir, todo el tiempo las empresas se encuentran compitiendo con otras que ofrecen productos (o servicios) iguales o similares con el fin de lograr las preferencias de los potenciales clientes.⁶ Si la empresa compete adecuadamente, conseguirá niveles satisfactorios de ventas dentro de un nicho de mercado determinado, asegurando los ingresos económicos deseados. Las empresas, pues, para ser rentables también deben ser competitivas. Jean Paul Sallenave dice que "... la competitividad de una empresa es lo que hace que el consumidor prefiera sus productos y los compre".⁷

Así pues, la competitividad (C) empresarial es la capacidad de respuesta en el corto y mediano plazos que tiene una empresa para permanecer en un nicho específico de mercado con los niveles adecuados de ventas, que le permitan conseguir sostenidamente los mayores márgenes posibles de ganancia.

Esa "capacidad de respuesta" competitiva significa contar, de manera simultánea, con la fuerza real para moverse adecuadamente en el mercado de insumos (materiales y tecnológicos) y sacar ventajas sobre sus competidores. Si se dan en las condiciones favorables, la empresa estará siendo competitiva y lo más probable es que esté maximizando sus ganancias, es decir, que simultáneamente esté siendo rentable.

Pero, ¿cómo pueden los empresarios responder a las expectativas de los clientes potenciales? La respuesta, justamente, es: siendo más productivos.

En su concepción general clásica, y más comúnmente manejada, la productividad (P) es entendida como la relación volumétrica, es decir, no dineraria, entre los resultados producidos y los insumos utilizados en un periodo determinado.⁸ Esta definición es congruente con la famosa frase: "hacer más con menos", la cual se ilustra de esta manera:

$$P = \frac{\text{Volumen de resultados obtenidos}}{\text{Volumen de insumos utilizados}}$$

La cuantificación de la productividad, así entendida, presenta, en primer lugar, algunas dificultades técnicas debido a la diversidad de las unidades de medida de los diferentes insumos que se utilizan en un proceso productor de bienes o de servicios. ¿Cómo sumar kwatts, toneladas, piezas, horas-hombre, litros, etcétera?; eso es imposible.

David Sumanth, en su modelo "Productividad total", plantea como alternativa para salvar el problema de la diversidad de unidades de los insumos, no considerar volúmenes sino su valor en dinero. Sin entrar en mayor detalle y, desde luego, sin demeritar la propuesta de Sumanth, al introducir los precios (de venta para la producción y de compra para los insumos) se involucran variables externas al desempeño propiamente dicho de la empresa, ya que los precios de insumos, de productos y servicios se forman, de modo fundamental, con base en el comportamiento y la dinámica del mercado, lo que distorsiona la información respecto de la forma en que funciona la empresa y que justamente es lo que se pretende lograr con el concepto de productividad. Así, se podría dar el caso en que el indicador de productividad total se comportase de manera favorable debido a una buena relación de precios en el mercado para la empresa y no porque se estén haciendo bien las cosas en su interior.⁹

Ésta es la razón por la que comúnmente se tiene en cuenta cada insumo por separado; por lo general, el insumo más utilizado es, justamente, el de la fuerza de trabajo empleada, medida en horas-hombre o en número de trabajadores. Así, la productividad del trabajo, se calcula de manera clásica tal como se aprecia en seguida.

$$P = \frac{\text{Volumen de producción}}{\text{Número de trabajadores}}$$

Medición

La medición de la productividad, entendida como la relación entre resultados obtenidos e insumos utilizados, se realiza en forma inmediata y directa, si se tiene cuantificada

⁵ Éste es precisamente el origen de todos los enfoques empresariales de la calidad que se fundamentan en la pretensión constante de satisfacción al cliente, ya que sólo así se podrán asegurar niveles adecuados de ventas.

⁶ Excepto, claro, cuando se trata de una empresa monopólica.

⁷ Jean-Paul Sallenave. *La Gerencia y planeación estratégica*. Editorial Norma. Colombia. 1990. P. 236.

⁸ Por ejemplo, J. Prokopenko, basado en esta misma concepción de relacionar resultados contra insumos, define a la productividad en tres niveles: respecto del trabajador individual "... es la relación entre el volumen de un trabajo concreto realizado y la capacidad del trabajador (en términos numéricos, de costo o de tiempo)"; respecto de la empresa, "... es la relación entre el valor añadido y el costo de todos los componentes del insumo"; y a nivel nacional, "... es la relación entre el ingreso y el gasto total". (Joseph Prokopenko. *La gestión de la productividad*. Editorial Limusa. México. 1997. p. 6). Igualmente, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México (INEGI), define a la productividad como "... la relación entre la producción de bienes, en el caso de una empresa manufacturera, o ventas en el de los servicios y las cantidades de insumos utilizados. De esta manera, el concepto de productividad es igualmente aplicable a una empresa industrial o de servicios, a un comercio, a una industria o al agregado de la economía". (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *El ABC de la productividad*. México. 1995. P. 6.)

⁹ David Sumanth. *Ingeniería y administración de la productividad*. McGraw-Hill. México. 1990, pp. 151-232.

la producción alcanzada en cada periodo, por ejemplo, considerando el volumen de piezas producidas por turno y el número de horas-hombre trabajadas en el periodo, el cálculo de la productividad será directo dividiendo las piezas sobre el número de horas. También resulta útil medir los niveles de variación de la productividad en función del porcentaje de variación con respecto al periodo anterior. Al final del capítulo se presenta un ejemplo de medición de la productividad ilustrado con cifras y gráficas.

Con base en esta misma lógica, a nivel nacional (país) la productividad de una economía en su conjunto se calcula a través del cociente resultante entre el PIB y la población ocupada (PO) en un periodo determinado, como se observa en seguida:

$$P_{nal} = \frac{\text{Producto Interno Bruto (PIB)}}{\text{Población Ocupada (PO)}}$$

Una conclusión inmediata que se obtiene a partir de esta definición es que no se debe confundir productividad con producción. Esta última es un valor absoluto referido a un periodo determinado: número de piezas producidas en un turno, en un día, una semana o un mes; por ejemplo, 1 500 computadoras producidas en una semana. Por su parte, la productividad es un valor relativo, es decir, es el volumen de producción obtenido en un periodo determinado relacionado con el volumen de los insumos consumidos para lograr tal producción; por ejemplo, 1 500 computadoras producidas por 100 trabajadores en una semana, es decir, 15 computadoras por trabajador.

Limitaciones

Esta concepción clásica, y desde luego útil, de la productividad tiene algunas limitantes; por ejemplo, no incluye aspectos vitales relacionados con la producción realizada, y cuya medición resulta imprescindible para los tomadores de decisiones, responsables de la competitividad y la rentabilidad de la empresa, como: la calidad de los productos o los servicios producidos, la oportunidad en las entregas o el servicio que se ofrece a los clientes.

Asimismo, esta concepción de productividad puede ser engañosa, ya que, basándose en ésta, lo primero que suelen hacer los empresarios para incrementarla es deshacerse de trabajadores, dejando ir, con ello, experiencia y habilidades acumuladas, dejando intactos otros aspectos que también tienen que ver con el desempeño global y la sobrevivencia de la empresa: la tecnología, la materia prima, el estilo de dirección, las estrategias financieras y mercadológicas, etcétera.

Desde esta perspectiva clásica de productividad, la fuerza de trabajo es sólo un costo más de la empresa que hay que reducir al mínimo, dando lugar inmediatamente

te a recortes de personal y a mayores cargas de trabajo, debido a que, para incrementar el cociente “volumen de producción/número de trabajadores”, sólo hay dos posibilidades: elevar la producción con el mismo número de trabajadores, lo que implica en muchas ocasiones mayores cargas de trabajo si no se cuenta con el apoyo de tecnologías más modernas; o mantener la misma producción pero con menor número de trabajadores, lo que implica despidos y mayores cargas de trabajo para los trabajadores que continúan laborando; así pues, esta concepción clásica de productividad deja fuera del análisis problemas sociales, como el desempleo que se genera y los resultados negativos colaterales que impactan en el medio ambiente con el costo social correspondiente, por ejemplo, la emisión de residuos contaminantes al aire y al agua. Justamente, los empresarios en economías desarrolladas han entendido que trabajadores bien remunerados y capacitados de manera adecuada generan más valor a los procesos de trabajo que lo que le cuestan a la empresa. De ahí que los trabajadores de esas economías tengan, por lo general, un nivel de vida más alto que el de las economías más atrasadas.

Finalmente, algo muy importante es que la relación entre resultados e insumos, arroja una cuantificación de los impactos o efectos que resultan de una determinada forma de diseñar y ejecutar un proceso, es decir, se trata de una medición *a posteriori*, una vez que se ha realizado el proceso. En esto radica la deficiencia técnica central de tal concepción, que exige hacer un abordaje más amplio de la productividad.

Un indicador efectivo del desempeño empresarial no debe restringirse a la cuantificación final de resultados; debe reflejar la forma en que se están haciendo las cosas al interior de la empresa, es decir, la manera en que se están diseñando y ejecutando los procesos de trabajo. En este sentido, se puede asegurar que esta concepción clásica de productividad es, desde el punto de vista técnico, útil pero “estrecha” y *a posteriori*.

Es necesario, pues, utilizar otra concepción de productividad más amplia, que no deseche a la anterior, sino que la asimile, la integre y la complemente, lo que lleva al concepto de mejora continua; por tal motivo, en seguida se abordará este relativamente nuevo tópico dentro de la ingeniería industrial.

Mejora continua (Enfoque en los procesos)

Definición

Como ya se mencionó, para que una empresa logre su objetivo central de maximizar las ganancias de sus

propietarios (rentabilidad), requiere responder mejor que sus competidores a las expectativas de sus potenciales consumidores (competitividad); esto último, le exige fijarse objetivos muy concretos, como bajar costos, mejorar la calidad, diversificar la producción, perfeccionar la oportunidad y el servicio posventa, entre otros. El verdadero reto consiste, pues, en conseguir estos objetivos en forma simultánea.

Para ello, deberá tener claro, desde el punto de vista estratégico, lo siguiente: qué producir, dónde producir, dónde vender y a quién vender, con el fin de diseñar escenarios que orienten su rumbo hacia posiciones más sólidas en el mercado. Estos objetivos sólo se pueden alcanzar llevando a cabo acciones de mejora permanente en el diseño de los productos, en el diseño y la operación de los procesos de trabajo (productivos y administrativos) y en el diseño e implantación de las estrategias. En una palabra, se requiere que, técnicamente, al interior de la empresa, impere una atmósfera de mejora continua en todos los procesos que tienen lugar en ella. Como lo señala José de la Cerda Gastelum: "...todas las empresas y todos los miembros de una organización, no sólo los altos niveles jerárquicos, pueden desarrollar sus capacidades para resolver problemas, reducir desperdicio, mejorar la calidad de los productos y servicios, disminuir los tiempos de ciclo y entrega, y con todos estos logros colaborar para que las empresas sean más competitivas, más rentables y con mayor capacidad para crecer y desarrollarse".¹⁰ Esto coincide con el viejo principio de la ingeniería industrial desarrollado por F. Taylor a principios de siglo: "...aquellos que han tenido algo que ver con la Administración Científica se dan cuenta, sin embargo, de que hay una mejor forma de hacer todo y que esta forma puede siempre formularse en determinadas reglas, de que se puede cambiar el viejo conocimiento empírico caótico por un conocimiento organizado".¹¹

Justamente, con base en este principio técnico de buscar "una mejor forma de hacer todo" dentro de una empresa, se desarrolló una definición más amplia de productividad: "cualidad emergente de los procesos de trabajo que tienen lugar al interior de la empresa, que hace que

mejoren permanentemente y en todos los sentidos, es decir, en forma continua, sostenida e integral".¹²

En la práctica, la productividad, entendida así, se presenta como un fenómeno inagotable de perfeccionamiento compuesto por un encadenamiento de acciones ordenadas de mejora en todos los procesos que tienen lugar a lo largo y ancho de la empresa. En otras palabras, la concepción amplia de productividad es equivalente al concepto de mejora continua.¹³

Se está hablando, pues, de un salto cualitativo en la evolución de la conceptualización de la productividad al asimilar la concepción estrecha de "hacer más con menos", cuyo enfoque central está en la evaluación de los resultados, a la concepción amplia de "hacer lo mejor con lo necesario", cuyo enfoque central se encuentra en la forma de ejecutar los procesos.¹⁴ Después del salto que significa la mejora continua de los procesos de trabajo, seguirá el que ubique a la productividad como la realización del trabajador en y con su trabajo; cuando esto suceda en forma generalizada, en las empresas, mejorarán sistemáticamente los procesos y sus resultados serán los esperados. (Lo anterior se muestra en la figura 4.1.) En este sentido, debe quedar claro que el indicador de productividad estrecha que relaciona resultados contra insumos no se tira a la basura, sino que se integra a una forma más amplia de medir la productividad, junto con otros indicadores de la mejora continua, como veremos más adelante.

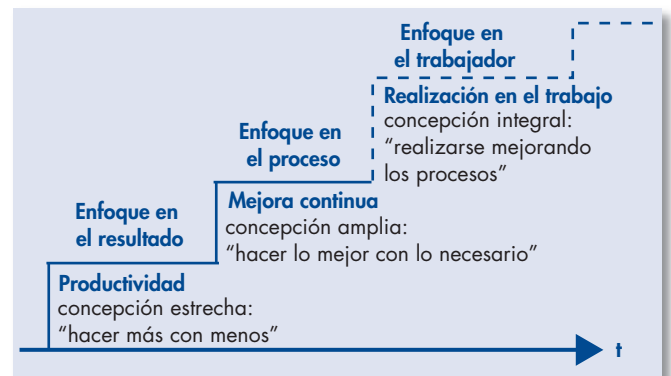


Figura 4.1 Evolución del concepto de productividad.

¹⁰ José de la Cerda Gastelum. *¿Mejoramiento o deterioro? Una investigación sobre innovación tecnológica, reingeniería, calidad y productividad en empresas mexicanas*. Editorial UNIVA. México. 1999. P. 38.

¹¹ Frederick W. Taylor. "Los Principios de la Administración Científica." Compilación de Harwood F. Merrill. *Clásicos de la Administración*. Editorial Limusa. México. 1994.

¹² Arturo A. Pacheco Espejel. "La Productividad como una espiral de mejora continua." *Revista UPIICSA. Tecnología, Ciencia y Cultura*. Núm. 2. Septiembre-diciembre de 1993. UPIICSA-IPN. México.

¹³ Las normas ISO 9000:2000 definen a la mejora continua como, la "acción recurrente que aumenta la capacidad para cumplir los requisitos".

¹⁴ Los enfoques de la mejora continua dentro de las empresas han seguido dos grandes rumbos: las empresas occidentales han optado por mejoras radicales aplicando técnicas como la reingeniería; en cambio, en las empresas orientales se habla más de mejoras incrementales a través del llamado *Kaizen* (mejora en japonés). Véase Masaaki Imai. *Kaizen. La clave de la ventaja competitiva japonesa*. Compañía Editorial Continental. México. 1989.

A la luz de esta concepción amplia de la productividad, como la mejora continua de los procesos, es de vital importancia reconocer y diferenciar sus cuatro componentes desde el punto de vista técnico:

1. Los procesos de trabajo mejorando (la productividad propiamente dicha).
2. Los impactos y resultados de las acciones de mejora del funcionamiento de los procesos de trabajo.
3. Las condiciones y los factores que posibilitan esas acciones de mejora, es decir, aquellos que hacen que surja la productividad como una cualidad emergente de mejora.
4. Los parámetros de referencia a través de los cuales es posible determinar si realmente tuvieron lugar tales mejoras.

Estos cuatro componentes constituyen el esquema básico de la concepción amplia de la productividad, que se muestra en la figura 4.2.

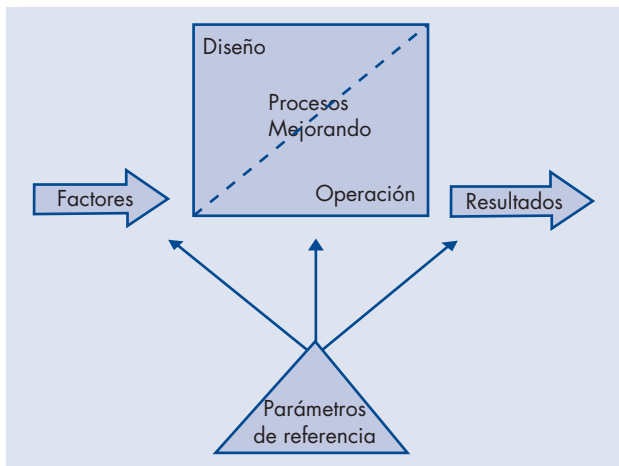


Figura 4.2 Esquema básico de la mejora continua.

Desde la perspectiva técnica, una empresa no es otra cosa más que un conjunto de procesos de trabajo orientados hacia la producción de un bien o servicio (intermedio o final). Por proceso, se entiende a un conjunto de actividades interrelacionadas (secuenciadas y jerarquizadas) de transformación de materia, energía e información, y que implican añadirles valor con miras a obtener resultados específicos, tangibles o intangibles.

En términos empresariales, todo proceso involucra tres momentos o etapas: diseño, operación y control. El diseño de un proceso puede estar estructurado en forma explícita (en documentos, gráficas, manuales, esquemas, etc.) o implícita (en la cabeza del ejecutante) y consiste en la definición, caracterización y configuración teórico-conceptual del proceso. La operación se refiere, justamente, a la ejecución práctica cotidiana del proceso que fue diseñado de manera previa. Por último, el control consiste en el conjunto de acciones encaminadas a lograr que la operación del proceso corresponda a su diseño.

En este sentido, cuando se habla de un “proceso mejorando”, se debe entender la mejora en sus dos vertientes: en su operación y en su diseño. Un “proceso mejorando” en su operación significa que se están tomando todas las acciones correctivas necesarias, a través del control, para que, en efecto, la operación corresponda al diseño; así, se estaría hablando de mejoras incrementales. Por otro lado, cuando se habla de “procesos mejorando” en el diseño, de lo que se está tratando es realmente del rediseño del proceso, es decir, de modificaciones en las características del proceso mismo, lo que implica, desde mejoras incrementales hasta proponer un proceso nuevo (véase figura 4.3).

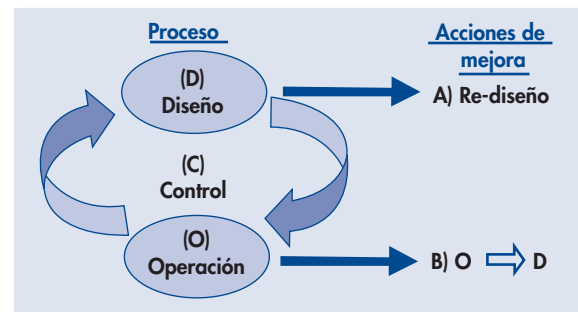


Figura 4.3 Momentos principales de un proceso: diseño, operación y control.

Los parámetros de referencia

Como se vio, sólo se puede mejorar lo que se controla; sólo se puede controlar lo que se mide y sólo se puede medir lo que se conoce.

Aquí hay que precisar que no es posible saber directamente si un proceso está mejorando; es decir, saberlo al momento mismo de su ejecución; sólo es posible inferirlo mediante la cuantificación de sus resultados, efectos y manifestaciones y a través de su evaluación comparándolos con determinados parámetros de referencia.¹⁵

¹⁵ Se trata de un caso similar al de la inteligencia humana, la cual medimos indirectamente con base en pruebas en donde el individuo manifieste su capacidad de asociación, de memoria, de abstracción, etcétera; ésa es la lógica de la medición del famoso IQ (*intelligent quotient*) o tasa de inteligencia, conocida como coeficiente intelectual.

Así, la cuantificación de determinados indicadores en sí misma no dice nada, desde el punto de vista técnico, si se le restringe a números o cifras descontextualizadas. Por ejemplo; ¿es productivo fabricar 100 sillas con el trabajo de cinco obreros durante un turno de trabajo? Tal como se plantea esta pregunta, no es posible responderla sin contar con parámetros de referencia contra los cuales comparar y evaluar las mediciones de resultados del proceso de trabajo. Ésta es la razón por la que las variables básicas para medir la mejora de los procesos deben plantearse en forma de relaciones o tasas comparativas respecto de determinados valores (o rangos) referenciales.

Es importante subrayar que la determinación de los indicadores y de sus parámetros de referencia no puede ser producto de caprichos o de voluntarismos abstractos; se debe recurrir a diversas técnicas de la ingeniería industrial, como la planeación estratégica o la medición del trabajo, siempre con base en las especificaciones y capacidades técnicas de los propios procesos de trabajo.

Los factores

La mejora continua de los procesos de trabajo, tanto en su operación como en su diseño, no surge de la nada ni por los deseos de los dueños y los directivos de la empresa. Aunque, en muchas ocasiones, estos últimos argumentan que la mejora continua de los procesos de trabajo depende de modo fundamental de la actitud, de la voluntad individual y del compromiso personal de cada trabajador. Sin embargo, una mejora sostenida de los procesos de trabajo sólo es posible si se logra conjuntar técnicamente, tanto en cantidad como en calidad, una serie de factores o condiciones cuya presencia al interior de la empresa es responsabilidad, en primer lugar, de los dueños y de los directivos.

El enfoque más común, cuando se pretende ubicar a los elementos que intervienen en la mejora de un proceso productivo, es aquel que se basa en lo que los economistas llaman factores de la producción: fuerza de trabajo (trabajadores), medios de trabajo (herramientas y equipo, es decir, tecnología) y objetos de trabajo (materia prima). Estos factores son, en realidad, los insumos de todo proceso productivo, pero señalados así, tienen una connotación eminentemente pasiva. Es por esto que, siguiendo con el sentido dinámico de la conceptualización amplia de productividad como la mejora continua de los procesos, es necesario darle también un sentido dinámico a esos factores, es decir, se requiere "ponerlos en movimiento" y convertirlos realmente en factores y no en simples insumos pasivos.

Partiendo del sentido común, se puede decir que para mejorar cualquier proceso de trabajo, es decir, para que éste sea productivo, se requiere que haya tres condiciones

mínimas necesarias y que éstas se presenten de manera simultánea, las cuales se convierten en los factores de la mejora continua:

- Querer mejorarlo
- Poder mejorarlo (que contempla el saber cómo hacerlo y el tener con qué hacerlo)
- Actuar en consecuencia

Si falta una de estas condiciones, o si su presencia no es lo suficientemente fuerte, la cualidad perfeccionista del proceso de trabajo en cuestión se verá obstaculizada en menor o mayor medida. A partir de esta primera clasificación de las condiciones posibilitadoras de la mejora continua de los procesos de trabajo, a continuación se analizan los seis factores básicos de la productividad amplia.

1. "Querer" mejorar. Este factor está directamente relacionado con los trabajadores de todos los niveles, pero no en términos de cantidad, sino de "calidad", es decir, con su actitud. La actitud positiva de un trabajador hacia su trabajo depende de su percepción sobre lo que recibirá a cambio por parte de la empresa como reconocimiento a su esfuerzo y a sus aportaciones al mejoramiento de sus procesos de trabajo; en otras palabras, depende de su motivación, la cual es el resultado de la suma de dos fuentes o fuerzas motivacionales:

- La motivación externa que se encuentra directamente en su lugar de trabajo, es decir, en el ambiente laboral que le ofrece la empresa a través de las condiciones de trabajo concretas. Ésta depende de los motivadores laborales objetivos existentes en su centro de trabajo: salario, prestaciones, etcétera.
- La motivación interna o automotivación está determinada por la personalidad y los valores intrínsecos y particulares de cada trabajador, por tanto, esta vertiente de la motivación laboral es totalmente subjetiva y depende de manera directa de la actitud hacia el trabajo de cada individuo.

Los niveles de automotivación de los trabajadores para hacer mejor sus tareas es un factor esencialmente intangible; sin embargo, el componente objetivo, externo, de la motivación puede ser inducido por la empresa. En este sentido, es importante señalar que todo trabajador, de cualquier nivel, se crea expectativas laborales, las cuales pueden convertirse en fuerzas motrices de la productividad si existe una respuesta concreta a éstas por parte de la

empresa.¹⁶ Con ello, se lograría liberar el ingrediente principal, la chispa de ignición de la mejora continua e integral: la creatividad de los trabajadores.

La capacidad creativa humana cristaliza en una participación comprometida, tanto para diagnosticar los problemas que obstaculizan la presencia plena de la productividad, como para diseñar sus soluciones. Es decir, desde el punto de vista técnico, un trabajador motivado es un trabajador creativo, mejorador instintivo de procesos.

Por otro lado, los motivadores externos están directamente relacionados con las expectativas laborales de los trabajadores, las cuales se pueden clasificar en:

- *Tangibles*: salario, prestaciones, incentivos y bonos económicos, condiciones de seguridad e higiene, etcétera.
- *Intangibles*: reconocimiento, desarrollo profesional, ambiente laboral, realización en el trabajo, etcétera.

En la medida en que estas expectativas, tangibles e intangibles, tengan respuesta por parte de la empresa, a través de determinadas condiciones concretas de trabajo, la motivación externa emergerá. Así, para que mejore la productividad de una empresa, entendida en su sentido amplio, se requiere, entre otras cosas, que mejoren simultáneamente las condiciones de trabajo y de vida de sus trabajadores.

Algunos autores, mutilando el análisis de la motivación laboral, dejan fuera los motivadores externos y sólo contemplan los internos, reduciéndolos a un "estado de ánimo"; de ahí, la proliferación de los discursos "motivacionistas", muy de moda hoy en día, que plantean, tramposamente, que la elevación de la productividad depende sólo de valores, actitudes y voluntad individuales de cada trabajador.

En resumen, un trabajador, aun con un alto grado de motivación interna, si no se siente motivado de manera externa por su ambiente laboral, terminará globalmente desmotivado.¹⁷

2. "Saber" mejorar. Este factor se refiere a la aptitud, es decir, al conocimiento, experiencia y habilidad del trabaja-

dor para ejecutar bien sus tareas, y, sobre todo, para estar en posibilidades de mejorarlas. Es evidente que este factor depende, al igual que el "querer", de la convergencia de dos condiciones:

- El grado de actualización del conocimiento teórico y práctico que posea el trabajador, en un momento dado, para ejecutar y mejorar sus tareas.
- La habilidad innata del trabajador para aprender y ejecutar determinadas tareas, ya sean manuales o intelectuales.

La condición de actualización del factor "saber" depende directamente de lo que la empresa haga a través de la capacitación y el entrenamiento permanentes a sus trabajadores; esto es, la capacitación efectiva que impacta en las labores que realiza de manera cotidiana el trabajador y no la capacitación que muchas veces se proporciona por "llenar el expediente" y para cumplir con la reglamentación laboral. Este factor se encuentra ligado de manera estrecha a la motivación, pues influye directamente en las expectativas de desarrollo profesional de los trabajadores.

3. "Tener" tecnología (I-D) para mejorar. Este tercer factor posibilitador de la mejora continua de los procesos de trabajo es la tecnología en movimiento, lo que significa innovar. Por tecnología, se entiende todo aquello que media la interacción entre el hombre y la naturaleza dentro de cualquier proceso de producción de satisfactores y que tiene como objetivo potenciar la fuerza de trabajo humano.

La tecnología tiene dos componentes inseparables:

- a) el tangible, "duro", que comprende a las máquinas herramientas, equipos, dispositivos, etc.; y
- b) el intangible, "suave", que comprende el conocimiento necesario para operar la parte "dura".

En este sentido, la tecnología no sólo es el conocimiento aplicado, sino también el conocimiento que se está aplicando.

Concebida la tecnología de esta manera se puede inferir que, en realidad, el tercer factor de la productividad es la

¹⁶ Justamente, el reto para los directivos de una empresa, si realmente desean contar con el factor "querer" de la mejora continua, es conocer y reconocer la existencia de tales expectativas y responder a éstas con motivadores concretos, como salario, prestaciones, incentivos o bonos de productividad, etcétera. Al interior de una empresa es común escuchar la famosa frase: "querer es poder", para argumentar que cualquier trabajador puede hacer bien su trabajo si así lo desea, y que sólo depende de su voluntad, independientemente de su salario y demás condiciones de trabajo; desde luego que tales casos existen, pero sin duda se trata de excepciones, y un análisis consistente del funcionamiento de la empresa y su productividad no puede basarse en excepciones.

¹⁷ Una propuesta para medir el grado de motivación (o desmotivación) de un colectivo de trabajo, a partir del concepto amplio de la productividad aquí tratada, se puede ver en: Vicente López. "Las dimensiones esenciales de la motivación." *Revista UPIICSA. Tecnología, Ciencia y Cultura*. Núm. 3. Enero-abril de 1994. UPIICSA-IPN, pp. 24-35.

actividad de investigación y desarrollo (I-D)¹⁸ encaminada a contar con la tecnología adecuada, tanto en su aspecto “suave” como en el “duro”, para promover la mejora sostenida de los procesos de trabajo. Por tecnología adecuada no se debe entender necesariamente la más moderna, la cual termina generalmente subutilizándose, ni tampoco, desde luego, aquella que tenga tal nivel de deterioro y obsolescencia que frene los esfuerzos por mejorar la productividad de la empresa; el verdadero reto tecnológico es contar con el equipo y las herramientas que realmente se necesiten, lo que exige su constante adecuación e innovación, es decir, de I-D.

4. “Tener” las materias primas (I-D) para mejorar. Este factor se refiere a contar con las materias primas y los materiales necesarios, en cantidad, calidad y oportunidad, para dar soporte a la mejora sostenida de los procesos de trabajo. Las materias primas y los materiales, al igual que la tecnología, deberán estar mejorándose permanentemente a través de la I-D. Si los directivos de la empresa tienen el cuidado necesario, no sólo para garantizar el abastecimiento en la cantidad y la calidad requeridas de materiales y materias primas a todo lo largo de la cadena productiva, sino también de buscar el desarrollo propio de nuevos materiales utilizables como materias primas sustitutas y mejoradas, se facilitarán de manera sensible los esfuerzos por incrementar la productividad. Es muy común, en la práctica empresarial, encontrar que la mala calidad de las materias primas es la causa principal de retrabajos y de la mala calidad, a su vez, del producto o servicio final.

Es importante mencionar que para “tener” la tecnología y la materia prima adecuadas, existen dos caminos: desarrollarlas o comprarlas. Es evidente que desarrollar tecnología propia es el mejor camino, pero requiere de altas inversiones y conlleva riesgos. Sin embargo, es responsabilidad directa del empresario invertir en la función de investigación y desarrollo, no sólo porque así podrá dar respuesta oportuna a los requerimientos del mercado en términos de nuevos productos y procesos, sino porque, a la larga, sus costos terminan abatiéndose desde el punto de vista tecnológico.

No se requiere de muchos argumentos para entender por qué se deben considerar de manera simultánea el factor “saber” (capacitación) y los factores relacionados con “el tener” (tecnología y materias primas que se están innovando). No es posible mejorar sistemáticamente los procesos de trabajo si no se posee la tecnología y la materia prima adecuadas, aunque los trabajadores estén muy bien capacitados; y viceversa, de nada servirá la mejor tecnología si el trabajador no la sabe explotar de manera adecuada.

5. “Actuar en consecuencia” para mejorar. Este factor se refiere de manera concreta al papel que desempeña la dirección de la empresa, o sea, los directivos en sus diferentes niveles de la estructura empresarial. Son justamente los directivos, desde mandos medios hasta la alta gerencia, quienes tienen la responsabilidad técnica y estratégica para lograr que los cuatro primeros factores de la mejora continua “actúen en consecuencia”; es decir, son los encargados de poner en juego dentro de la dinámica empresarial, en cantidad, calidad y oportunidad necesarias, la motivación, la capacitación, la tecnología y las materias primas, para lograr que la productividad amplia emerja.

Peter Drucker refleja perfectamente la importancia decisiva del directivo en el funcionamiento de la empresa con las siguientes palabras: “El directivo está encargado de crear un todo verdadero que es mayor que la suma de las partes, una entidad productiva que resulta ser más que la suma de los recursos que se le asignaron. Una analogía es la del director de una orquesta sinfónica, gracias a cuyo esfuerzo, visión y liderazgo, las partes instrumentales individuales, que por sí mismas hacen tanto ruido, se convierten en el todo vivo de la música. Pero, el director de orquesta dispone de la partitura del compositor; es sólo un intérprete. El directivo es compositor y director de orquesta a la vez”.¹⁹

No en vano, también los teóricos de la calidad en la empresa le atribuyen a una deficiente dirección, la mayoría de los problemas relacionados con su mejoramiento. Específicamente, E. Deming aseguraba que “... el mejorar la calidad es responsabilidad de la dirección”.²⁰

¹⁸ La investigación y desarrollo (I-D) es la función empresarial encargada de ubicar las necesidades de una mejora en el diseño y desarrollo de un proceso o de un nuevo producto que pueda disminuir los costos de producción y mejorar la posición competitiva de la empresa.

¹⁹ Peter F. Drucker. *The Practice of Management*. New York: Harper and Row. 1954, pp. 341-342. Citado por: Henry Mintzberg. *Mintzberg y la Dirección*. Editorial Díaz de Santo. España. 1991, p. 20.

²⁰ Este reconocido autor expuso la importancia del papel de los directivos en la mejora de la calidad empresarial en el caso japonés de la siguiente forma: “... En 1950, Japón tenía, de hecho, un valor neto; Japón era, al igual que ahora, un país desprovisto de recursos naturales: petróleo, carbón mineral de hierro, cobre, manganeso, incluso madera. Además, Japón tenía una bien ganada reputación de hacer bienes de consumo mal hechos, baratos, pero que valían lo que costaban. Japón debía exportar productos a cambio de alimentos y equipo... Esta batalla sólo se podía ganar con calidad... A partir de ese momento, el consumidor fue la pieza más importante de la línea de producción... Éste era un reto difícil para los directivos japoneses... El problema está en encontrar buenos directivos.” (Véase Edward Deming. *Calidad, productividad y competitividad*. Editorial Díaz de los Santos. Madrid. 1989, p. 1.)

6. Factor “cero”: “Inversión productiva”. No hay duda de que los cinco primeros factores señalados son muy importantes, pero también es claro que sin suficiente inversión productiva no se podrá contar con ellos, y por tanto no tiene sentido hablar de productividad y competitividad empresariales. Si el dueño de la empresa no está dispuesto a estimular económicamente el “querer” (a través de la motivación integral de todos sus trabajadores), el “saber” (a través de la capacitación sistemática de todos los trabajadores), el “tener” (a través de impulsar la I-D en tecnología y materiales) y el “actuar en consecuencia” (a través de seleccionar y desarrollar directivos capaces), los esfuerzos por mejorar se verán inhibidos. Así pues, la inversión productiva es, sin duda, el combustible de la mejora continua en los procesos.²¹

Los responsables

Aunque los seis factores señalados son indispensables para provocar la aparición de la cualidad de mejora, no tienen el mismo peso o importancia, ni su presencia depende o es responsabilidad de un solo actor o agente económico al interior de la empresa.

En la empresa existen dos actores centrales que dan sustento a la dinámica empresarial: el dueño (o dueños) y los trabajadores o empleados, pero, dado que técnicamente toda empresa requiere tomar decisiones referidas de manera directa a su conducción estratégica, es importante distinguir como un tercer actor a los directivos.²²

Cada uno de estos tres grandes actores, a partir de sus intereses particulares, adquiere diferentes niveles de responsabilidad ante la necesidad de mejorar los procesos de trabajo. Si se ligan los intereses de los seis factores de la mejora continua (motivación, capacitación, tecnología, materias primas, dirección e inversión productiva) con estos tres actores empresariales, se pueden ubicar los niveles de responsabilidad de cada uno de ellos en la mejora de la productividad.

El dueño de la empresa tiene como preocupación central lograr que su organización funcione como negocio, proporcionándole tasas de ganancia adecuadas, las cuales,

como es obvio, deberán ser las más altas posibles que permita el mercado y deberán sostenerse durante el mayor tiempo posible. Y como ya se mencionó, la inversión productiva es el combustible principal de los factores de la mejora de los procesos de trabajo; de ahí, que se puede asegurar que el primer responsable de la productividad es el dueño (o dueños) de la empresa, en función de su poder de decisión para asignar los montos, los tiempos y la ubicación de dicha inversión productiva.

En el caso del directivo ocurre una situación especial. Por un lado, todo directivo, como empleado asalariado, buscará mejorar sus condiciones laborales, exactamente igual que en el caso del trabajador; además, claro está, de intentar encontrar satisfacción en el propio trabajo que realiza. Pero, por otro lado, dada su posición dentro de la empresa, es decir, debido a la naturaleza misma de las labores que realiza, su interés primordial es que la empresa alcance los mejores niveles de desempeño posibles en forma sostenida, con el fin de darle buenas cuentas a los accionistas (dueños) de la empresa. El directivo deberá velar, entonces, porque la empresa sea productiva, competitiva y, sobre todo, rentable. En este sentido, el segundo responsable de que los procesos mejoren es, sin duda, el cuerpo directivo de la empresa, además de que, como ya se mencionó, es el responsable de asegurar que los otros cuatro factores (motivación, capacitación, I-D en tecnología, I-D en materias primas) se encuentren en las cantidades y calidades debidas.

El trabajador, por su parte, tiene sus propios intereses laborales: obtener a cambio de su trabajo, es decir, por la venta de sus capacidades físicas, intelectuales y emocionales, las mejores condiciones laborales posibles, las cuales incluyen: salario, prestaciones, estímulos económicos, condiciones de seguridad e higiene, ambiente laboral, superación profesional y técnica, etcétera.²³ Pero, además, debido a que el trabajador no es un ente que requiere de mantenimiento y combustible, sino que le son inherentes aspiraciones y proyectos personales, es natural y legítimo esperar que busque también alcanzar satisfacción personal en y con su trabajo. En este sentido, la responsabilidad de los trabajadores en la productividad se encuentra en

²¹ Evidentemente, muchos dueños de empresa prefieren que les aseguren que la solución a sus problemas de productividad y competitividad depende directamente de la actitud de sus trabajadores y no de la inversión productiva necesaria para contar en cantidad y calidad con los cinco factores señalados. Desde luego, las inversiones en renovación y actualización tecnológica, por ejemplo, resultan muy costosas, por lo que los empresarios se ven en la necesidad de recurrir a créditos y apalancamientos a través del mercado financiero; y si el costo del dinero es muy alto, el factor inversión productiva se puede convertir en el obstáculo central de la productividad.

²² Esta distinción es tan clara y evidente en la práctica laboral, que jurídicamente se reconoce la existencia de empleados de confianza (no sindicalizados) y trabajadores de base (sindicalizados); aunque, desde luego, habría que precisar que no todo empleado de confianza es directivo, pero sí todo directivo es empleado de confianza.

²³ Un análisis exhaustivo de lo que se puede entender por condiciones de trabajo se puede ver en: Juan José Castillo Carlos Prieto. *Condiciones de trabajo. Un enfoque renovador de la sociología del trabajo*. Centro de Investigaciones Sociológicas. España. 1990.

aportar su voluntad (automotivación) e involucramiento para proponer continuamente mejoras en los procesos de trabajo.

En la figura 4.4 se pueden apreciar los alcances de la responsabilidad que cada actor empresarial tiene dentro de cada uno de los seis factores de la mejora continua de los procesos de trabajo.

No hay que olvidar que el trabajador se contrata, asiste y labora en una empresa por razones muy diferentes a las que tiene el dueño por hacerla más rentable. No se trata, desde luego, de un problema ético o moral entre “buenos” y “malos”, sino simplemente de intereses económicos diferentes, los cuales, en un momento dado, pueden no ir en la misma dirección, lo que provoca situaciones potencialmente conflictivas dentro de la dinámica empresarial. En este sentido, la interacción cotidiana de los intereses de los tres actores empresariales (dueños, directivos y trabajadores) dentro de sus ámbitos de responsabilidad respecto de la productividad, da lugar a tres planos que conformarán y darán contenido a la dimensión social de toda empresa, como se muestra en la figura 4.5, y que se describen a continuación.

- **Plano técnico.** Determinado directamente por la relación técnico-organizacional entre directivos y trabajadores, es decir, entre jefes y subordinados en los diferentes niveles de la empresa, al momento de diseñar, organizar, operar y controlar los procesos de trabajo.
- **Plano estratégico.** Establecido por la relación de intereses entre directivos y dueño(s) al momento

de definir los objetivos centrales de la empresa y de diseñar las estrategias para alcanzarlos, de tal forma que la cadena productividad-competitividad-rentabilidad se ejecute de la mejor manera.²⁴

- **Plano político.** Definido por el conjunto de relaciones políticas entre el dueño de la empresa y los trabajadores (en forma individual o colectiva a través de un sindicato), en la búsqueda de una determinada repartición de los beneficios y utilidades por incrementos en la productividad.

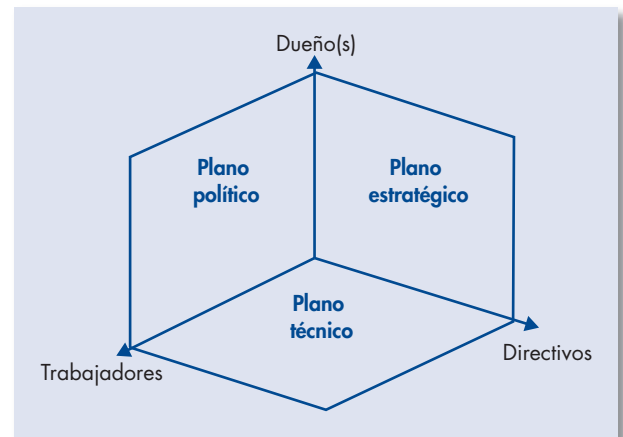


Figura 4.5 Planos de la dinámica empresarial.

Así pues, dada la diversidad de intereses entre los actores empresariales (dueños, directivos y trabajadores), la mejora continua no se ve, de manera necesaria, desde la misma perspectiva. Y, técnicamente, los ámbitos de

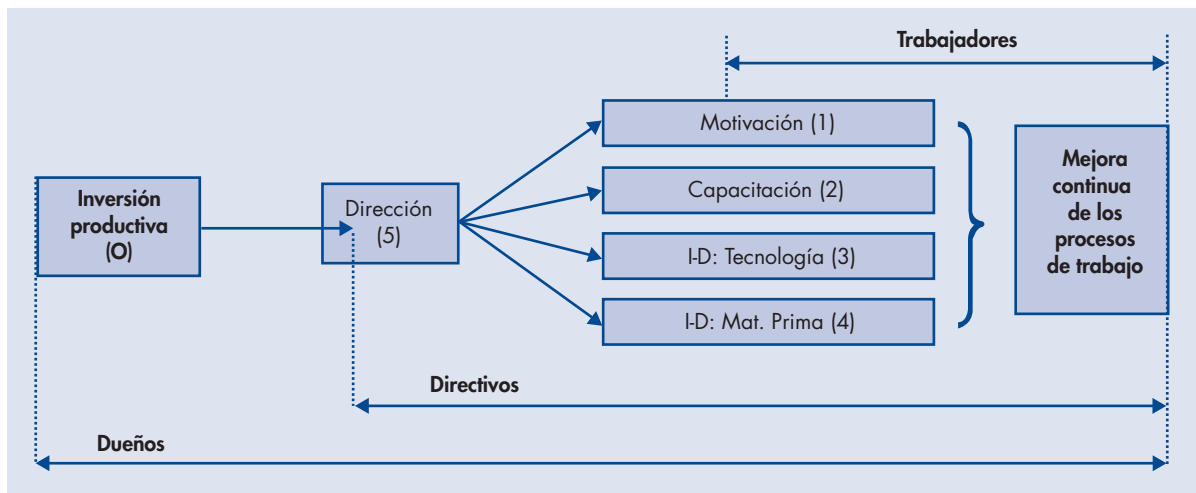


Figura 4.4 Factores y responsables de la mejora continua.

²⁴ En algunos casos, la misma persona puede desempeñar dos papeles empresariales simultáneamente; por ejemplo, cuando el dueño de una pequeña empresa es también el director general.

responsabilidad de cada uno de estos tres actores respecto de la productividad tampoco es el mismo, generando diferentes niveles y planos de interacción entre ellos. Todo esto conduce a reconocer la necesidad ineludible de la negociación y de llegar a acuerdos, que contemplen los intereses de todos los actores; para llevar a la práctica la mejora continua de los procesos de trabajo.

Medición

¿Cuáles son los impactos, resultados o manifestaciones de la mejora continua? Hay que reconocer que las manifestaciones de dicha cualidad emergente de la mejora, como todo fenómeno de la realidad, tienen lugar en un tiempo determinado. Asimismo, y también como todo fenómeno, su cuantificación real se puede abordar con base en dos dimensiones: calidad y cantidad.

Así, se puede asegurar que la manifestación de la mejora continua de los procesos de trabajo tiene tres dimensiones:

- *Tiempo*: se refiere a la cantidad de tiempo consumida durante la realización del proceso (es decir, la velocidad de su ejecución).
- *Cantidad*: son los volúmenes o magnitudes físicas que el proceso consume y genera (es decir, los volúmenes de insumos y de resultados, respectivamente).
- *Calidad*: se refiere a las características cualitativas con las que se realiza el proceso de trabajo y que conllevan a conocer qué tan bien se ejecuta (es decir, qué tan bien se utilizan los insumos y qué tan bien se logran los resultados).

Aunado a lo anterior, y como se vio en el análisis de la empresa en economías de mercado, toda actividad productiva, finalmente, debe tener una traducción en dinero; recuérdese, por ejemplo, que todos los insumos utilizados tienen un costo como mercancías. En este sentido, la ejecución misma del proceso de producción debe traducirse en costos, es decir, en una medición en dinero. De la misma manera, la mercancía generada a través de la ejecución de la totalidad de los procesos de trabajo deberá poseer un precio al momento de ser lanzado al mercado; es decir, también se traducirá en dinero al momento de su venta.

De esta forma, se llega a una cuarta dimensión para “atrapar” la manifestación en resultados de la mejora continua de los procesos: la dineraria.

- *Dinero*: Se refiere a la cuantificación (o traducción) económica de las otras tres dimensiones (cantidad, calidad y tiempo) dentro de las que tuvo lugar la ejecución del proceso de trabajo.

Se tienen, pues, cuatro dimensiones básicas para la medición de la mejora continua de los procesos de trabajo: cantidad, calidad, tiempo y dinero.

En la práctica empresarial, estas cuatro dimensiones pueden entrar en contradicción entre sí. Por ejemplo, en los procesos de trabajo, cuando se privilegia a la cantidad, por lo general, se castiga a la calidad y viceversa. Es por esto que la medición de los resultados del mejoramiento del proceso debe ser integral a través de la cuantificación de las cuatro dimensiones, relacionándolas con los insumos y los resultados inherentes a todo proceso de trabajo.

Los principales insumos que se consumen en forma directa en el proceso de trabajo son de naturaleza material (materias primas), de naturaleza tecnológica (maquinaria, herramientas y equipo) y de naturaleza humana (fuerza de trabajo).²⁵

En relación con los resultados del proceso de trabajo, es importante contemplar no únicamente los bienes o servicios producidos para su venta, sino también los resultados referidos al impacto ecológico provocado por los procesos de trabajo. Los resultados de todo proceso de trabajo son: el bien o servicio producido y los impactos ambientales.

Respecto de los resultados ambientales, es importante subrayar que debiera existir una responsabilidad social de toda empresa por minimizar el impacto que provocan sus procesos de producción en el medio ambiente circundante de la empresa. Desde luego, la disminución de tales impactos ambientales se verá reflejada en la estructura de los costos de producción, por el hecho de instalar la tecnología y los dispositivos anticontaminantes necesarios. Así, la perspectiva de la mejora continua de los procesos de trabajo implica no sólo producir a tiempo, adecuadamente en calidad y cantidad y a bajo costo, sino también, producir en forma limpia.

Por otro lado, los resultados, propiamente dichos, de los procesos de trabajo y que le dan razón de ser a la empresa; es decir, los bienes y servicios que oferta en el mercado con el fin de obtener la máxima utilidad económica

²⁵ Existen, desde luego, otros insumos indirectos que también son utilizados y consumidos en todo proceso de trabajo, como es la energía en forma de combustible o energía eléctrica y la información. El presente análisis sólo hace referencia a los tres insumos directos del proceso de trabajo: materias primas, maquinaria y equipo y fuerza de trabajo.

posible, se pueden ubicar en función de las expectativas del potencial cliente (consumidor o usuario). Estas expectativas se pueden clasificar de la siguiente manera:

- *El precio de venta más bajo* (ligada con los costos de producción).
- *La cantidad suficiente* (vinculada con la cantidad física producida del bien o servicio).
- *La mayor calidad* (asociada con las características objetivas y subjetivas del bien o servicio).
- *La oportunidad deseada* (relacionada con el tiempo de entrega acordado con el usuario del bien o servicio).

Desde luego, la jerarquización de estas expectativas varía tan rápido como cambian las necesidades, gustos y posibilidades (económicas) de cada cliente potencial. Por ejemplo, un consumidor potencial de un bien o servicio determinado, en función de su situación económica concreta en un momento preciso, puede dejar en segundo lugar la calidad del bien que requiere consumir y elegir otro en función de su precio.

En conclusión, la medición integral de las manifestaciones de la mejora continua de los procesos de trabajo, se puede realizar a través de las cuatro dimensiones señaladas: cantidad, calidad, tiempo y dinero; todas ellas referidas, a su vez, a los insumos y los resultados de los procesos de trabajo.

Esta relación dimensión-proceso conduce, justamente, a la formulación de las preguntas clave que permitirán definir las variables básicas y generales para medir de forma concreta la mejora continua.

A continuación se presentan las preguntas clave, siguiendo la lógica de lo que interesa medir respecto de los insumos, el proceso y los resultados, y con base en las cuatro dimensiones de la medición analizadas anteriormente (cantidad, calidad, tiempo y dinero). También se señalan algunos de los indicadores más utilizados que pueden dar respuesta a las preguntas clave formuladas.

a) En relación con los insumos:

- *Cantidad.* ¿El volumen de insumos utilizados estuvo de acuerdo con lo planeado? Esta pregunta se responde midiendo su complemento, por ejemplo, los desperdicios de materia prima, los tiempos muertos de las máquinas y de la fuerza de trabajo, etcétera.
- *Calidad.* ¿Los insumos adquiridos reunían las características requeridas? La respuesta se obtiene en función de los niveles de rechazo

de los lotes de materia prima que envían los proveedores. Lo que se mide, en este caso particular, es la calidad de los procesos de trabajo del proveedor y no de los de la empresa en cuestión.

- *Tiempo.* ¿Qué tan adecuadamente se movieron los materiales, de tal forma que los inventarios se redujeron al mínimo? La respuesta se obtiene de manera directa cuantificando el índice de rotación de inventarios. Hay que tener presente siempre que los almacenamientos no agregan valor a las mercancías y sí representan un costo.
- *Dinero.* ¿Se adquirieron a un precio adecuado los insumos utilizados? La respuesta está en función directa del costo unitario de cada insumo, sumado al costo de su almacenamiento.

b) En relación con el proceso:

- *Cantidad.* ¿La producción obtenida tuvo un comportamiento adecuado respecto de los insumos consumidos? La respuesta es directa: a través del cálculo del cociente entre los volúmenes de producción y el volumen consumido de cada uno de los insumos.
- *Calidad.* ¿Se cumplieron las especificaciones de diseño de los productos? La pregunta se responde midiendo el nivel de productos (resultados) rechazados y los retrabajos generados.
- *Tiempo.* ¿Se cumplió en forma oportuna con el programa de producción? La respuesta se obtiene midiendo directamente, por un lado, los tiempos de producción, y, por otro, los tiempos de respuesta ante cambios en las órdenes de producción.
- *Dinero.* ¿Cuál fue el costo unitario del producto o servicio generado? La respuesta se obtiene a través del costeo de todos los elementos (directos e indirectos) consumidos en la elaboración de cada producto. Cabe señalar que dentro de los costos de producción se deben incluir los costos de los insumos señalados anteriormente.

c) En relación con los resultados:

- *Cantidad.* ¿Se cumplió el programa de producción? La respuesta se da en función directa del nivel de cumplimiento de los pedidos hechos por los clientes.

- **Calidad.** ¿Quedaron satisfechas las expectativas del cliente en relación con las características del bien o servicio producido? La respuesta a esta pregunta se puede obtener cuantificando el número de quejas o de rechazos de los clientes por productos defectuosos.
- **Tiempo.** ¿Fue oportuna la entrega de los productos o servicios al cliente? La respuesta puede encontrarse a través de la cuantificación de la frecuencia de las demoras en las entregas de los pedidos.
- **Dinero.** ¿Fue competitivo el precio final del producto? La respuesta se obtiene directamente a través del precio de venta del producto comparado con el de otros productos iguales o similares que se ofrecen en el mercado.

Como se puede observar, todas las preguntas anteriores implican directamente una evaluación, la cual requiere, a su vez, de parámetros de referencia que se deberán definir de manera previa y con precisión para cada proceso. Así, cada pregunta remite a una comparación de los resultados obtenidos respecto de los parámetros de referencia o estándares diseñados antes. Todas estas preguntas clave para medir las mejoras en los procesos de trabajo se pueden apreciar de forma esquemática en la tabla 4.1.

Es importante señalar que en la literatura especializada ya existe la conceptualización clara de algunas variables

que se utilizan para la medición del desempeño de las empresas, como la eficiencia, la efectividad, la productividad, la calidad, etcétera. A continuación, se presentan algunas de las definiciones que se utilizarán para integrar el sistema de medición de la productividad amplia, entendida como la mejora continua de los procesos de trabajo.

- **Eficiencia.** Expresa la forma en que se usan los recursos de la empresa: humanos, tecnológicos, materia prima, etcétera.
- **Efectividad.** Expresa el grado de cumplimiento en volumen, de los objetivos, metas, estándares, etcétera.
- **Oportunidad.** Expresa el grado de cumplimiento en tiempo, de objetivos, metas, estándares, etcétera.
- **Productividad estrecha.** Expresa la relación volumétrica entre los resultados y los insumos utilizados (se trata de una variable compuesta, ya que relaciona la efectividad con la eficiencia).
- **Calidad.** Expresa el grado de correspondencia entre las características del resultado del proceso de trabajo y los requerimientos del usuario (interno y externo).

Con base en las definiciones anteriores, es posible llegar a las 12 variables básicas para medir la mejora de los procesos que se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.1 Preguntas clave para medir la mejora de los procesos

Dimensión	Insumos	Proceso	Resultados
Cantidad	¿El volumen de insumos utilizado estuvo de acuerdo con lo planeado?	¿La producción obtenida tuvo un comportamiento adecuado respecto de los insumos consumidos?	¿Se cumplió el programa de producción?
Calidad	¿Los insumos adquiridos reunían las características requeridas?	¿Se cumplieron las especificaciones de diseño de los productos?	¿Quedaron satisfechas las expectativas del cliente con relación a las características del bien o servicio producido?
Tiempo	¿Qué tan adecuadamente se movieron los materiales de tal forma que los inventarios se redujeron al mínimo?	¿Se cumplió en forma oportuna con el programa de producción?	¿Fue oportuna la entrega de los productos o servicios al cliente?
Dinero	¿Se adquirieron a un precio adecuado los insumos utilizados?	¿Cuál fue el costo unitario del producto o servicio generado?	¿Fue competitivo el precio final del producto?

Tabla 4.2 Matriz de variables básicas para la medición de la mejora continua

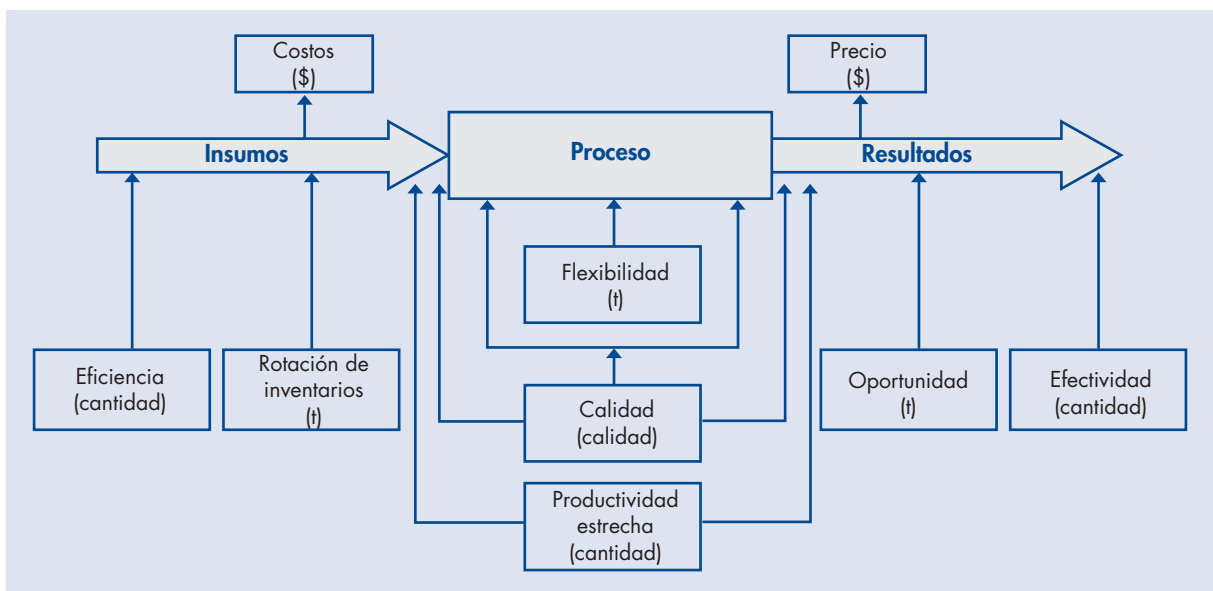
Dimensión	Insumos	Proceso	Resultados
Cantidad	Eficiencia	Productividad estrecha	Cantidad (efectividad volumétrica)
Calidad	Calidad (especificaciones)	Calidad (especificaciones)	Calidad (expectativas de usuario)
Tiempo	Rotación de inventario	Flexibilidad (tiempo de producción)	Oportunidad (efectividad temporal)
Dinero	Costo de los insumos	Costos de producción	Precio de venta

En la figura 4.6, se aprecian esquemáticamente estas 12 variables para la medición integral de la mejora de los procesos.

Lo que se ha presentado hasta aquí es un sistema de variables que permiten formular, a su vez, indicadores específicos, para la cuantificación numérica de las manifestaciones de las mejoras de los procesos de trabajo. Asociado a cada indicador, deberá existir un parámetro de referencia contra el cual compararlo y evaluarlo, con el fin de diagnosticar si realmente el proceso de trabajo en cuestión tuvo alguna mejora. No hay que olvidar que cada empresa y cada uno de sus procesos exige el diseño de indicadores particulares adecuados a la naturaleza del trabajo que ahí se realiza; evidentemente, lo mismo sucede con los parámetros de referencia con los que se deberán comparar y evaluar las cuantificaciones de los indicadores.

En resumen, se puede decir que el problema de la medición de la mejora de los procesos implica determinar cuantitativamente cuatro factores, a través de estudios técnicos específicos:

- Los procesos de trabajo que serán sujetos de medición.
- Los indicadores específicos para cada proceso seleccionado para ser mejorado.
- Los parámetros de referencia (metas o estándares a alcanzar para cada indicador) contra los que se compararán las mediciones reales de cada indicador.
- El ámbito de responsabilidad de cada actor en la mejora de los procesos (trabajadores, directivos y propietarios).

**Figura 4.6** Variables básicas para la medición de la mejora de los procesos.

Metodología para la mejora continua

Tomando como referencia el esquema básico de la mejora continua (véase figura 4.2), y una vez ubicados los factores, los resultados y los parámetros de referencia, lo que procede para lograr, justamente, la mejora de los procesos, es medir y cuantificar los indicadores de cada uno de los procesos, y comparar tales mediciones con sus respectivos parámetros de referencia.

Con ello se obtendrán las eventuales disparidades o sesgos, como evidencia de la existencia de problemas en la operación de los procesos que estén en ese caso. Después, se realiza un análisis cualitativo puntual para ubicar cuáles son las causas que están provocando esas disparidades no deseadas, y así se obtendrá un diagnóstico compuesto con los procesos en problemas y sus posibles causas.

Con base en dicho diagnóstico, se deberá elaborar una estrategia integral de solución a los problemas encontrados; es decir, la mejora que necesariamente, estaría dirigida al aseguramiento de los seis factores de la mejora continua: motivación, capacitación, I-D en tecnología y en materiales, dirección e inversión productiva.

Esta serie de acciones diagnósticas y de intervención deberá repetirse de forma permanente hasta convertirse, finalmente, en una espiral que provoque la mejora continua y permanente de todos los procesos de la empresa (véase figura 4.7).

Para que una empresa sea rentable en forma sostenida, requiere ser competitiva en términos de mantenerse en el mercado generando valor para sus potenciales clientes, y para ser competitiva necesita mejorar sus niveles de productividad. Lo anterior permite ubicar la cadena técnica del

funcionamiento integral de la empresa: productividad-competitividad-rentabilidad (P-C-R). Dentro de esta cadena existen muchos factores imponderables e incontrolables, sobre todo en el mercado, que impiden asegurar, por ejemplo, que una empresa productiva logre de manera necesaria ser competitiva y rentable; lo que sí se puede decir es que si está mejorando sus procesos de trabajo, seguramente estará más capacitada para responder de manera adecuada a los cambios del mercado. En este sentido, una adecuada dirección empresarial es aquella que, dentro de sus procesos decisorios, encadena la rentabilidad, la competitividad y, como consecuencia, la productividad.

Otras dimensiones de la mejora continua

Dimensión política

Muchas propuestas académicas que giran alrededor de la mejora de la productividad se quedan, en el mejor de los casos, en la dimensión metodológica analizada en el apartado anterior; sin embargo y partiendo de la propia definición de empresa aquí presentada, existe una dimensión más: la política. Esta dimensión consiste, justamente, en las negociaciones entre dueños y trabajadores referidas a la repartición de los beneficios que se puedan generar por el mejoramiento sistemático de los procesos de trabajo, es decir, la retribución (pago) a los trabajadores por su participación e involucramiento, lo cual impactará en forma directa en el factor uno: la motivación. Tales negociaciones, por lo general, se formalizan en lo que se conoce como *Convenios de Productividad*, que en algunas ocasiones se ligan directamente a las condiciones contractuales pactadas.

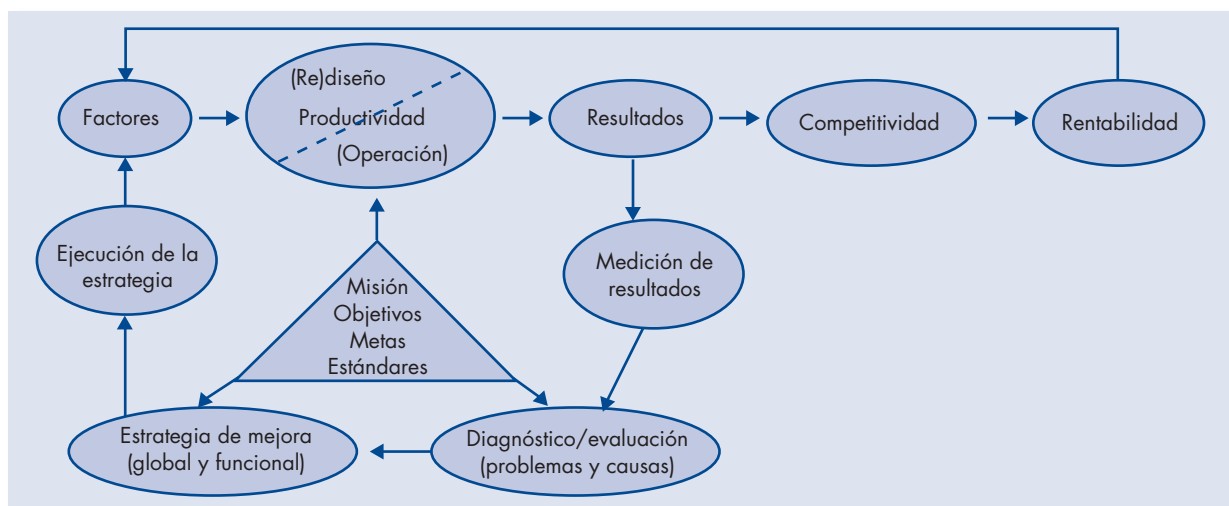


Figura 4.7 La productividad como una espiral de mejora continua.

Hay que aclarar que la determinación de los montos de los pagos y los beneficios que los trabajadores deben recibir por mejorar la productividad, no es un problema que se resuelva con la simple aplicación de una regla matemática que, automáticamente, asocie en forma directa, una cantidad de dinero a un determinado incremento de la productividad. En realidad, el tamaño del pago (o bono) debe ser resultado de una negociación, por un lado, entre dueños y directivos, y, por otro, entre los trabajadores (y sus sindicatos). Desde luego, esta negociación deberá estar basada en una sólida argumentación técnica referida a la medición cuantitativa (indicadores y parámetros de referencia) de la productividad. (Temas analizados anteriormente en este capítulo.)

En este sentido, la determinación de las formas de retribución o pago por productividad a los trabajadores, aunque tiene una base técnica y relativamente cuantificable a partir de los indicadores y los parámetros de referencia, en realidad es resultado de una negociación política entre las partes. Aunque no existe una regla única para determinar el monto del pago o bono por productividad, éste deberá ser proporcional al incremento de la mejora alcanzada, la cual deberá medirse en cualquiera de sus cuatro dimensiones: cantidad, calidad, tiempo y dinero, y a lo largo de la cadena insumos-procesos-resultados (véase tabla 4.2).

A continuación se plantean algunas opciones para la determinación de dicho pago. Por ejemplo, si en promedio los indicadores acordados mejoraron 20% con relación a los parámetros de referencia, el pago por productividad tendría que ser de 20% con relación al salario contractual. En otro ejemplo, si los estándares o metas acordadas se cumplieron en un rango de 80 a 100%, el pago a negociar tendría que variar entre 80 y 100% de un bono previamente acordado. Un ejemplo más: si con el cumplimiento de los estándares o metas acordados se consigue un ahorro en los costos de producción de 15%, el bono de productividad tendría que ser de al menos 15% de su salario contractual.

De estos ejemplos, se desprende la importancia que tiene la determinación adecuada, tanto de los indicadores como de los parámetros de referencia o estándares a cumplir.

Desde luego, independientemente del mecanismo negociado para el pago por productividad, deberán estar declaradas en forma clara para las partes, las condiciones de trabajo que se requieren a fin de poder cumplir con los parámetros de referencia (o metas) convenidos para obtener los incentivos por productividad, como: calidad y oportunidad en el abastecimiento de la materia prima, estado físico y grado de funcionalidad del equipo y la maquinaria, grado de sincronización entre las diferentes áreas funcionales de la empresa, capacitación técnica a los trabajadores, etc. El que esas condiciones laborales sean las adecuadas para mejorar la productividad es responsabilidad directa de

los dueños y de los directivos, por lo que en un eventual convenio de productividad deberán estar perfectamente señalados tales ámbitos de responsabilidad.

Así pues, se puede decir que la parte técnica del pago por productividad se ubica en la determinación de los indicadores y los parámetros de referencia o metas a alcanzar, y la parte política está en la negociación del monto o la cantidad económica o en especie que recibirán los trabajadores por cumplir con los estándares acordados. Lo primero se halla dentro de la objetividad numérica, pero lo segundo se ubica definitivamente dentro de la subjetividad de las relaciones de poder inherentes a la dinámica empresarial.

Dimensión macroeconómica

Considerando que las empresas no son islas que buscan mejorar sus procesos en forma independiente y separada del tejido económico, es imposible esperar, por ejemplo, que una empresa pueda incrementar su productividad si las condiciones macroeconómicas que le rodean le son adversas.

Por ejemplo, sería muy difícil lograr, en forma sostenida, la mejora continua de los procesos de una empresa, si no hay disponibilidad local de tecnología y tiene que importarla; si la infraestructura de comunicaciones es deficiente e incrementa los costos de transporte; si los operarios, mandos medios o gerentes, egresados de las escuelas nacionales, no tienen los conocimientos ni las habilidades necesarias para mejorar sus procesos de trabajo; si las políticas gubernamentales de comercio obstaculizan tanto las importaciones como las exportaciones y si las políticas financieras del gobierno elevan los costos del crédito y del dinero en general. Esta dimensión macroeconómica de la productividad se vuelve vital para la mejora continua de los procesos de trabajo de las empresas.

La consideración de esta última dimensión obliga a concluir que si realmente se pretende mejorar la productividad, la competitividad y la rentabilidad de las empresas, se requiere necesariamente de una estrategia nacional de productividad de largo plazo y consensuada entre los principales actores productivos: gobierno, empresarios, trabajadores y universidades.

Conclusiones

La productividad, vista en un sentido estrecho de “hacer más con menos”, enfocada en los resultados, lo único que genera es más desempleo, malestar en los operarios de los procesos de trabajo y un ambiente laboral negativo; en cambio, la productividad, entendida como la mejora continua de los procesos de trabajo, pone atención justamente en los procesos mismos, para “hacer lo mejor con lo necesario”, dentro de la dinámica cotidiana de la empresa.

Por otro lado, el fenómeno de la productividad y de la mejora continua de los procesos rebasan en gran medida las cuatro paredes de la empresa. Es necesario, pues, contar con un abordaje integral que contemple desde el concepto hasta su dimensión macroeconómica, pasando por sus dimensiones metodológica y política.

El incremento de la productividad y la mejora continua de la empresa son responsabilidad de todos los actores: dueños, directivos y trabajadores; pero, no todas las responsabilidades son iguales. El principal responsable es el dueño de la empresa, ya que de él depende que haya la suficiente inversión productiva para asegurar los otros factores que posibilitarán que los procesos mejoren sistemáticamente (incluida la capacitación y la motivación de los trabajadores); en segundo lugar, está la responsabilidad de los directivos, pues son ellos los encargados de tomar las

decisiones estratégicas y operativas que deberán combinar adecuadamente los factores y las condiciones necesarias para provocar la mejora continua de los procesos; en tercer lugar, está la responsabilidad de los trabajadores, quienes deben involucrarse de forma seria en la mejora cotidiana de sus procesos de trabajo.

La productividad y la mejora continua deben entenderse como un medio y no como un fin; en este sentido, éstas deben servir para elevar la competitividad y la rentabilidad, y para generar más empleos y mejor remunerados.

Finalmente, sin una estrategia nacional de productividad, de mediano y largo plazos, y consensuada por los principales actores económicos: empresarios, directivos y trabajadores (con sus organizaciones sindicales), es difícil que las empresas puedan contar con un ambiente externo propicio para impulsar la mejora continua de sus procesos.

Palabras clave

Productividad, mejora continua, medición, empresa, rentabilidad, competitividad.

Casos prácticos

Caso 1: Medición de la productividad (enfoque estrecho)

Supongamos el caso de una empresa que produce encendedores para cigarrillos; su producción se cuantifica por el número de piezas producidas por semana. Recuerdese que para medir la productividad también es necesario saber cuántas horas-hombre fueron utilizadas por semana. En la tabla 4.3 se presentan los datos seña-

lados, incluyendo el cálculo de la productividad (piezas/hora trabajada) y el porcentaje de su variación respecto al periodo anterior.

En la figura 4.8 se puede apreciar de forma gráfica el comportamiento de la productividad del ejemplo mostrado, tanto en piezas producidas por hora trabajada, como en variaciones porcentuales respecto del periodo anterior.

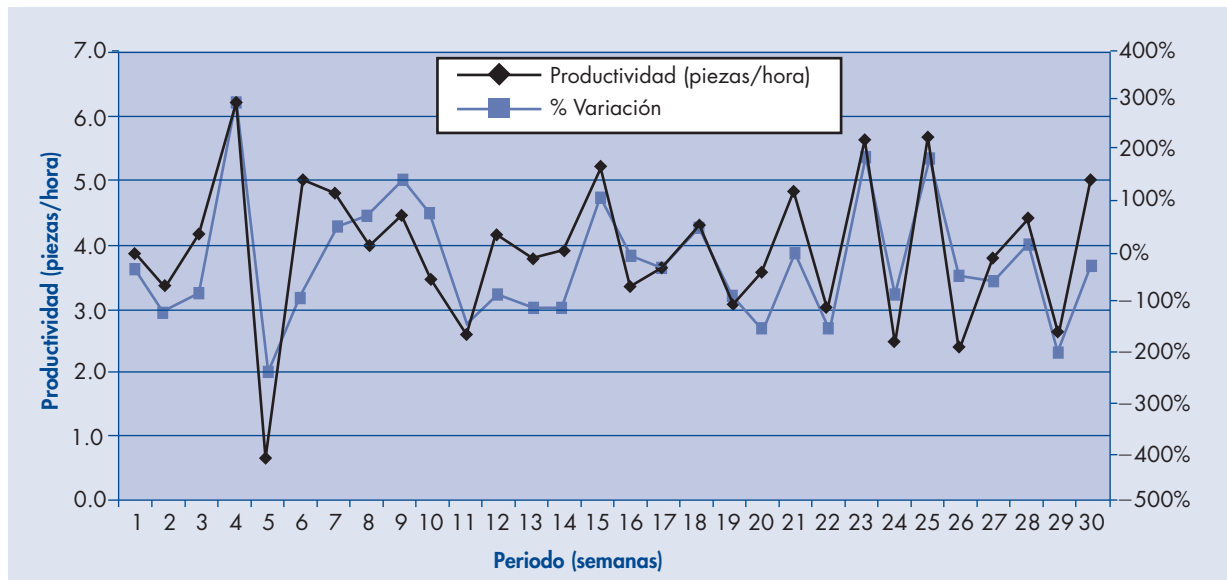


Figura 4.8 Gráfica de productividad.

Tabla 4.3 Ejemplo de cálculo de productividad en el trabajo

Periodo (semana)	Producción (piezas/semana)	Horas-hombre trabajadas (horas-semana)	Productividad (piezas/hora)	Porcentaje de variación
1	3 500	961	3.6	0%
2	3 350	1 144	2.9	-72%
3	4 700	1 432	3.3	35%
4	6 570	1 057	6.2	294%
5	3 637	1 814	2.0	-421%
6	4 293	1 318	3.3	125%
7	6 009	1 407	4.3	101%
8	5 855	1 339	4.4	10%
9	6 340	1 269	5.0	63%
10	6 828	1 543	4.4	-57%
11	3 509	1 221	2.9	-155%
12	5 628	1 800	3.1	25%
13	4 922	1 641	3.0	-13%
14	5 424	1 811	3.0	0%
15	6 522	1 408	4.6	163%
16	5 928	1 506	3.9	-69%
17	6 401	1 763	3.6	31%
18	5 035	1 186	4.2	61%
19	3 759	1 162	3.2	-101%
20	4 745	1 695	2.8	-43%
21	6 703	1 717	3.9	111%
22	3 906	1 404	2.8	-112%
23	5 791	1 182	4.9	212%
24	5 621	1 713	3.3	-162%
25	6 806	1 243	5.5	219%
26	3 683	1 041	3.5	-193%
27	4 791	1 385	3.5	-8%
28	4 728	1 177	4.0	56%
29	4 351	1 859	2.3	-168%
30	5 159	1 379	3.7	140%

Caso 2: Medición de la mejora continua (enfoque amplio)

Una empresa fabricante de muebles de madera desea medir el impacto que ha tenido la mejora continua de sus procesos de trabajo en la elaboración de sillas durante las últimas diez semanas.

Para la medición de la mejora continua de este proceso, como se indicó anteriormente, se requiere definir los indicadores en término de cantidad, calidad, tiempo

y dinero, para los insumos utilizados, los procesos y los resultados; 12 indicadores en total. Posteriormente, se deberán realizar las mediciones reales de esos 12 indicadores durante el periodo definido (en este ejemplo se definieron 10 datos). En seguida, se deberán determinar los parámetros de referencia para cada una de las 12 dimensiones mencionadas anteriormente y contra las cuales se compararán las mediciones reales de las 10 semanas.

En la tabla 4.4 se pueden apreciar los parámetros de referencia determinados en función de datos históricos, obtenidos a través de un estudio de *benchmarking*. En las tablas 4.5 a 4.13 se pueden apreciar las mediciones reales de los indicadores para cada una de las diez semanas. Por último, en las figuras 4.9 a 4.20 se presenta, de forma gráfica, el comportamiento de los indicadores durante los 10 periodos analizados, utilizando los parámetros de referencia correspondientes.

Tabla 4.4 Parámetros de referencia

PR	Insumos	Proceso	Resultados
Cantidad	100%	5	7 000
Calidad	2%	1.50%	2
Tiempo	5	1 400	5
Dinero	\$58.45	\$70.00	\$100.00

Tabla 4.5 Resultados de la medición real para la semana 1

Semana 1	Insumos	Proceso	Resultados
Cantidad	80%	4.2	5 600
Calidad	3%	1.53%	4
Tiempo	6.8	1 345	6
Dinero	\$58.61	\$70.16	\$100.22

Tabla 4.6 Resultados de la medición real para la semana 2

Semana 2	Insumos	Proceso	Resultados
Cantidad	77%	3.3	5 360
Calidad	2%	1.45%	1
Tiempo	6.2	1 602	7
Dinero	\$58.71	\$70.26	\$100.37

Tabla 4.7 Resultados de la medición real para la semana 3

Semana 3	Insumos	Proceso	Resultados
Cantidad	107%	3.8	7 520
Calidad	3%	1.84%	0
Tiempo	4.4	2 005	6
Dinero	\$58.44	\$69.99	\$99.98

Tabla 4.8 Resultados de la medición real para la semana 4

Semana 4	Insumos	Proceso	Resultados
Cantidad	150%	7.1	10 512
Calidad	3%	1.76%	3
Tiempo	3.2	1 480	5
Dinero	\$58.07	\$69.62	\$99.46

Tabla 4.9 Resultados de la medición real para la semana 5

Semana 5	Insumos	Proceso	Resultados
Cantidad	83%	2.3	5 819
Calidad	2%	1.49%	2
Tiempo	5.2	2 540	5
Dinero	\$58.35	\$69.90	\$99.86

Tabla 4.10 Resultados de la medición real para la semana 6

Semana 6	Insumos	Proceso	Resultados
Cantidad	98%	3.7	6 869
Calidad	2%	1.37%	2
Tiempo	3.4	1 845	5
Dinero	\$58.87	\$70.42	\$100.60

Tabla 4.11 Resultados de la medición real para la semana 7

Semana 7	Insumos	Proceso	Resultados
Cantidad	137%	4.9	9 614
Calidad	2%	1.19%	1
Tiempo	5.4	1 970	5
Dinero	\$58.30	\$69.85	\$99.79

Tabla 4.12 Resultados de la medición real para la semana 8

Semana 8	Insumos	Proceso	Resultados
Cantidad	134%	5.0	9 368
Calidad	3%	1.71%	1
Tiempo	3.4	1 875	5
Dinero	\$58.59	\$70.14	\$100.20

Tabla 4.13 Resultados de la medición real para la semana 9

Semana 9	Insumos	Proceso	Resultados
Cantidad	145%	5.7	10 144
Calidad	3%	1.33%	1
Tiempo	4	1 777	4
Dinero	\$58.41	\$69.96	\$99.94

Tabla 4.14 Resultados de la medición real para la semana 10

Semana 10	Insumos	Proceso	Resultados
Cantidad	156%	5.1	10 925
Calidad	3%	1.07%	1
Tiempo	5.2	2 160	4
Dinero	\$58.24	\$69.79	\$99.71

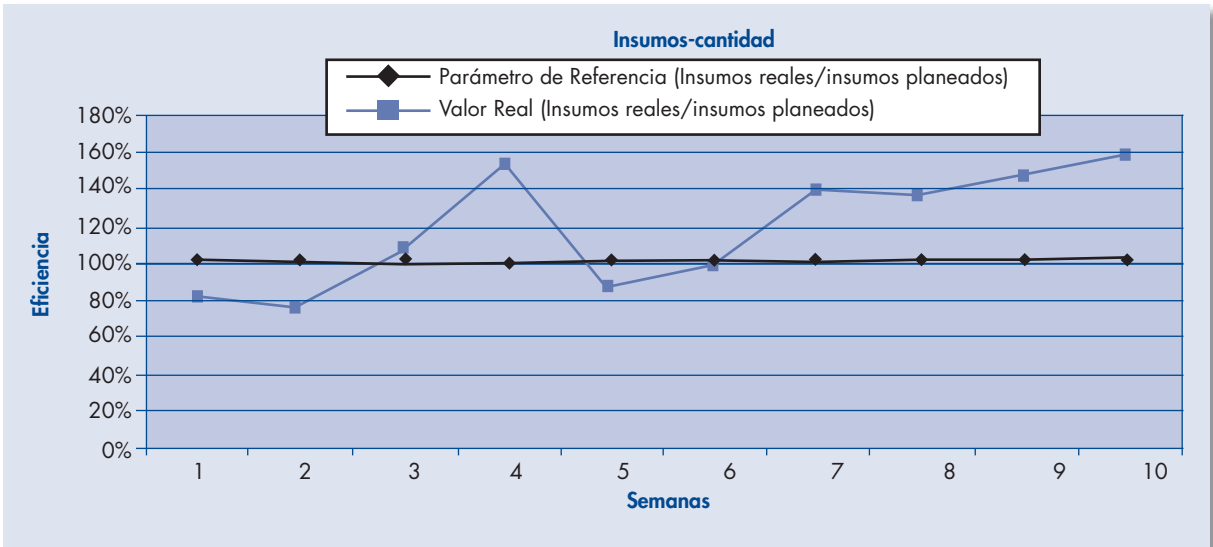


Figura 4.9 Gráfica de resultados insumos-cantidad.

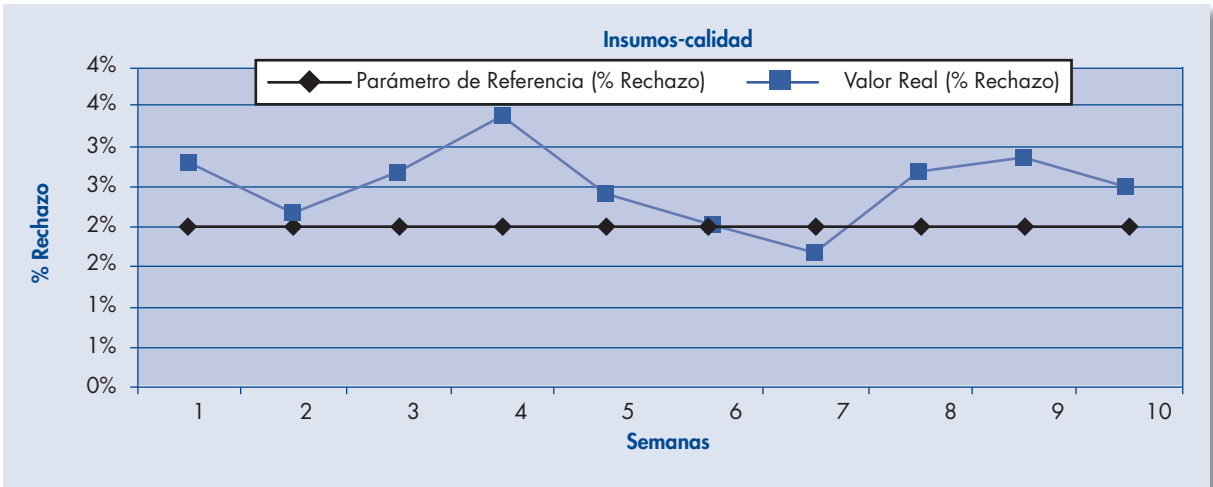


Figura 4.10 Gráfica de resultados insumos-calidad.

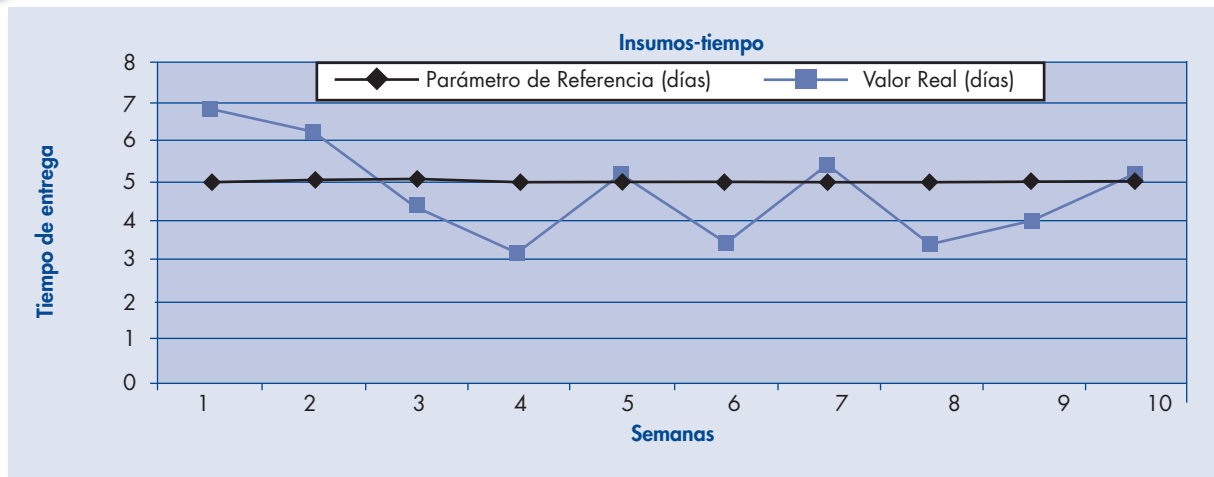


Figura 4.11 Gráfica de resultados insumos-tiempo.

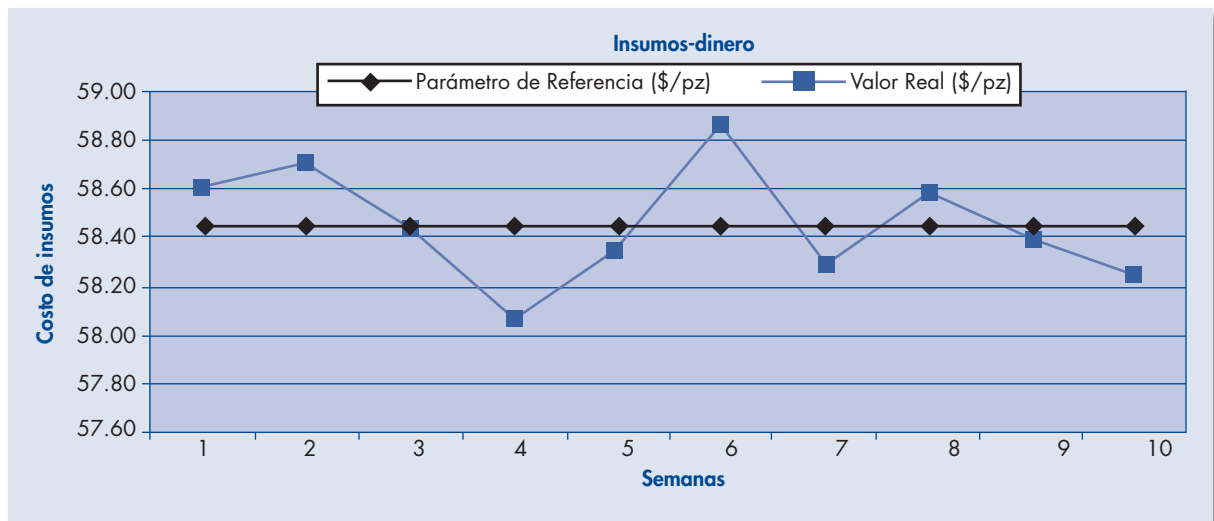


Figura 4.12 Gráfica de resultados insumos-dinero.

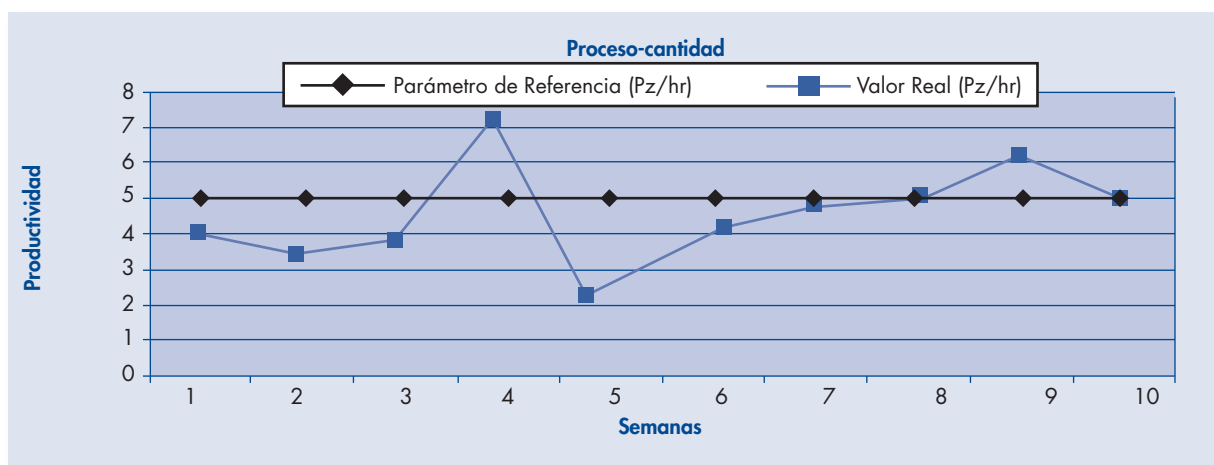


Figura 4.13 Gráfica de resultados proceso-cantidad.

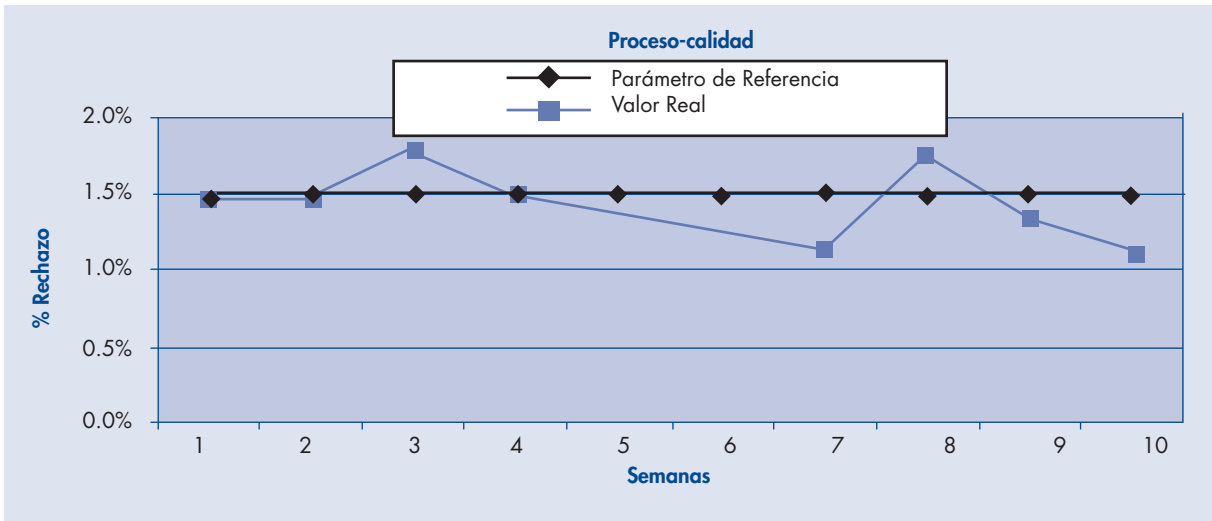


Figura 4.14 Gráfica de resultados proceso-calidad.

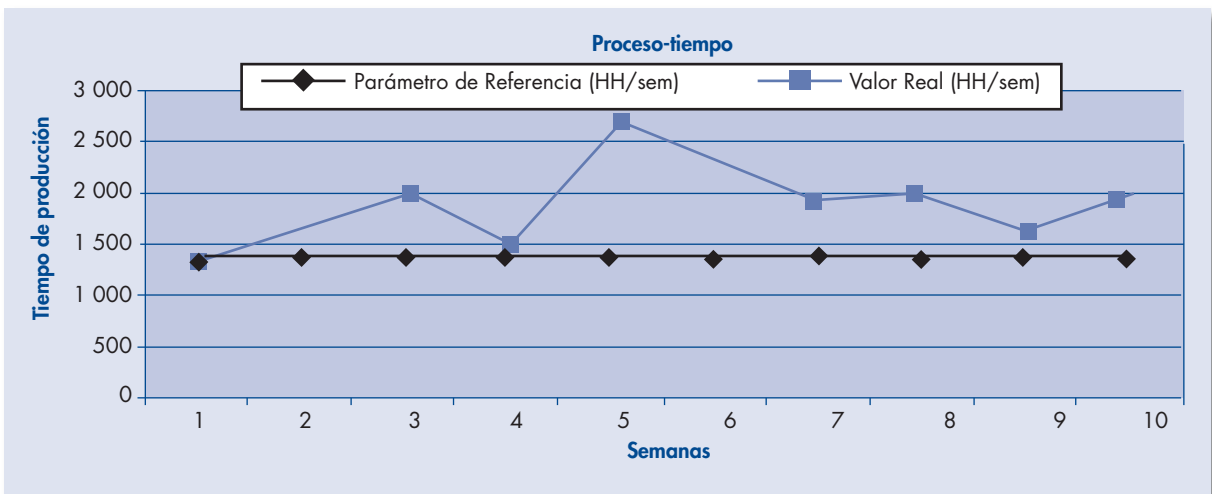


Figura 4.15 Gráfica de resultados proceso-tiempo.

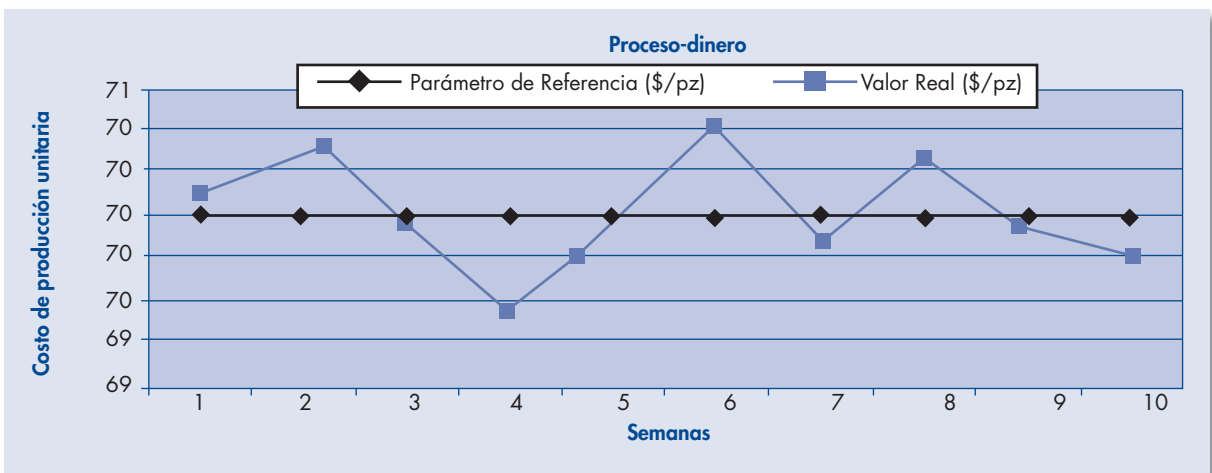


Figura 4.16 Gráfica de resultados proceso-dinero.

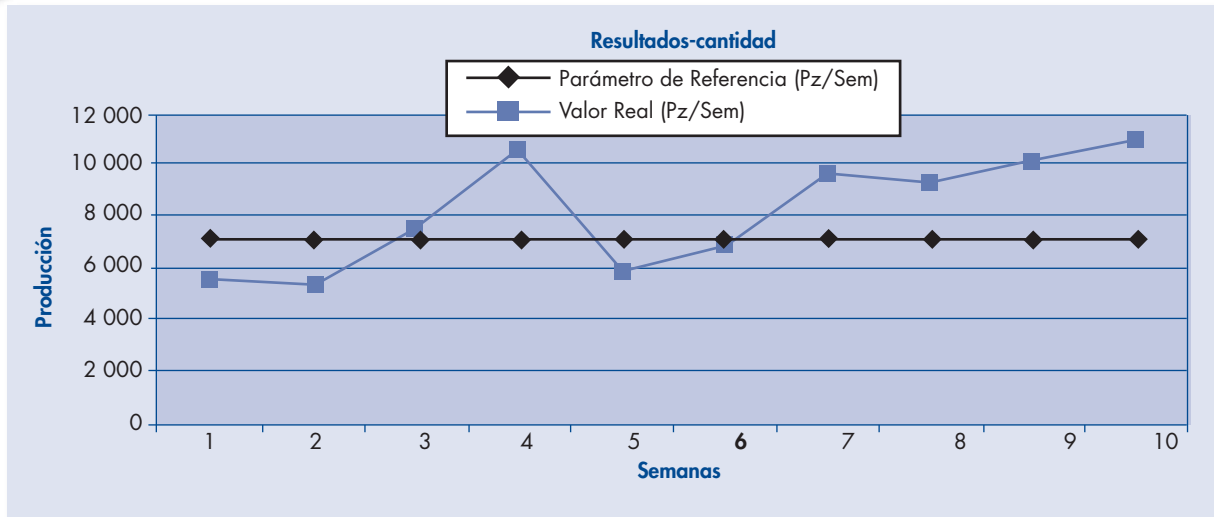


Figura 4.17 Gráfica de resultados-cantidad.

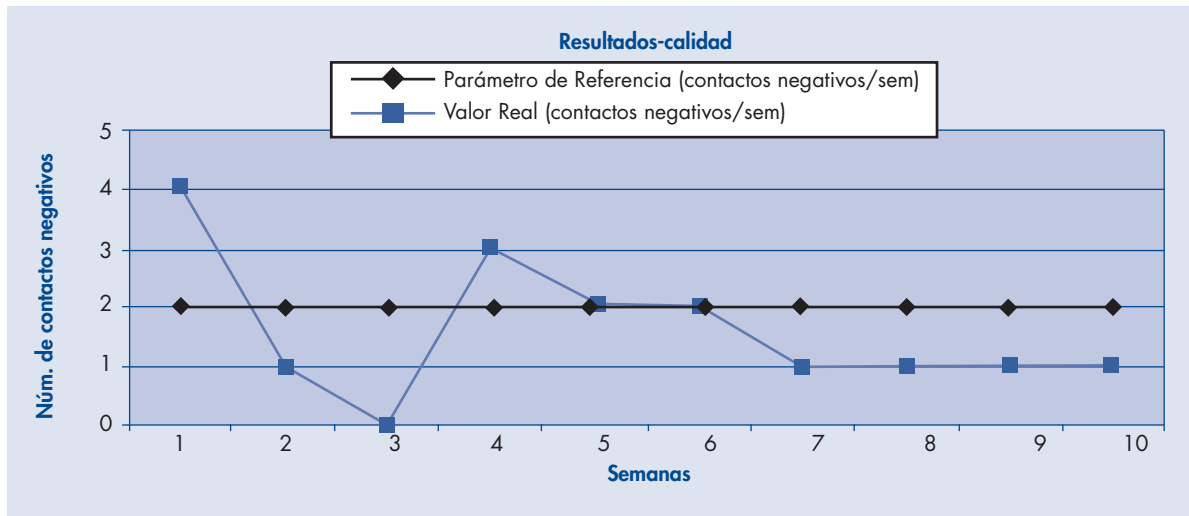


Figura 4.18 Gráfica de resultados-calidad.

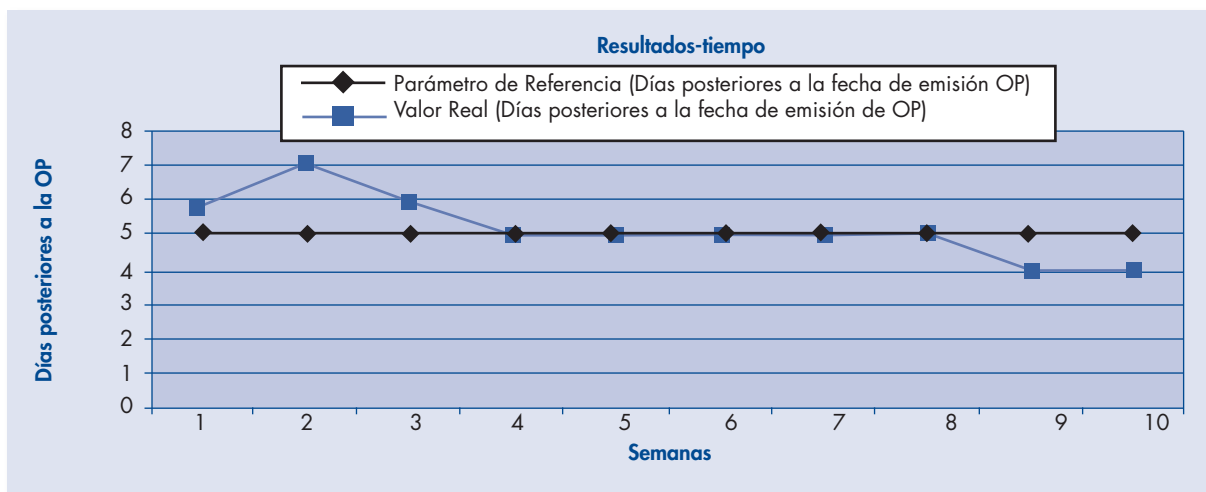


Figura 4.19 Gráfica de resultados-tiempo.

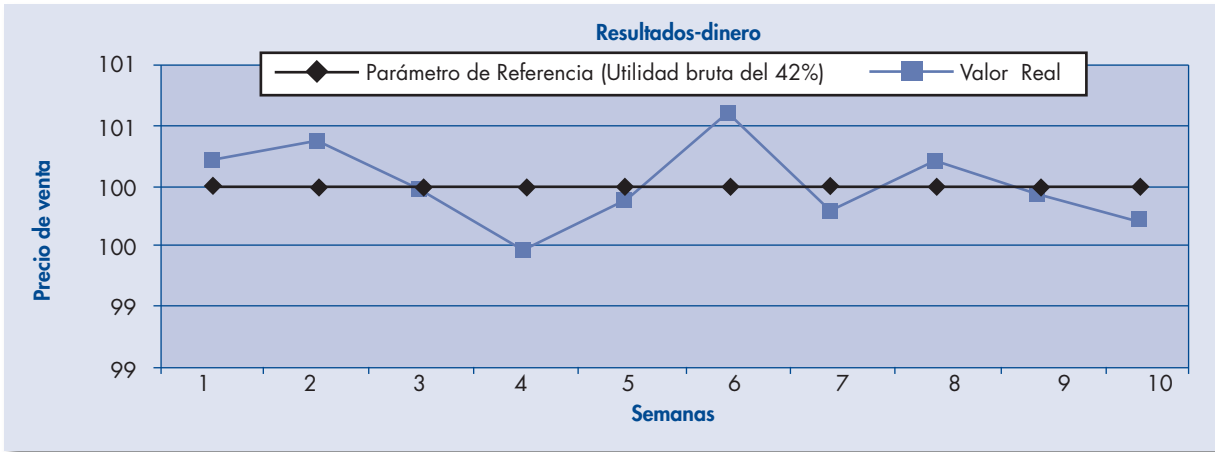


Figura 4.20 Gráfica de resultados-dinero.

A partir de estas gráficas de medición, que en su conjunto conforman la medición de la mejora continua, la dirección de la empresa estará en posibilidades de tomar decisiones con más conocimiento de causa, que

le permitirán, con mayor probabilidad de éxito, hacer más productiva a la empresa, lo que posibilitará elevar sus niveles de competitividad y, con ello, sus niveles de rentabilidad.

Casos para resolver

Caso 1

Una empresa productora de lápices cuenta con la información mostrada en la tabla 4.15, que consiste en los datos de su producción semanal del turno matutino durante las últimas 15 semanas y el número de horas-

hombre utilizadas durante ese mismo periodo. Calcule los niveles de productividad (estrecha) con las que trabajó la empresa durante ese periodo.

Se pueden consultar más casos en el CD-ROM del texto.

Tabla 4.15 Producción semanal de una empresa productora de lápices

Periodo (semana)	Producción (piezas/semana)	Horas-hombre trabajadas (horas/semana)
1	500	961
2	350	844
3	700	432
4	570	057
5	637	814
6	293	318
7	409	407
8	855	339
9	340	269
10	828	543
11	509	221
12	628	800
13	922	641
14	424	811
15	522	408

Para discusión

1. ¿Qué aspectos deberá contener una concepción integral de empresa?
2. ¿Cuál es la diferencia entre producción y productividad?
3. ¿Cuál es la diferencia central de enfoque entre la productividad y la mejora continua?
4. Mencione los tres momentos principales de todo proceso de trabajo.
5. Mencione los cuatro componentes del esquema básico de la mejora continua.
6. ¿Cuáles son los seis factores de la mejora continua y los responsables de asegurar su presencia?
7. ¿Cuáles son las cuatro dimensiones y las 12 variables de la medición de la mejora continua?
8. Explique en qué consiste la lógica de la espiral de la mejora continua.
9. Explique en qué consiste la dimensión política de la productividad.
10. ¿Cómo influye el ambiente macroeconómico en la productividad y la mejora continua de los procesos en las empresas?

Bibliografía

Castillo Carlos Prieto, Juan José. *Condiciones de trabajo. Un enfoque renovador de la sociología del trabajo*. Centro de Investigaciones Sociológicas. España. 1990.

De la Cerda Gastelum, José. *¿Mejoramiento o deterioro? Una investigación sobre innovación tecnológica, reingeniería, calidad y productividad en empresas mexicanas*. UNIVA. México. 1999.

Deming, Edward. *Calidad, productividad y competitividad*. Editorial Díaz de los Santos. Madrid. 1989.

Drucker, Peter F. *The Practice of Management*. New York: Harper and Row, 1954.

Imai, Masaaki. Kaizen. *La clave de la ventaja competitiva japonesa*. CECSA. México. 1989.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). *El ABC de la productividad*. México. 1995.

Kast, F. E., y Rosenzweig, J. E. *Administración en las organizaciones. Enfoque de sistemas y contingencias*. (4a. edición). Ed. McGraw-Hill. México. 1987.

López, Vicente. "Las dimensiones esenciales de la motivación". *Revista UPIICSA. Tecnología, Ciencia y Cultura*. Núm. 3. Enero-abril 1994. UPIICSA-IPN.

Pacheco Espejel, Arturo A. *La productividad bajo sospecha*. Cenpros. México. 2002.

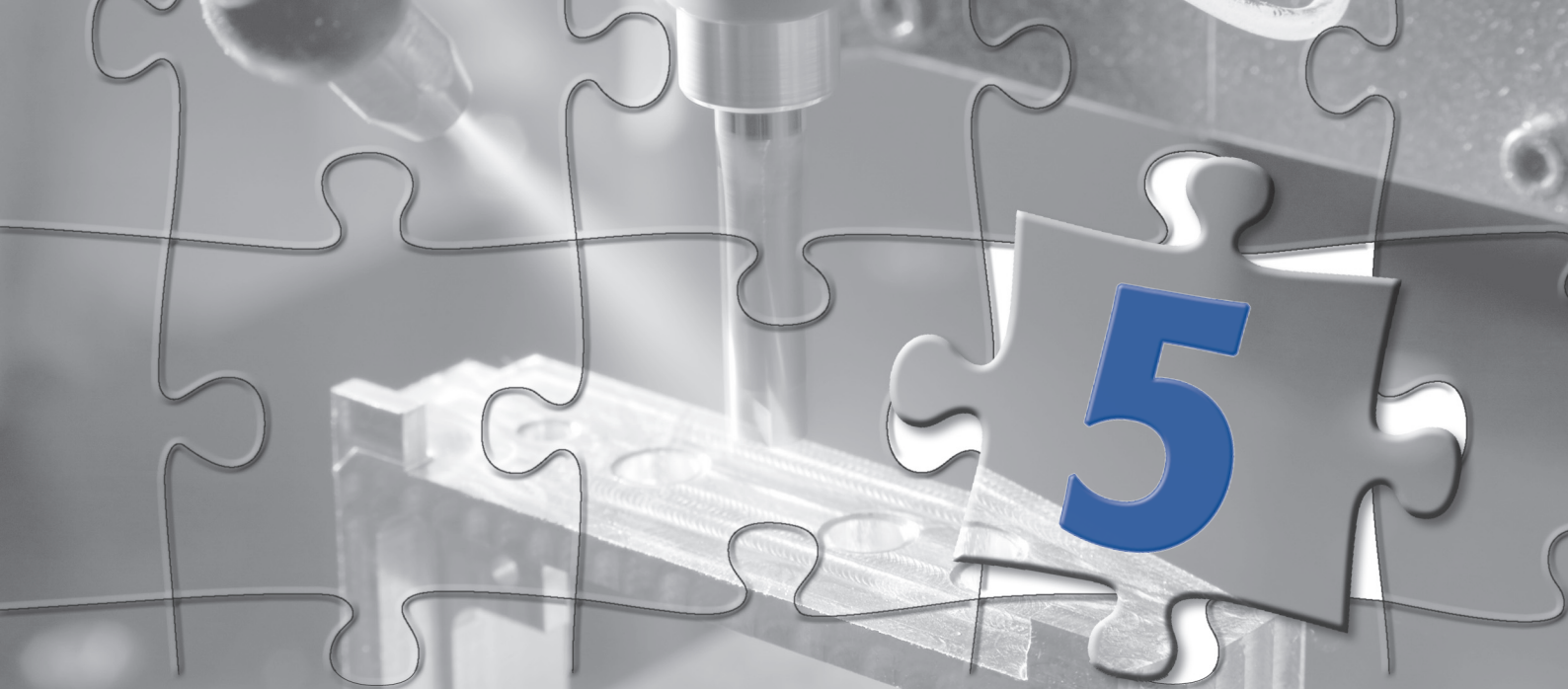
———. "La productividad como una espiral de mejora continua". *Revista: UPIICSA. Tecnología, Ciencia y Cultura*. Núm. 2. Septiembre-diciembre 1993. UPIICSA-IPN. México.

Prokopenko, Joseph. *La gestión de la productividad*. Limusa. México. 1997.

Sallenave, Jean-Paul. *La gerencia y planeación estratégica*. Norma. Colombia. 1990.

Sumanth J. David. *Ingeniería y administración de la productividad*. McGraw-Hill. México. 1994.

Taylor, Frederick W. *Los Principios de la administración científica*. Compilación de Harwood F. Merrill. *Clásicos de la Administración*. Limusa. México. 1994.



CALIDAD: SU CONCEPTO, GESTIÓN Y CONTROL ESTADÍSTICO

Ángel Eustorgio Rivera González
M. en C. Sistemas de Calidad y Productividad
ITESM, Campus Monterrey

La calidad como concepto es inútil, la clave se encuentra en su correcta interpretación y adecuación.

AERG

Objetivos

- Entender el concepto de calidad y conocer su evolución a lo largo del tiempo.
- Conocer las principales filosofías y las principales herramientas utilizadas en la actualidad para la gestión de la calidad en productos, servicios y procesos dentro de las organizaciones.

Introducción

El concepto de calidad ha evolucionado históricamente desde la época artesanal hasta llegar a los denominados *Sistemas de gestión de calidad*. Esta evolución ha dependido de la adaptación de las personas a su entorno y de los medios que éstas utilizan para aplicar sus conocimientos (tecnología).

El concepto de calidad es muy antiguo y puede ser analizado considerando el desarrollo de las sociedades mismas. Banks (1998) menciona que la historia antigua demuestra que desde hace miles de años, los seres humanos ya efectuaban trabajos técnicos complejos, propiciando

el abandono de las prácticas inconscientes y aisladas del antiguo *control* de calidad para dar paso al establecimiento de procedimientos más formales.

Historia del concepto de calidad

Gracias al estudio de las civilizaciones antiguas a través de la arqueología, se sabe que las grandes culturas antiguas (egipcios, griegos y romanos, entre otros) ya utilizaban procedimientos formales en la fabricación de satisfactores, manifestándose una preocupación consciente por la *calidad*.¹

Por ejemplo, durante la Edad Media los artesanos tenían la experiencia y el conocimiento suficientes para fabricar *productos* diferentes de los demás. En esa época, la producción era unitaria, cada artesano subsistía de los pedidos especiales y únicos que las personas de la comunidad le solicitaban; en consecuencia, los productos que un artesano elaboraba eran pocos y requerían de un tiempo elevado de fabricación. Debido a que en la elaboración de los productos o en la prestación de los servicios sólo intervenía una persona, "las normas de calidad eran determinadas por el mismo fabricante, él tomaba las decisiones relativas a la conformidad entre la calidad del producto o servicio y las necesidades del consumidor".²

Como se comentó en el capítulo 1, a mediados del siglo XVIII se gestó, en Gran Bretaña, la Revolución Industrial, movimiento político-económico que transformó los sistemas de trabajo y la estructura de la sociedad. La Revolución Industrial permitió la transición de una economía agraria y artesanal a otra en donde la industria y la mecanización dominaron el panorama. En 1782, el escocés James Watt inventó la máquina de vapor, que se convirtió en un elemento clave para dar paso a la mecanización y modernización de la industria. Sin duda, el uso de máquinas automáticas transformó la forma de producción y de organización industrial. Estas transformaciones dieron como resultado el nacimiento de lo que en la actualidad se conoce como especialización del trabajo, la cual provocó un cambio radical en el proceso de producción, pues a partir de entonces, los productos ya no eran elaborados por una sola persona, sino que un grupo era responsable de la fabricación de todo el producto. Desde ese momento, cada persona tenía una tarea diferente durante el proceso y sólo era responsable de elaborar una parte del producto. La época artesanal de-

sapareció para dar paso a la producción en serie, que trajo como consecuencia el aumento de la productividad y ésta, a su vez, la disminución de costos. Ya que la fabricación de los productos era más compleja y los trabajos más especializados, se hizo necesario inspeccionar los productos después de su manufactura³ para verificar el cumplimiento de sus características físicas. Desde entonces, como resulta evidente, inició la época de la supervisión, dando pie al nacimiento de la figura del supervisor.

Durante el siglo XIX, el empleo de las maquinarias dentro de las empresas era algo cotidiano y cada día los procesos eran más complejos y el número de productos a elaborar más elevado. Las actividades que desempeñaban los trabajadores eran más variadas y especializadas. En términos prácticos, menciona Banks (1998), aumentó la complejidad de la producción, así como de las empresas y de las técnicas manufactureras. Cada supervisor se hacía cargo de un mayor número de trabajadores. Debido a la diversidad de actividades por realizar dentro de las empresas, no todos los supervisores contaban con la capacidad y experiencia para evaluar los procesos, "de tal forma que a finales del siglo XIX surgió la necesidad de difundir el conocimiento técnico a través de publicaciones especializadas".⁴

Feigenbaum (2001) argumenta que durante la Primera Guerra Mundial, los sistemas de producción se hicieron más complicados y el control de un gran número de trabajadores dependía de un supervisor. Una consecuencia lógica de esta situación fue la aparición de los primeros inspectores de tiempo completo.

"Antes de la Segunda Guerra Mundial, la calidad era entendida como el cumplimiento de las características físicas de un producto"⁵ y esto dependía exclusivamente de la empresa que producía el producto o brindaba el servicio. Dicho de otra manera, las compañías se preocupaban por cumplir ciertos estándares-especificaciones internos de calidad y no consideraban como importante la opinión del destinatario final de la mercancía. En 1924, W. A. Shewhart inventó una gráfica estadística que tenía por objetivo el control de las variables de un producto. Hoy en día, la gráfica de Shewhart es considerada como el inicio del Control Estadístico de la Calidad⁶ (SQC, por sus siglas en inglés). Un año después, en 1925, Harold F. Dodge y Harry G. Romig crearon los primeros conceptos de muestreo por atributos,

¹ Jerry Banks. *Control de calidad*. Limusa. México. 1998, p. 32.

² *Idem*, p. 34.

³ Dale Besterfield y otros. *Total Quality Management*. 2nd. Prentice-Hall. USA. 1999, p. 6.

⁴ Jerry Banks. *Op. cit.*, p. 35.

⁵ Arthur Tenner and DeToro, Irving. *Total Quality Management. Three steps to continuous improvement*. Addison Wesley. USA. 1991, p. 14.

⁶ Dale Besterfield. *Op. cit.*, p. 6.

técnica que remplazaría por completo a la de inspección. Desafortunadamente, el control estadístico de la calidad no tuvo gran influencia en las décadas de 1920 y 1930 y los gerentes y dueños de las compañías no supieron reconocer sus ventajas y obtener provecho de las mismas.

En 1946 se fundó la Sociedad Americana para el Control de Calidad (ASQC, por sus siglas en inglés). Durante esa época, organizaciones como la antes mencionada, condujeron el destino de la calidad y los esfuerzos cotidianos de las empresas por mejorar sus procesos a través del control de calidad. La ASQC brindó un gran impulso a las empresas gracias a sus publicaciones, conferencias y sesiones de capacitación, enfocadas hacia la manufactura y a la prestación de los servicios.⁷

Ese mismo año, delegados de 25 países decidieron crear una nueva organización internacional cuyo objetivo fundamental fue facilitar la coordinación y unificación de los estándares industriales, propiciando el intercambio de bienes y servicios en todo el mundo. La Organización Internacional para la Estandarización, mejor conocida como la ISO, tiene su sede en Ginebra, Suiza, e inició sus actividades oficialmente el 23 de febrero de 1947. Desde su fundación, este organismo dio gran impulso a las prácticas estándares entre sus países miembros.⁸

En 1950, W. Edward Deming, quien aprendió el control estadístico de la calidad gracias a Shewhart,⁹ impartió en Japón, por invitación de la Unión de Científicos e Ingenieros Japoneses (JUSE, por sus siglas en inglés) una serie de pláticas y cursos sobre los métodos estadísticos, a los que asistieron los responsables del área de calidad de las empresas más grandes y prestigiadas de Japón. El resultado fue extraordinario. Los japoneses implementaron el concepto de control de calidad y lo implantaron en sus industrias, obteniendo avances significativos en sus empresas y logrando, en muchos casos, elevar su productividad en gran medida. Ese mismo año, K. Ishikawa, reconocido experto japonés en el ambiente empresarial, inició una serie de investigaciones sobre los conceptos de control de calidad.

En 1954, Joseph M. Juran fue invitado a Japón para impartir una serie de seminarios a gerentes de niveles altos y medios. El objetivo de dichos seminarios era difundir entre los gerentes las funciones que éstos debían asumir en

la promoción del control de calidad. La visita de Juran creó un ambiente en el que se reconoció el control de calidad como un instrumento de la gerencia.¹⁰

En 1955, Ishikawa introdujo las gráficas de control que sustentarían el control estadístico de la calidad en las empresas japonesas.¹¹

En la década de 1960 inició lo que hoy se conoce como el *control total de calidad*. Las empresas empezaron a establecer una estructura operativa y de toma de decisiones para la calidad del producto que fuera suficientemente eficaz como para tomar acciones adecuadas en los descubrimientos del control de calidad.¹²

Feigenbaum (2001) argumenta que durante esa época surgieron avances significativos en la forma de organizar a la empresa y de responder a los problemas de calidad en sus procesos de fabricación. Las compañías pudieron conjuntar, entonces, técnicas diversas para mejorar la calidad de sus productos: control de calidad, técnicas de medición y confiabilidad, equipos de información de calidad y motivación del personal, entre otras. Los empresarios reconocieron también que los trabajadores eran fundamentales para alcanzar las metas y los objetivos planteados en la organización y se dieron cuenta de la gran importancia y necesidad de la colaboración entre los supervisores, obreros y la dirección. Como consecuencia de estos hechos se crearon en Japón los primeros círculos para el control de calidad, cuyo concepto central, según Banks (1998), es que los supervisores de producción y sus obreros se reúnan para estudiar los aspectos de control de calidad y para capacitarse en técnicas encaminadas a dicho control.

La difusión de los avances sobre el control de calidad tomó gran importancia y como consecuencia de esta necesidad, en 1967 la Sociedad Americana para el Control de Calidad inició la publicación de la revista *Quality Progress*.

En 1969¹³ se creó el Instituto Nacional Americano para los Estándares (American National Standards Institute, ANSI por sus siglas en inglés), que tiene su origen en el Comité Americano de Estándares en Ingeniería (American Engineering Standards Committee, AESC por sus siglas en inglés) fundado el 19 de octubre de 1918.

Durante el transcurso de la década de 1970, los gerentes y altos directivos se involucraron de manera total en los temas concernientes a la calidad. Esta participación general

⁷ *Idem*.

⁸ www.iso.org Fecha de consulta: noviembre de 2010.

⁹ Dale Besterfield. *Op. cit.*, p. 6.

¹⁰ Kaoru Ishikawa. *¿Qué es control total de calidad? La modalidad japonesa*. Editorial Norma. Colombia. 1986, p. 16.

¹¹ Jerry Banks. *Control de calidad*. Limusa. México. 1998, p. 39.

¹² Armand Feigenbaum. *Control total de la calidad*. CECSA. Tercera edición. Sexta reimpresión. México. 2001, pp. 17-18.

¹³ www.ansi.org Fecha de consulta: noviembre de 2010.

y constante, enfocada al logro de la calidad, dio origen al concepto de *Sistema de Calidad*. Feigenbaum (2001) lo define como "la estructura funcional de trabajo aceptada en toda la compañía y en toda la planta, documentada mediante procedimientos integrados técnicos y administrativos eficaces para guiar las acciones coordinadas de personas, máquinas e información de la compañía y la planta en las mejores y más prácticas formas para asegurar la satisfacción del cliente con la calidad y costos económicos de calidad".

Banks (1998) manifiesta que en 1978 el ANSI y la ASQC definieron la calidad como la totalidad de los rasgos y las características de un producto o servicio con el fin de satisfacer determinadas necesidades. Ésta fue una de las primeras definiciones formales de calidad y de ella se desprendieron muchas más. La introducción de las computadoras en la industria tuvo una seria repercusión en el control de la calidad durante la década de 1970: muchas compañías grandes las adoptaron como una excelente herramienta en el uso y la aplicación de técnicas estadísticas de control de calidad.

Feigenbaum (2001) destaca la importancia de la estructura operativa en las organizaciones y enfatiza que una mejor calidad y menores costos dependen en gran medida de la existencia de un marco de calidad total. El Control Total de Calidad estableció una estructura en la que las primeras herramientas de control estadístico de calidad pudieron conjuntarse con otras técnicas adicionales como medición, confiabilidad, equipo de información de la calidad y motivación para la calidad. El control total de calidad sentó las bases para que en la segunda mitad de la década de 1980 apareciera el concepto de Administración de la Calidad Total (TQM, por sus siglas en inglés).

En 1987, la ISO publicó la serie de normas ISO:9000 para la comunidad europea, integrada por cuatro normas distintas: ISO:9001, ISO:9002, ISO:9003 e ISO:9004. En 1994 se publicó la serie ISO 9000:94, cuyo objetivo era establecer los lineamientos generales para implementar sistemas de aseguramiento de la calidad. Para el año 2000, la versión 94 de la serie de normas ISO fue revisada y finalmente cambiada por la versión 2000: ISO 9000:2000, la cual buscaba establecer sistema de *gestión* de calidad al interior de las organizaciones, a través de la implantación de cinco requisitos generales. Hacia el 2008, la serie de normas ISO 9000:2000 fue modificada con el fin principal de clarificar los puntos en el texto y aumentar la compatibilidad de la norma ISO 14000:2004. La serie de normas

ISO 9000:2008 conservó los mismos objetivos que sus antecesoras: establecer sistemas de gestión de calidad dentro de las organizaciones a través de la implantación de requisitos generales y mantener los mismos principios fundamentales.

La idea básica de los sistemas de gestión de calidad es establecer sistemas de mejora continua en las organizaciones teniendo en cuenta a los directivos, los recursos de la empresa, la realización del producto y, finalmente, la medición, el análisis y la mejora de los procesos que coexisten en las organizaciones. La norma ISO 9000:2008 define a un sistema de gestión de calidad como una parte del sistema de gestión de la organización enfocada en el logro de resultados, en relación directa con los objetivos de la calidad, para satisfacer las necesidades, las expectativas y los requisitos de las partes interesadas, según corresponda.

Los pensadores de la calidad

La calidad, como mencionó antes, es un concepto que ha sido analizado desde varias perspectivas a través del tiempo. En este punto, se hará mención de los personajes que han contribuido con sus estudios y propuestas al desarrollo e implementación del concepto citado.

W. Edward Deming

Edward Deming es conocido como uno de los grandes pensadores de la calidad en el mundo. Sus innovadoras propuestas y su aplicación siguen vigentes aún en nuestro tiempo. Las enseñanzas de Deming, muchas de éstas impartidas durante la Segunda Guerra Mundial, se basan en las técnicas estadísticas, con el fin de lograr una mejora continua dentro de los procesos, y consideran a la gestión de las empresas como dependientes del desarrollo de catorce puntos definidos por Deming como los *principios esenciales para transformar las empresas occidentales*¹⁴ y de la eliminación de siete enfermedades mortales, que se analizarán posteriormente.

Estos 14 puntos constituyen la teoría de la gestión, y su aplicación transforma la manera de gestionar en las empresas. Deming (1989) también estableció siete



Figura 5.1 W. Edward Deming.

¹⁴ W. Edward Deming. *Calidad, productividad y competitividad. La salida de la crisis*. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España. 1989, pp. 15-74.

“enfermedades mortales” que se oponen a la transformación de las empresas.¹⁵

Los 14 puntos de Deming
1. Crear constancia en el propósito de mejorar el producto y el servicio.
2. Adoptar la nueva filosofía.
3. No depender de la inspección para alcanzar la calidad.
4. Acabar con la práctica de hacer negocios sobre la base del precio.
5. Mejorar constantemente y siempre el sistema de producción y servicio.
6. Implantar la formación en el trabajo.
7. Instituir el liderazgo.
8. Desechar el miedo.
9. Derribar las barreras existentes entre los departamentos.
10. Eliminar los slogan, exhortaciones y metas numéricas para la fuerza laboral.
11. Eliminar las cuotas numéricas (estándares y gestión por objetivos).
12. Derribar las barreras que impiden el orgullo de hacer un buen trabajo.
13. Instituir un programa vigoroso de educación y automejora.
14. Tomar medidas para lograr la transformación.

Figura 5.2 Los 14 puntos de Deming. *Fuente:* W. Edward Deming, *Calidad, productividad y competitividad. La salida de la crisis*. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España. 1989. Pp. 15-74.

Fue uno de los primeros autores en mencionar la mejora continua de los procesos y de las organizaciones en general a través del círculo conocido como *círculo de Shewhart*.¹⁶ Este círculo (véase la figura 5.4) se compone de cuatro etapas distintas, cada una de las cuales desempeña un papel fundamental en el logro de los objetivos empresariales.

Las siete enfermedades mortales
1. Carencia de constancia en el propósito de planificar un producto y servicio que tenga mercado, que mantenga a la compañía en el negocio y que proporcione puestos de trabajo.
2. Énfasis en los beneficios a corto plazo.
3. Evaluación del comportamiento, calificación por el mérito o revisión anual.
4. Movilidad de la dirección; se salta de un lugar a otro.
5. Se dirige utilizando sólo las cifras visibles, teniendo tan poco en cuenta, o nada, las cifras que son desconocidas o incognoscibles.
6. Demasiados costos médicos.
7. Costos excesivos de responsabilidad, hinchados por los abogados que trabajan por honorarios. Costos de garantías excesivos.

Figura 5.3 Las siete enfermedades mortales. *Fuente:* W. Edward Deming, *Calidad, productividad y competitividad. La salida de la crisis*. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España. 1989. Pp. 75-119.

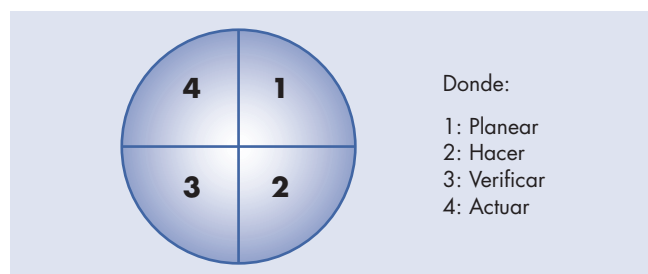


Figura 5.4 El círculo de Shewhart. *Fuente:* W. Edward Deming, *Calidad, productividad y competitividad. La salida de la crisis*. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España, p. 67.

El círculo de Shewhart tiene un enfoque genérico, lo que permite su aplicación en cualquier etapa del *proceso* que se desee mejorar.

¹⁵ *Idem*, pp. 75-119.

¹⁶ *Idem*, p. 67. Walter A. Shewhart describió el círculo mostrado en la figura 5.4 en la *Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control* (Escuela de Graduados, departamento de agricultura, Washington, 1939). Pero, Deming lo aplicó a partir de 1950 en Japón y allí se empezó a conocer como círculo de Deming.

J. M. Juran

Juran, al igual que Deming, impartió seminarios a los directivos de muchas empresas japonesas, haciendo hincapié en la estadística; sin embargo, a Juran se le reconoce por haber desarrollado e introducido el concepto de calidad humana. Asimismo, definió el concepto de cliente e hizo énfasis en las necesidades que éstos tienen así como en la manera en que deben ser atendidas sus peticiones para que éstas y sus necesidades sean cumplidas.

Juran plantea que la calidad tiene múltiples significados. Para él la calidad se basa en dos aspectos. El primero tiene que ver con el comportamiento del producto y el segundo con la ausencia de deficiencias. La calidad, dice Juran, en términos prácticos, es la *adecuación al uso*. "Hay muchos usos y usuarios". Respecto de los usuarios, Juran establece que los clientes son todas las personas sobre las que repercuten los procesos y productos, y destaca que éstos pueden clasificarse en internos y externos a la empresa. "Los productos abarcan bienes y servicios".¹⁷

Para satisfacer las necesidades de los clientes, Juran propone una espiral para el progreso de calidad dentro de las empresas.

La espiral muestra una secuencia típica de actividades para poner un producto en el mercado.¹⁸ Como se observa



Figura 5.5 J. M. Juran.

en la figura 5.6, el proceso inicia con el conocimiento de las necesidades del cliente y termina con el desarrollo de productos considerando las necesidades de los clientes. Juran hace énfasis en la importancia del desarrollo de los productos, debido a que es en esta fase donde se determinan las necesidades internas para la fabricación de un bien o brindar un servicio.

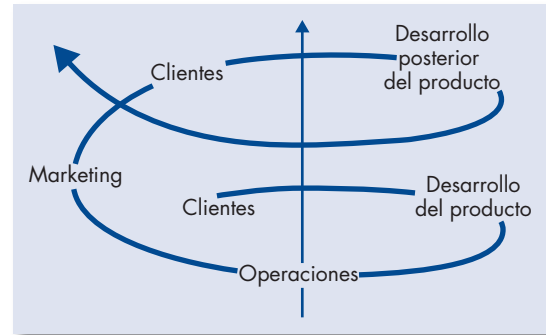


Figura 5.6 La espiral del progreso de la calidad. Fuente: J. Juran. *Juran y la planificación para la calidad*. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España. 1990, p. 5.

Una de las grandes contribuciones de Juran a la calidad es lo que se conoce como la *trilogía de Juran*,¹⁹ la cual consta de tres etapas: planificación, control y mejora de la calidad. Estas etapas están relacionadas y esto implica que ninguna puede funcionar sin la interacción de las demás.

La figura 5.7 muestra la relación existente entre los componentes de la trilogía.

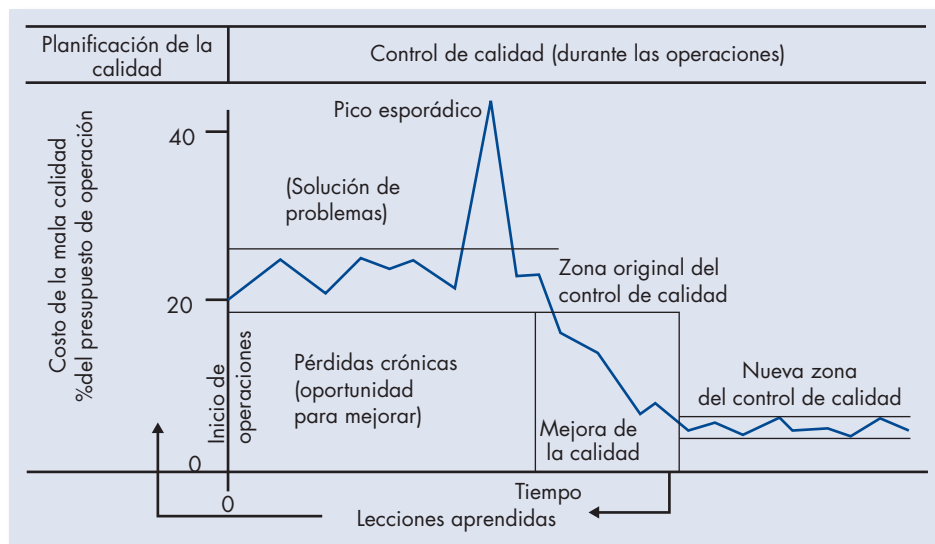


Figura 5.7 La trilogía de Juran. Fuente: J. Juran, *Juran y la planificación para la calidad*. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España. 1990, p. 10.

¹⁷ J. Juran. *Juran y la planificación para la calidad*. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España. 1990, p. 9.

¹⁸ *Idem*, p. 5.

¹⁹ *Idem*, p. 10.

Respecto de la primera etapa, Juran establece que “el objeto de planificar la calidad es suministrar a las fuerzas operativas los medios para producir productos que puedan satisfacer las necesidades de los clientes”.²⁰ La segunda etapa de la trilogía, el control de la calidad, está enfocada a lograr, por un lado, que se realicen las actividades tal y como fueron planeadas, y por el otro, a controlar los desperfectos encontrados durante la operación. La tercera etapa: la mejora de la calidad, está comprometida con la evaluación constante de los procesos a través del tiempo, con el fin de implementar mejoras continuamente.

Kaoru Ishikawa

Kaoru Ishikawa se graduó en ingeniería en la universidad de Tokio y fue pionero en destacar las diferencias existentes entre los estilos de administración japonés y occidentales. Recalcó la importancia de las diferencias culturales entre las naciones como factor importante para el logro de la calidad en los negocios. Se le considera el principal precursor de la calidad total en Japón.



Figura 5.8 Kaoru Ishikawa.

Ishikawa sustenta sus aportaciones en dos premisas fundamentales:

- La calidad (el control total de calidad) inicia y termina con la educación. Para poder alcanzar la calidad de los productos, es necesario que todas las personas que desempeñen alguna actividad dentro de la organización estén bien capacitadas.
- La empresa debe estructurar adecuadamente su plan de capacitación en calidad, es decir, una capacitación continua en todos los niveles de la organización. Esto se traduce en una planeación

efectiva de los cursos de *capacitación* dirigidos al personal de la empresa, como se explica en la figura 5.9.

El control de calidad también es un concepto importante. Ishikawa destaca que el control de calidad significa “desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea el más económico, el más útil y siempre satisfactorio para el consumidor”.²¹

Para sustentar esta definición, Ishikawa redefine el círculo de Deming y lo divide en las seis etapas mostradas en la figura 5.10.

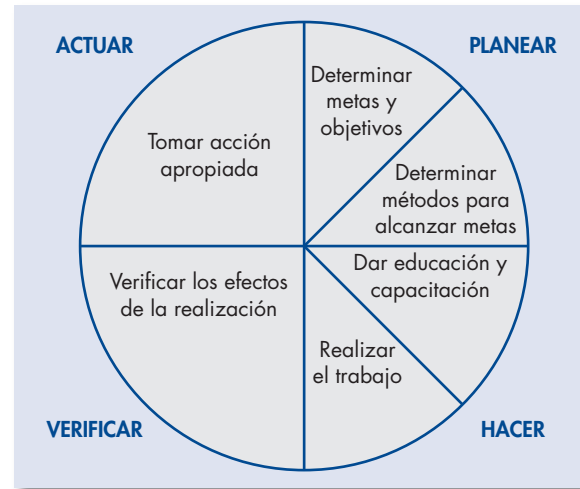


Figura 5.10 Círculo de control. Fuente: Kaoru Ishikawa, *¿Qué es control total de calidad? La modalidad japonesa*. Editorial Norma. Colombia. 1986.

Para la implantación de este círculo de control, Ishikawa propone la integración de equipos de trabajo internos, llamados *círculos de calidad*. El control de calidad, afirma este autor, “sólo tendrá éxito cuando los supervisores y los trabajadores de línea asuman la responsabilidad por el proceso”.²²

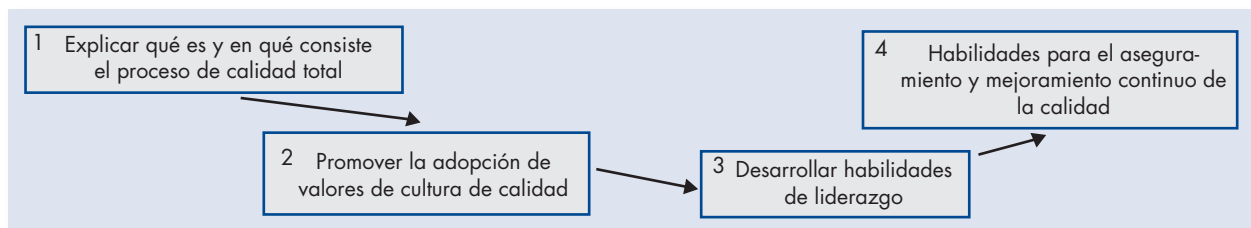


Figura 5.9 Objetivos de la capacitación. Fuente: Kaoru Ishikawa, *¿Qué es control total de calidad? La modalidad japonesa*. Editorial Norma. Colombia. 1986.

²⁰ *Idem*, p. 9.

²¹ Kaoru Ishikawa. *¿Qué es control total de calidad? La modalidad japonesa*. Editorial Norma. Colombia. 1986, p. 40.

²² *Idem*, p. 131.

Ishikawa asegura que la estadística es una herramienta fundamental para el control de calidad y la divide en tres categorías distintas: métodos estadísticos elementales, intermedios y avanzados. De éstas, sólo la primera se analizará de manera amplia posteriormente en este capítulo. También se explicará una de las herramientas más importantes en el análisis de causa raíz: el diagrama de causa-efecto propuesto por Ishikawa.

Armand V. Feigenbaum

Hombre de sobrada práctica industrial en el área de calidad y con un doctorado del Massachusetts Institute of Technology, Armand Feigenbaum fue gerente mundial de manufactura y control de calidad de General Electric.

En 1951 publicó su libro *Quality Control: Principles, Practice and Administration* donde estableció su filosofía respecto a la calidad.

Su vasta experiencia en la industria lo condujo a proponer el acercamiento sistemático o total a la calidad, lo cual requiere del apoyo incondicional de todos los departamentos involucrados en el proceso de la calidad. Feigenbaum define a la calidad como “la resultante total de las características del producto o servicio en cuanto a mercadotecnia, ingeniería, fabricación y mantenimiento, por medio de las cuales el producto o servicio en uso satisfará las expectativas del cliente”²³ y agrega que “el propósito de la mayor parte de las medidas de calidad es determinar y evaluar el grado o nivel al que el producto o servicio se acerca a su resultante total”. En este contexto, la calidad de un producto la califica el cliente, haciendo una comparación de la experiencia real con el producto o servicio medida contra sus requisitos.

La idea principal de este concepto es definir, en primera instancia, las necesidades del cliente y con base en ellas, producir con calidad desde que inicia el proceso productivo, más que inspeccionar y controlar la calidad después de elaborado el producto.

Feigenbaum establece que las empresas deben poseer un sistema de calidad total que sea efectivo gracias a los esfuerzos conjuntos de los grupos productivos dentro de las empresas. Por definición, un sistema de calidad total es “la estructura funcional de trabajo acordada en toda la



Figura 5.11 Armand V. Feigenbaum.

compañía y en toda la planta, documentada con procedimientos integrados técnicos y administrativos efectivos, para guiar las acciones coordinadas de la fuerza laboral, las máquinas y la información de la compañía y planta de las formas mejores y más prácticas para asegurar la satisfacción del cliente con la calidad y costos económicos de calidad”²⁴.

La filosofía de Feigenbaum se fundamenta en los *tres pasos para la calidad*:

1. Liderazgo en la calidad; la gerencia de la compañía siempre debe esforzarse por la calidad.
2. Tecnología de calidad moderna; todos deben estar entrenados y guiados hacia la calidad.
3. Compromiso organizacional; dentro de la organización todos deben creer en la calidad.

Para Feigenbaum, la calidad de los productos y servicios está relacionada directamente con nueve áreas básicas, a las que denominó las *9 emes*, por su significado en inglés.

1. Mercados (Markets).
2. Dinero (Money).
3. Administración (Management).
4. Hombres (Men).
5. Motivación (Motivation).
6. Materiales (Materials).
7. Maquinarias y mecanización (Machines and mechanization).
8. Métodos modernos de información (Modern Information Methods).
9. Requisitos crecientes de productos (Mounting Product Requirements).

Figura 5.12 Las 9 emes. Fuente: Armand Feigenbaum, *Control total de la calidad*, CECSA, tercera edición, sexta reimpresión, México, 2001.

Más adelante, en este capítulo, se hará notar la importancia de *estratificar*²⁵ los datos para poder analizarlos adecuadamente. Las *9 emes* sirven de referencia como punto de estratificación.

²³ Armand Feigenbaum. *Control total de la calidad*. CECSA. 3a edición. México. 2001, p. 7.

²⁴ *Idem*, p. 84.

²⁵ El concepto de estratificación se analizará más adelante en este capítulo.

Philip Crosby

En 1979, Philip Crosby publicó su libro *La calidad no cuesta* (*Quality is free*). A partir de esa fecha, dos frases se hicieron famosas: *cero defectos* y *hacerlo bien a la primera*.

Crosby asegura que lo que cuesta dinero es aquello que no tiene calidad, es decir, "todas las acciones que resultan de no hacer bien las cosas a la primera vez".²⁶

La filosofía de Crosby se puede resumir en lo que denominó *principios de la dirección por calidad*:



Figura 5.13 Philip Crosby.

- Calidad significa cumplimiento con los requisitos y no elegancia.
- No existe tal cosa como un *problema de calidad*.
- No existe la economía de la calidad. Siempre resulta más económico *hacer las cosas bien desde la primera vez*.
- La única medida de desempeño es el *costo de calidad*.
- El único estándar de desempeño es *cero defectos*.²⁷

Para apoyar la implantación de estos principios, Crosby estableció 14 pasos para la calidad²⁸ (véase figura 5.14).

Hiroyuki Hirano

Graduado en 1970 de la escuela de Economía de la universidad de Senshu, Hiroyuki Hirano es considerado un experto en fundamentos conceptuales y técnicos en sistemas de producción. Entre sus principales aportaciones, destaca su interpretación personal del concepto de *Justo a tiempo* (JIT, por sus siglas en inglés) y la publicación de su libro *5 pilares de la fábrica visual* cuyo objetivo es la eliminación completa de los desperdicios dentro de una organización, a través de un programa denominado las 5 eses.

El programa de las 5 eses toma su nombre de cinco palabras japonesas que inician con esa letra: seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke. Mismas que, según Hirano, toda organización debe conocer y aplicar para mantener y mejorar sus áreas de trabajo.

El costo de aplicación del programa de las 5 eses es relativamente bajo, por lo que en la actualidad muchas organizaciones tanto públicas como privadas, al igual que en las manufactureras y las de servicio lo han adoptado con destacados logros.

La tabla siguiente muestra el significado en español de las 5 eses.

Tabla 5.1 Programa de las 5 eses

	Frase	Japonés	Español
Con las cosas	Iniciaremos con nuestro centro de trabajo	Seiri Seiton Seiso	Clasificar Ordenar Limpiar
Con las personas	Y ahora, con nosotros mismos	Seiketsu Shitsuke	Bienestar Disciplina

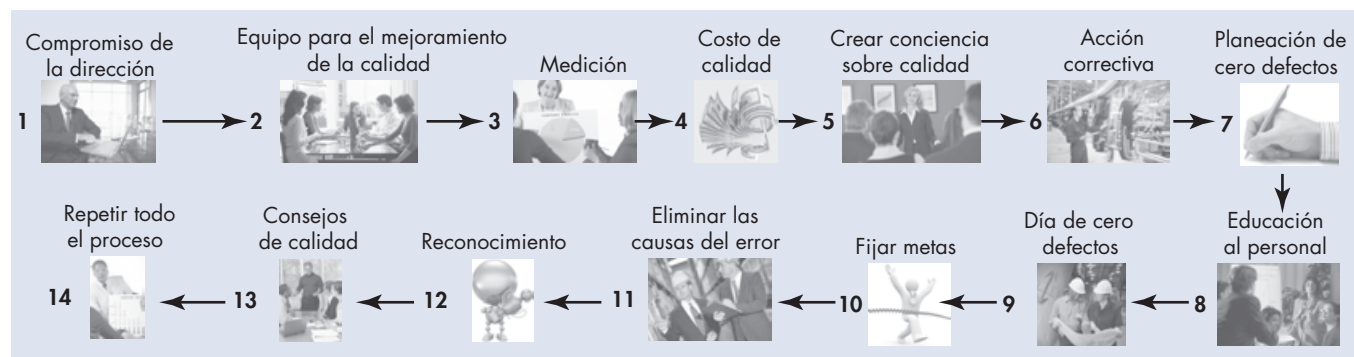


Figura 5.14 Pasos para la calidad. Fuente: Philip Crosby, *La calidad no cuesta. El arte de cerciorarse de la calidad*. CECSA. México. 1987, pp. 105-114.

²⁶ Philip Crosby. *La calidad no cuesta. El arte de cerciorarse de la calidad*. CECSA. México. 1987, p. 9.

²⁷ *Idem*, pp. 23-27.

²⁸ *Idem*, pp. 105-114.

Las 5 eses se vinculan con dos aspectos fundamentales: el área de trabajo y las personas involucradas en dicha área. Así, las primeras tres eses tienen influencia directa en equipos, herramientas, maquinaria e instalaciones, mientras que las dos últimas influyen en las personas que utilizan dichos equipos.

Los beneficios que una organización obtiene al aplicar el programa de las 5 eses son variados, por ejemplo, fomenta la autodisciplina en las personas, ayuda a mantener únicamente lo necesario en el lugar de trabajo, promueve espacios limpios y seguros para trabajar, evita riesgos y accidentes.

Hasta aquí se han analizado las aportaciones de los principales pensadores de la calidad, desde un punto de vista teórico. La exposición de las distintas filosofías da una idea de la complejidad del término *calidad* y de la variedad de análisis en torno a dicho término.

En seguida se describirá la manera cómo se manifiesta la calidad en los mercados, con la participación e intervención de clientes, proveedores y competidores.

El cliente y los proveedores

Desde su surgimiento, la idea de la calidad tiene que ver con la satisfacción de una necesidad o expectativa de alguna persona. Por eso, a la persona a la que va enfocado un producto o servicio se le conoce como cliente. Los clientes son la base de cualquier empresa y la razón de ser de las mismas, pues sin ellos las ganancias de sus productos y/o servicios serían nulas.

Existen muchas definiciones del concepto de *cliente*. La norma ISO 9000:2008 argumenta que “un cliente es una organización o persona que recibe un producto”.

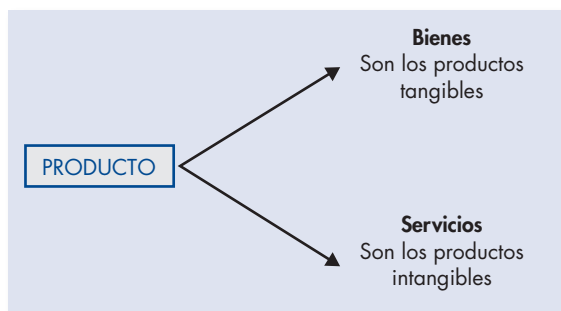


Figura 5.15 Tipos de productos.

En este contexto, es importante señalar que los productos²⁹ fabricados por una organización³⁰ tienen la intención de satisfacer necesidades y expectativas. Los clientes, a través de la compra de los productos de una organización, determinan el éxito o fracaso de la misma.

No menos importante es el concepto de *proveedor*. Los proveedores son organizaciones o personas que proporcionan un producto.³¹ Para que una empresa satisfaga las necesidades de los clientes necesita también considerar las relaciones con sus proveedores, de tal manera que la cadena entre proveedor, empresa y cliente se integre adecuadamente, basándose en relaciones estrechas y de confianza.

A los clientes se les clasifica en dos categorías:

- Dependiendo del lugar en donde se encuentren los clientes respecto de la empresa, éstos pueden ser internos y externos. Los clientes internos son las personas que trabajan dentro de la organización en sus áreas o departamentos. Un proceso depende de otros para funcionar y lograr sus objetivos. Todos los que participan en los procesos, incluyendo a los inversionistas o dueños, los directivos, los supervisores y colaboradores en general, dependen unos de otros; esta dependencia los convierte en clientes (y también en proveedores). Por su parte, los clientes externos son aquellos que se encuentran fuera de las instalaciones de la organización y son en gran medida quienes consumen los productos. Existen varios tipos de clientes externos, los más importantes son los consumidores finales, los proveedores y la sociedad en general.
- Dependiendo del comportamiento de los clientes respecto de los productos de la organización; los de esta clasificación son externos. Pueden ser cautivos y potenciales. Los cautivos son quienes compran el producto (o servicio) que la empresa ofrece en el mercado. Por otro lado, los clientes potenciales son aquellos que podrían comprar el producto, pero que aún no lo hacen. Los programas de mercadotecnia se implementan para mantener y, en el mejor de los casos, aumentar el número de clientes cautivos (compradores de un producto o

²⁹ La norma ISO 9000:2008 define al producto como el resultado de un proceso. También menciona que un producto puede ser un material procesado, software, hardware o la prestación de algún servicio.

³⁰ La norma ISO 9000:2008 define a la organización como el conjunto de personas e instalaciones con una disposición de responsabilidades, autoridades y relaciones.

³¹ Norma ISO 9000:2008.

servicio) a través del convencimiento de los clientes potenciales (posibles compradores).

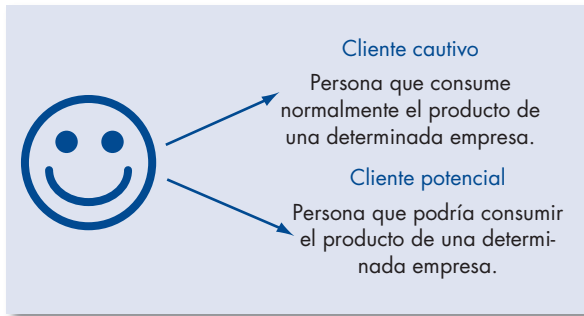


Figura 5.16 Tipos de clientes según su relación con el producto de una organización.

El concepto de calidad

Antes de definir el concepto de calidad es importante analizar un ejemplo de lo que sucede en la vida cotidiana para entender su importancia y complejidad.

Imagine que desea comprar una silla para el estudio de su casa y que debe elegir una de entre 10. La pregunta obvia es: ¿cuál elegir? La respuesta dependerá de las condiciones que predominen en su ambiente como comprador, por ejemplo, si tiene suficiente dinero para comprar cualquiera de las sillas, si en el estudio de la casa hay suficiente espacio para colocar la más grande de ellas, si el respaldo de la silla es del material adecuado, si la altura de la silla se puede modificar de tal forma que todos los integrantes de la familia la utilicen, etcétera.

Como se puede distinguir, estos aspectos están relacionados con la decisión de elegir una silla y, finalmente, realizar la compra. Ahora, imagínese que otra persona con la misma intención (comprar una silla de entre 10 opcio-

nes para su estudio en casa) visita la misma tienda y ambos eligen sillas distintas. ¿Por qué?

Considerando el ejemplo anterior, se puede argumentar que un producto es de calidad cuando en primera instancia satisface al cliente. La satisfacción tiene que ver con necesidades y expectativas que toda persona tiene y, que en la mayoría de los casos, son distintas unas de otras. Entonces, la calidad de un producto emerge y nace en el momento en que se confrontan las necesidades y expectativas del cliente (tangible o intangible) contra las características del producto (tangibles e intangibles) ofrecido por la empresa.

En la actualidad, el enfoque de los sistemas de gestión de calidad proporciona una excelente guía para definir y entender el amplio concepto de calidad. La norma ISO 9000:2008 define a la calidad como el grado en que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos. Para entender plenamente este concepto, es necesario definir primero los conceptos *característica* y *requisito*.

Según la norma antes citada, una *característica* es un "rango diferenciador" y un *requisito* es una "necesidad o expectativa establecida, generalmente explícita u obligatoria".

Si se unen ambos conceptos se puede entender la definición formal de calidad como:

El grado en que un conjunto de rangos diferenciadores inherentes cumplen con una necesidad o expectativa establecida, generalmente explícita u obligatoria.

Respecto de la definición anterior, es posible afirmar que los rangos diferenciadores son parte del producto (o servicio) que la empresa ofrece a sus clientes y son éstos los que deben satisfacer al cliente a través del cumplimiento de sus necesidades o expectativas.

La figura 5.17 ilustra de manera clara los niveles de análisis del concepto de calidad. En este diagrama se muestran tres niveles de análisis necesarios para la calidad.



Figura 5.17 Concepto de calidad. Niveles de análisis para su comprensión.

El primer nivel consiste en que el cliente establezca sus necesidades a fin de que la empresa las conozca y las pueda satisfacer.

El segundo nivel es interno (dentro de la organización). La meta es definir características inherentes a un producto, pero estas características pueden ser asignadas únicamente si la empresa sabe lo que desea el cliente. Toda empresa debe establecer métodos, técnicas y herramientas que traduzcan las necesidades del cliente en características de productos. Una técnica utilizada con frecuencia para esta labor es el *Despliegue de la Función de Calidad* (QFD, por sus siglas en inglés).

El tercer nivel de análisis tiene lugar en el mercado, con la competencia de otras empresas y la existencia de muchísimos clientes. La percepción de un cliente (consumidor final) determina la calidad de un producto. La elección y compra de un producto está íntimamente relacionada con la satisfacción del cliente gracias al cumplimiento de sus necesidades y/o expectativas.

Momentos de la calidad

La calidad tiene dos escenarios: uno ocurre en el mercado, con los clientes, y el otro tiene lugar dentro de la empresa.

El primero de los escenarios considera, a su vez, dos aspectos importantes. En primer lugar la necesidad o deseo que proviene de los clientes (consumidores finales) de un producto. Este deseo o necesidad está determinado por las condiciones particulares de cada cliente y normalmente son diferentes uno de otro. Retomando el ejemplo de las sillas, cuando los clientes deciden comprar diferentes sillas, se debe a que ambos tienen necesidades y expectativas que difieren unas de otras. A la necesidad o expectativa que un cliente tiene antes de adquirir un producto se conoce como *calidad de cliente* (CC).

El segundo aspecto a considerar, que también ocurre en el mercado, se desprende de la utilización del producto por parte del cliente. La percepción que los clientes tengan después de utilizar el producto estará directamente relacionada con el cumplimiento de sus necesidades y expectativas y, en consecuencia, con la satisfacción del cliente. A esta percepción se le conoce como *calidad de uso* (CU).

El segundo de los escenarios, el que ocurre al interior de la empresa, considera, en todo momento, el cumplimiento de indicadores críticos de desempeño, denominados *requisitos de calidad*, que en la práctica se conocen como *especificaciones de producto*. Normalmente, estas especificaciones de producto están encaminadas a cumplir con alguna necesidad o expectativa declarada por el cliente. El cumplimiento de estos requisitos (especificaciones) contribuye a que un producto sea considerado de calidad en el mercado. Una de las principales herramientas utili-

zadas para lograr la calidad de empresa es el control de calidad. A este tipo de calidad se denomina *calidad de empresa* (CE). Cualquier organización que conozca las necesidades o expectativas de sus clientes, estará en mejor posición de garantizar la calidad de sus productos en el mercado (véase figura 5.18),

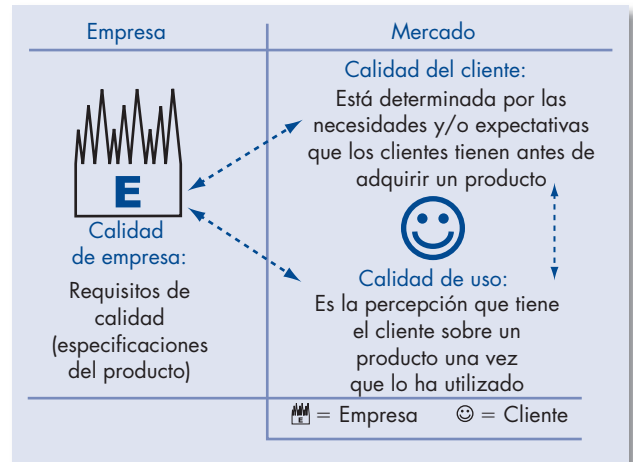


Figura 5.18 Momentos de la calidad.

De lo anteriormente expuesto, se puede decir que existen tres momentos distintos que están relacionados íntimamente para explicar el término de calidad.

El siguiente planteamiento matemático explica la relación existente entre estos tres momentos.

$$CU = CE - CC$$

Donde

CU: Calidad de uso.

CE: Calidad de empresa.

CC: Calidad de cliente.

De la fórmula anterior, se establece que si la *calidad de empresa* (CE) es mayor a la *calidad de cliente* (CC), en consecuencia, la *calidad de uso* (CU) será positiva, lo que implica que existe satisfacción en los clientes, debido a que sus necesidades o expectativas fueron satisfechas, o posiblemente superadas; por el contrario, si la *calidad de empresa* (CE) es menor a la *calidad de cliente* (CC), entonces, como se muestra en la figura 5.19, la *calidad de uso* (CU) es negativa y lo que trae como consecuencia es la insatisfacción del cliente, pues sus necesidades y/o expectativas no fueron cumplidas o satisfechas.

Dicho de otra manera si:

$CE/CC \geq 1$, entonces existe satisfacción por parte del cliente.

$CE/CC < 1$, entonces existe insatisfacción por parte del cliente.

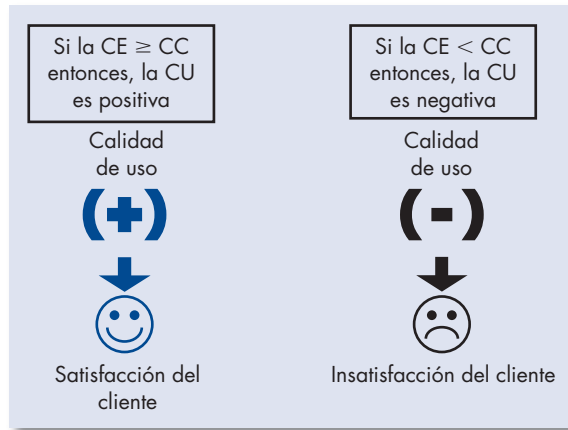


Figura 5.19 Calidad de uso: satisfacción del cliente.

En este punto es importante asumir una postura sobre la existencia de calidad, así como de los factores que intervienen para que ésta exista.

La calidad se puede presentar dentro de las organizaciones. Un producto es de calidad si cumple con las especificaciones de su diseño. Mientras más parecida sea la operación (que desarrolla las características de un producto) al diseño (que planea cuáles han de ser dichas características), se dice que el producto tiene o cuenta con calidad. Recuérdese que este juicio es interno y se basa en el cumplimiento de especificaciones y características muy bien definidas.

La calidad de un producto se puede determinar también fuera de las instalaciones de la empresa. En el mercado, son los clientes quienes definen si un producto (o servicio) cuenta o no con calidad. Esta evaluación depende

en gran medida del cumplimiento o satisfacción de una necesidad o expectativa.

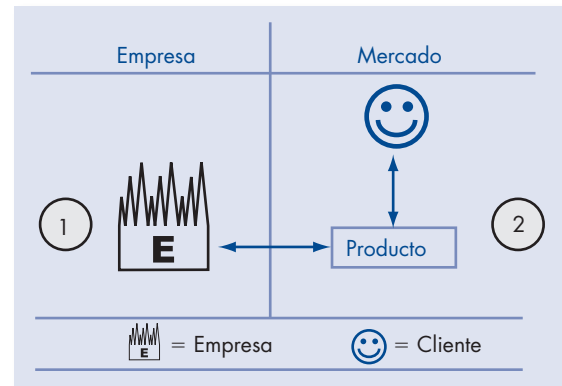


Figura 5.20 Emergencia de la calidad.

La medición de la calidad interna (dentro de la organización) suele ser muy objetiva, pues los parámetros de referencia los establece la empresa y pueden ser controlados fácilmente. Por otro lado, la medición de la calidad en el mercado (fuera de las instalaciones de la organización) a menudo es subjetiva, ya que la evaluación se da en términos de una satisfacción personal y un punto de vista individual.

El surgimiento de la calidad en estos dos espacios se ilustra en el diagrama denominado *cadena de la calidad* (véase figura 5.21).

En el diagrama de la figura 5.21 se exponen las relaciones que existen entre los clientes y la empresa, así como la perspectiva de cada uno respecto de la calidad. La

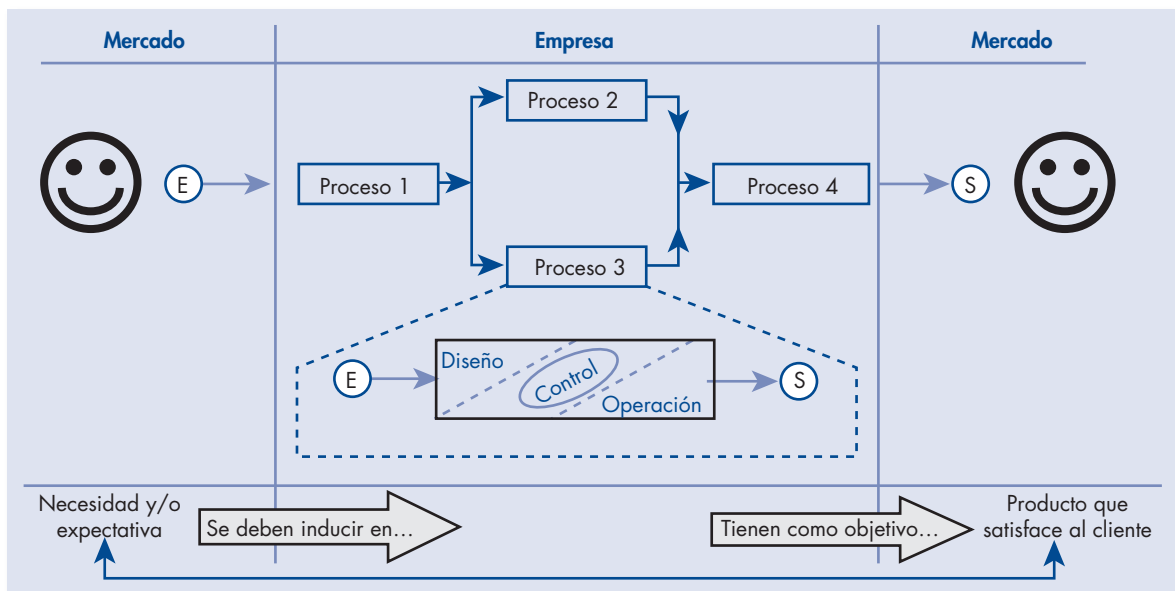


Figura 5.21 Cadena de la calidad.

entrada de toda empresa (E) está dada por las necesidades o expectativas de los clientes que se cumplirán en la medida en que la sumatoria de los procesos de la empresa (procesos que en general son de tres tipos: estratégicos, operativos y de soporte) se diseñen, operen y controlen correctamente con el fin de cumplir con los requisitos-especificaciones de calidad del producto. La salida (S) de la empresa es un producto o servicio que intentará satisfacer las necesidades de los clientes en el mercado.

Funcionalidad de la calidad

Cuando un cliente compra un producto (bien o servicio) espera que éste cumpla con ciertas expectativas y necesidades, y si éstas son satisfechas es muy probable que en otra ocasión que lo requiera compre nuevamente ese producto, dado que encuentra en él lo que busca.

La calidad ayuda al logro de dos objetivos fundamentales: por un lado, desde la perspectiva del cliente, satisface necesidades y expectativas; y por otro, desde el punto de vista de la empresa, ayuda a alcanzar mayores ganancias con la venta de un producto (véase figura 5.22).

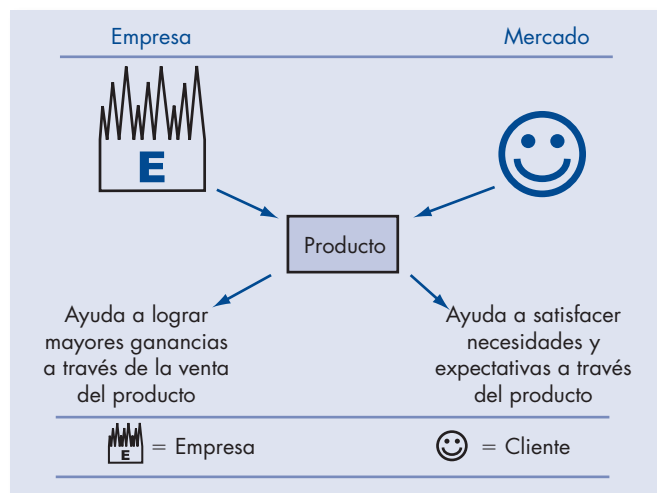


Figura 5.22 Beneficios de la calidad.

Sistemas de gestión de calidad

Los *sistemas de gestión de calidad* (SGC, por sus siglas en español) tienen su origen en los *Sistemas de aseguramiento de calidad*. Ambos sistemas han sido propuestos por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO, de la palabra griega *isos* que significa igual). La ISO, organización no gubernamental, es la entidad líder en el

desarrollo de estándares internacionales y está integrada por diversos comités técnicos, cada uno de los cuales es responsable de la normalización para cada área de especialidad. En la actualidad³² agrupa a 163 países que están representados por cuerpos nacionales de estandarización. La representante de ISO en México es la Dirección General de Normas (DGN), organismo dependiente de la Secretaría de Economía.

Una de las labores más importantes de esta organización es la redacción y publicación de normas. En este contexto, la serie de normas ISO 9000 versión 2008 son las concernientes a la gestión de la calidad en las organizaciones. La gestión de la calidad implica pues, que las organizaciones deben asegurar la satisfacción de sus clientes a través del conocimiento de sus necesidades y expectativas, mediante la aplicación de requerimientos regulatorios y el compromiso con la mejora continua en el desarrollo de sus procesos.

Para cumplir con estos objetivos se tiene como base el concepto de estándares que la misma ISO define como "acuerdos documentados que contienen especificaciones técnicas u otra información precisa para ser utilizada constantemente como regla, guía o definición de características que aseguran que los materiales, productos, procesos y servicios cumplen con su propósito".

Considerando que el tema de interés es la calidad, así como la manera en cómo ésta se logra, a continuación se analiza la norma que establece los requisitos del sistema de gestión de calidad. La versión más reciente de la serie de normas ISO 9000 contempla tres normas básicas distintas y relacionadas entre sí:

- **NMX-CC-9000-IMNC-2008.** Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario. Esta norma establece un punto de partida que sirve para la comprensión de las normas y define los términos y definiciones fundamentales utilizadas en la familia ISO 9000, que se requieren para evitar malentendidos en su utilización e interpretación.
- **NMX-CC-9001-IMNC-2008.** Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos. Esta norma representa el estándar de exigencias para evaluar la capacidad de cumplir con los requisitos del cliente y lograr su satisfacción. La norma, en esencia, contempla los requisitos del sistema de gestión de calidad y está dividida en 11 capítulos (0. Introducción; 1. Objeto y campo de aplicación; 2. Referencias formativas; 3. Términos y definiciones; 4. Sistemas de gestión

³² Hasta el 1 de agosto de 2006 según datos oficiales de la Organización. www.iso.org Fecha de consulta: noviembre de 2010.

de calidad; 5. Responsabilidad de la dirección; 6. Gestión de los recursos; 7. Realización del producto; 8. Medición, análisis y mejora; 9. Bibliografía y 10. Concordancia con normas internacionales).

- **NMX-CC-9004-IMNC-2009.** Gestión para el éxito sostenido de una organización. Un enfoque basado en la gestión de la calidad. Ésta contempla las recomendaciones para la mejora del desempeño de los sistemas de gestión de calidad y el éxito sostenido de una organización.

De estas tres normas, la única que es certificable es la concerniente a los requisitos del SGC (ISO 9001:2008) mientras que las restantes sirven de apoyo y son de vital importancia para que la primera se pueda implementar.

En teoría, si una empresa cumple con los requisitos del sistema de gestión de calidad, es decir, cumple con la norma ISO 9001:2008, entonces la calidad de sus productos está garantizada, debido a que sus procesos están estandarizados. Sin embargo, la realidad indica que la norma ISO 9001:2008 es una excelente guía teórica y su correcto funcionamiento depende de la buena interpretación de quien la utiliza y del compromiso real con el cliente por parte de la organización.

Para iniciar con el análisis de la norma se define en primer lugar el concepto de *sistema de gestión de calidad*. Se consideran ahora los componentes del concepto de manera independiente para comprender su significado. Para tal efecto, la norma ISO 9000:2008 define los conceptos de sistema, gestión y calidad como sigue:

Sistema: Conjunto de elementos mutuamente relacionados o que interactúan.

Gestión: Actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización.

Calidad: Grado en que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos.

De las definiciones anteriores, es posible concluir que un SGC es *un conjunto de elementos mutuamente relacionados o que interactúan y que coordinan, a su vez, actividades para dirigir y controlar una organización, con el fin de que un producto, entendido como el conjunto de sus características inherentes, cumpla con los requisitos de un cliente*.

La definición textual que proporciona la norma ISO 9000:2008 es la siguiente:

Por su parte, un sistema de gestión de calidad es *un sistema de gestión para dirigir y controlar una organización con respecto a la calidad*. Ambas definiciones contemplan y resaltan la importancia de la calidad y es evidente que para alcanzarla, es imperativo conocer a los clientes y sus necesidades. Lo anterior se ejemplifica en la figura 5.23.

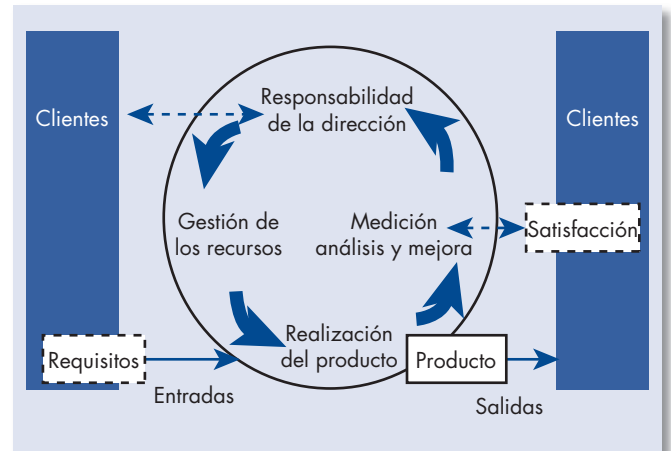


Figura 5.23 Modelo de un sistema de gestión de calidad basado en procesos. Fuente: Norma ISO 9001:2008.

El modelo del SGC, basado en procesos, muestra el enfoque general de la norma ISO 9001:2008, el cual inicia con la detección de las necesidades del cliente, que se expresan a través de requisitos de calidad, y termina con su satisfacción al ofrecerle un producto que cubra su necesidad o expectativa.

Una organización enfocada a la calidad necesita coordinar distintos procesos dentro de su estructura. Esos procesos están íntimamente relacionados, de tal manera que el incumplimiento de uno de ellos afecta todo el sistema. De acuerdo con la norma ISO 9001:2008, los requisitos que deben coexistir para gestionar adecuadamente la calidad dentro de las empresas son responsabilidad de la dirección, gestión de los recursos, realización del producto y, finalmente, la medición, análisis y mejora del desempeño. El cumplimiento de estos cuatro requisitos, junto con el de sistema de gestión de calidad (expuesto en el capítulo 4 de la norma), representan los cinco requisitos que una organización debe cumplir para *certificarse*.³³ Los requisitos de la norma son genéricos, lo que permite que se puedan aplicar a todo tipo de organizaciones sin importar el tamaño, tipo o producto que elabore la empresa. De los cinco requisitos anteriores, uno de ellos (el capítulo 7) depende

³³ La certificación de una empresa en la norma ISO 9001:2008 implica el cumplimiento de todos los requisitos que dicha norma exige. Entre algunas de las ventajas de esta certificación se pueden mencionar: la formalización de los procesos a través de la documentación, el reconocimiento internacional en una norma estándar, la estandarización de procesos.

directamente de la naturaleza de los procesos de la organización, así como de las operaciones que realice.

El capítulo siete de la norma, *Realización del producto*, es el único en el que una organización puede hacer exclusiones, es decir, puede eliminar uno o varios subrequisitos, debido a que éstos no apliquen en su caso. Ya que en el desarrollo del producto o servicio que la organización desarrolla pueden no ser contemplados. Por ejemplo, una organización que sólo se dedica a comercializar productos puede considerar la exclusión del apartado 7.3 de la norma la cual considera el diseño y desarrollo del producto. Es importante considerar que las exclusiones son válidas siempre y cuando no afecten la capacidad o responsabilidad de la organización para proporcionar productos que cumplan con los requisitos del cliente así como los reglamentarios aplicables. De manera adicional, es importante señalar que es posible aplicar a todos los procesos la metodología conocida como *planificar-hacer-verificar-actuar*, definida por Deming, y analizada anteriormente en este capítulo.

Ya que se conoce el enfoque general de la norma, la pregunta es: ¿cómo se debe iniciar su implementación? La figura 5.24 muestra una guía práctica sobre las necesidades básicas que una organización requiere para iniciar correctamente la implantación de la norma ISO 9001:2008.

Como lo indica el modelo de un sistema de gestión basado en procesos, lo primero es determinar las *necesidades y expectativas* de los clientes. Después, esas necesi-

dades se traducen en requisitos de calidad que necesariamente definirán *indicadores críticos de desempeño* (ICD, por sus siglas en español) dentro de los *procesos claves del negocio* (PCN, por sus siglas en español).

Es importante mencionar la trascendencia que la documentación desempeña en esta etapa. La definición formal de los procesos se hace a través de documentos.³⁴ En capítulos anteriores se analizó el enfoque en procesos, por lo que cabe señalar que la definición, operación, medición, control y estandarización correcta de los procesos (estratégicos, operativos y de soporte) es una de las claves esenciales para lograr la gestión que busca la norma ISO 9001:2008. Una vez que los ICD y los PCN han sido definidos, se deben registrar y verificar a través del tiempo para validar, en su caso, su funcionamiento correcto o, en su defecto, corregir las desviaciones encontradas. Todo PCN contiene uno o más objetivos de calidad y la sumatoria de dichos objetivos darán cumplimiento a la política de calidad general (en el caso de los sistemas de gestión de calidad y la política de calidad) establecida en la organización.

Uno de los factores indispensables que debe ser considerado en la evaluación correcta de los procesos organizacionales, es la definición correcta del *mapa general de procesos*. Los elementos que integran un mapa general de procesos (MGP) son: la política general (PG), los procesos claves del negocio (PCN), los objetivos particulares de cada proceso (OP) y los indicadores críticos de

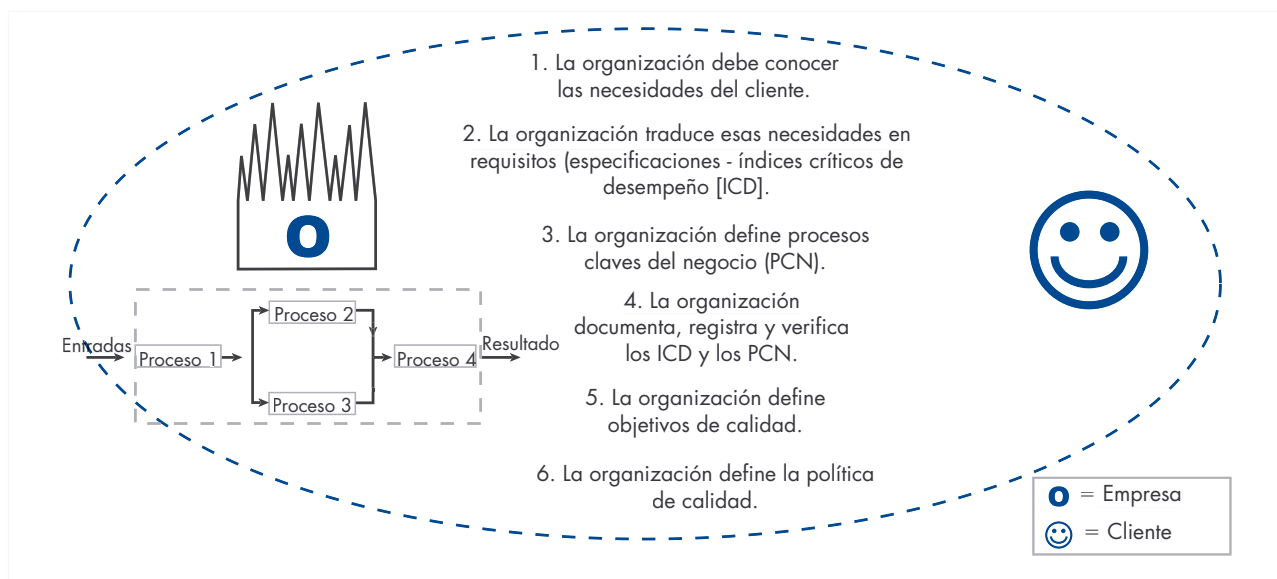


Figura 5.24 ¿Cómo iniciar la implementación de la norma ISO 9001:2008?

³⁴ Aunque existen muchas definiciones sobre la documentación, se tomará la que propone la norma ISO 9000:2008. Un documento es información y su medio de soporte puede ser papel, disco magnético, óptico o electrónico, fotografía o muestra patrón, o una combinación de éstos. Es importante señalar que con frecuencia al conjunto de documentos se le conoce como documentación.

desempeño (ICD). El MGP puede ser tan extenso como la organización lo decida.

Por su parte, la política general es la guía que involucra la razón de ser de la organización y de ésta se desprenden los PCN, que pueden ser tanto estratégicos, como operativos o de soporte. Cada uno de los PCN tienen uno o más objetivos particulares (OP) y para lograr su cumplimiento éstos deben reunir ciertos indicadores críticos de desempeño (ICD). En el mapa general de procesos (véase figura 5.25) es posible apreciar que todas las etapas, desde las más generales hasta las más operativas, siempre están ligadas por medio de estrategias.

En el MGP, los indicadores críticos de desempeño (ICD) juegan un papel fundamental para la medición de los procesos. Los ICD representan la parte operacional de cualquier proceso, por lo que deben ser medidos, controlados y estandarizados a lo largo del tiempo.

Los ICD están relacionados directamente con las necesidades y expectativas de los actores y, aunque en términos teóricos se piensa que las organizaciones conocen dichas necesidades y expectativas, en la práctica no siempre sucede así, ya que en muchas ocasiones se carece de declaraciones concretas al respecto.

Las estrategias (de lo general a lo particular o viceversa) representan los links y guías de los distintos procesos organizacionales (estratégicos, operativos y de soporte).

Desde la consideración de procesos, la sumatoria de los ICD conduce al logro de un OP. La sumatoria de OP conduce al logro de un PCN y la sumatoria de PCN conduce al cumplimiento de la estrategia rectora de la organización (PG). En cada una de estas ecuaciones, las estrategias juegan un papel fundamental ya que una PG, PCN, OP o ICD puede tener una o más estrategias. Todos los elementos del mapa general de procesos requieren, para su correcto desempeño, de una o más estrategias particulares de aplicación y/o desarrollo.

Para alcanzar los resultados deseados y cumplir la política de calidad³⁵ de la organización, se deben contemplar los principios generales de gestión de calidad propuestos en la norma ISO 9000:2008. Dichos principios son:

- Enfoque al cliente.
- Liderazgo.
- Participación del personal.
- Enfoque basado en procesos.
- Enfoque de sistemas para la gestión.
- Mejora continua.
- Enfoque basado en hechos para la toma de decisiones.
- Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor.

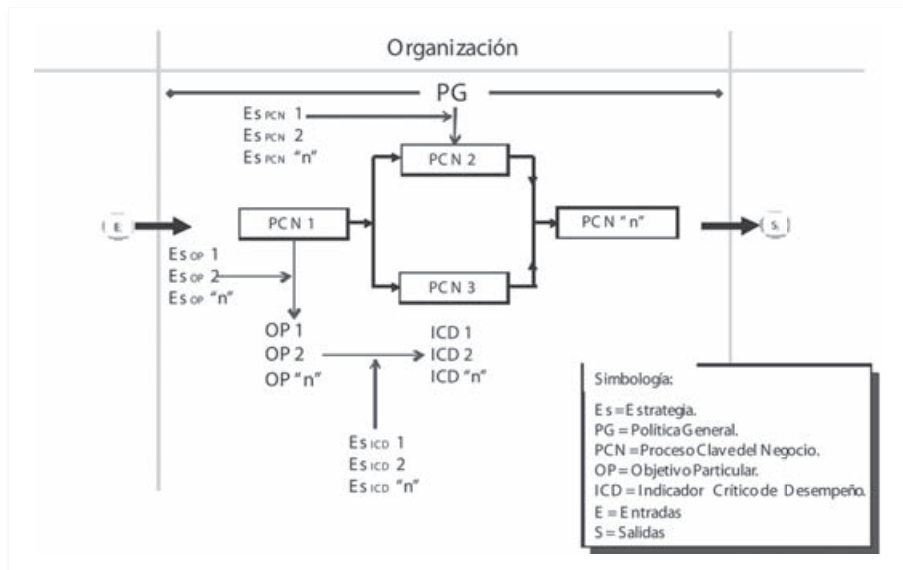


Figura 5.25 Mapa general de procesos. Desde la política general hasta los indicadores críticos de desempeño.

³⁵ La norma ISO 9000:2008 define a la política de calidad como las intenciones globales y orientación de una organización relativas a la calidad, tal y como se expresan formalmente en la alta dirección. Generalmente, la política de calidad es coherente con la política global de la organización y proporciona un marco de referencia para el establecimiento de los objetivos de calidad.

El objetivo de los principios previamente citados es conducir a la organización hacia una mejora en el desempeño. Estos principios constituyen la base de las normas de sistemas de gestión de calidad.³⁶ Esponda (2003) menciona que aunque cada principio cuenta con poder propio, la esencia de su fuerza reside en el conjunto al articular un sistema cultural.

Para poder generar evidencia objetiva del funcionamiento de un SGC es necesario escribir lo que se hace, en términos de procesos y actividades, y a continuación hacer lo que está escrito, garantizando así que la operación sea similar o muy parecida al diseño. Posteriormente, los procesos y las actividades escritas y realizadas se deben verificar a través del tiempo para poder gestionarlos de manera adecuada.

Existen dos herramientas fundamentales para que los SGC funcionen: la *documentación*, mencionada en párrafos anteriores y las *auditorías*.

Documentación

La documentación desempeña un papel fundamental dentro del SGC. Típicamente, la documentación del SGC cuenta con cuatro niveles distintos que se muestran en la figura 5.26.



Figura 5.26 Niveles de documentación de los SGC.

Nivel uno. Está compuesto por el manual de calidad.³⁷ Este documento define el sistema de calidad y normal-

mente contiene la política y los objetivos de calidad establecidos, los cuales deben ser documentados por requisito.

Nivel dos. En este nivel se encuentran los procedimientos. Estos documentos describen las actividades de unidades de funciones individuales necesarias para implementar los elementos de la norma. Los procedimientos pueden ser de dos tipos:

- a) **Mandatorios.**³⁸ Son seis y son requisitos de la norma ISO 9001:2008. Dos de ellos se encuentran en el capítulo cuatro de la norma (procedimiento para controlar documentos y procedimiento para controlar registros) y los cuatro restantes en el capítulo ocho (procedimiento de auditorías internas, procedimiento de control de producto no conforme, procedimiento de acciones correctivas y procedimiento de acciones preventivas).
- b) **Operativos.** Se refiere a los procedimientos que se desprendan del capítulo siete de la norma. Su elaboración depende de los procesos operativos y de las actividades particulares de cada organización.

Nivel tres. Los procedimientos son de aplicación general, así que cuando las operaciones realizadas son muy detalladas o requieren de conocimientos técnicos específicos, entonces tiene lugar este tipo de documentos.

Nivel cuatro. Este nivel de documentación es muy importante para los SGC, ya que representan la evidencia del funcionamiento del mismo. Un registro es un formato lleno, y cada uno de los registros almacena información auditable. La información almacenada debe ser completa, confiable y oportuna. Existen otros documentos, como los de carácter externo a la organización, que también se encuentran en este nivel.

Auditorías

La norma ISO 9001:2008 contempla las auditorías de calidad en el capítulo ocho, en el procedimiento mandatorio, *auditorías internas*, y son tan importantes que existe la norma ISO 19011:2002 que contempla el concepto de auditoría desde su concepción teórica hasta la manera de llevarlas

³⁶ Norma ISO 9000:2008.

³⁷ La norma ISO 9000:2008 define al manual de calidad como el documento que especifica el sistema de gestión de la calidad de una organización. Dicho manual puede variar en cuanto a detalle y formato para adecuarse al tamaño y complejidad de cada organización en particular.

³⁸ El término mandatorio hace referencia a una condición que implica obligatoriedad. Una empresa no puede elegir si realiza o no algo que es mandatorio, sino que lo debe realizar.

a cabo dentro de una organización. En términos prácticos, la norma ISO 19011:2002 establece las directrices para la auditoría de los sistemas de gestión de la calidad y/o ambiental. Esta norma es aplicable a todo tipo de organizaciones que necesite realizar auditorías internas o externas de sus sistemas de calidad o sistemas ambientales.

Una auditoría es "un proceso sistemático independiente y documentado para obtener registros, declaraciones de hechos o cualquier otra información verificable y evaluarlas de manera objetiva con el fin de determinar la extensión en que se cumplen el conjunto de políticas, procedimientos o requisitos utilizados como referencia".³⁹

El objetivo de las auditorías es realizar evaluaciones continuas al SGC, verificando los controles del mismo. En términos prácticos se puede decir que una auditoría *controla los controles* de un SGC.

Como se ha visto, los SGC representan una buena opción para satisfacer las necesidades de los clientes, brindándoles productos de alta calidad gracias a procesos gestionados al interior de una organización.

La norma ISO 9001:2008 especifica los requisitos de un SGC cuando una organización necesita "demostrar su capacidad para proporcionar de forma coherente productos que satisfagan los requisitos del cliente y los reglamentos aplicables y por otro lado, cuando una organización aspire a aumentar la satisfacción del cliente a través de la aplicación eficaz del sistema, incluidos los procesos para la mejora continua del sistema y el aseguramiento de la conformidad con los requisitos del cliente y los reglamentos aplicables".⁴⁰

Implementación y verificación ISO

Después de analizar la teoría referente a la norma, cabe hacer la siguiente pregunta: ¿cuál es el proceso que una empresa debe seguir para certificarse en ISO 9001:2008?

Para responder se deben considerar los conceptos planteados anteriormente y el proceso descrito en la figura 5.27.

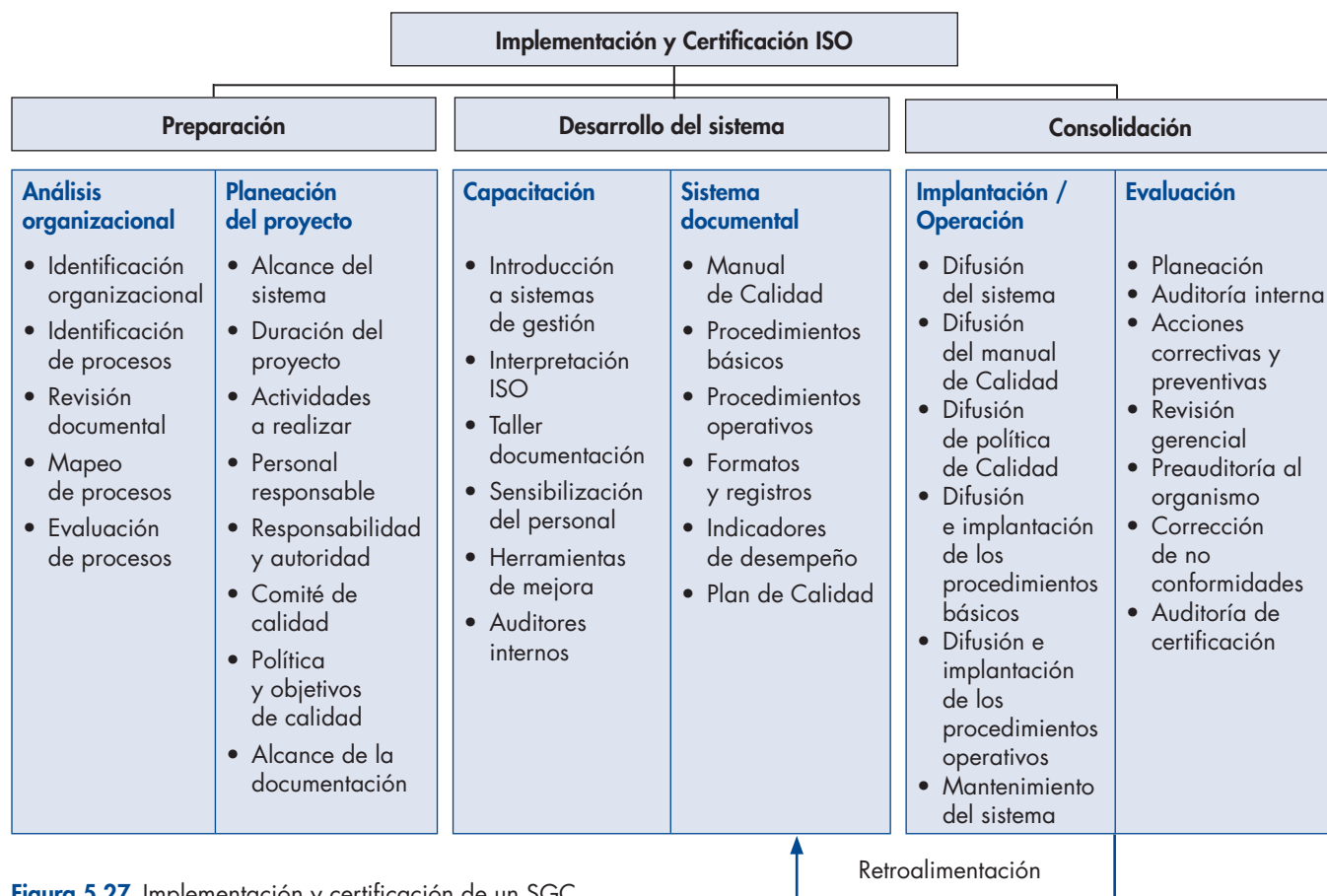


Figura 5.27 Implementación y certificación de un SGC.

³⁹ Norma ISO 9000:2008.

⁴⁰ Norma ISO 9001:2008.

Para la implantación de un SGC se recomienda seguir los pasos mostrados en la figura 5.27. El tiempo de implantación de un SGC depende del alcance del sistema, es decir, de qué procesos son los que se busca certificar, así como de la complejidad de los mismos, el tamaño de la empresa, la capacitación del personal y el compromiso directivo.

Control estadístico de la calidad

Antes de iniciar este apartado, es importante considerar la concepción teórica de CC. Recuérdese la definición proporcionada por Ishikawa (1986): Practicar el control de calidad es “desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea el más económico, el más útil y siempre satisfactorio para el consumidor”.

Partiendo de la definición anterior, se puede comentar que la calidad de un producto depende, fundamentalmente, de dos elementos relacionados: la decisión del cliente, la cual deriva de sus necesidades y expectativas, así como de la perspectiva individual de las personas; y el análisis de los procesos que fabrican el bien o servicio, así como la manera en que éstos cumplen con las características de calidad gracias al cumplimiento de las especificaciones definidas para cada caso. En otras palabras, la sumatoria de los procesos debe agregar al producto características previamente establecidas, cumpliendo así con los requisitos del cliente. De aquí, la necesidad de analizar rápidamente el concepto de proceso y sus momentos.⁴¹ Un proceso consta de tres momentos fundamentales: diseño, operación y control.

Analizando la figura 5.28, se puede deducir lo siguiente. Todo proceso requiere de *entradas* (E) por ejemplo, materia prima, mano de obra, instalaciones, etcétera, para poder funcionar. Las *salidas* (S) de dicho proceso son los productos terminados. Los productos deben contar con una serie de características de calidad que se logra a través del cumplimiento de especificaciones necesariamente enfocadas a la satisfacción del cliente. Entonces, para que los procesos sean capaces de cumplir con las especificaciones de los productos, es indispensable contar con un momento de *diseño* (D), que requiere de la planeación de todos los recursos necesarios para elaborar dichos productos. El momento de operación, en términos prácticos, significa poner en marcha la etapa de planeación. En las empresas, se sabe que mientras la *operación* (O) sea más parecida al *diseño* (D), habrá menos *variaciones del proceso*.

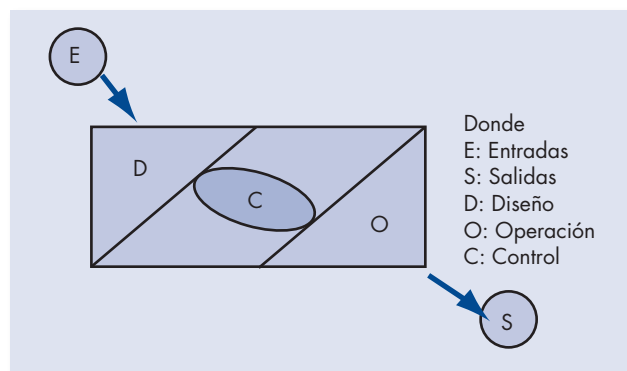


Figura 5.28 Momentos de un proceso.

Ishikawa (1986) afirma que en todo trabajo hay dispersión y que, incluso, aquellos datos que no presentan dispersión son falsos. La labor de la etapa de *control* (C) es mantener las variaciones del proceso en el nivel más bajo durante el mayor tiempo posible, esto implica disminuir las variaciones de operación de manera que se aproximen lo más posible al diseño. El *control* (C) es el eslabón que hace que la *operación* (O) y el *diseño* (D) funcionen adecuadamente.

Como ya se observó, la etapa de control (de aquí en adelante referida como *Control de Calidad* – CC por sus siglas en español) está íntimamente relacionada con el cumplimiento de especificaciones. Por tanto, se necesita saber ¿qué herramientas emplea el CC para alcanzar sus objetivos?

Una de las principales herramientas es la utilización de los métodos estadísticos, los cuales se dividen en tres niveles de dificultad.⁴²

a) Métodos estadísticos elementales

1. Estratificación.
2. Diagrama de causa y efecto.
3. Hoja de verificación.
4. Diagrama de Pareto.
5. Histogramas.
6. Diagrama de dispersión.
7. Gráficas de control.

b) Métodos estadísticos intermedios

1. Teoría de muestreo.
2. Inspección estadística por muestreo.

⁴¹ Si desea profundizar sobre el concepto de procesos y sus momentos, consulte el capítulo del Dr. Arturo A. Pacheco Espejel: *Productividad y mejora continua*.

⁴² Kaoru Ishikawa. *¿Qué es control total de calidad? La modalidad japonesa*. Editorial Norma. Colombia. 1986, pp. 192-193.

3. Métodos de estimaciones y pruebas estadísticas.
4. Métodos de utilización de pruebas sensoriales.
5. Métodos de diseño de experimentos.

c) Métodos estadísticos avanzados

1. Métodos avanzados de diseño de experimentos.
2. Análisis multivariantes.
3. Diversos métodos de investigación de operaciones.

Para los fines de este texto, sólo se analizarán los métodos estadísticos elementales.⁴³

Ishikawa (1986) afirma que 95% de los problemas de una empresa se pueden resolver con las siete herramientas del CC y agrega que aunado a ellas los trabajadores deben conocer el concepto de calidad, los principios y los medios de ejecución relacionados con administración y mejoramiento (*círculos de control*, el *círculo P-H-V-A*, y la historia de CC) y, finalmente, deben adquirir un modo de pensar estadístico (los datos tienen su propia distribución y son dispersos). A continuación se detallan las *siete herramientas básicas* para el CC.

Con el fin de ejemplificar el empleo de estas herramientas se presentará un estudio de caso que contempla el análisis detallado de los datos de una empresa ficticia denominada Bolzucar S.A. de C.V.

Primera herramienta: Estratificación

Una parte importante en el funcionamiento de esta herramienta es la *información*, por lo que es indispensable conocer su definición. Según la norma ISO 9000:2008 la información es "el conjunto de datos que posee significado". La herramienta que clasifica y analiza los datos, dependiendo de su afinidad, es la *estratificación*.

Ishikawa (1986) propuso una manera sencilla de clasificar los datos de un proceso para lo cual definió las 5 *emes* (materia, maquinaria, medición, mano de obra y método). Según Ishikawa, los resultados de un proceso dependen de alguna de las *emes*, o de todas en su conjunto, y esto es suficiente para estratificar los datos siguiendo esta clasificación.

Es conveniente señalar que los datos pueden ser estratificados siguiendo otros parámetros, por ejemplo, se pueden clasificar de acuerdo con el departamento que los emita (calidad, producción, mantenimiento, ventas, mercadotecnia,

etc.), o siguiendo los factores de la productividad⁴⁴ (motivación, capacitación, materia prima, tecnología, dirección e inversión productiva). Si lo que se tienen son datos numéricos, la estratificación permite hacer un análisis de cada una de las muestras,⁴⁵ dependiendo de la *eme* de la que se trate.

En resumen, la estratificación tiene dos funciones primordiales: comprender una serie de datos clasificados en muestras y examinar las diferencias que existen entre muestras distintas. La estratificación es la base para integrar la siguiente herramienta básica.

Segunda herramienta: Diagrama de causa y efecto

El diagrama de causa y efecto, también conocido como diagrama de Ishikawa, es reconocido como una herramienta práctica, cuyos objetivos esenciales son:

- a) La detección de soluciones a problemas.
- b) La detección de causas raíces.
- c) Las propuestas de mejora en algún proceso.

El diagrama de Ishikawa puede ser utilizado y aplicado en el análisis de cualquier proceso (administrativo, operativo, etc.), pues tiene una estructura genérica.

La base para realizar un diagrama de Ishikawa es la estratificación de la información, ya que ésta representará la entrada del diagrama y, con base en ella, se analizarán los posibles factores causales de un efecto determinado. De manera general, el diagrama se puede ejemplificar como se ilustra en figura 5.29.

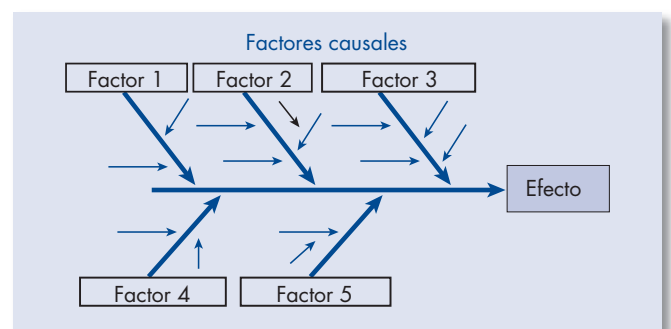


Figura 5.29 Diagrama de causa y efecto. Fuente: Kaoru Ishikawa, *¿Qué es control total de calidad? La modalidad japonesa*. Editorial Norma. Colombia. 1986.

⁴³ Ishikawa (1986) menciona que si una persona no se adiestra en el manejo de estas sencillas y elementales herramientas, no puede aspirar a los métodos más difíciles.

⁴⁴ A. Pacheco. *La Productividad bajo sospecha. Guía para la elaboración de una estrategia sindical de productividad*. Centro Nacional de Promoción Social A.C. México. 2002, pp. 92-100.

⁴⁵ En este trabajo se entenderá por muestra al subconjunto de datos de una población que tienen características similares, por lo que éstas se analizan de manera conjunta.

Para ilustrar la flexibilidad del diagrama de causa y efecto a continuación se muestran diferentes esquemas dependiendo de la estatificación de los datos.

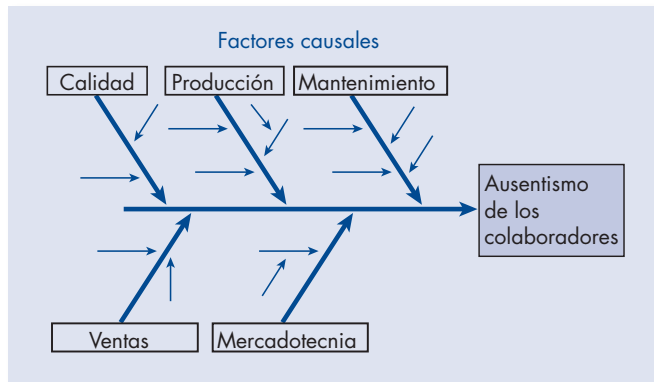


Figura 5.30 Diagrama de causa y efecto (considerando como causas a los departamentos de una empresa).

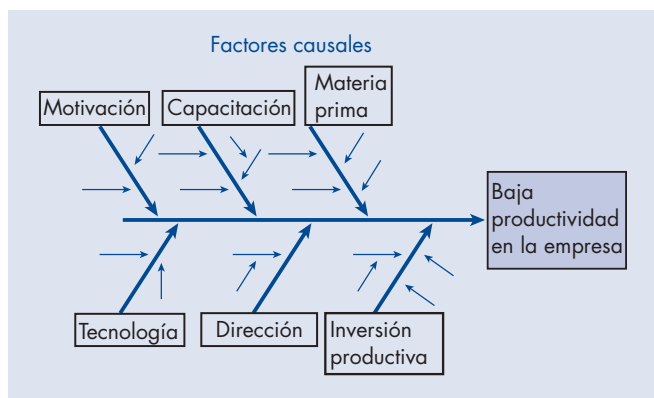


Figura 5.31 Diagrama de causa y efecto, considerando como causas a los factores de la productividad.

Existen varias recomendaciones que deben seguirse en la elaboración de un diagrama de Ishikawa:

- Definir qué problema o efecto se quiere resolver.
- Conformar un equipo de personas que habrán de solucionar el problema.
- Estratificar la información de acuerdo con la naturaleza del problema. Esta etapa es la que define cuáles son las causas que originan el problema, así como los componentes de dichas causas.
- Proponer ideas de solución para cada una de las posibles causas del problema, considerando la estratificación previamente realizada.
- Proponer soluciones al problema, considerando el análisis hecho en las cuatro etapas anteriores.

No se debe olvidar que los diagramas de Ishikawa funcionarán si y sólo si existe una intención declarada de mejorar la situación actual. Los equipos de trabajo que se integran para llevar a cabo un diagrama de causa y efecto deben estar comprometidos con la mejora y tener conocimiento sobre el problema que será analizado.

■ Tercera herramienta: Hoja de verificación

Como se mencionó antes, los *Sistemas de gestión de calidad*, registros/formatos, que representan el nivel cuatro de la documentación de un SGC, son críticos para poder evaluar el desempeño de los procesos. Las hojas de verificación, también conocidas como hojas de datos, son formatos que almacenan información relevante sobre un proceso o una actividad. Las hojas de verificación no tienen un formato único, ya que la información almacenada en ellas depende de la naturaleza del proceso a ser analizado y del diseño propio que cada persona establezca para sus registros. Un ejemplo de hoja de verificación se muestra en la figura 5.32.

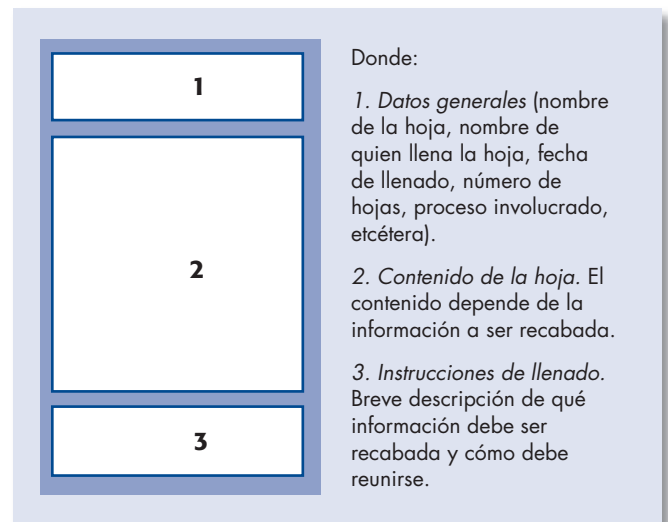


Figura 5.32 Formato general de una hoja de verificación o de datos.

Para que una hoja de verificación cumpla su función, a continuación se presentan algunas consideraciones importantes:

- Asegurar la rastreabilidad de los datos mediante el llenado correcto de la sección 1 de la hoja de datos.
- Asegurarse de tomar los datos que interesan. Sólo registrar información importante.

- Si el llenado de la hoja de datos es muy complejo se recomienda redactar un instructivo que indique la manera adecuada de hacerlo.
- Considerando la importancia de los registros en un proceso, se recomienda⁴⁶ establecer un procedimiento documentado que defina los controles necesarios para la identificación, el almacenamiento, la protección, la recuperación, el tiempo de retención y la disposición de los mismos.

Para ejemplificar la utilización de esta herramienta, contemple los datos proporcionados en el caso de estudio de caso de la empresa Bolzucar S.A. de C.V.

En el ejemplo de la figura 5.33, se recaban los datos de los accidentes ocurridos en una empresa durante el primer semestre del año. Es importante mencionar que esta hoja de datos utiliza símbolos, números y letras para representar la información. Aquí, se hace notar la importancia en el diseño y complejidad de las hojas de datos. Pueden existir muchos diseños, sin embargo, todos deben ser acordes con las necesidades de los procesos y las personas que intervienen. La norma ISO 9001:2008 destaca que los documentos de las organizaciones deben elaborarse considerando tres aspectos importantes:

- El tamaño de la organización y el tipo de actividades.
- La complejidad de sus procesos y sus interacciones.
- La competencia del personal.

Cuarta herramienta: Histogramas

Como ya se dijo antes, los datos que un proceso arroja no se comportan de manera similar. Esto provoca una distribución determinada de los datos.

La herramienta que ayuda a observar la distribución de un conjunto de datos de un proceso se conoce como histograma, que es una gráfica de barras que indica de qué manera y con qué frecuencias se distribuyen los datos (véase figura 5.34).

Para construir un histograma normalmente se siguen estos pasos:

1. Recolectar los datos de la muestra que se va a analizar (éstos no deben ser menores a 50) y preferentemente colocarlos dentro de una hoja de datos que facilite su lectura y análisis. Al conjunto de datos se le denomina con la letra *N*.

Nombre: Norman Daniel Rivera González

Puesto: Coordinador de calidad

Fecha: 14 de julio

Causa del accidente	Periodo de accidentes						Total		
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	□	○	✚
Falta de mantenimiento	□□□□	□□	□□□	□			4	6	0
Ocasionado por máquinas		✚	□□□□			□□	6	0	1
Descuido personal	□□	□□□✚			✚		3	2	2
Otros			□□	✚	□	□□	4	1	1
□	2	4	6	1	1	3	17		
○	4	1	3	0	0	1		9	
✚	0	2	0	1	1	0			4

Clave

○ : No grave

□ : Incapacidad por "x" tiempo

✚ : Fatal

Figura 5.33 Hoja de datos que muestra el número y tipo de accidentes de una empresa en un periodo semestral.

⁴⁶ Las recomendaciones mencionadas se establecen en uno de los seis procedimientos obligatorios o mandatorios de la norma ISO 9001:2008. Este procedimiento, *control de registros*, se encuentra en el capítulo 4 de la norma antes mencionada.

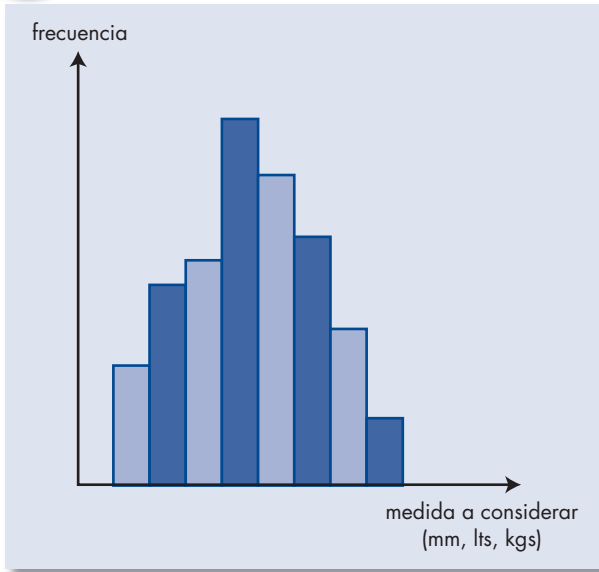


Figura 5.34 Forma típica de un histograma.

2. Seleccionar el valor más pequeño ($X_{\min}$) y el valor más grande ($X_{\max}$) de todos los datos.
3. Restar el valor mínimo al valor máximo. El resultado de esta resta se conoce como *rango* (R).

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

El rango indica la distancia numérica que existe entre el valor mínimo y el máximo del conjunto de datos a ser analizados.

4. Después de calcular el rango de los datos es conveniente saber en cuántas barras se dividirá el histograma. Para ello se calculan las clases (C) que indican el número de barras que se deben dibujar. La fórmula para calcular el número de clases está dado por:

$$C = \sqrt{N}$$

También se puede calcular C tomando como guía la tabla 5.2:

Tabla 5.2 Valores asignados normalmente a C

Número total de datos (N)	Número de clases (C)
Entre 50 y 100 datos	De 6 a 10 clases
Entre 100 y 200 datos	De 10 a 15 clases
Más de 200 datos	De 15 a 20 clases

5. Para saber qué datos ubicar en cada una de las clases (C) ya definidas, se calcula la anchura de clases (A), considerando la siguiente fórmula.

$$A = R/C$$

Es conveniente señalar que el resultado no siempre es un número exacto, por lo que la cifra se redondea a lo que más convenga en cada caso.

6. Una vez que se ha definido la anchura de clase (A), se deben establecer los límites para cada una y así poder agrupar los datos dentro de las mismas. El dato inferior de la primera clase es el valor mínimo de los datos ($X_{\min}$) y el límite superior de la clase se calcula sumando a $X_{\min}$ el valor de la amplitud de clase (A). Para las clases posteriores, el límite inferior se considerará el superior de la anterior y se sumará a éste la amplitud de clase (A) para calcular el límite superior. Esta operación se realiza una y otra vez hasta considerar el número superior ($X_{\max}$) dentro de una clase (la última calculada).
7. Cuando ya se tienen las fronteras de cada clase, es recomendable elaborar una hoja de datos que indique la manera en que se distribuirán los datos dentro de las clases ya calculadas.
8. Finalmente, con los datos obtenidos en la hoja de datos, se construye el histograma considerando los cálculos anteriores.

Para ejemplificar lo anteriormente expuesto, considere los datos del estudio de caso.

La empresa "Bolzucar S.A. de C.V." es una distribuidora de abarrotes y su producto más vendido es el azúcar en presentación de 1.5 kilogramos. Debido a que la empresa es distribuidora, su actividad principal radica en comprar el azúcar a granel y después llenar las bolsas de 1.5 kg, para posteriormente venderlas en las tiendas de abarrotes más reconocidas del estado. Supóngase que en la empresa quieren saber qué tan correctamente se están llenando las bolsas antes de venderlas, para ese fin se toman 100 bolsas y se pesa el contenido con una báscula muy precisa. La siguiente hoja de datos (tabla 5.3) presenta los pesos de cada bolsa seleccionada.

Aplicando los pasos antes descritos para la elaboración de los histogramas, se tiene que para solucionar el problema anterior primero se debe saber el número total de datos (N). En este ejemplo, $N = 100$. El número mayor ($X_{\max}$) de todos los datos es 1 512 y el número menor ($X_{\min}$) es 1 480. Con estos datos es posible calcular el rango de la muestra.

Tabla 5.3 Peso en kilogramos de las 100 muestras seleccionadas

1 500	1 499	1 506	1 487	1 483	1 494	1 489	1 487	1 497	1 502
1 490	1 491	1 493	1 491	1 494	1 501	1 487	1 495	1 497	1 505
1 497	1 499	1 490	1 504	1 499	1 502	1 498	1 505	1 500	1 496
1 491	1 500	1 499	1 487	1 500	1 494	1 503	1 496	1 498	1 496
1 494	1 510	1 488	1 499	1 497	1 494	1 501	1 495	1 499	1 500
1 492	1 485	1 494	1 498	1 489	1 488	1 495	1 485	1 490	1 509
1 494	1 482	1 511	1 503	1 495	1 499	1 496	1 492	1 499	1 512
1 499	1 500	1 495	1 501	1 500	1 486	1 505	1 492	1 480	1 499
1 488	1 491	1 494	1 499	1 494	1 509	1 485	1 505	1 504	1 508
1 490	1 504	1 497	1 507	1 500	1 484	1 508	1 499	1 505	1 509
N = 100 Peso en kilogramos									

Sabemos que el rango (R) es igual a:

$$R = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}$$

así que sustituyendo queda:

$$R = 1\,512 - 1\,480$$

$$R = 32$$

Ahora que ya se tiene el rango (R), es fácil calcular el número de clases (C) sustituyendo en la fórmula:

$$C = \sqrt{N} \quad C = \sqrt{100}$$

Entonces: $C = 10$

Considerando la fórmula para calcular la anchura de clase (A) se tiene que:

$$A = R/C$$

$$A = 32/10$$

$$A = 3.2$$

Con esta amplitud se pueden definir los intervalos en los que se encontrarán todos los datos. En la tabla 5.4 se presentan los intervalos y los datos que se ubican dentro de ellos.

Si se toman los datos presentados en la tabla 5.4, el histograma queda como se muestra en la figura 5.35.

Tabla 5.4 Hoja de datos que muestra la distribución de frecuencia de los pesos de 100 bolsas de azúcar

Núm. de clases	Clase	Frecuencia	Frecuencia
1	1 480.0-1 483.2		3
2	1 483.3-1 486.5		5
3	1 486.6-1 489.8		9
4	1 489.9-1 493.1		14
5	1 493.2-1 496.4		16
6	1 496.5-1 499.7		20
7	1 499.8-1 503.0		14
8	1 503.1-1 506.3		9
9	1 506.4-1 509.6		6
10	1 509.7-1 512.0		4
Total			100

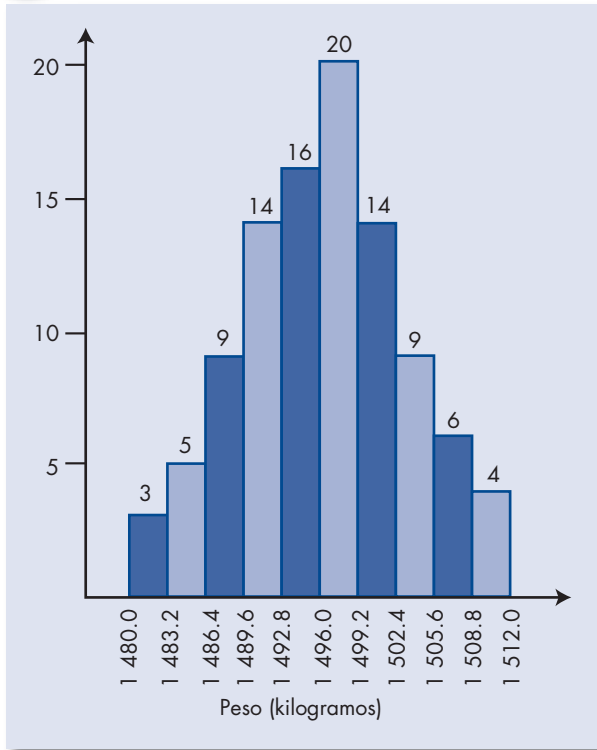


Figura 5.35 Histograma de frecuencia de los datos presentados en la hoja de datos de la tabla 5.4.

Quinta herramienta: Diagrama de Pareto

Es una herramienta que sirve para determinar el orden de importancia de las causas de un efecto determinado; en otras palabras, proporciona información sobre las causas más importantes que provocan un problema.

El diagrama de Pareto es una gráfica de barras combinada con una curva de tipo creciente que indica el porcentaje que representan los datos graficados en las barras.

A continuación se muestra la forma básica del diagrama de Pareto.

Como se puede apreciar en la figura 5.36, sobre el eje horizontal (x) se muestran las causas atribuibles a un problema. Estas barras se ordenan de izquierda a derecha, de mayor a menor, dependiendo de la frecuencia. La gráfica cuenta con dos ejes verticales; el primero, ubicado a la izquierda del diagrama, muestra la frecuencia de la causa, y el segundo, localizado a la derecha, representa el porcentaje que tiene la frecuencia tomando como base 100%.

Para la construcción de un diagrama de Pareto, se siguen estos pasos:

1. Elegir un problema que se quiera resolver y detectar las causas más comunes que provocan dicho problema.

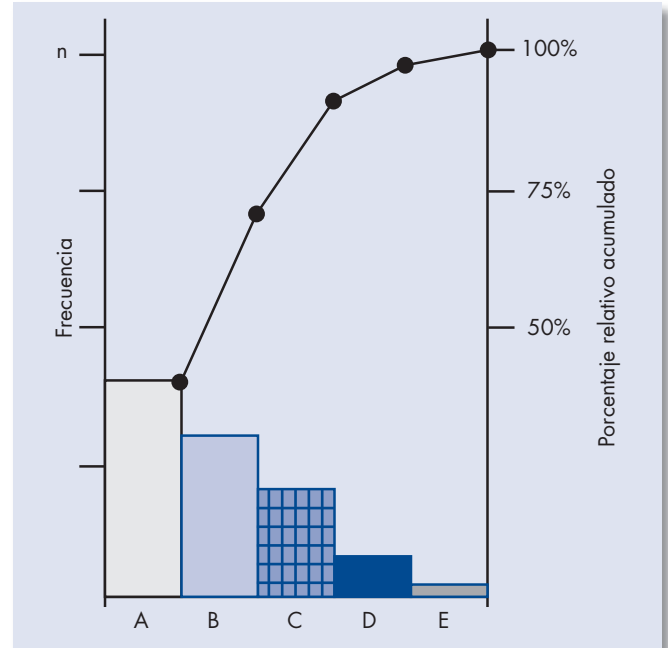


Figura 5.36 Representación básica del diagrama de Pareto.

2. Clasificar las causas detectadas de acuerdo con el número de veces que dichas causas ocasionaron el problema (frecuencia).
3. Ordenar las frecuencias de mayor a menor y calcular los porcentajes para cada una. Después, calcular los porcentajes de frecuencias acumuladas.
4. Graficar, en el eje de las x, las causas más comunes, iniciando, de izquierda a derecha, con la de mayor frecuencia. Terminar de graficar las causas y en seguida graficar los porcentajes que cada una de éstas representa, según su frecuencia acumulada.
5. Analizar el diagrama para poder resolver las causas de los problemas que se consideren necesarios atacar.

Para ejemplificar la elaboración de este tipo de diagramas, se retoma el estudio de caso de la empresa Bolzucar S.A. de C.V.

Imagínese que se ha detectado que el peso de las bolsas no es el correcto. Supóngase, también, que la empresa ha hecho un análisis y ha determinado que existen cinco razones fundamentales del problema.

- La mala capacitación del personal.
- El equipo utilizado en el llenado no es el adecuado.

- La bolsa presenta defectos y eso complica el llenado.
- El tiempo del proceso de embolsado es poco.
- Se inspecciona en exceso y esto ocasiona nerviosismo y malos manejos en el llenado.

Se encontró que un cierto día 50 bolsas no cumplían con el peso adecuado, los estimados de las causas son los presentados en la tabla 5.5.

Tabla 5.5 Causas que ocasionan el mal llenado de las bolsas de azúcar

Causa	Frecuencia
Bolsas defectuosas	8
Equipo inadecuado	15
Inspección exagerada	2
Tiempo mínimo	5
Mala capacitación	20
Total	50

Después de definir el problema (mal llenado de las bolsas de azúcar) y establecer las frecuencias de cada una de las causas, el siguiente paso es ordenarlas de mayor a menor y calcular los porcentajes de las frecuencias y de las frecuencias acumuladas de cada causa. Los datos se registran como se muestra en la tabla 5.6.

Tabla 5.6 Causas ordenadas de mayor a menor, considerando su porcentaje de frecuencia

Causas	Frecuencia	Porcentaje frecuencia	Porcentaje de frecuencia acumulada
Mala capacitación	20	40	40
Equipo inadecuado	15	30	70
Bolsa defectuosa	8	16	86
Tiempo mínimo	5	10	96
Inspección exagerada	2	4	100
Total	50		

Tomando en consideración los datos de la tabla 5.6 se procede a elaborar el diagrama de Pareto, como en la figura 5.37.

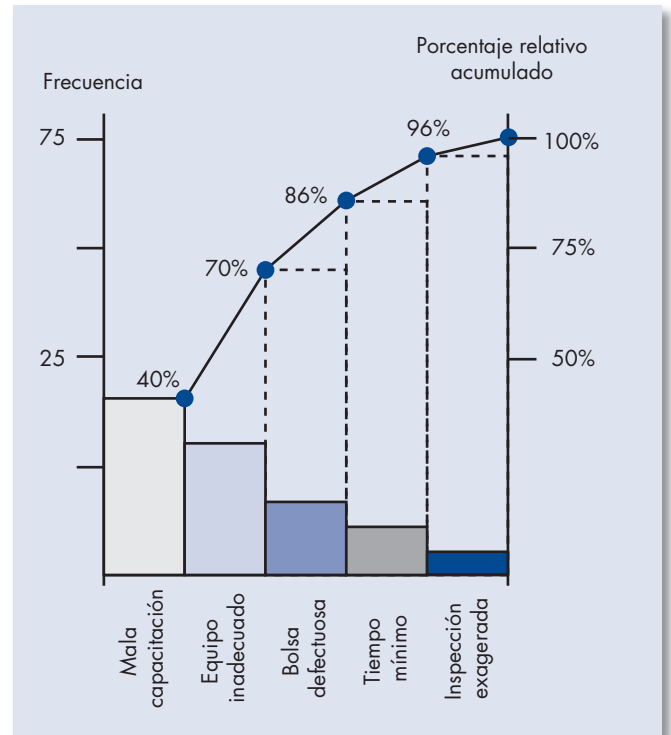


Figura 5.37 Diagrama de Pareto de las bolsas mal llenadas.

Por último, una vez que las causas se grafican, se selecciona una de éstas para su análisis y solución. Si se considera el diagrama de Pareto, la empresa tendría que analizar detenidamente las causas de mala capacitación y el uso del equipo inadecuado, ya que estas dos causas provocan 70% de los problemas.

Sexta herramienta: Diagrama de dispersión

En las herramientas analizadas antes, se observó que es conveniente graficar los datos para entender su funcionamiento y distribución. En los casos anteriores, los datos graficados tienen que ver con una sola variable de calidad. Una de las herramientas estadísticas básicas son los diagramas de dispersión, también conocidos como diagramas bivariados.

Estos diagramas sirven para medir el grado de relación que existe entre una pareja de datos y representan una buena herramienta para saber si existe relación de causa y efecto entre dos variables de calidad.

Comúnmente, los diagramas de dispersión tienen la siguiente forma (véase figura 5.38):

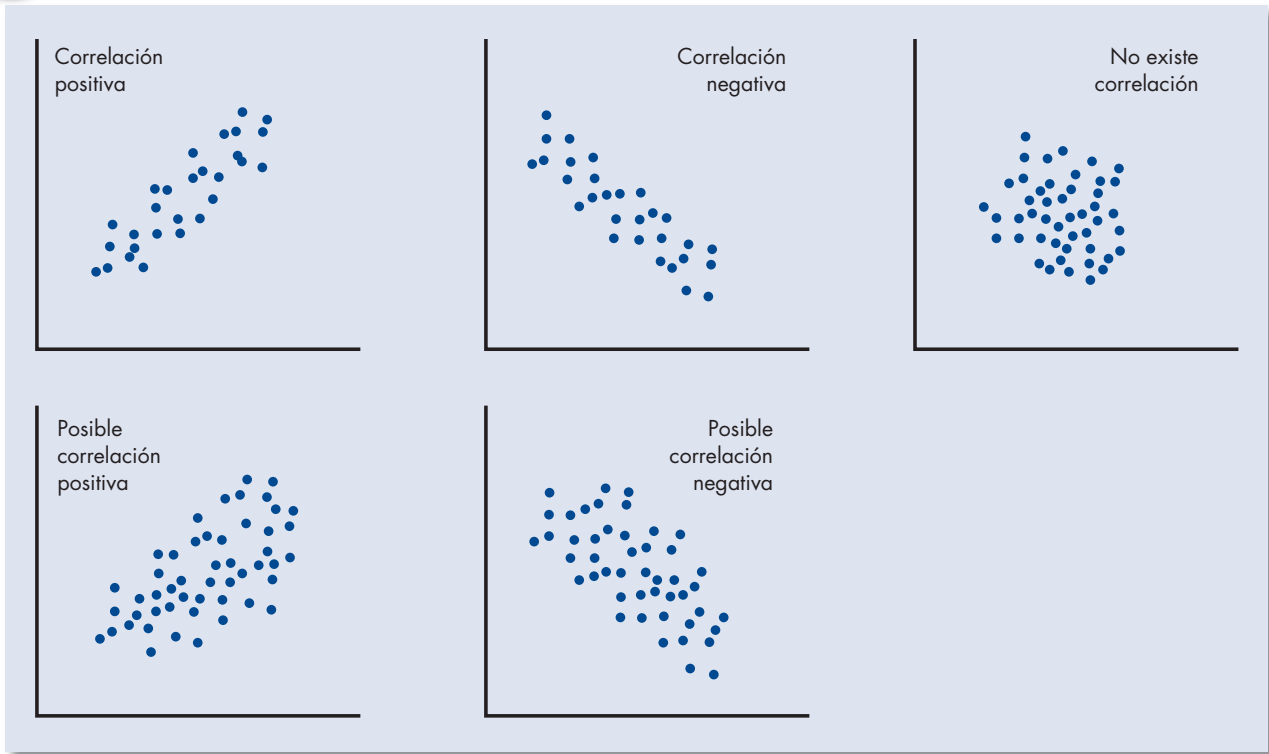


Figura 5.38 Distintas formas del diagrama de dispersión.

Para conocer la relación existente entre dos variables, se utiliza el método de *Pearson*, que establece un valor llamado *coeficiente de correlación* (r) de *Pearson*.

El *coeficiente de correlación* (r) se calcula con la siguiente fórmula:

$$r = \frac{S(xy)}{\sqrt{S(xx)S(yy)}}$$

$$S(xx) = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}; S(yy) = \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n};$$

$$S(xy) = \sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}$$

Donde:

x_i = Valores asignados al primer factor.
 y_i = Valores asignados al segundo factor.
 n = Número de parejas de datos.

Es importante hacer notar que:

$$-1 \leq r \leq 1$$

Esto significa que si $r = +1$ o $r = -1$, la correlación entre las características o variables analizadas es lineal. Mientras el valor absoluto de r se aproxime más a la unidad, la re-

lación existente entre los datos analizados será mayor. Por el contrario, si r tiene un valor nulo ($r = 0$), entonces no existe correlación alguna entre los datos.

La tabla 5.7 presenta distintos valores de r y el significado de cada uno de estos valores.

Tabla 5.7 Valores del coeficiente de correlación (r)

Coeficiente de correlación	Relación
$0.80 \leq r \leq 1.0$	Fuerte, positiva
$0.30 \leq r \leq 0.8$	Débil, positiva
$-0.30 \leq r \leq 0.3$	No existe relación
$-0.80 \leq r \leq -0.3$	Débil, negativa
$-1.0 \leq r \leq -0.8$	Fuerte, negativa

Para poder interpretar correctamente la tabla anterior, es necesario mencionar que la relación de los datos es positiva cuando ambas variables aumentan (si x se incrementa, y también aumentará). En caso contrario, cuando una variable disminuye y la otra también, se dice que existe una correlación negativa.

Para elaborar un diagrama de correlación o bivariado, normalmente se siguen estos pasos:

1. Tener una serie de parejas de datos por analizar (características por analizar). Se recomienda que el número de pares sea mayor o igual a 50.
2. Diseñar y trazar los ejes del diagrama. Se recomienda que los ejes sean similares en escalas. Es aconsejable colocar valores sobre los ejes para graficar con facilidad.
3. Graficar las parejas de datos. Si alguna pareja se repitiera es recomendable marcar los datos con círculos concéntricos.
4. Calcular el coeficiente de correlación (r) para corroborar la relación o no relación de los datos graficados.

Para ejemplificar la elaboración del diagrama de dispersión, vuélvase a tomar el ejemplo del estudio de caso de la empresa Bolzucar S.A. de C.V.

En esta empresa trabajan 60 personas que han recibido cierto tipo de capacitación. La capacitación (factor 1- x) depende de la antigüedad de las personas en el puesto y de la manera en que se han desarrollado en su trabajo. La capacitación se califica en una escala de 1 a 10. Por otro lado, existen evaluaciones del desempeño anual de las personas (factor 2- y) que también se evalúan en escala de 1 a 10. La empresa en cuestión desea saber si el desempeño de las personas depende del nivel de capacitación que tienen y para eso ha decidido elaborar un diagrama de dispersión considerando los datos de la tabla 5.8.

El siguiente paso es graficar los datos mostrados en la tabla. En el eje x se graficarán los referentes al nivel de capacitación y en el eje y los referentes a la evaluación del desempeño.

Tabla 5.8 Datos del nivel de capacitación y evaluación del desempeño ($n = 60$)

Persona	Nivel de cap.	Eval. de desemp.	Persona	Nivel de cap.	Eval. de desemp.	Persona	Nivel de cap.	Eval. de desemp.
1	5	7	21	3	3	41	9	10
2	7	6	22	7	7	42	10	10
3	8	9	23	2	2	43	7	8
4	4	4	24	2	3	44	4	4
5	9	9	25	4	5	45	7	8
6	10	9	26	3	3	46	8	9
7	10	9	27	8	7	47	9	9
8	4	3	28	6	5	48	6	7
9	7	6	29	9	10	49	7	7
10	9	10	30	10	10	50	9	8
11	4	5	31	9	9	51	9	9
12	9	8	32	4	5	52	6	7
13	5	4	33	7	6	53	5	6
14	8	7	34	9	7	54	7	7
15	10	8	35	2	4	55	8	9
16	5	3	36	5	6	56	6	5
17	8	6	37	4	5	57	4	3
18	9	8	38	8	7	58	4	5
19	7	7	39	6	5	59	8	9
20	9	10	40	10	10	60	9	10

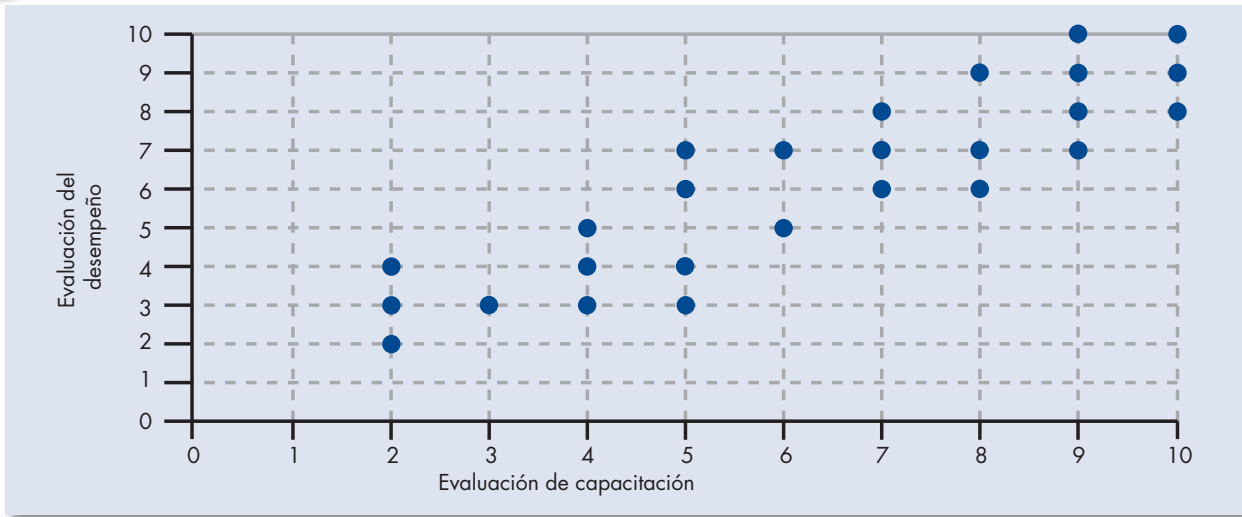


Figura 5.39 Gráfica de dispersión de 60 pares de datos (nivel de capacitación y evaluación anual del desempeño).

La gráfica de dispersión queda como se ilustra en la figura 5.39.

La gráfica muestra que aparentemente existe una relación estrecha entre el nivel de capacitación de las personas y la evaluación del desempeño anual. Para corroborar la existencia de esta relación, se calcula el coeficiente de correlación r .

Se tiene que:
$$r = \frac{S(xy)}{\sqrt{S(xx)S(yy)}}$$

$$S(xx) = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}; S(yy) = \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n};$$

$$S(xy) = \sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}$$

Donde:

x_i = Valores asignados al primer factor.

y_i = Valores asignados al segundo factor.

n = Número de parejas de datos.

Para facilitar los cálculos, se elabora una tabla como la 5.9 considerando los valores de los cuadrados de cada variable (x^2 , y^2) y los valores del producto de las variables (x , y , xy).

Sustituyendo los valores en las fórmulas se tiene:

$$\begin{aligned} S(xx) &= \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \\ &= 3\,085 - \frac{(407)^2}{60} \\ &= 324.18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(yy) &= \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n} \\ &= 3\,071 - \frac{(407)^2}{60} \\ &= 310.18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(xy) &= \sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n} \\ &= 3\,047 - \frac{(407)(407)}{60} \\ &= 286.18 \end{aligned}$$

Finalmente, se calcula el coeficiente de correlación r :

$$\begin{aligned} r &= \frac{S(xy)}{\sqrt{S(xx)S(yy)}} \\ &= \frac{286.18}{\sqrt{(324.18)(310.18)}} \\ &= 0.90248 \end{aligned}$$

Así, se concluye que la correlación existente entre los pares de datos es *fuerte positiva*, ya que mientras una aumenta la otra también. La empresa puede argumentar que efectivamente el desempeño de sus trabajadores depende de la capacitación que han recibido.

Tabla 5.9 Sesenta pares de datos con valores de x , y , xy , x^2 , y^2

Persona	Nivel de cap. (x)	Eval. de desemp. (y)	x^2	y^2	xy
1	5	7	25	49	35
2	7	6	49	36	42
3	8	9	64	81	72
4	4	4	16	16	16
5	9	9	81	81	81
6	10	9	100	81	90
7	10	9	100	81	90
8	4	3	16	9	12
9	7	6	49	36	42
10	9	10	81	100	90
11	4	5	16	25	20
12	9	8	81	64	72
13	5	4	25	16	20
14	8	7	64	49	56
15	10	8	100	64	80
16	5	3	25	9	15
17	8	6	64	36	48
18	9	8	81	64	72
19	7	7	49	49	49
20	9	10	81	100	90
21	3	3	9	9	9
22	7	7	49	49	49
23	2	2	4	4	4
24	2	3	4	9	6
25	4	5	16	25	20
26	3	3	9	9	9
27	8	7	64	49	56
28	6	5	36	25	30
29	9	10	81	100	90
30	10	10	100	100	100
31	9	9	81	81	81
32	4	5	16	25	20
33	7	6	49	36	42
34	9	7	81	49	63
35	2	4	4	16	8
36	5	6	25	36	30
37	4	5	16	25	20
38	8	7	64	49	56
39	6	5	36	25	30
40	10	10	100	100	100
41	9	10	81	100	90
42	10	10	100	100	100
43	7	8	49	64	56
44	4	4	16	16	16
45	7	8	49	64	56
46	8	9	64	81	72
47	9	9	81	81	81
48	6	7	36	49	42
49	7	7	49	49	49
50	9	8	81	64	72
51	9	9	81	81	81
52	6	7	36	49	42
53	5	6	25	36	30
54	7	7	49	49	49
55	8	9	64	81	72
56	6	5	36	25	30
57	4	3	16	9	12
58	4	5	16	25	20
59	8	9	64	81	72
60	9	10	81	100	90
Totales	407	407	3 085	3 071	3 047

Septima herramienta: Gráficas de control

Las gráficas de control son herramientas estadísticas que ayudan a medir el comportamiento de una variable de calidad a través del tiempo. Son muy útiles ya que evalúan y determinan si un proceso, considerando cierta característica de calidad deseable de control, está bajo control estadístico, como se muestra en la figura 5.40.

Debido a la complejidad de las gráficas de control y al objetivo de este texto, no es de interés tratar todo el tema relacionado con esta herramienta. Sólo analizará de manera general el concepto ya mencionado.

Para poder definir si un proceso se encuentra o no bajo control, es necesario establecer las tolerancias o lími-

tes de especificación que el producto debe cumplir en el proceso. Estas tolerancias se determinan en gran medida por el diseño del proceso y la complejidad del mismo. Si la característica a ser analizada se encuentra dentro de las tolerancias permitidas, entonces se dice que el proceso está bajo control, de lo contrario estará fuera de control.

Si un dato se encuentra entre la línea de control superior (LCS) y la línea de control inferior (LCI) se dice que la característica que se quiere medir está *bajo control*. Por el contrario, si la característica a ser medida se ubica fuera de los límites, entonces se dice que el proceso está *fuera de control*. Mientras la característica de calidad se encuentre más cercana al límite de control central (LCC) menos variabilidad tiene el proceso.

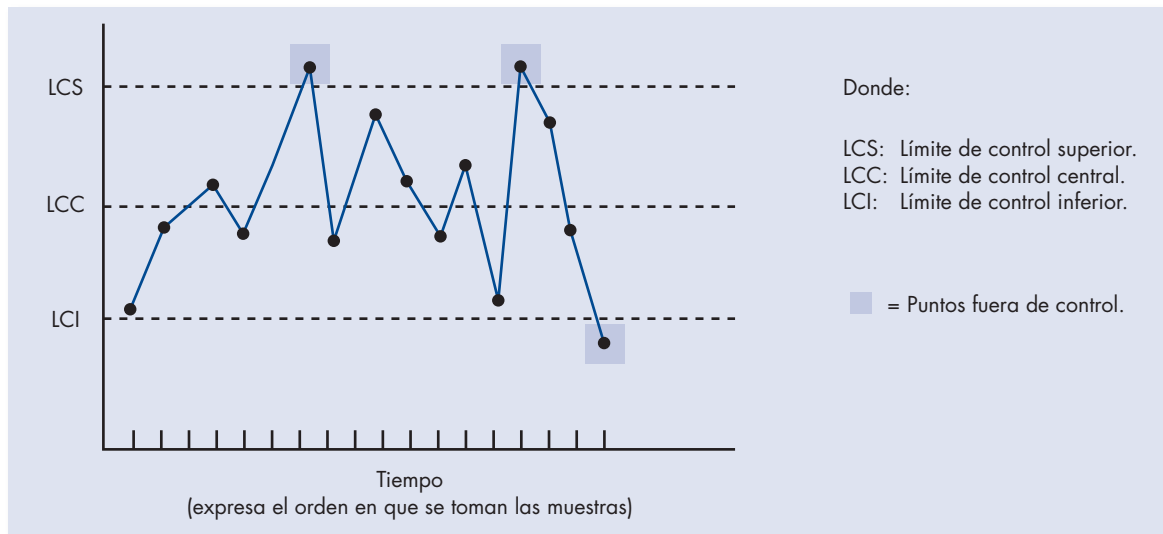


Figura 5.40 Esquema general de una gráfica de control.

Palabras clave

Calidad, gestión, productos, control, proceso.

Casos para resolver

Caso 1

Supóngase que una universidad ha detectado que el índice de reprobación de sus alumnos es muy elevado en las materias de control de calidad. Esta institución educativa quiere solucionar este problema, con ese fin entrevistó a los 84 alumnos del semestre anterior que cursaron la materia. Los estudios de campo (entrevistas y encuestas) arrojaron la siguiente información.

Causa de reprobación	Frecuencia
Los alumnos no estudian	21
Malos profesores	9
Clases aburridas	13
Materias complicadas	32
Material didáctico insuficiente	9
Total	84

Elabore un diagrama de Pareto que ilustre las principales causas del problema. Una vez detectadas las causas más importantes, elabore un diagrama de causa-efecto que proponga soluciones al problema planteado.

De igual forma, suponga que la universidad quiere conocer la relación entre las calificaciones altas de los estudiantes con el número de horas dedicadas a estudiar la materia. Para ello, la universidad seleccionó a 54 alumnos.

Realice un diagrama de dispersión considerando los datos de la tabla de abajo.

¿Qué se puede concluir una vez elaborado el diagrama? Establezca argumentos que respalden su elección.

Nota: Si tiene dudas sobre la solución del estudio de caso remítase al desarrollo del caso proporcionado sobre la empresa Bolzucar S.A. de C.V.

Estudiante	Calificación	Horas de estudio	Estudiante	Calificación	Horas de estudio
1	6	8	28	5	4
2	8	9	29	8	6
3	4	4	30	7	7
4	6	6	31	9	9
5	9	7	32	6	4
6	10	9	33	3	7
7	10	3	34	5	8
8	5	6	35	8	3
9	8	5	36	8	6
10	9	8	37	9	5
11	3	7	38	10	4
12	10	9	39	9	7
13	7	10	40	9	9
14	8	4	41	10	2
15	3	7	42	8	3
16	5	8	43	7	5
17	7	5	44	3	4
18	4	8	45	6	6
19	9	9	46	9	8
20	6	4	47	7	9
21	10	6	48	9	6
22	9	8	49	9	7
23	9	3	50	8	10
24	5	4	51	4	5
25	8	7	52	5	6
26	7	9	53	6	9
27	7	8	54	10	4

Para discusión

1. ¿Cuál de las filosofías de calidad presentadas le parece más adecuada? Establezca argumentos que respalden su elección.
2. Imagine que la universidad en donde estudia quiere implantar el programa de las 5 eses. ¿Cómo iniciaría usted la implantación de dicho programa propuesto por Hirano?
3. ¿Cómo se puede medir la calidad de un servicio? Por ejemplo, la calidad de las sesiones que usted cursa en la universidad.
4. Describa 15 acciones necesarias para implantar una cultura de calidad en una organización.
5. ¿Cómo se mide la satisfacción de clientes distintos que buscan un mismo producto?

6. Apoyándose en el diagrama de la “Cadena de la calidad”, presentado en este capítulo, esquematice la cadena de calidad para el proceso de inscripción de su universidad, indicando las entradas, los procesos y las salidas necesarias para cumplir con la satisfacción del cliente.
7. Suponga que usted es gerente de calidad de una empresa que elabora mesas de trabajo para oficina. ¿Qué herramientas de la calidad utilizaría para que las mesas que su empresa fabrica cumplan con las necesidades de los clientes?
8. Si tuviera que elegir una de las herramientas estadísticas básicas de la calidad para analizar y resolver el problema de la inseguridad en su comunidad, ¿cuál seleccionaría? Establezca argumentos que respalden su elección.
9. Diseñe una hoja de verificación o de datos que sea capaz de almacenar la información de las actividades que usted realiza en un día normal de trabajo o estudio así como la importancia de dichas actividades.
10. Elabore un diagrama de causa-efecto que ilustre las áreas de oportunidad más importantes de la organización en donde usted labora o estudia.

Bibliografía

Banks, Jerry. *Control de calidad*. Limusa. México. 1998.

Besterfield, Dale, et al. *Total Quality Management*. Prentice-Hall. 2nd. Edition. USA. 1999.

Crosby, Philip. *La calidad no cuesta. El arte de cerciorarse de la calidad*. CECSA. México. 1987.

Deming, W. Edward. *Calidad, productividad y competitividad. La salida de la crisis*. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España. 1989.

Feigenbaum, Armand. *Control total de la calidad*. CECSA. México. 2001.

Hirano, Hiroyuki. *5 pilares de la fábrica visual. La fuente para la implantación de las 5 S*. Productivity Press Inc. España. 1995.

Instituto Mexicano de Normalización y Certificación A.C. *Sistemas de Gestión de la Calidad. Fundamentos y Vocabulario*. ISO 9000:2008/NMX-CC-9000-IMNC-2008. México.

———. *Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos generales*. ISO 9001:2008/NMX-CC-9001-IMNC-2008, México.

———. *Sistemas de Gestión de la Calidad. Recomendaciones para la mejora del desempeño*. ISO 9004:2000/NMX-CC-9004-IMNC-2000, México.

———. *Gestión para el éxito sostenido de una organización. Un enfoque basado en la gestión de la calidad*. ISO 9004:2009/NMX-CC-9004-IMNC-2009. México.

———. *Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión de calidad y lo ambiental ISO 19011:2002/NMX-CC-SAA-19011-IMNC-2002*. México.

Ishikawa, Kaoru. *¿Qué es control total de calidad? La modalidad japonesa*. Norma. Colombia. 1986.

Juran, J. *Juran y la planificación para la calidad*. Editorial Díaz de Santos. Madrid. España. 1990.

Pacheco, A. *La productividad bajo sospecha. Guía para la elaboración de una estrategia sindical de productividad*. Centro Nacional de Promoción Social A.C. México. 2002.

Tenner, Arthur and DeToro Irving. *Total Quality Management. Three Steps to Continuous Improvement*. Addison Wesley. First Printing. USA. 1991.

Páginas electrónicas

www.ansi.org Fecha de consulta: noviembre de 2010.

www.iso.org Fecha de consulta: noviembre de 2010.



LA ADMINISTRACIÓN DE LAS OPERACIONES

Isidro Marco Antonio Cristóbal Vázquez
Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial
Texas A&M University

*Administrar es hacer las cosas acertadamente;
liderazgo es hacer las cosas acertadas.*

Peter Drucker

Objetivo

- Introducir al proceso de gestión de los recursos, de las personas y de los sistemas necesarios para la creación-compra, almacenamiento y distribución de bienes y/o servicios en las empresas; con el fin de optimizarlos, demostrando calidad y sustentabilidad.

Introducción

Uno de los puestos más importantes y comunes que suele asumir un ingeniero industrial en el ejercicio de su profesión es la de administrador (gerente o director) de las operaciones; un individuo con la capacidad de diseñar, operar y mejorar los sistemas que crean, adquieren, almacenan y distribuyen los productos,¹ servicios e información de las empresas.² Se conoce

¹ En este capítulo se utilizarán las palabras producto, bien, mercancía y artículo como sinónimos, entendiéndose por éstos el resultado de la producción.

² Los términos empresa, compañía, firma, organización, sociedad, corporación y negocio se utilizarán indistintamente como sinónimos.

como operaciones al área funcional de las organizaciones que se encarga, entre otras actividades, de la manufactura de bienes o diseño de servicios, la planeación y el control de la producción, el aseguramiento de la *calidad*, la ingeniería, las compras y el abastecimiento de materiales, la logística o distribución y el mantenimiento industrial. Por eso, se considera que las operaciones son la médula espinal de las compañías y esto hace imperiosa la necesidad de que todas las decisiones relacionadas con éstas sean tomadas por profesionales debidamente capacitados en el área.

Concepto, evolución e importancia de la administración de las operaciones

El término *Administración de las Operaciones* (AO) es la traducción al español del vocablo en inglés *Operations Management*, nombre con el que se conoce a la parte de la administración que contempla una serie de métodos y técnicas cuantitativas³ para lograr la eficiente y efectiva producción y distribución de los bienes y/o servicios⁴ ofrecidos por una empresa. La AO se considera también un proceso de gestión de las personas y los recursos de una compañía, así como de la logística necesaria, para la creación de dichos productos.⁵ La AO debe entenderse, entonces, como el manejo que se le da a dichos recursos y a los procesos organizacionales de una empresa con la finalidad de lograr una producción optimizada, sustentable⁶ y que demuestre un nivel razonable de calidad. A la AO se le conoce también con los nombres de gestión de las operaciones, planeación y control de la producción, gestión de la producción, análisis de la producción, etcétera.

Es importante que el lector comprenda con claridad la amplitud de las definiciones expresadas antes. Para empezar, la AO tiene una característica fundamental: sus decisiones son el resultado de un proceso metódico cuantitativa y analíticamente fundamentado, que tendrá la premisa de mejorar los resultados que obtenga un negocio mediante

la optimización del uso de sus recursos. Cuando se habla de que la AO puede aplicarse a empresas que prestan servicios, cabe recordar que en sus principios se dedicaba exclusivamente al análisis de procesos productivos relacionados con la manufactura; sin embargo, la disciplina ha evolucionado al grado de considerar las actividades de todo tipo de empresas, incluyendo bancos, hoteles y empresas de comida rápida, entre otras. El proceso de la AO se deberá seguir al administrar el sistema completo que produce y entrega un producto, auxiliando a los ejecutivos de las organizaciones a tomar decisiones razonadas que tendrán impacto en el largo, mediano y corto plazo de la organización.

Como se ha explicado a lo largo de este libro, una empresa no está constituida solamente por el edificio y su personal, sino también por la interacción y el flujo de sus materiales y, sobre todo, de su información. En la figura 6.1 se puede observar la importancia que tiene cada una de las tres principales áreas funcionales dentro de una organización productiva: **mercadotecnia, finanzas y operaciones**. El objetivo de esta figura es explicar que las empresas deben administrar sus operaciones y que éstas se encuentran relacionadas, directa e indirectamente, a las actividades de las otras dos áreas funcionales; esto implica responsabilidades y retos muy importantes para un administrador,⁷ mismos que deben ser cuidadosamente coordinados para que un negocio opere de manera eficaz y eficiente.

Eficiencia y eficacia son vocablos que pueden resultar engañosos en el idioma español.⁸ El término eficiencia se tradujo de *efficiency*, que en inglés significa “la realización de alguna actividad al costo mínimo”. Dicho de otro modo, una empresa es eficiente al obtener un producto o proveer de un servicio, utilizando la menor cantidad de insumos posible. Por otra parte, eficacia o ser eficaz, se tradujo literalmente del término *effectiveness*, que se refiere a la realización de las acciones acertadas que crearán el máximo valor para la empresa. Como puede concluirse, la visión sajona⁹ en la que las bases de la AO se desarrollaron por primera vez, a diferencia de la latina, describe que buscará

³ Técnica cuantitativa se refiere a aquella que utiliza específicamente métodos analíticos para la determinación de sus resultados.

⁴ Empresa de servicios es aquella compañía que ofrece productos intangibles y que requiere de la participación del cliente o usuario final para completar el proceso de creación del mismo.

⁵ Véase Nahmias (2005).

⁶ Sustentable se refiere a que los procesos de una empresa deben ser eficientes y efectivos con la premisa adicional de cuidado del medio ambiente.

⁷ Se deberá entender el término administrador como aquel ejecutivo (gerente o directivo) que toma decisiones en las empresas.

⁸ La Real Academia Española define eficiencia como: “La capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado”, y eficacia como: “La capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera”.

⁹ Inglesa y estadounidense.

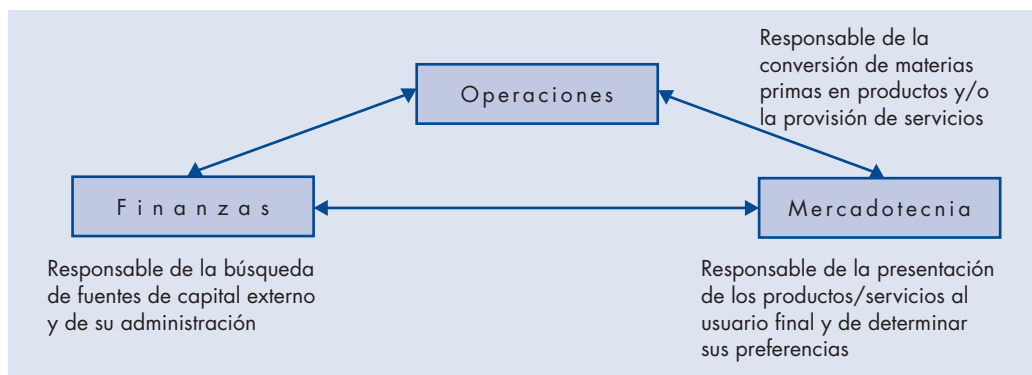


Figura 6.1 Importancia de las tres áreas funcionales de una empresa.

beneficios económicos puros a las organizaciones y que no basta con el simple hecho de hacer o lograr algo.

Si esto no es suficiente para motivar en el lector el estudio de las técnicas de la AO, se describen a continuación tres de sus principales ventajas que se pueden lograr en la práctica: poseer un procedimiento sistemático, tener una carrera profesional exitosa mediante su aplicación y la universalidad de sus herramientas.

Primero, se debe entender que la AO provee de un procedimiento sistemático para el análisis de los procesos organizacionales; esto significa que la persona dedicada a administrar las operaciones deberá hacer uso extensivo del pensamiento analítico¹⁰ para la solución de problemas reales. La figura 6.2 describe cómo se debería dar este procedimiento al analizar los procesos de la organización.

El segundo factor tiene que ver con las numerosas oportunidades de carrera que pueden presentarse como practicante de la misma. En enero de 2011 se utilizaron los

sitios web de distintas empresas de búsqueda y colocación de empleos en la República Mexicana¹¹ para observar el número de ofertas de trabajo disponibles relacionadas con la AO; los resultados mostraron un rango del número de ofertas de trabajo para esta área que fluctuaba entre 100 y 2 000 posiciones disponibles diariamente. Los empleos abarcaban todo el espectro jerárquico de una empresa: desde la supervisión directa de las operaciones (jefaturas de líneas de producción, supervisores), posiciones de staff¹² específicas para las distintas especialidades de la AO (más adelante se detallan éstas) y consultoría externa, hasta coordinaciones generales, gerencias y puestos directivos. Adicionalmente, las ofertas fueron realizadas por compañías de distintos tamaños y provenientes de una variedad extensa de industrias: electrónicos, maquiladoras, empresas de consultoría, etcétera.

La tercera ventaja se refiere a la universalidad de las aplicaciones de la AO.¹³ Esto significa que todos los

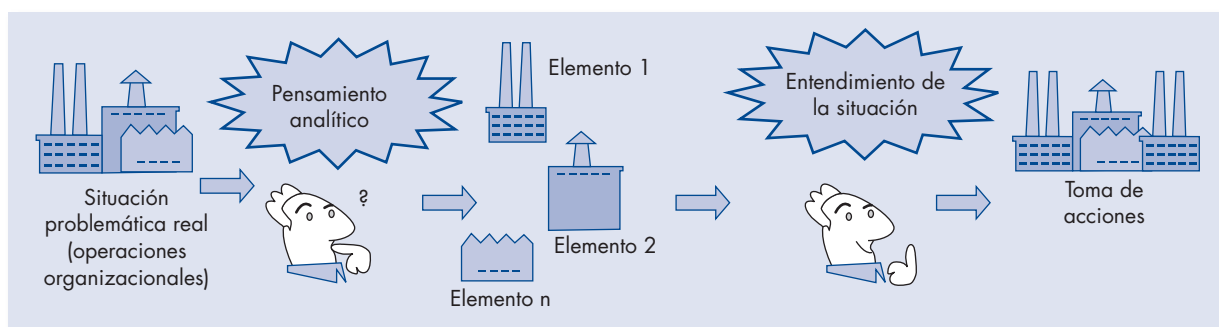


Figura 6.2 Proceso analítico de la administración de las operaciones.

¹⁰ Que procede descomponiendo un problema en sus partes que la conforman; pasa del todo a las partes.

¹¹ Véanse los sitios web <http://www.occ.com.mx/> y <http://www.lucas5.com/> Resultados obtenidos en enero de 2011.

¹² Se denomina posición staff al puesto de trabajo especializado, de nivel medio y superior dedicado exclusivamente al análisis y asesoría en la toma de decisiones a los directivos de las distintas áreas dentro de una empresa.

¹³ Véase Chase, *et al.* (2006).

gerentes y administradores de cualquier tipo de industria u organización deberán, en repetidas ocasiones, planear su trabajo, controlar la calidad y asegurar la productividad de las personas que tienen bajo su supervisión; además de que tendrán la responsabilidad de entender y dar a conocer al resto de la empresa, el funcionamiento de las operaciones del negocio, para que todos en conjunto ejecuten de manera efectiva su labor, éstas son actividades íntimamente relacionadas a la gestión de las operaciones.

La historia de la AO se encuentra muy relacionada a la historia misma de la ingeniería industrial y al desarrollo de la sociedad.¹⁴ Después de la Revolución Industrial, la producción cambió de ser una actividad de bajo volumen a una de gran escala con maquinaria sencilla, controlada totalmente por los dueños de los medios de producción. Estas personas conocían muy bien sus respectivos oficios, pero poco o nada sobre la conducción de sus nacientes empresas. Esto provocó la necesidad de pedir consejo a observadores externos que decían poseer cierta experiencia en el manejo de negocios de este tipo. Con dicha asesoría, la mayoría de los dueños implementaron controles exageradamente rígidos a los cuales se deberían adaptar tanto trabajadores como el resto de los recursos e insumos. En estas condiciones precarias, se fue dando en forma lenta la aparición de nuevas formas de trabajo y de conocimiento industrial, pero no fue sino hasta la segunda mitad del siglo XIX que, gracias al avance de la industria de la hulla,¹⁵ se generaron los primeros estudios formales sobre configuración de líneas de ensamble, localización y manejo de plantas. La AO había nacido formalmente.

Así, en el periodo comprendido entre 1890 y 1920 surgieron los primeros administradores de la producción en Estados Unidos de América. Las operaciones poseían ya un alto grado de complejidad fuera del alcance de la mayoría de los dueños; así, surgieron las técnicas “científicas”¹⁶ de manejo de las compañías con Frederick Taylor, cuya principal aportación fue el análisis de las operaciones mediante su división en sus distintos elementos básicos.¹⁷ Otras necesidades de administración técnica de plantas surgidas en esta época, incluyen la coordinación de líneas de producción diversificadas y la creación de programas

dinámicos de producción. Otras personas, como Henry Gantt y los esposos Gilbreth, entre otros, también contribuyeron al desarrollo de la AO, con técnicas que permitían mejorar las operaciones dentro de las empresas de aquel entonces.

Se considera a los años comprendidos entre 1920 y 1960 como la “era dorada” del desarrollo industrial de Estados Unidos de América y de Europa del oeste. Gracias a la movilidad de la mano de obra, las condiciones laborales mejoraron considerablemente y los métodos científicos encontraron tierra fértil para posibles aplicaciones industriales. En las décadas de 1950 y 1960 se mejoraron de manera extensa las herramientas de la investigación de operaciones, como la simulación, la teoría de líneas de espera, la teoría de decisiones, la programación matemática y las diversas técnicas de programación de proyectos; estas aplicaciones tuvieron un catalizador muy poderoso con la introducción comercial de las computadoras, a inicios de la década de 1960. De esta forma, se comenzaron a crear modelos matemáticos para los *pronósticos*, control de inventarios, control de calidad, programación de la producción, *administración de proyectos* y planeación de los requerimientos de los materiales (MRP), todo con el afán de encontrar, continuamente, mejoras en los niveles de producción y de calidad. En esas fechas, la AO llegó a América Latina, y en 1958 se impartió en Brasil el primer curso formal en ingeniería de producción.

Sin embargo, conforme los mercados fueron creciendo y la competencia se hizo presente y cada vez más difícil, debido entre otras situaciones a cambios políticos, sociales y geográficos que se estaban gestando en el mundo (por ejemplo, el colapso del socialismo), apareció un fenómeno de cambio de las economías de muchos países a un régimen de mercado libre,¹⁸ acelerándose, entonces, la globalización¹⁹ de la economía mundial. No es difícil pensar que los poseedores de industrias y de grandes capitales provenientes de Estados Unidos de América (país que, para entonces, fue reconocido como la economía más grande del mundo) encontraran mejores condiciones de producción, costos y calidad en lugares tan diversos como Alemania, Japón, el Lejano Oriente e incluso América Latina,

¹⁴ Véase Mansour (2003).

¹⁵ Hulla, también conocido como carbón de piedra.

¹⁶ Se ha puesto entre comillas el término *científicas* ya que, como se describirá en el resto del capítulo, la AO contempla aspectos tan complejos en la actualidad, los cuales representan verdaderos retos para los practicantes, analistas, catedráticos y científicos.

¹⁷ Véase Bertrand *et al.* (2002).

¹⁸ Mercado libre (“Free Market”) se refiere a un mercado económico en el que la oferta y la demanda de bienes y servicios no se encuentran reguladas (o con muy poco control) por parte del estado. Las transacciones son arreglos voluntarios entre particulares en una sociedad.

¹⁹ Globalización es la tendencia de las inversiones y negocios a crecer fuera del mercado local y nacional hacia otros mercados en el mundo, propiciando la interconexión de los mismos.

umentando considerablemente la cantidad de transacciones e inversiones directas realizadas con esos países y regiones. Así, en la década de 1980 surgió un nuevo periodo de la AO, que tiene que ver con el comercio internacional y la incorporación de nuevas filosofías y formas de trabajo a la estrategia de manufactura. Se comenzó a hablar de círculos de calidad,²⁰ de sistemas flexibles de manufactura, de la automatización y la robótica, del justo a tiempo (JIT), del control total de calidad (TQC) y de la teoría de las restricciones (TOC).

En la década de 1990 cuatro nuevas teorías y tendencias volvieron a revolucionar las operaciones de los negocios y la forma de administrarlas:

- La administración de la calidad total (TQM, por sus siglas en inglés), que presenta un esquema de desarrollo de las funciones de calidad dentro de las empresas y un paradigma de mejora continua, aspectos que se habían venido desarrollando desde varios años atrás, en especial con la publicación de las normas ISO 9000.²¹
- La reingeniería de procesos de negocios, propuesta por Michael Hammer, la cual pretende que los negocios se cuestionen, de manera profunda, su razón de ser y la forma en que realizan todas sus actividades. La aplicación de esta teoría puede llevar a una empresa a dedicarse a cuestiones totalmente distintas si las condiciones futuras así lo vislumbran.
- El auge de empresas “electrónicas” que basaban por completo sus operaciones en Internet (empresas “punto-com”).²² Desafortunadamente, una corriente especulativa muy fuerte entre 1997 y

2001, conocida como efecto “burbuja punto-com”, originó un desplome del valor de las acciones de dichas empresas y, por ende, la fusión, cierre y/o en muchos casos la quiebra total de ellas.

- El auge del concepto de Administración de la Cadena de Suministro, propiciada principalmente por las empresas de tecnologías de información,²³ SAP® de Alemania y Oracle® de Estados Unidos de América, mismas que con el uso de aplicaciones tipo cliente-servidor²⁴ tratan de mejorar las operaciones de las empresas considerando todas las áreas funcionales de la misma.

Desde finales de la década de 1990 y en lo que va del nuevo siglo, las tecnologías de información (IT, por sus siglas en inglés), la Internet y el comercio electrónico están redefiniendo nuevamente el comportamiento y el consumo de la sociedad; los negocios reaccionan a tal redefinición y la AO sigue evolucionando. Empresas como Amazon, Dell y Zara,²⁵ entre otras, han tenido crecimientos sorprendentes porque han creado nuevas formas para que los administradores ejecuten y coordinen sus funciones de distribución a una velocidad increíble; es decir, se trata de una nueva forma de administración de operaciones que permite la generación, captura, manejo y procesamiento de una cantidad inmensa de datos relacionados con los negocios, lo cual ocasiona que uno de los principales retos para los ingenieros industriales de la actualidad sea el conocer y capacitarse arduamente en esas herramientas,²⁶ saber utilizar los resultados que arrojan dichas tecnologías, ir un paso más allá y obtener el mejor rendimiento de esos sistemas complejos, utilizándolos en la toma de cada vez mejores decisiones.

²⁰ Los círculos de calidad, creados en Japón, permiten al trabajador de una empresa expresar sus comentarios sobre el desarrollo de productos y procedimientos de producción.

²¹ ISO 9000 es el título que se le dio a la serie de normas de aseguramiento de la calidad de la Organización Internacional para la Estandarización. Estas normas exigen la documentación de aquellos procesos, actividades y responsabilidades que propicien la calidad en las empresas.

²² Ejemplos de empresas “punto-com” exitosas: Amazon.com, AOL, eBay, Google, MSN, Yahoo! En América Latina, algunos ejemplos son: DeRemate.com, MercadoLibre.com y Bumeran.com.

²³ La Sociedad de la Información de Telefonía de España define a las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicaciones) como “aquellas que se requieren para la gestión y transformación de la información, apoyada en el uso de ordenadores y software que permiten crear, modificar, almacenar, proteger y recuperar dicha información”.

²⁴ Cliente-servidor es un tipo de “arquitectura informática” en la que un “cliente” realiza peticiones de información a un “servidor” dentro de una red de computadoras. Esta forma de configuración permite repartir la capacidad de procesamiento entre ambos elementos, ganándose ventajas en la administración de la información y reducción del “tráfico” en la red.

²⁵ Véase: <http://www.amazon.com/> www.dell.com.mx y <http://www.zara.com/>

²⁶ La herramienta informática más común en la actualidad es el ERP (Enterprise Resource Planning System), sistema que pretende coordinar las actividades de las áreas funcionales mencionadas con anterioridad. El ERP se describe y se detallan sus características en el capítulo dedicado a logística.

¿Qué hace un administrador de las operaciones?

Las actividades que deberá realizar quien desee ejercer la AO son variadas e interdisciplinarias; es por eso que siempre se le ha ligado de manera muy cercana a la ingeniería industrial. Sin embargo, no hay que olvidar que son dos disciplinas diferentes, aunque complementarias. Como se muestra en la figura 6.3, el proceso de transformación de insumos en productos tangibles y/o servicios es complejo y contempla una serie de operaciones; la AO tiene que ver con la administración de esos procesos y buscar la manera de ejecutarlos efectivamente. Por lo anterior, todo ingeniero industrial deberá ser un *buen administrador de las operaciones* y tener conocimiento de las distintas técnicas y beneficios que la aplicación de la AO puede traer a las organizaciones.

Es necesario remarcar que no sólo las empresas con problemas evidentes o que operen en países con economías difíciles deberán revisar de manera exhaustiva sus operaciones y optimizarlas, sino que todo aquel negocio que busque ser realmente rentable y quiera obtener el máximo beneficio de su actividad deberá incorporar una o varias de las prácticas que se describirán en el resto del

presente capítulo. Esta situación debiera ser prioritaria para todas las empresas de los países latinoamericanos (principalmente las PyMEs²⁷ y empresas familiares), por lo que resulta necesario cambiar su ideología de “conformismo” por una de *proactividad*, que busque de manera constante la mejora operacional y del uso de sus recursos. Ese conformismo surge por la naturaleza “noble” de los negocios, es decir, el ingreso generado por las ventas es tal que permite cubrir las necesidades básicas de operación de la empresa (nómina mensual, gastos directos de producción, etcétera) y los costos generados por decisiones erróneas, derivadas principalmente de la falta de planeación y previsión (por ejemplo, contratar de emergencia transportes a un precio más elevado, costos por retrabajos, desperdicios, entre otros); por supuesto, al final se obtienen algunas utilidades, pero los directivos, gerentes y empleados se preguntarán: ¿pudo la empresa haber ganado más si la decisión hubiera sido otra?, ¿qué se puede hacer para reducir esos costos por malas decisiones? Es una verdadera lástima que en muchos negocios no existe una forma de analizar estas cuestiones; es un objetivo del ingeniero industrial buscar que todos los integrantes de una organización se esfuercen al máximo en la toma de mejores decisiones y logren que las ganancias obtenidas sean cada vez mayores.

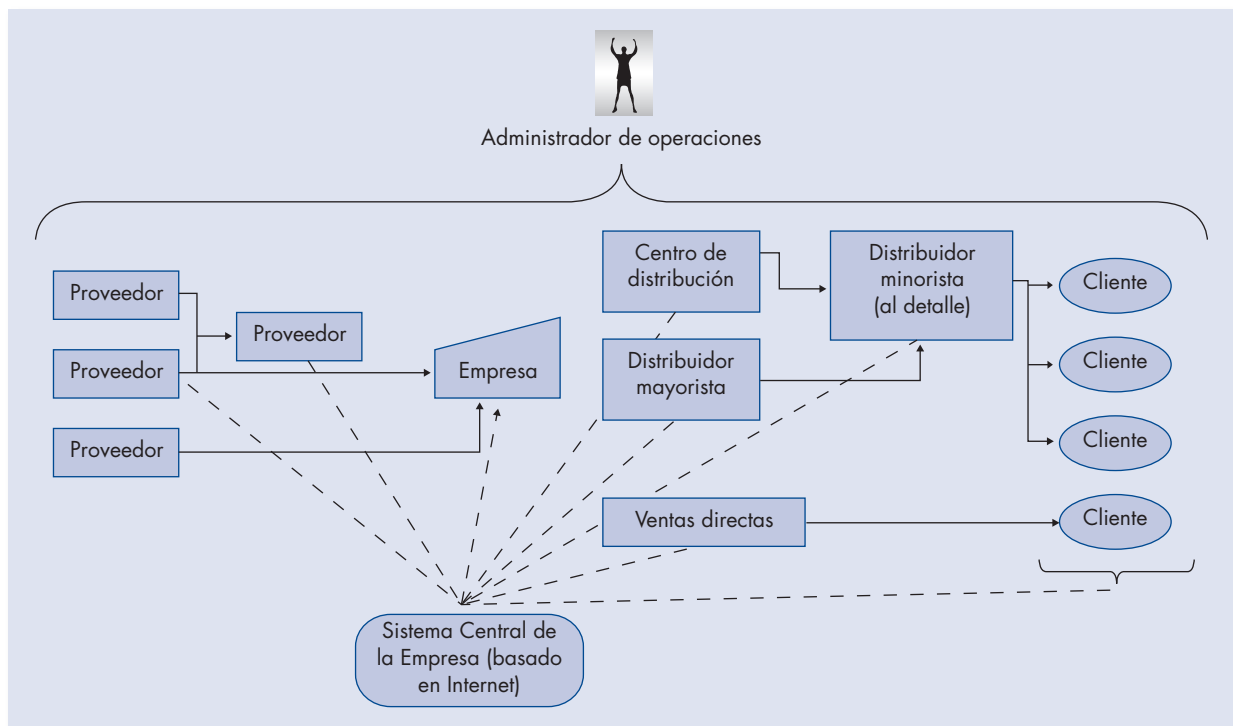


Figura 6.3 El rol del administrador de las operaciones en una empresa.

²⁷ PyME: Pequeña y Mediana Empresa.

Para llevar a la práctica lo anterior, los administradores de operaciones deberán capacitarse en distintas técnicas que serán descritas en el resto del presente capítulo, entender los supuestos que las originaron, conocer sus limitaciones y alcances y encontrar posibles aplicaciones dentro de sus negocios. Pero, ¿cuáles son esas técnicas? Varios especialistas han mencionado los distintos elementos que conforman la AO; a continuación se mencionarán los más representativos, y aunque las opiniones varían, existen coincidencias importantes que serán tomadas como las técnicas esenciales de la AO para efectos de este libro.

El doctor Steven Nahmias, reconocido investigador en el área, en su libro *Análisis de la producción y de las operaciones*, presenta una lista (que parece la más completa) de los principales problemas económicos en los que un ingeniero industrial en su faceta de administrador de las operaciones puede intervenir para la toma de decisiones operacionales dentro de una organización. Éstos son:

1. *Inventarios*
2. *Programación y control de la producción*
3. Selección y reemplazo de equipo
4. Mantenimiento de equipo industrial
5. Dimensiones y localización de las plantas productivas
6. Distribución de plantas (*Layout* de la empresa)
7. Control e inspección de la calidad
8. Logística y/o la administración de la cadena de suministro
9. Manejo y tráfico de materiales
10. Diseño del trabajo

Aunque la capacitación en estas 10 disciplinas es vital en la formación del ingeniero industrial, es importante resaltar que desde el enfoque de la AO, es solamente en las primeras ocho donde se pone de manifiesto la necesidad del uso de métodos analíticos para la obtención de los resultados que propiciarán el logro de los objetivos cuantitativos planteados por una empresa. Por ser un tema de gran importancia en la actualidad, la logística, la calidad y la administración de la cadena de suministro tienen un capítulo especial en la presente obra, al igual que la calidad. Los dos últimos temas, aunque son también muy importantes para la ingeniería industrial y la AO, contemplan una

serie de aspectos cualitativos que serán tratados en otras secciones de la presente obra.

Otros autores²⁸ complementan la lista anterior, mencionando objetivos y conocimientos que deberán poseer los ingenieros industriales en su versión de ejecutivos de la AO:

- a) *Conocer la demanda de los productos y/o servicios requeridos por el cliente.* Esto obliga al administrador de las operaciones a conocer y entender las estrategias de las operaciones como área funcional dentro de determinada empresa, el diseño de productos y procesos, determinar cuál es la mejor localización física para una instalación productiva o auxiliar (plantas, fábricas, almacenes, centros de distribución) y/o sugerir el equipamiento que necesitará, así como la colocación al interior de la misma; además deberá planear su capacidad de producción o procesamiento y realizar pronósticos para poder estimar los niveles de demandas, de ventas, de recursos materiales y de dinero en el futuro próximo.
- b) *Producir dichas cantidades de manera eficiente.* Para esto se requerirá que el responsable tenga conocimiento de modelos matemáticos básicos así como de programación lineal,²⁹ en los que fundamente sus decisiones. También deberá estar al tanto de modelos de *planeación agregada*, control de los inventarios, gestión de proyectos, análisis de puntos de equilibrio, teoría de filas de espera, curvas de aprendizaje y análisis de costo-beneficio (todas estas técnicas se explicarán con mayor detalle más adelante).
- c) *Producir con niveles razonables de calidad.* La persona encargada de administrar las operaciones en una empresa, requerirá tener el conocimiento de técnicas para controlar y asegurar que los productos y/o servicios se hagan con calidad. Una de las prácticas más difundidas es, quizás, la administración de la calidad total (TQM), aunque existen otras herramientas estadísticas similares.
- d) *Producir teniendo en cuenta los efectos en el medio ambiente.* Para ello, el administrador tendrá que revisar y conocer las reglas de protección ambiental emitidas por organismos locales e internacionales, como la EPA (Environmental Protection

²⁸ Véase Mansour (2003) y Chase, *et al.* (2006).

²⁹ Programación lineal: Una de las técnicas básicas de la investigación operativa que trata de describir el comportamiento de una serie de factores por medio de relaciones lineales entre sus variables, y que se basa en ellas para encontrar las mejores soluciones a objetivos económicos, restringidos, principalmente, por la escasez o ausencia de recursos.

Agency, Agencia de Protección del Ambiente de Estados Unidos de América), incluyendo regulaciones sobre la calidad del aire y las emisiones que realizan las industrias, así como las partículas tóxicas en el agua, etcétera.

Deberá ser claro para el interesado en estudiar ingeniería industrial y que quiera especializarse en la AO, que al obtener su diploma o título universitario habrá revisado la gran mayoría de estos aspectos a nivel básico; al igual que en muchas otras profesiones, el ingeniero industrial tendrá que continuar capacitándose y profundizar en la técnica o área que le parezca más interesante a lo largo de su vida profesional. De las actividades señaladas, el practicante deberá, primero, aprender los fundamentos, lo que le permitirá la construcción de aplicaciones más complejas, que, a su vez, le servirán para resolver situaciones problemáticas reales en las empresas. La figura 6.4 intenta explicar este fenómeno.

Para finalizar esta sección, se debe resaltar que el gerente de operaciones se desarrollará en un medio en el que todos estos conocimientos se verán masivamente integrados gracias a las tecnologías de información y al poder de cómputo, que seguirán evolucionando en los años venideros. Estas tecnologías ya son una realidad, pero estarán tan avanzadas y serán tan comunes al momento en que los lectores comiencen su vida profesional, que el aumento en la complejidad de las operaciones y la incorporación de modelos matemáticos en los sistemas, afectarán la vida cotidiana de las personas y de las organizaciones. Será su responsabilidad conocer y capacitarse lo mejor posible para poder convivir en ese mundo demandante, poder entender, utilizar y diseñar esos sistemas avanzados, evitando que Latinoamérica siga siendo sólo consumidor de tecnología creada en otros países y que dichos sistemas se conviertan en "cajas negras" a las cuales el usuario sólo introduce datos y obtiene resultados sin saber, a ciencia cierta, qué

sucede al interior de esos sistemas. En las secciones subsecuentes se brindará una explicación detallada de cada una de las actividades principales que conforman la AO.

Las operaciones como una estrategia competitiva

Como se ha explicado, las operaciones son una de las áreas funcionales de una empresa y de las más relevantes para la actividad del ingeniero industrial. Sin embargo, el ingeniero administrador de las operaciones no se guiará totalmente por su cuenta al momento de tomar decisiones; lo más adecuado es que cumpla los objetivos de la empresa para la cual trabaja apoyándose en las estrategias del negocio. Éstas marcan el rumbo de las organizaciones y definen el tipo de decisiones que deben tomar todos los integrantes de la empresa, incluyendo, por supuesto, aquellos que tienen que ver con la AO.

De manera genérica, una estrategia puede considerarse como la forma en que las organizaciones manejan sus recursos para alcanzar sus objetivos planteados; dichos objetivos, por lo común, se encuentran establecidos en enunciados conocidos como la visión y misión de la firma. La visión es la filosofía que da origen y sustento a una compañía, su razón de ser y la dirección que seguirá; cuando una visión se articula, es decir, se expresa con palabras, se transforma en una misión. Con las misiones, los dirigentes de una organización comparten la visión con el resto de los integrantes de la empresa para que la hagan propia y busquen cumplirla todos en conjunto. Para ejemplificar, a continuación se muestra la misión de la empresa mexicana productora de cementos CEMEX, que dice:

"... servir las necesidades globales de construcción y crear valor para nuestros inversionistas convirtiéndonos en la cementera más eficiente y redituable del mundo".

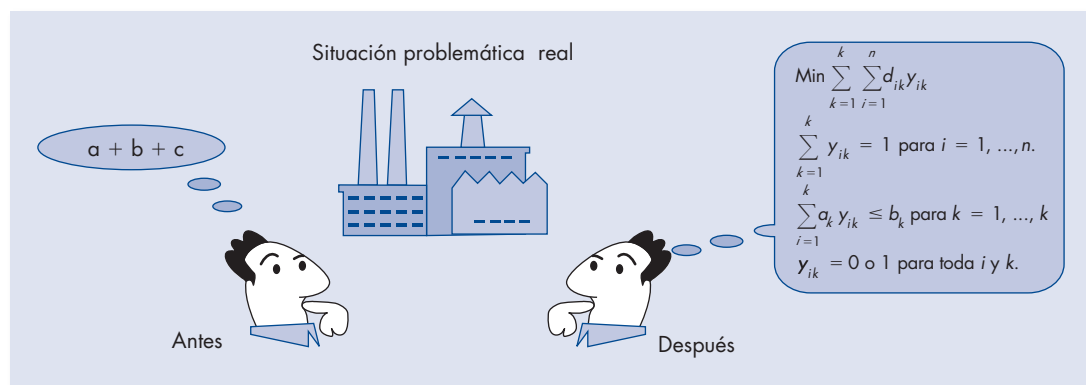


Figura 6.4 El gerente de operaciones construye modelos complejos basándose en los modelos básicos.

Otro ejemplo es la misión del líder cervecero en México, Grupo Modelo, que establece:

“... fabricar, distribuir y vender cerveza de calidad, a un precio competitivo, optimizando recursos y rebasando las expectativas del cliente, para contribuir al desarrollo económico y social del país”.

Como puede apreciarse, ambos enunciados describen clara y directamente los objetivos que persiguen estas empresas; esto es muy importante, pues la formulación de misiones entendibles y concretas es el primer paso para determinar estrategias coherentes de negocio, sin importar que la organización ofrezca cemento, cerveza, boletos de avión, comida rápida, etcétera. La definición de las estrategias de negocio debe incluir cuatro aspectos fundamentales:

- El mercado en el cual se competirá.
- El nivel de inversión³⁰ que se tendrá.
- Los medios para la asignación de los recursos.
- Las estrategias de las áreas funcionales (mercadotecnia, finanzas y, por supuesto, de las operaciones).

La importancia de realizar un análisis del mercado en el cual competirá la empresa radica en que existen muchas y diversas presiones del ambiente competitivo que prevalece en la actualidad, originadas principalmente por un rápido cambio de las condiciones de consumo y demanda. Estos cambios se deben, entre otras cosas a:

- *Diversidad de requerimientos del cliente en mercados globales.* En la actualidad, los negocios no sólo compiten de manera local sino global. Esto los obliga a diseñar y ofrecer productos y/o servicios encaminados a satisfacer las necesidades de clientes con gustos tan diversos como los europeos, asiáticos o del Medio Oriente.
- *Demanda de personalización masiva y más variedad de productos.* Esta misma diversidad en los requerimientos puede entenderse como una tendencia hacia la individualización de los productos, es decir, las compañías deberán ofrecer una variedad interesante de artículos o valores agregados en ellos, de entre los cuales el cliente puede elegir el que más se adapte a sus necesidades.

Un ejemplo concreto es la empresa Nike®, la cual cuenta con una página web³¹ desde la cual los consumidores pueden ordenar productos que ellos mismos adaptan, cambiando y combinando colores, formas y tamaños, imprimiendo su sello personal o seleccionando los materiales con los que se fabrican.

- *Ciclos de vida de los productos cada vez más cortos.* Como si se tratara de seres vivos, los productos, al ser entes dinámicos, también presentan un ciclo de vida (véase figura 6.5). No obstante, la duración de este ciclo es cada vez más corta debido a que las necesidades de los clientes van evolucionando y variando conforme pasa el tiempo, resultado de una mayor diversificación en la oferta y la información con la que cuentan los consumidores en la actualidad.
- *Necesidad de flexibilidad y reducción de tiempos de entrega a los clientes.* Cliente es desde la persona que consume una cerveza hasta la compañía que adquiere turbinas para el armado de aviones. Las demandas de estos clientes pueden ser tan diversas que las compañías están obligadas a ser flexibles. Esto les permite adaptarse fácil y rápidamente a las condiciones externas y ser capaces de responder a los requerimientos de los clientes. La exigencia más común es la rapidez de entrega de un producto, pero debe pensarse también en poder satisfacer diseños especiales, tolerancias complicadas, especificaciones minuciosas, etcétera. La flexibilidad acrecentará las posibilidades de éxito en la negociación de contratos y, por ende, el crecimiento de las empresas, pero no hay que olvidar que exigirá también más trabajo, porque las operaciones son mucho más complejas. La tarea del ingeniero industrial es preguntarse y responder: ¿cómo puede la empresa adaptarse más fácil y rápidamente?
- *Ciclos más pequeños para innovar y desarrollar productos.* Con todo lo anterior, es evidente que las firmas necesitan poseer métodos de trabajo que permitan la concepción y obtención de bienes y/o servicios de una manera ágil. Una organización puede tener la capacidad de generar excelentes productos, pero si no lo hace en los tiempos demandados por los consumidores es

³⁰ Esto es la cantidad de recurso económico (dinero) de la cual se dispondrá para iniciar o continuar un negocio y que es resultado de acuerdos con inversionistas y la búsqueda de financiamientos bancarios privados o públicos.

³¹ Véase: <http://nikeid.nike.com/>

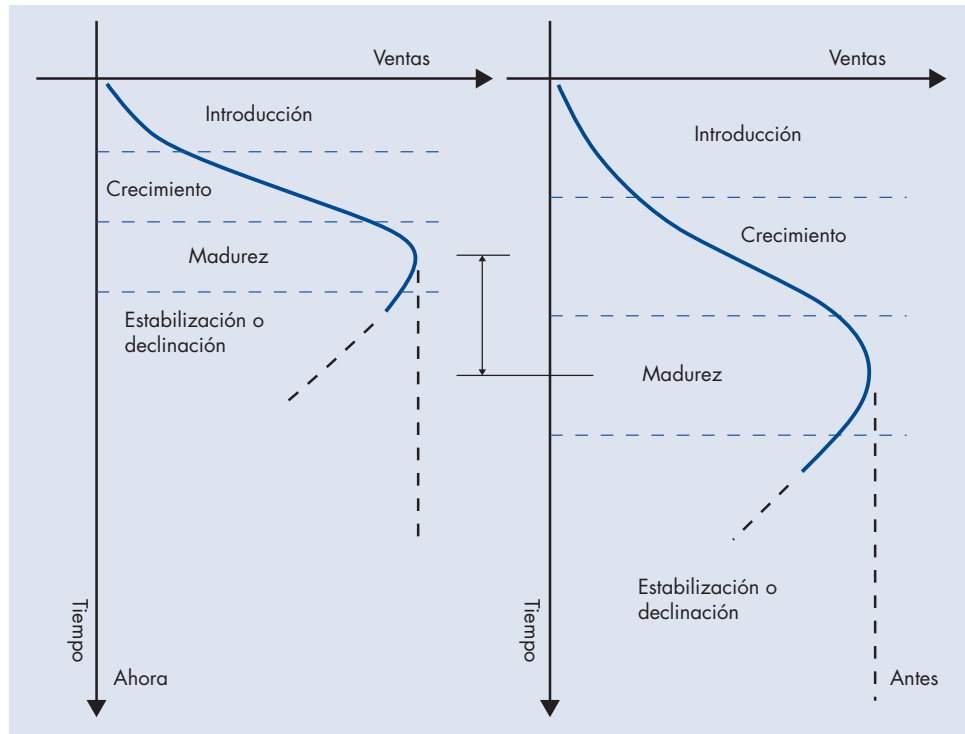


Figura 6.5 El ciclo de vida de los productos y su duración más corta en la actualidad.

muy probable que pierda la oportunidad de negocio ante otra empresa que sí se haya preparado en este aspecto.

- *El inventario se convierte en un riesgo.* Con las condiciones tan dinámicas de la actualidad, existe el peligro de que la mercancía que se encuentra almacenada caduque (pase de moda) rápidamente, se haga obsoleta o sea incluso objeto de algún siniestro (robo, terrorismo, etcétera). Estos riesgos representan altos costos (seguros, impuestos, almacenaje) y los administradores de las

operaciones tienen la obligación de minimizarlos a toda costa.

Es probable que el lector se pregunte: ¿cuál es, entonces, la relación entre la estrategia general de la empresa con las estrategias de operaciones? La respuesta es que las segundas son la versión más “aterrizada” de las primeras y, a su vez, las guías para la formulación de planes y programas mucho más detallados; para explicar esto, la figura 6.6 intenta describir la relación entre estos dos tipos de estrategias.

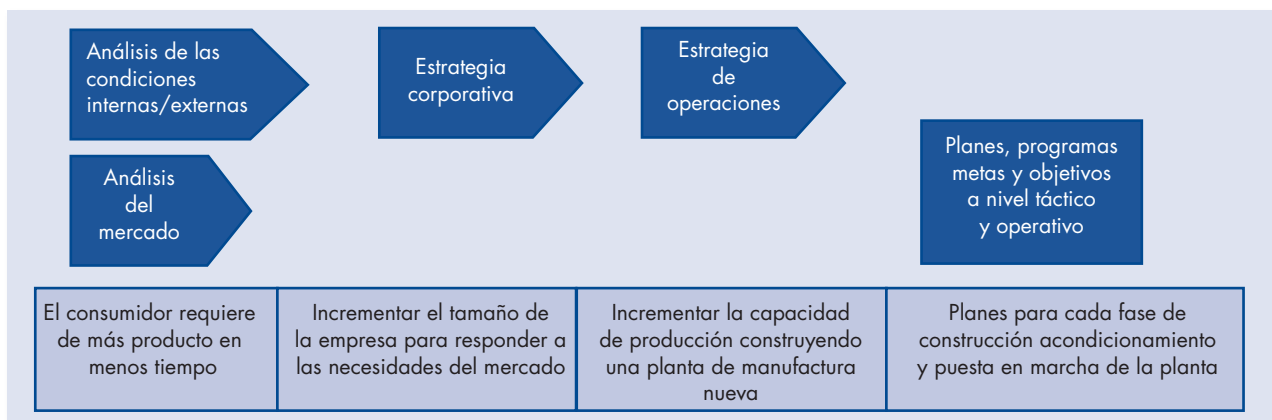


Figura 6.6 Relación entre la estrategia corporativa y la de operaciones.

Las estrategias de operaciones se sujetarán a un marco de referencia, el cual contendrá las dimensiones competitivas que servirán para posicionar³² a una empresa y valorar la efectividad de las estrategias. Las dimensiones más importantes para las estrategias de operaciones son:

- a) *Costo y precio.* En lo referente al precio y costo del producto, la estrategia posicionarán a la firma como una empresa preocupada por mantener costos bajos o una que se diferencie³³ del resto. El ejemplo más común de una organización que busca siempre ofrecer los precios más bajos a sus clientes es Wal-Mart; por el contrario, la empresa Mercedes-Benz es un buen ejemplo de una empresa que busca la diferenciación en todos los sentidos, al ofrecer productos (automóviles en este caso) que se distinguen por su apariencia, desempeño y beneficios adicionales. Aunque ya se mencionó que mantener costos de operación reducidos es algo prioritario para la mayoría de los negocios, la práctica latinoamericana permite ver que la visión y las prioridades se enfocan más a brindar niveles de servicio³⁴ aceptables al cliente, sin importar caer de manera ocasional en excesos de costo. Esta forma de trabajar es válida sólo si las empresas (sus administradores) tienen definido de manera clara que éste es el camino que desean seguir y que pueden vivir con las consecuencias que esta práctica tendrá en los costos totales, de otro modo deberán corregir su desempeño.
- b) *La calidad.* La estrategia corporativa, y por ende la de operaciones, debe indicar cuál es la perspectiva del negocio respecto de la calidad. El problema, como ya se dijo, es que calidad tiene varios significados en distintos contextos; en resumen, se dice que es el grado en que un producto y/o servicio cumple con las expectativas del usuario. Artículos sencillos y complicados pueden realizar correcta o incorrectamente la tarea para la cual fueron diseñados; por ejemplo, al analizar el caso de los

teléfonos móviles (celulares), una empresa que se dedique a fabricarlos o comercializarlos se dará cuenta de que la palabra calidad para un padre de familia significará que el aparato sea económico, fácil de operar, posea una agenda básica (nombre del contacto y número), se escuche nítidamente y tenga un teclado cómodo para la vista; por el contrario, para el hijo adolescente del mismo padre de familia, será imprescindible que el móvil cuente, además, con cámara digital de alta resolución, tenga diseños y colores de moda, reproduzca música digital, sea interactivo con Internet y acceso a las redes sociales. Los administradores de las operaciones deberán, entonces, diseñar, manufacturar y/o vender productos que satisfagan y rebasen todas estas expectativas. En el capítulo que trata la calidad se detalla el concepto con más profundidad.

- c) *Velocidad y confiabilidad de entrega.* La certeza y rapidez de una entrega es considerada un punto superior frente a la competencia. Existen organizaciones que fundamentan por completo sus estrategias de operaciones en esta dimensión, por ejemplo, Domino's Pizza, FedEx, UPS, etcétera. Además, con el concepto de cadena de suministro en boga, las firmas dedicadas a la subcontratación³⁵ de actividades se están enfocando también en esta dimensión. Un proveedor 100% confiable y rápido será preferido y solicitado a pesar de que el costo de sus servicios pueda ser más alto que el del resto.
- d) *Flexibilidad.* Ya se explicó con anterioridad que ésta es una de las causas de cambio en el comportamiento del mercado. El verdadero reto que presenta esta dimensión es que el administrador de las operaciones tiene que prepararse para responder lo más rápidamente posible a los cambios impredecibles en las exigencias de los consumidores.

³² Posicionar una empresa: hacerla diferente del resto de su competencia.

³³ Diferenciar, como estrategia, significa que la empresa proporcionará un producto de alto precio, pero que será percibido por el usuario como uno de alto valor y calidad. Un producto que podrá ser adquirido al tener cierto ingreso económico, por lo que brindará un estatus a quien lo utiliza.

³⁴ Nivel de servicio es el grado de cumplimiento de una empresa a sus clientes. Ejemplo: una empresa tiene un porcentaje de entregas correctas de 98% (98 de cada 100 se entregan sin dificultades).

³⁵ Subcontratación, conocida también como maquila, tercerización u *outsourcing*, hace referencia a una empresa que contrata a otra especializada en algún tipo de actividad (ensamble, almacenaje, transporte, distribución, etc.) para que efectúe las operaciones de la primera, liberándola de tareas que no son la parte central del negocio. En el caso de subcontratación de servicios logísticos, estas empresas se denominan 3PL (Third Party Logistics).

El gerente de operaciones determinará cuál o cuáles de las dimensiones mencionadas anteriormente tendrá(n) mayor relevancia para las estrategias de su organización; después, analizará la capacidad de la empresa para lograrlas. En este análisis, deberá enfocarse en las fortalezas de las operaciones de su negocio y reportar sus conclusiones sobre el estado de los siguientes puntos:

- ¿La empresa realiza investigación y desarrollo?³⁶
- ¿Qué tecnología utiliza la empresa?, ¿es actual?
- ¿Cómo están conformados los sistemas (organizacionales y de información)?
- ¿Cuál es la situación del recurso humano?
- ¿Cómo se distribuyen los artículos producidos?

Todo lo anterior deberá estar sustentado y avalado por las directrices marcadas por las áreas de finanzas, recursos humanos y de informática (tecnologías de información) de la empresa. En el caso de que la situación actual no fuera la mejor para cumplir con lo que se ha puesto como objetivo, el administrador propondrá los cambios, las adiciones y las modificaciones necesarias (las estrategias) y la forma en que se medirá el desempeño de las mismas. La figura 6.7 resume los pasos descritos para la conformación del marco de referencia para las estrategias de las operaciones en una empresa.

Como ya se mencionó, las dimensiones descritas también servirán para realizar una evaluación del desempeño de las estrategias. Esto significa que el ingeniero industrial-administrador de las operaciones tenga herramientas para medir los beneficios obtenidos al efectuarlas. Existen varias formas de llevar a cabo esta valoración; sin embargo, utilizar el concepto de productividad puede ayudar en esta tarea. La productividad ya ha sido discutida ampliamente en el capítulo 4 de este libro, por lo que aquí sólo se hará referencia a la definición básica del término: “una medida que permite conocer qué tan bien se han utilizado los recursos de una empresa”. Su fórmula elemental dice que habrá que dividir los resultados obtenidos sobre los recursos utilizados (insumos) para obtener esos resultados.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Resultados}}{\text{Insumos}}$$

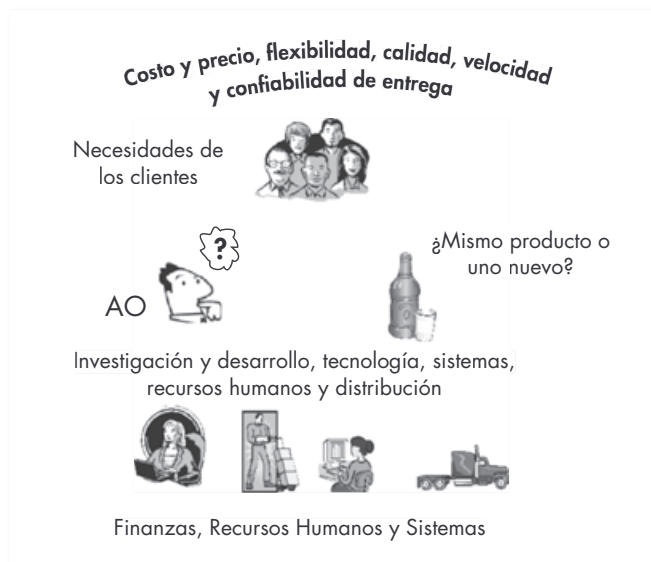


Figura 6.7 El marco de referencia para las estrategias de operaciones y las capacidades de la empresa.

Por ejemplo, suponga que la empresa a la que hace referencia la figura 6.6 obtuvo, antes de la construcción de la nueva planta de producción, utilidades netas por \$90 000 y dedicaba \$10 000 para cubrir los gastos que, por concepto de mano de obra, capital, materiales y energía, se habían generado; de acuerdo con la fórmula anterior, el índice de productividad de esta compañía fue de 9; nótese que este resultado es adimensional y que por sí solo no da una idea clara de lo que sucede con la organización. Para que un índice de productividad tenga sentido, éste debe ser comparado contra otro calculado en condiciones similares. Suponga, ahora, que la misma empresa, después de la construcción y puesta en marcha de la planta, obtiene utilidades netas por \$180 000, pero los gastos ascienden a \$18 000; el nuevo índice de productividad es de 10, por lo que comparado con el resultado anterior se puede, entonces, deducir que existió un aumento en la productividad. En un análisis preliminar *a priori*,³⁷ la estrategia de operaciones planteada y ejecutada fue benéfica para esta empresa.

Para concluir, es necesario mencionar que a lo largo de la historia se han propuesto diversas corrientes y metodologías para el planteamiento de las estrategias

³⁶ Investigación y desarrollo es un área de los negocios también conocida como R&D (Research and Development) que se encarga de la continua indagación sobre nuevos materiales, productos y técnicas que permitirán a una empresa obtener más beneficios al tener productos innovadores. Uno de los casos más claros es el de las compañías farmacéuticas que dedican gran parte de sus ingresos a la constante búsqueda de nuevas y mejores formulaciones, las cuales les permitan apoderarse del mercado. Desafortunadamente, empresas con este tipo de actividades son pocas en Latinoamérica.

³⁷ Inicial, preliminar.

corporativas y de operaciones de las empresas; la que se ha mostrado aquí es sólo una que pudiera servir a quien se inicie en el estudio de la ingeniería industrial, en el entendimiento de la complejidad y la cantidad de trabajo necesarios para la obtención de estrategias coherentes y útiles. Entre las propuestas mencionadas, una que ha causado gran controversia desde su publicación es la de *reingeniería de procesos*;³⁸ en ella, los autores utilizan el principio fundamental de los ingenieros industriales: *cada proceso, método y actividad pueden ser mejorados mediante su análisis*, buscando así el perfeccionamiento de las operaciones en las empresas. Los dirigentes de una firma deben preguntarse por qué realizan sus actividades de determinada manera, y no deberán conformarse hasta encontrar que la actividad tiene sentido y aporta valor a la organización; si no hay justificación de la tarea, se procede a evaluar su posible eliminación. Hammer y Champy hacen hincapié en los siguientes principios para el análisis de las operaciones dentro de una corporación:

- Siempre existe la posibilidad de combinar distintas tareas en una sola.
- El trabajador debe estar lo suficientemente capacitado y tener la autoridad necesaria para que tome decisiones correctas por su cuenta.
- Para todo proceso debe existir un orden natural de las actividades que lo conforman.
- Todos los procesos pueden tener distintas versiones.
- Las actividades deben realizarse sólo si encuentran justificación.

Desafortunadamente, esta corriente ha sido mal interpretada por algunos de sus seguidores y ha servido para justificar despidos masivos en distintas empresas de varios

países. Es por eso que el ingeniero industrial debe conocer a detalle ésta y otras iniciativas estratégicas propuestas y auxiliarse en el procedimiento descrito anteriormente, para tener, entonces, una guía que le permita definir la forma de trabajo que mejor se adapte a sus necesidades. Con base en ello, podrá establecer estrategias de operaciones efectivas que verdaderamente busquen el cumplimiento de los objetivos corporativos de la empresa en la que labora.

Administración de proyectos

Una de las tareas fundamentales de los administradores de las operaciones es la gestión de los proyectos (AP), también conocida como *Project Management*. Un proyecto es una serie de operaciones (tareas) relacionadas que persiguen una finalidad en común y que están restringidas en el tiempo disponible para efectuarlas. Ejemplos de proyectos pueden ser: la construcción o expansión de una planta de manufactura, el diseño de un producto nuevo, la implementación de un nuevo sistema informático para agilizar la toma de decisiones, etcétera. A partir de la Segunda Guerra Mundial, la AP tomó importancia científica, ya que los proyectos aumentaron de manera considerable en su número de tareas a ejecutar, los recursos y las áreas funcionales participantes y en las restricciones de tiempo a las que estuvieron sujetos; en pocas palabras, acrecentaron enormemente su complejidad. Esto llevó a varios investigadores a crear una serie de técnicas que permitieran planear, dirigir y controlar los recursos (principalmente personal, equipo y materiales) para satisfacer ciertas restricciones técnicas de costo y tiempo de los proyectos de una organización.³⁹

Para administrar un proyecto, el ingeniero industrial a cargo (a quien se le asigna comúnmente el título de director o líder del proyecto) deberá realizar las actividades mostradas en la figura 6.8.

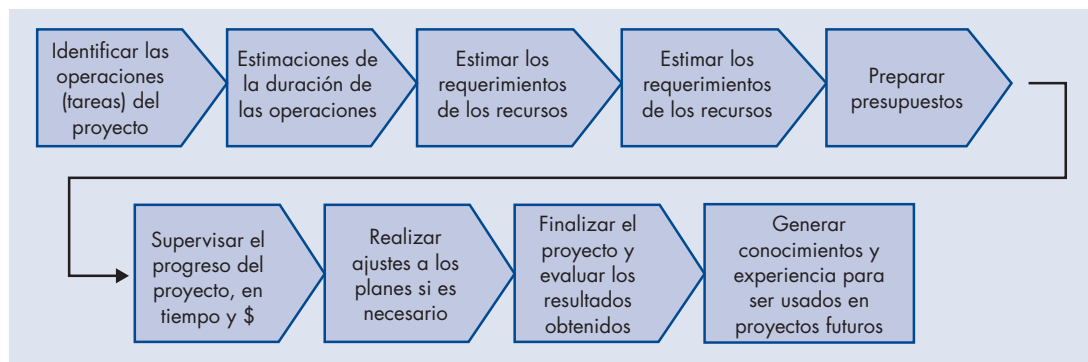


Figura 6.8 Proceso de la administración de proyectos.

³⁸ Conocida también como BPR (Business Process Reengineering, por sus siglas en inglés), fue publicada en 1993 por Hammer y Champy.

³⁹ Véase Chase, *et al.* (2006).

El primer paso consiste en dividir el proyecto en sus elementos básicos (operaciones o tareas) y que se necesitarán para lograr el objetivo final; es necesario identificar claramente el inicio y el fin de cada tarea, para determinar dos cosas: el tiempo aproximado que tomará su ejecución, y basado en este tiempo, una estimación del resto de los recursos necesarios (personal, equipo y materiales). Con esta información, el director del proyecto será capaz de preparar presupuestos⁴⁰ que le permitirán evaluar la cantidad de recursos expresados en términos de dinero y que él espera emplear en la ejecución de todo el plan. Al comenzar el proyecto, será responsabilidad del administrador supervisar en forma estricta su progreso de acuerdo con lo planeado, especialmente en lo referente al dinero, pues ésta no es una actividad muy frecuente en la administración de proyectos en Latinoamérica. En el caso de existir desviaciones en los planes, se tendrán que realizar los ajustes necesarios para corregir el camino. Una vez finalizado el proyecto, el director hará entrega de los resultados al usuario final, explicando y justificando las desviaciones presentadas, si existiesen, y deberá proceder al análisis del desempeño de todo el equipo en la ejecución. Todo el conocimiento y las experiencias ganadas serán estudiados y estructurados de tal manera que sean útiles en responsabilidades futuras.

El caso de proyectos de desarrollo e implementación⁴¹ de sistemas informáticos es un ejemplo muy común de la gestión de proyectos. Las empresas dedicadas a esta actividad desarrollan metodologías propias en las que un gran número de las tareas tienden a identificar aspectos críticos para adaptar dichos sistemas a los procesos de negocio de las empresas y, entonces, lograr proyectos exitosos. Éste es el caso de la instalación y puesta en marcha de Sistemas de Administración de Almacenes y Centros de Distribución (WMS, por sus siglas en inglés),⁴² donde el autor ha tenido un gran número de experiencias. Un ejemplo de las fases

de implementación de proyectos de este tipo de software se presenta en la figura 6.9.

Organización del recurso humano

Todo lo que se ha comentado hasta ahora requiere del trabajo y la participación de seres humanos, por lo que una de las tareas fundamentales para asegurar el éxito al administrar un proyecto es organizar al recurso humano; esto puede hacerse de varias formas, algunas son: organización como proyecto "puro", funcional y en matriz:

- *Proyecto puro.* Éste es, quizá, la forma más común de organización, su característica distintiva es que el equipo trabajará como un organismo autónomo de la empresa, ya que los integrantes pueden ser externos a la organización, contratados exclusivamente para el proyecto, o en el caso de formarse a partir de integrantes de la compañía, éstos deberán apartarse de manera temporal de sus actividades y dedicarse únicamente al desarrollo del proyecto. Con este tipo de estructura, el gerente del proyecto tendrá autoridad plena sobre los integrantes del equipo, las líneas de comunicación se acortan y se puede ocasionar alta motivación, compromiso y orgullo de equipo. Pero, una desventaja es que mediante su uso es factible que se generen duplicidades de funciones, que el equipo no respete las políticas de la empresa y que los integrantes del equipo se sientan aislados, pues no pertenecerán a un área específica.
- *Proyecto funcional.* Se denomina de esta manera porque el proyecto pertenece a un área funcional dentro de la empresa. Así, encontramos proyectos del área de manufactura, de calidad, de mercadotecnia, etcétera. Con esta forma de organización,

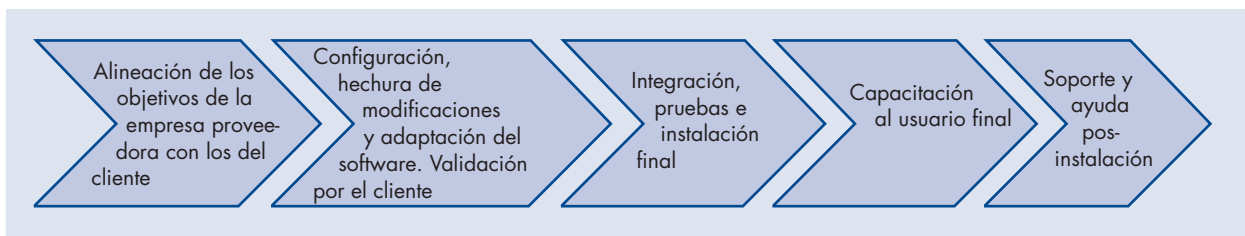


Figura 6.9 Fases de un proyecto de implementación de software, caso WMS.

⁴⁰ Presupuesto es la planeación y asignación de los recursos monetarios necesarios para llevar a cabo una tarea.

⁴¹ Implementación se refiere a la instalación y puesta en marcha de algún tipo de software o herramienta informática diseñada con un fin específico en alguna empresa.

⁴² WMS: Warehouse Management System.

una persona puede trabajar en distintos proyectos a la vez; si la información es confidencial, ésta no se distribuye fuera del departamento al que pertenece; los empleados trabajan en un área específica, lo que les da sentido de pertenencia y se crea un ambiente de especialización bastante fuerte. La desventaja: este enfoque en el área funcional hace que aspectos no relacionados directamente con ésta no sean tratados con la debida importancia y profundidad, además de que, por lo general, la motivación de los miembros del equipo es débil.

- **Estructura en matriz.** Quizás es la forma más adecuada de organizar a los recursos humanos de un proyecto, pues toma los aspectos positivos de las otras dos formas de organización. Los administradores de distintos proyectos así como el resto de los participantes provienen de diferentes áreas funcionales de la compañía, lo que permite una comunicación mejorada interdepartamental; la duplicidad de funciones se minimiza y los participantes tienen sentido de pertenencia, pues no dejan de trabajar para su área funcional sino que lo hacen a la par con las actividades del proyecto, cumpliendo las políticas y los lineamientos de la firma. La desventaja de esta forma de estructura es que los recursos humanos suelen tener varias personas a quienes reportar (muchos jefes), y dependerá de ellos y sus habilidades de negociación para liderar efectivamente al personal. Esto nos indica que existe un riesgo importante de subu-

tilización de los recursos, por lo que los objetivos y medios de control deberán pensarse muy bien antes de elegir esta estructura. La figura 6.10 ilustra estos tipos de organización para un proyecto.

Control de proyectos

Existen varias formas de administrar y controlar las fases de un proyecto, la más común es por medio de su representación gráfica. La más sencilla es quizá la gráfica de Gantt;⁴³ en este diagrama (véase la figura 6.11), el administrador de proyectos coloca en el eje vertical las actividades, las tareas y los trabajos que conforman un proyecto; en el eje horizontal dibuja una escala de tiempo adecuada (horas, días, semanas, etcétera). Por medio de barras horizontales, representa el tiempo que espera dure cada actividad. Ésta es una forma fácil de observar las relaciones entre las distintas actividades y saber si algunas necesitan que finalicen otras para ser comenzadas (a esto se le conoce como reglas de precedencia). Además, el ingeniero industrial puede observar fácilmente la duración completa estimada del proyecto, llevar un control del avance del mismo y tomar acciones correctivas en el caso de que por alguna razón comience con retrasos al terminar cierta actividad. Anteriormente, la gráfica de Gantt se dibujaba sobre papel y se colocaba en algún lugar visible de modo que los participantes del proyecto pudieran observar el avance y realizar las anotaciones y/o correcciones sobre el mismo. En la actualidad, la práctica de colocar una impresión del gráfico no ha cambiado, pero sí las herramientas utilizadas para su realización.

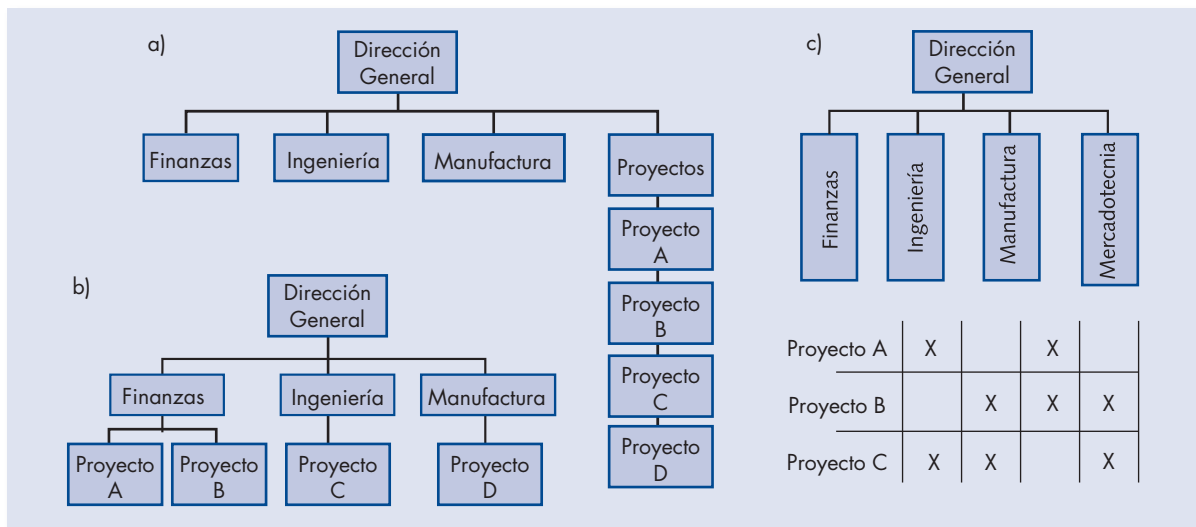


Figura 6.10 Tipos de organización de proyectos: a) puro, b) funcional y c) matriz.

⁴³ Inventada por Henry Gantt durante la Primera Guerra Mundial.

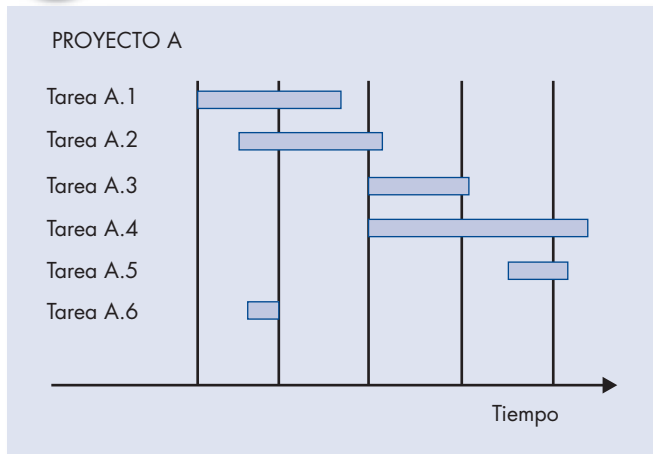


Figura 6.11 Gráfica de Gantt para control de proyectos.

Cuando se desee representar con mayor detalle la estructura de uno o varios proyectos a la vez, es decir, mostrar la jerarquía de las tareas, subtareas y paquetes de trabajo que serán ejecutados, la gráfica de Gantt cambia a una gráfica de “estructura detallada” de proyectos; la figura 6.12 muestra un ejemplo de esta representación.

Otra forma bastante recurrente para la representación de proyectos es por medio de redes. Las redes son un conjunto de nodos y arcos (circunferencias y flechas) que simbolizan las tareas que conforman un proyecto, sus tiempos de inicio y terminación, así como las relaciones entre ellas. La ventaja de representar un proyecto como una red radica en que se han desarrollado distintas técnicas de análisis para poder responder a las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el tiempo mínimo necesario para finalizar un proyecto?

- ¿Cuál es la mejor programación para iniciar y terminar una actividad?
- ¿Qué actividades podrían retrasarse sin afectar la terminación de *todo* el proyecto?

En la figura 6.13 puede observarse un ejemplo de representación de proyectos por medio de redes. Dentro de cada nodo se encuentra la identificación de cada actividad o tarea y sobre los arcos las duraciones de las mismas; a esta forma de representación se le conoce como actividad en nodos. El lector podrá observar que existen varios caminos (dos en este caso) para recorrer de principio a fin las actividades necesarias de una red; sin embargo, siempre habrá un camino más largo que los demás, es decir una ruta que tome el tiempo más largo para completarse; a ésta se lo conoce como la ruta crítica. Este trayecto permite conocer información básica sobre la programación de las tareas dentro de un proyecto, responder las preguntas planteadas con anterioridad y administrar un proyecto de manera adecuada. La técnica que permite identificar dichos caminos se conoce como Método de Ruta Crítica (CPM, por sus siglas en inglés).⁴⁴

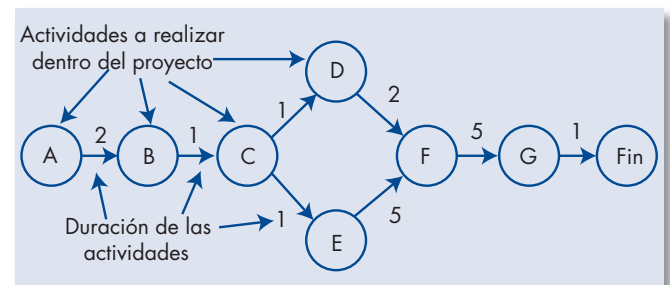


Figura 6.13 Ejemplo de una red con actividades en nodos para representar un proyecto.

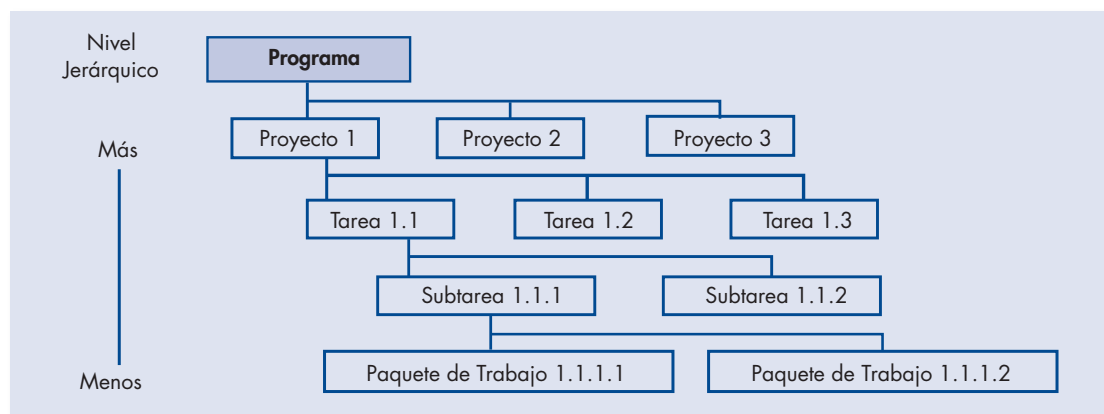


Figura 6.12 Gráfica de estructura detallada de proyectos.

⁴⁴ Critical Path Method.

Determinación de CPM

El CPM tiene tres variantes: con estimación única de tiempos, con tres estimaciones de tiempos y los modelos de tiempo-costo.

- El CPM con estimación única se utiliza cuando la duración de una actividad es conocida con seguridad. En éste se determinarán estimados de la duración del proyecto de cada una de las actividades y las holguras permitidas.
- El CPM con tres estimaciones se usa cuando no se tiene certeza de la duración de las actividades, por lo que es necesario el uso de escenarios (optimista, medio y pesimista) asignandos a cada uno una probabilidad de ocurrir.
- Los modelos de tiempo-costo se emplean cuando el costo del proyecto es el factor determinante en la planeación del mismo. Para su correcta aplicación se efectúan negociaciones para reducir el costo total del proyecto con la condición de terminarlo en el menor tiempo posible.

Para determinar el CPM con una sola estimación del tiempo se deben seguir estos pasos:

- Identificar las actividades y tareas del proyecto.
- Identificar las secuencias de las actividades (precedencias).
- Construir la red.
- Determinar la ruta crítica.

Para ejemplificar, supóngase que se tiene que cumplir con un proyecto escolar. Para ello se han identificado las tareas siguientes, la duración en tiempo de las mismas y sus precedencias:

La figura corresponde exactamente al ejemplo de red mostrado en la figura 6.13. Se procede, entonces, a determinar los tiempos de "inicio adelantado", de "finalización adelantada" (IA y FA) y los tiempos de inicio y finalización "tardíos" (IT y FT) para cada actividad. A fin de entender a qué se refieren estos tiempos se procede al cálculo: en los primeros, deberá comenzarse en la actividad A con un tiempo de inicio adelantado igual a cero, su tiempo de finalización adelantada será simplemente el tiempo necesario para completar la tarea ($0 + 2 = 2$ días); este resultado sirve como el tiempo de inicio adelantado para la actividad 3 y se repite el procedimiento recorriendo la red hasta su terminación. Nótese que para calcular el tiempo de inicio adelantado para la actividad F se deberán considerar los tiempos de inicio adelantado de las dos tareas que le preceden (D y E), seleccionando el mayor (9 días correspondientes a la realización de la actividad E); de no ser así, la actividad E no tendría tiempo suficiente para realizarse y, por ende, la actividad F no podría iniciarse. Para determinar los tiempos tardíos (los que llevan mayor tiempo), el tiempo de finalización adelantado de la última actividad corresponderá también al tiempo de finalización tardío del proyecto, la inicialización tardía de la tarea G se calcula restando su tiempo de ejecución ($15 - 1 = 14$ días). Ahora se deberá tener cuidado al calcular el tiempo de finalización tardía de actividades con precedencia múltiple (actividad C); para calcular el tiempo de finalización tardía de esta actividad, se deberá elegir el menor tiempo de inicio tardío de las actividades precedentes (D y E). El proceso se repite hacia atrás en la red, hasta llegar a la primer actividad. Los resultados se muestran en la figura 6.14.

La ruta crítica para este ejemplo tiene una duración de 15 días y está conformada por el camino compuesto por las actividades A, B, C, E, F y G (véase figura 6.15). El ingeniero industrial deberá, entonces, verificar estrictamente el cumplimiento de estas tareas, pues la falla en una de éstas hará que el proyecto se retrase en su totalidad y se

Actividad	Identificación	Predecesor	Duración (días)
Recopilación de material en la biblioteca escolar	A	Ninguna	2
Escribir propuesta inicial	B	A	1
Aprobación de propuesta por el profesor	C	B	1
Desarrollo del alcance de la propuesta	D	C	2
Escritura de un resumen inicial (borrador)	E	C	5
Revisión del borrador	F	D y E	5
Impresión del reporte final	G	F	1

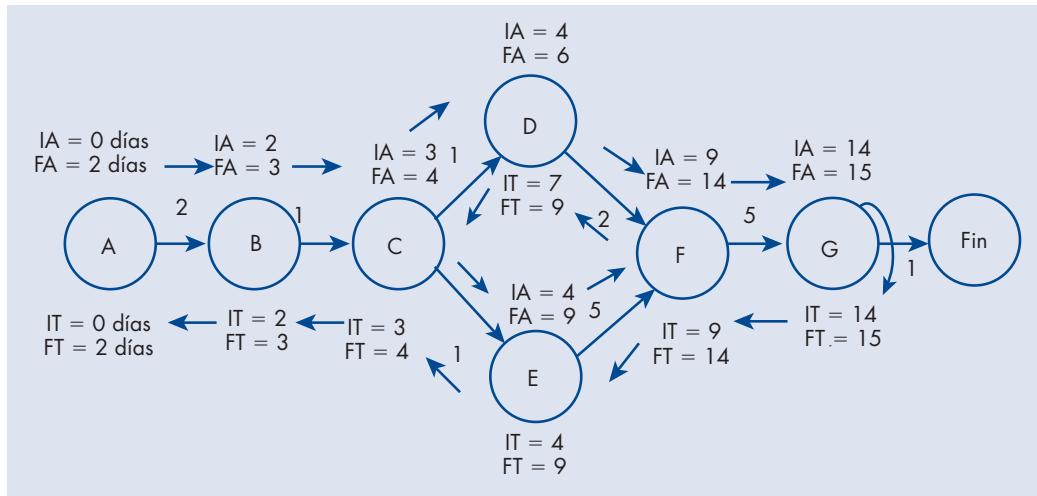


Figura 6.14 Cálculo de los tiempos adelantados y tardíos para el ejemplo del proyecto escolar.

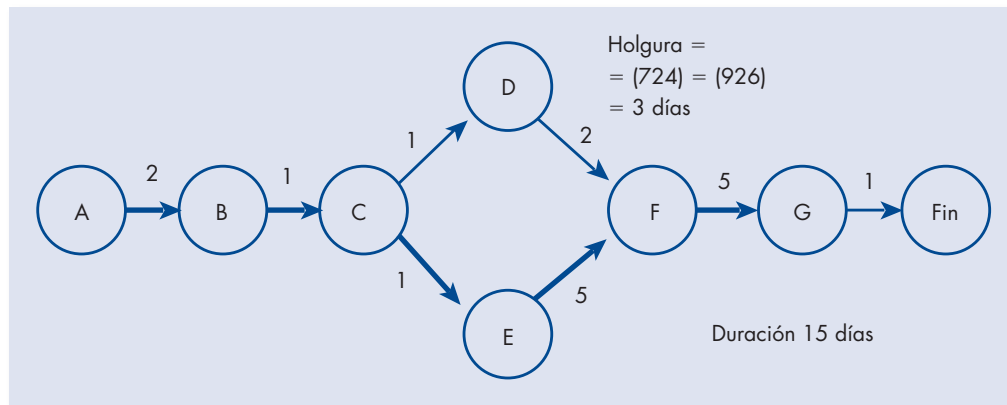


Figura 6.15 La ruta crítica y las holguras para el ejemplo del proyecto escolar.

tendrán que pagar las penalizaciones que por contrato se establecen en la mayoría de los proyectos.

También debe notarse que existe una holgura de tres días en el tiempo de la ejecución de la tarea D. Una holgura se identifica cuando existen diferencias entre los tiempos de inicio adelantado y tardío (que será la misma diferencia entre los tiempos de finalización adelantado y tardío) y significa que se tiene una tolerancia para la ejecución de la mencionada tarea; en el ejemplo presentado, la actividad D que toma dos días para su ejecución, puede realizarse hasta en cinco días. Las holguras son una ayuda muy importante en la dirección de proyectos ya que permiten dedicar los recursos a actividades que conforman la ruta crítica cuando por razones de la misma ejecución, las actividades tardan más de lo planeado.

Cuando los tiempos de duración de las actividades no tienen la suficiente certeza, es decir, se duda de su exactitud, el CPM utilizará tres estimaciones de tiempo: un escenario optimista, el escenario que es más probable y el

pesimista. A esta forma del CPM se le conoce como PERT (por sus siglas en inglés, Project Evaluation and Review Technique). La determinación de estos tiempos requiere de experiencia por parte del director del proyecto y deberá referirse, en todo caso, a los expertos, para realizar dichas estimaciones. El escenario optimista refleja el tiempo factible más corto en el cual una actividad puede ser terminada. El escenario más probable contempla un promedio de tiempo en el cual la tarea se ha ejecutado en el pasado, y si no existiese esa información deberá hacerse una estimación objetiva respecto a la duración de la actividad. Por su parte, en el escenario pesimista se plantean las condiciones en que se desarrolla el proyecto al extremo de tardanza posible. Es importante que el administrador de las operaciones recuerde que tanto el escenario optimista como el pesimista tienen posibilidades de ocurrir, por lo que no habrá que subestimarlas. Después de establecer estos escenarios, se obtiene un promedio ponderado a partir de ellos; por ejemplo, supóngase que para la actividad A del

ejercicio anterior, se han determinado los tres escenarios de la manera siguiente:

Actividad	Recopilación de material en la biblioteca escolar
Identificación	A
Predecesor	Ninguna
Duración optimista (días)	1
Duración más probable (días)	2
Duración pesimista (días)	4

Se procede al cálculo del tiempo de duración esperado para la actividad. La esperanza es un promedio ponderado utilizado en probabilidad que indica los valores más factibles para determinada situación y en su cálculo considera el uso de las frecuencias con las que ocurre una situación, a las cuales con anticipación se les asigna un peso específico definido por el ingeniero industrial; nótese que es diferente al promedio geométrico.⁴⁵ En el caso del ejemplo, imagínese que el administrador del proyecto ha decidido darle más importancia al valor de la duración más probable que a las otras dos duraciones; más aún, el peso que le asigna es cuatro veces más que el de los escenarios optimista y pesimista.⁴⁶ Esto significa que el promedio ponderado considerará los tres escenarios, pero en mayor escala a la duración más probable, que de acuerdo con el peso asignado tendrá cuatro de las seis posibilidades de ocurrencia. El cálculo queda de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo esperado de la actividad A:} = \frac{1 + 2(4) + 4}{6} = 2.17 \text{ días}$$

Entonces, se espera que la duración de la actividad A sea ya no de sólo 2, sino de 2.17 días, por efecto de la existencia de otras dos posibilidades (optimista y pesimista). Este proceso se repite para el resto de las tareas y se procede a determinar la ruta crítica de la misma manera que ya se ha mostrado.

Un ingeniero industrial estará capacitado para hacer estimaciones de la duración total de los proyectos y de la posibilidad de que éstos se retrasen o se adelanten; con

esta información, efectuará negociaciones que le permitirán obtener beneficios adicionales en el caso de terminación temprana o conocer el riesgo que existe de pagar penalizaciones por tardar más de lo esperado. Para ello, utilizará los conceptos de probabilidad y estadística y supondrá que la duración de los proyectos tiene un comportamiento que se puede representar con una curva semejante a una campana,⁴⁷ la cual se dibuja sobre una línea horizontal que simula distintas duraciones, y la altura de la curva varía de acuerdo con las frecuencias con que se presentan dichas duraciones; es decir, habrá más ocurrencias hacia el centro de la campana que a los extremos de la misma. Suponiendo que el tiempo esperado de un proyecto es de 100 días, la figura de campana lucirá como se muestra en la figura 6.16.

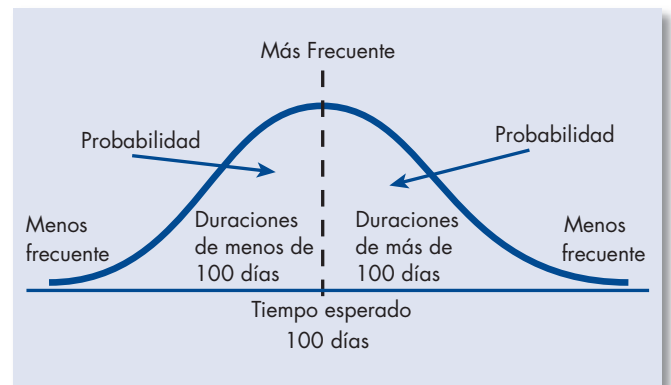


Figura 6.16 Distribución “normal” de los tiempos de duración de un proyecto.

El área que se encuentra bajo esta curva representa la probabilidad de que una duración ocurra, por lo que la suma de toda el área (probabilidades) es 100% (recuérdese que las probabilidades se expresan como números decimales o porcentajes entre 0 (0%) y 1 (100%)). Ocupando una transformación especial, que se conoce como la estandarización de la curva normal (cambiar la escala de la línea horizontal para que en lugar de 100 días represente sólo 1) y usando tablas estadísticas u hojas de cálculo, se podrá hacer un cálculo de la porción del área bajo la curva que represente una duración específica. Así, por ejemplo, si se deseara calcular la probabilidad de que el mismo proyecto de la gráfica anterior durara sólo 53 días o se excediera hasta 130 días, se deberá obtener el área bajo la curva que lucirá en cada caso, como lo muestra la figura 6.17.

⁴⁵ El promedio geométrico de la duración de la actividad A, sería igual a $(1 + 2 + 4)/3 = 2.33$ días.

⁴⁶ Una ponderación de 4 al escenario más probable es un valor bastante común y recomendado en el CPM.

⁴⁷ Es decir, se comporta mediante una distribución “normal”.

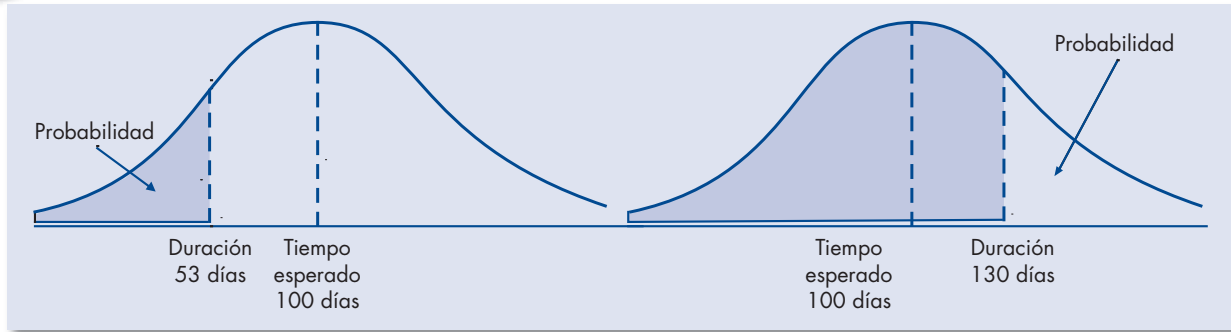


Figura 6.17 Cálculo de la probabilidad para distintos tiempos de duración de un proyecto.

El tercer tipo de modelo CPM, es el modelo de tiempo-costo. Éste supone que existe una relación directa entre el tiempo de finalización de una actividad y el costo del proyecto, por lo que su objetivo principal es obtener puntos de equilibrio entre los factores más relevantes para un proyecto (véase figura 6.18):

- Los costos directos de las distintas tareas o actividades.
- Los costos indirectos del proyecto.
- Los tiempos de finalización de las tareas.

Al momento de administrar proyectos, el CPM ha mostrado ser una herramienta muy efectiva; las limitaciones de su

aplicabilidad radican más en las características del proyecto de que se trate que en el CPM en sí:

- Cuando las tareas y/o actividades no pueden ser identificadas como unidades de trabajo, es decir, cuando no existe un claro punto de inicio y finalización para cada una de ellas.
- Cuando la relación de secuencia de las diferentes actividades no es clara; es decir, cuando no se puede especificar o representar mediante una red.
- Cuando un proyecto no se deba controlar usando la ruta crítica, sino otros factores.

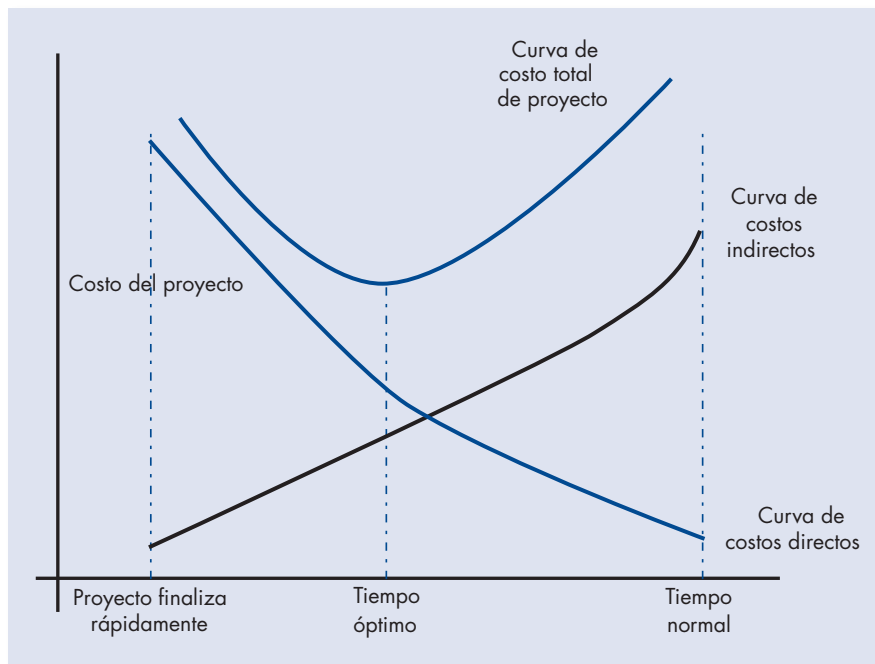


Figura 6.18 Determinación del tiempo óptimo de finalización de un proyecto usando el modelo de tiempo-costo.

Gracias a la versatilidad del CPM y de las gráficas de Gantt se han incorporado diversos programas de software especializado en la AP, éste es el caso del Microsoft Project®,⁴⁸ que es el líder en este segmento. El Microsoft Project es una herramienta robusta que permite al administrador de las operaciones, mediante el uso de una interfaz gráfica, el control de las actividades, recursos, avance y finanzas de uno o varios proyectos a la vez. También permite realizar reportes y presupuestos fácilmente e inclusive la revisión concurrente de un proyecto con distintos participantes, ya sea vía Internet o mediante el uso de la Intranet⁴⁹ de las empresas. La figura 6.19 muestra una pantalla típica de este sistema.

No obstante los beneficios del Microsoft Project, existen distintas empresas que ofrecen este mismo tipo de

software; un famoso motor de búsqueda en internet arroja alrededor de 270 000 000 de entradas relativas a los términos project y software y más de 3 500 000 entradas para las palabras software y proyectos. Lo importante es que algunas de estas compañías ofrecen sus productos de manera gratuita,⁵⁰ lo que permite al ingeniero industrial tener herramientas de fácil acceso para realizar estas actividades de la AO de una manera más ágil y profesional.

Pronósticos, combate a la incertidumbre

Pronosticar es una práctica recurrente de los negocios, sobre todo pronosticar la demanda de bienes y/o servicios para poder planear y establecer los requerimientos de la

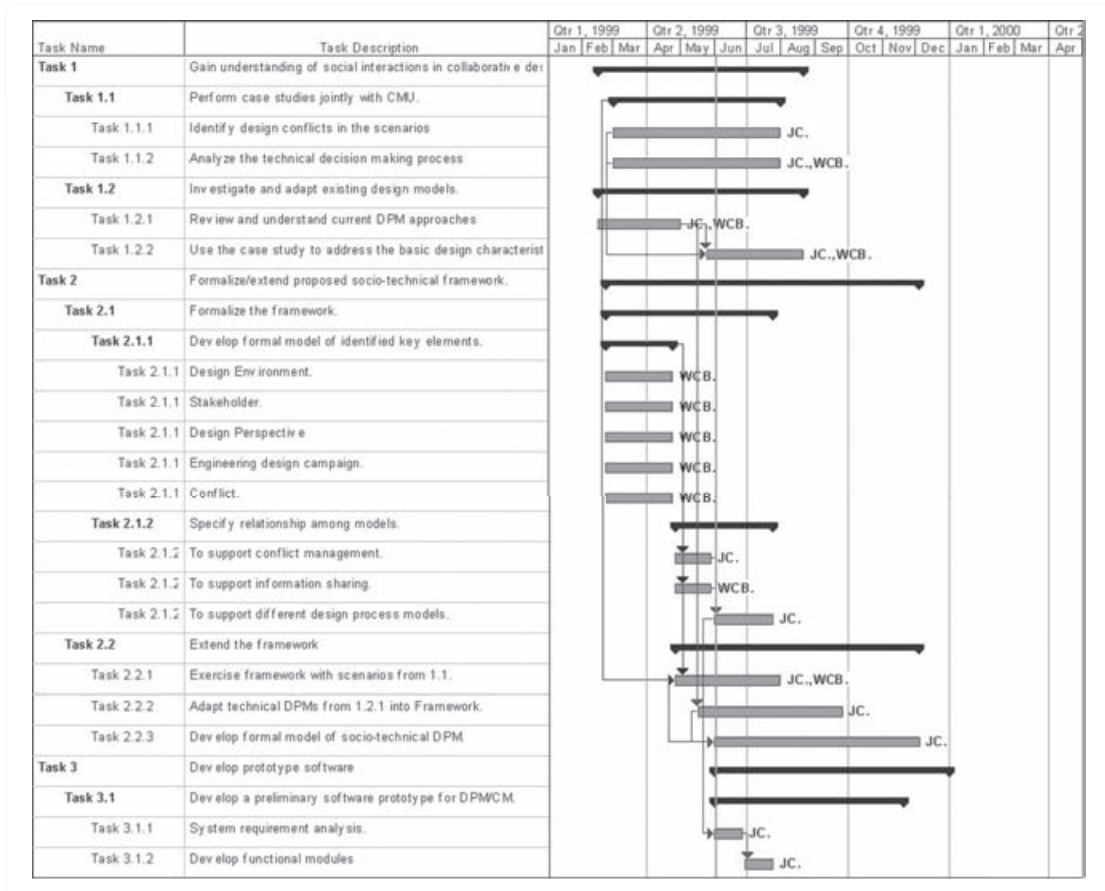


Figura 6.19 Pantalla típica del Microsoft Project®.

⁴⁸ Véase: <http://office.microsoft.com/en-us/project/>

⁴⁹ Una Intranet es una red de computadores de una red de área local (LAN) privada, empresarial o educativa, la cual tiene como función principal poder compartir archivos, carpetas y recursos con mayor seguridad y auxiliar la productividad de los empleados; es también un importante medio de difusión de información hacia el interior de una empresa.

⁵⁰ Consúltense por ejemplo: <http://www.aceproject.com/>

manufactura, las cantidades a comprar (empresas comercializadoras) o la cantidad de servicios a brindar en determinado periodo. Las áreas de mercadotecnia y producción son las que más hacen uso de los pronósticos a fin de predecir las ventas que se espera tener en el futuro y, entonces, tener una base para calcular los requerimientos de materia prima y de personal que necesitará una compañía en un periodo determinado. Más aún, algunas decisiones, como entrar a un mercado específico o no, modificar la capacidad de producción o implementar un plan de promociones pueden basarse en pronósticos. En términos generales, pronosticar consiste en una predicción del comportamiento futuro de algún dato de interés, hecho con la finalidad de combatir su incertidumbre.⁵¹

Para determinar los pronósticos, los ingenieros industriales y gerentes de operaciones suelen basarse en algunos factores:

- Subjetivos (basados en el juicio de las personas).
- Objetivos (basados en el análisis de datos).
- En una combinación de ambos.

Pronosticar es una actividad de relevancia que conlleva mucha responsabilidad y complejidad para el ingeniero administrador de las operaciones; esta dificultad demanda que el analista conozca a profundidad los distintos tipos de pronósticos que existen, sus particularidades, supuestos y su aplicabilidad. De acuerdo con Simchi-Levi (2007), los pronósticos tienen las siguientes características:

- *Los pronósticos son incorrectos siempre.* Ésta es quizá su principal característica y no debe subestimarse. Un pronóstico nunca mostrará exactamente lo que sucederá en el futuro; aún no existe técnica alguna que pueda lograr tal situación; en el mejor de los casos, intentará aproximarse al dato que se está investigando. Por lo anterior, es necesario que el analista haga dos cosas: complementar sus predicciones con una estimación del error que su predicción pudiera tener y no tomar los resultados del pronóstico como un hecho, esto significa que el ingeniero deberá crear una forma de trabajo que permita modificar las decisiones basadas en sus pronósticos.

- *Entre más amplio sea el horizonte de planeación, el pronóstico es aún peor.* Los pronósticos pueden auxiliar en la planeación en distintas ventanas de tiempo; sin embargo, se deberá tener especial cuidado con los plazos largos, ya que se ha observado que éstos tienden a ser menos exactos conforme el periodo de análisis es mayor.
- *Los pronósticos con datos agrupados (consolidados) suelen ser más exactos.* Esta característica se basa en un fenómeno estadístico que menciona que la varianza⁵² (dispersión) de los datos de una parte del todo (muestra) será siempre menor a la varianza de toda la población. Por ejemplo, en el caso de planeación estratégica en una empresa al detalle, del giro almacenes departamentales, será más útil pronosticar por líneas generales de producto (ejemplo: línea blanca), en lugar de hacerlo para cada uno de los tipos de producto (lavadoras, secadoras, lavavajillas, etcétera).

Existen distintos métodos y técnicas para realizar pronósticos; seleccionar cuál es la más adecuada para una empresa es una tarea importante para el ingeniero industrial. Antes de mencionar pautas generales para la selección de la mejor técnica, es necesario revisar brevemente en qué consisten dichos métodos. Las clasificaciones más comunes de los pronósticos mencionan que éstos sólo son subjetivos u objetivos. El que un método de pronóstico sea subjetivo significa que está basado en el *juicio* (opinión) de las personas; por otra parte, el ser objetivo significa que se necesita del análisis de datos para emitir una predicción y estos datos, por lo general, son históricos.⁵³ A continuación se describen estos tipos de pronósticos.

■ Métodos de juicio (subjetivos)

Se apoyan en la opinión y el juicio de personas relevantes dentro y fuera de una organización. Después de recolectarse, las opiniones se analizan y se emite un valor final. Para que estas opiniones tengan valor, es necesario seleccionar cuidadosamente a aquellos individuos que proporcionarán sus comentarios y seguir un procedimiento adecuado para extraer y examinar la información. Las técnicas más comunes son:

⁵¹ Incertidumbre: falta de certeza, falta de conocimiento seguro y claro de algo.

⁵² Varianza: es una medida estadística absoluta de la dispersión que existe entre una serie de datos. Entre mayor varianza exista, se dice que los datos tienen más separación entre unos y otros, y por ende, la información derivada de ellos es de menor "calidad".

⁵³ Datos históricos hace referencia al registro y colección de datos que sobre un aspecto en particular del negocio se efectúa a través del tiempo, pensando que el análisis de esta información servirá para describir el futuro.

- a) *Compuesto de fuerza de ventas.* Los vendedores tienen contacto directo con los clientes y, por tanto, pueden conocer y sentir los cambios en sus gustos y preferencias. En esta técnica, a cada vendedor se le solicita un estimado de las ventas en un periodo futuro de tiempo (mensual o anual); el gerente de ventas recopila la información, la conjunta lógicamente y emite un resultado final que puede estar estratificado por región geográfica o tipo de producto. Se deberá tener cuidado de emplear esta técnica si en la organización existe una cuota mínima de ventas, pues los empleados tratarán de situar el pronóstico de ventas por debajo de niveles reales, para lograrlo más fácilmente.
- b) *Jurados (paneles) de expertos.* Esta técnica se utiliza principalmente cuando no existe información previa sobre el dato que se pretende pronosticar, como es el caso del desarrollo e introducción de productos nuevos. El punto clave de esta metodología es alcanzar el consenso de distintos expertos (internos, externos y de diferentes áreas funcionales dentro de la empresa) mediante entrevistas, su comunicación abierta y directa y compartir información.
- c) *Método Delfos (Delphi).* Es una variante más estructurada y compleja del método de jurados de expertos. La diferencia radica en que los participantes (expertos y consultores externos a la empresa) serán cuestionados de forma independiente y por escrito; esta propiedad pretende reducir el dominio que algún experto pudiera tener sobre otro debido a sus características personales, como liderazgo o empatía. Así, a cada participante se le pide su opinión sobre algún aspecto en particular, y una vez recopiladas todas las opiniones se conjuntan en un resumen que será enviado nuevamente a los expertos para su revisión. Existe la posibilidad de que algún experto cambie de opinión si lo considera adecuado. El proceso se repite tantas veces como sea requerido hasta lograr un consenso mayoritario. La persona que dirija un tipo de dinámica Delphi deberá poner mucha atención a la formulación del cuestionario y evitar preguntas ambiguas, pues no habrá manera directa de efectuar aclaraciones.
- d) *Métodos de investigación de mercado.* Se trata específicamente de la aplicación de pruebas y

encuestas a los consumidores o clientes potenciales:

- *Pruebas de mercado.* Se aplican pruebas a diferentes grupos de clientes y consumidores potenciales con la finalidad de observar su respuesta al(los) producto(s) en cuestión. Esta información se *extrapola*⁵⁴ a un mercado entero para obtener estimaciones de la demanda del mismo.
- *Encuestas con los consumidores.* La información de tendencias y cambios en las preferencias se obtiene directamente de sondeos a los clientes, ya sea por entrevistas o encuestas telefónicas y/o escritas. El factor crítico en esta técnica es la realización de un diseño cuidadoso del cuestionario, el número de personas a ser entrevistadas y la forma en que se aplicarán las encuestas. Si no se hace de manera correcta, el resultado contendrá conclusiones erróneas.

■ Métodos objetivos

Se dijo ya que estos métodos se basan en el análisis de datos para emitir las predicciones; existen principalmente dos tipos de métodos objetivos: los métodos *causales* y las *series de tiempos*.

- a) *Métodos causales.* Éstos son métodos matemáticos que generan pronósticos basados en datos históricos diferentes al que se desea predecir; en otras palabras, dependen o son funciones de uno o varios datos diferentes e independientes entre ellos. Por ejemplo, un pronóstico causal de las ventas de un producto puede depender de una, dos, tres o todas las variables siguientes: la tasa inflación nacional, el PNB (Producto Nacional Bruto), el PIB (Producto Interno Bruto), el tipo de cambio respecto al dólar, el euro o el yuan;⁵⁵ la tasa de desempleo, el patrón climático, etcétera. El lector seguramente ya ha tenido contacto con el concepto de línea recta, por lo que comprenderá fácilmente que la relación más sencilla entre esas variables dependientes (el valor que se desea pronosticar) y las variables independientes (cuyos valores son conocidos de antemano) es la lineal

⁵⁴ Extrapolación: con los datos originales se intenta predecir el comportamiento de algún fenómeno, el ajuste es por lo general lineal.

⁵⁵ Yuan es la moneda de la República Popular de China.

y ésta puede ser representada de la siguiente manera:

$$\text{Variable a pronosticar} = a_0 + a_1 \text{ Variable}_1 + a_2 \text{ Variable}_2 + \dots + a_n \text{ Variable}_n$$

La tarea para el ingeniero industrial es conocer los valores de los parámetros a_0 , a_1 , a_2 hasta a_n , lo cual se puede lograr mediante el uso de métodos especiales, como el de mínimos cuadrados. Para ejemplificar, supóngase que después de hacer un análisis causal, un joven encuentra que la mesada asignada por sus padres cada mes está en relación directa y lineal al número de veces que ayuda en las labores domésticas. Este joven ha encontrado que el modelo que mejor describe el fenómeno es:

$$\text{Cantidad de mesada} = 30 + 200 (\text{número de veces que ha auxiliado})$$

Por lo que para pronosticar la cantidad de dinero que recibirá en un mes determinado, sólo tendrá que sustituir el número de veces que pudiera ayudar en el hogar. Estos cálculos quedarían de la siguiente manera:

Número de veces auxiliadas	Cantidad de mesada
0	\$ 30.00
1	\$ 230.00
2	\$ 430.00
3	\$ 630.00
4	\$ 830.00
5	\$ 1 030.00
6	\$ 1 230.00
7	\$ 1 430.00
8	\$ 1 630.00
9	\$ 1 830.00
10	\$ 2 030.00

La única decisión pendiente será, entonces, que el joven decida el número de veces que le resulte más conveniente ayudar, pues, por una parte, no ayudar implicaría poco dinero y la probable reprimenda por parte de sus padres; en el otro extremo, auxiliar 10 veces representa un ingreso mayor, pero quizá le reste tiempo para otras actividades.

- b) *Series de tiempo.* Estas técnicas usan datos históricos del mismo tipo que se desea predecir, o sea, si se desean pronosticar ventas de un producto, los datos históricos deberán corresponder a

ventas del mismo producto, en periodos de tiempo similares, aunque anteriores. Estos modelos *aíslan* los patrones más comunes que se presentan en los datos: tendencia, estacionalidad, ciclicidad y aleatoriedad. La figura 6.20 intenta describir cada uno de estos patrones.

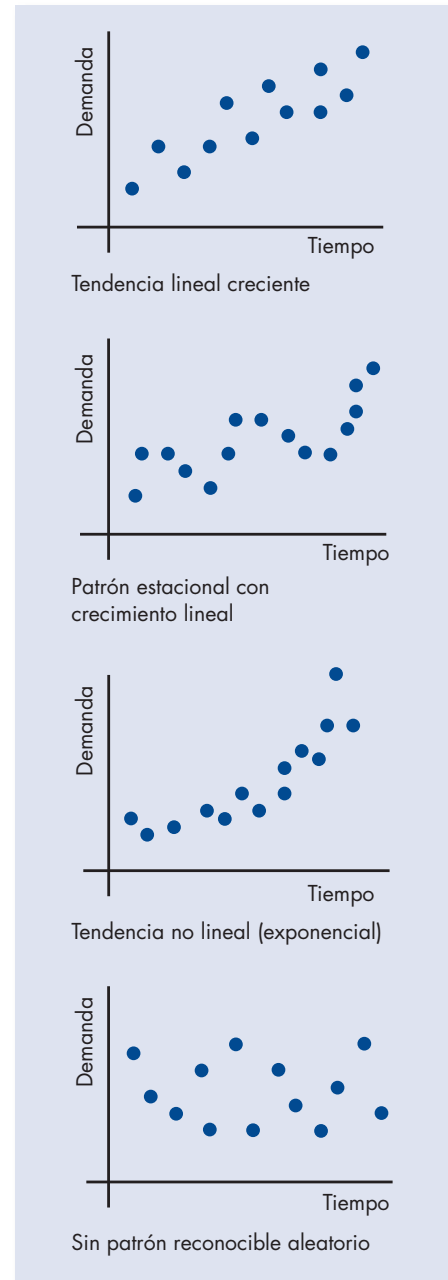


Figura 6.20 Ejemplificaciones de distintos patrones en el tiempo.

Los métodos de series de tiempo intentan desglosar y resolver los patrones que se han ilustrado anteriormente, las técnicas más comunes son:

Promedios móviles

Cada nuevo pronóstico es el promedio geométrico de un número predefinido de datos pasados. Se le llama móvil porque los datos contemplados en el promedio se recorren en la lista cada vez que un nuevo dato histórico ocurre. El factor más importante para el ingeniero industrial es seleccionar el número de datos a considerar en el promedio, de manera que se minimicen las irregularidades en los datos. En este método se supone que no existe tendencia en los datos.

A continuación se muestra un ejemplo, supóngase que un estudiante desea pronosticar el número de llamadas por teléfono móvil que realizará en los meses siguientes utilizando la técnica de promedios móviles. Para ello, registró en una tabla las llamadas hechas durante los primeros tres meses de análisis, por lo que decidió utilizar una ventana de tiempo de tres meses para el cálculo. Entonces, el pronóstico para el mes cuarto es el promedio redondeado de 30, 45 y 28 llamadas, es decir, el estudiante pronostica realizar 34 llamadas en ese mes. El tiempo transcurre y en realidad el joven realizó 43 llamadas, mismas que continúa registrando en el listado. Se dice que existe un error en el pronóstico de nueve llamadas extra. El pronóstico para el mes cinco, considerará los datos ocurridos de los meses 2, 3 y 4, por lo que redondeando el resultado es de 39 llamadas. Supóngase que sólo ocurren realmente 32, por lo que el error es ahora de siete llamadas por debajo del pronóstico. Se sigue de la misma manera hasta terminar el periodo de análisis. Supóngase ahora que el estudiante hubiera elegido una ventana de tiempo de seis periodos históricos para realizar sus pre-

dicciones; nótese que de ser así debió haber recolectado información de seis periodos previos, por lo que su primer pronóstico podría realizarse hasta el mes 7, cuando se han calculado las desviaciones respectivas. ¿Cuál sería el número de datos elegido por el lector? La tabla usada para los cálculos se muestra en esta página abajo.

Suavización exponencial

Este método es similar al de promedios móviles, pues el pronóstico es el resultado de promediar datos históricos; la diferencia radica en que se trata de un promedio ponderado⁵⁶ entre la última cantidad pronosticada y la observación real más reciente (observación actual). En este método también se supone que no existe tendencia en los datos; la fórmula para los pronósticos en este método es:

$$\text{pronóstico nuevo} = (\text{observación actual})(\text{constante de suavización}) + (\text{último pronóstico realizado})(1 - \text{constante de suavización})$$

La constante de suavización es un valor entre 0 y 1 que determina si se está dando más peso a la observación actual (la más reciente) o a los datos pasados usados en la realización de un pronóstico anterior. Se llama suavización exponencial debido a que la constante de suavización da cada vez menos importancia a los datos históricos, los va "suavizando", y esa importancia cada vez menor dibuja una curva del tipo exponencial (véase figura 6.21).

Mes	Número de llamadas	Promedio móvil (tres datos)	Error	Promedio móvil (seis datos)	Error
1	30				
2	45				
3	28				
4	43	34	9		
5	32	39	-7		
6	29	34	-5		
7	39	35	4	35	5
8	49	33	16	36	13
9	41	39	2	37	4
10	37	43	-6	39	-2
11	42	42	0	38	4
12	39	40	-1	40	-1

⁵⁶ Promedio ponderado: es un método de cálculo de un tipo de media aritmética de un conjunto de números en los cuales algunos elementos del conjunto tienen mayor importancia (peso o ponderación) que otros. Por ejemplo, las calificaciones, por lo general, son promedios ponderados: exámenes 50%, proyecto (asignación) final 30%, tareas 10%, opiniones (participación en clase) 10%.

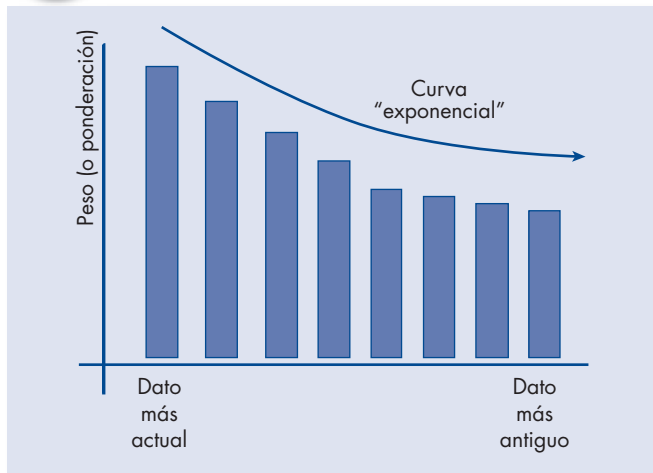


Figura 6.21 La suavización de los datos anteriores forma una curva exponencial.

El problema para el ingeniero industrial es definir una constante de suavización adecuada al problema que quiere resolver. Si la constante se aproxima a 1, se estará dando más peso a la observación más reciente del dato de interés y menos peso a las observaciones pasadas (pronóstico anterior), lo cual ocasionará que el pronóstico "reaccione" rápidamente a los cambios de los datos, pero el pronóstico tendrá un patrón con mucha variación; por el contrario, si la constante de suavización es pequeña (valor cercano a cero), el pronóstico calculado dará más importancia a los datos pasados, por lo que el pronóstico es más estable (véase figura 6.22). Los valores recomendados por algunos expertos varían entre 0.1 y 0.2.

Continuando con el ejemplo del estudiante, supóngase que éste decide utilizar la suavización exponencial en su pronóstico de llamadas para el mes entrante; para ello, conoce que el pronóstico para el mes 1 (mes anterior) fue de 35 llamadas y además decide utilizar una constante de suavización igual a 0.4. Se procede, entonces, a determinar el pronóstico de llamadas para el mes 2 de la siguiente manera: $(30)(0.4) + (35)(1 - 0.4) = 33$ llamadas. Si el estudiante hubiera optado por una constante de suavización de 0.8, ¿cuál sería el pronóstico?

Métodos para series de datos con tendencias

Si una tendencia es identificable en los datos, lo mejor es utilizar métodos como el análisis de regresión lineal y/o el método de Holt. El método de regresión lineal ajusta los datos a una línea recta y los pronósticos se calculan a partir de esta línea. La línea recta, recuérdese, puede ser representada por $y = mx + b$, donde y , la variable dependiente, estará representada por el pronóstico del dato de interés (demanda); m es la pendiente de la recta (la inclinación); x la variable independiente (el tiempo) y b es la intersección al eje y . Con las parejas de datos (véase el ejemplo siguiente), se calcularán los parámetros m y b , de modo que se encuentre la recta que mejor se ajuste a los datos utilizando un método conocido como de los mínimos cuadrados.⁵⁷ Nótese que el concepto es similar al método causal, explicado anteriormente, con la diferencia de que la variable independiente para el caso del análisis de regresión es ahora el tiempo (los datos se grafican contra el tiempo). Los métodos de pronóstico para series

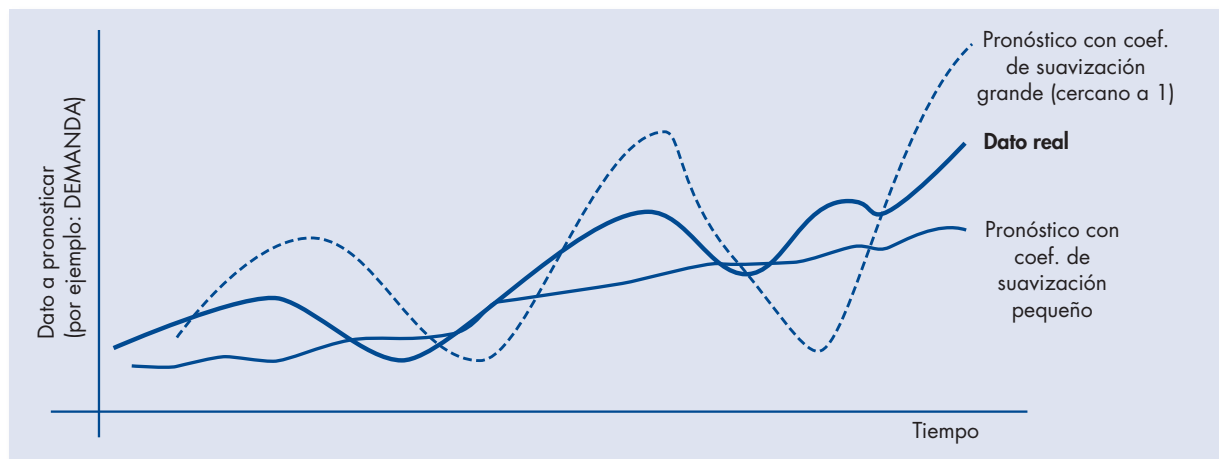


Figura 6.22 Efecto de la utilización de distintos valores de constantes de suavización en el pronóstico.

⁵⁷ Se denomina método de los mínimos cuadrados debido a que se busca minimizar la suma de las distancias al cuadrado entre la línea recta encontrada en la regresión y los datos.

de datos con tendencias requieren que se utilicen fórmulas de ajuste a líneas rectas de más complejidad que las tratadas hasta ahora, por lo que sólo se mostrarán ejemplos con cálculos ya hechos, de manera que el lector pueda comprender el tipo de resultados obtenidos con estas técnicas. Afortunadamente, en el mercado se encuentran disponibles herramientas de software que realizan el ajuste a líneas rectas; inclusive la función LINEST de Microsoft Excel® puede ayudar a determinar los parámetros a y b necesarios para graficar la recta.

Por ejemplo, considérese que se tiene la siguiente serie de datos históricos de la demanda mensual de un producto para una empresa:

Mes	Demanda (piezas)	Mes	Demanda (piezas)
1	600	7	2 600
2	1 550	8	2 900
3	1 500	9	3 800
4	1 500	10	4 500
5	2 400	11	4 000
6	3 100	12	4 900

La figura 6.23 muestra una gráfica de dispersión de los datos y la recta ajustada. Se utilizarán los valores encontrados para los parámetros a y b que permitan hacer pronósticos para los meses 13 en adelante.

Por otra parte, el método de Holt combina la suavización exponencial con la habilidad de identificar tendencias lineales en los datos y por eso es que se le conoce como un método de doble suavización exponencial. Este método requiere que el ingeniero industrial especifique dos constantes de suavización y utilice dos ecuaciones de suavización: una para los valores de la serie y otra para la tendencia, esto quiere decir que se describirá la tendencia de los datos por

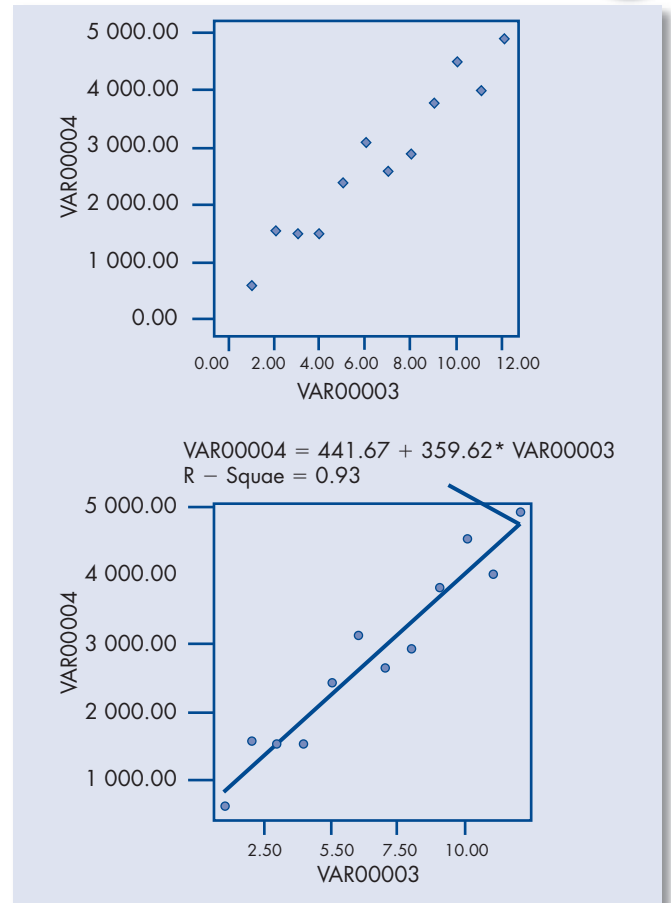


Figura 6.23 a) Gráfica de dispersión de los datos históricos de demanda. b) Gráfica de la línea recta ajustada y el valor de los parámetros a y b .

medio del cálculo de pequeños segmentos de rectas. La figura 6.24 compara los pronósticos obtenidos utilizando regresión lineal y el método de Holt; es un hecho que en este segundo método siempre será más fácil actualizar los

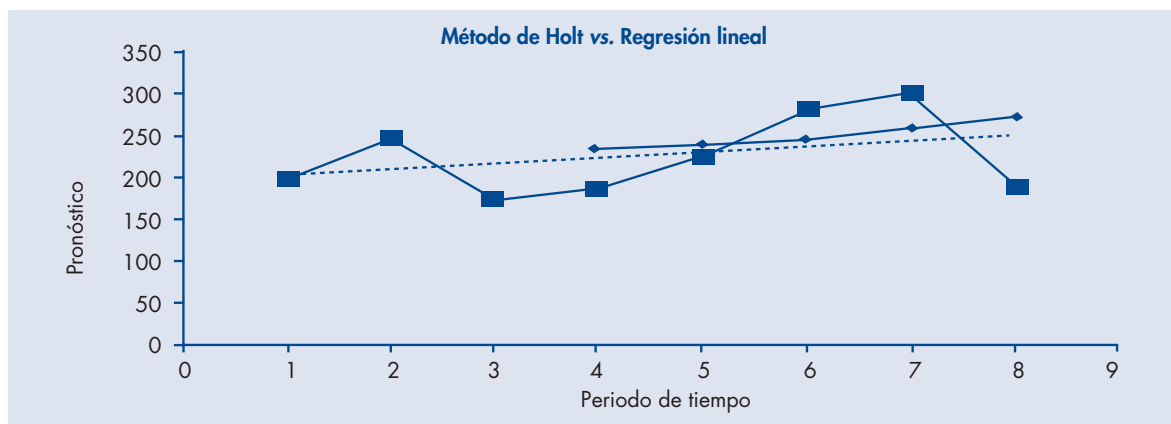


Figura 6.24 Comparación de los pronósticos calculados basados en regresión lineal y método de Holt.

resultados pronosticados, cada vez que nuevos datos observados se encuentren disponibles. Los datos que se tomaron como base para este ejercicio son: 200, 250, 175, 186, 225, 285, 305 y 190.

Un inconveniente del método de Holt es que necesita "inicializarse", es decir, determinar valores de las constantes de suavización al inicio del pronóstico, y esto explica también por qué los pronósticos calculados basados en este método no abarcan todos los datos en la gráfica. Otro ejemplo del método de Holt aplicado a una serie de datos históricos se muestra en la figura 6.25.

Métodos para series de datos con estacionalidad (temporadas)

Los datos presentan estacionalidad cuando poseen un patrón que se repite cada determinado número de periodos; a dicho número de periodos se le conoce como estación

y/o temporada (véase figura 6.26). Para encontrar un pronóstico basado en series de datos con estacionalidad, se debe especificar la duración de la estación o temporada. Dos de los métodos más comunes que se utilizan cuando los datos presentan estacionalidad son la descomposición estacional y el método de Winter.

La descomposición estacional intenta remover los patrones de temporadas de los datos y aplicar alguno de los métodos descritos anteriormente. La figura 6.27 muestra un ejemplo de la calidad de pronósticos obtenidos mediante este procedimiento. Obsérvese que la temporada para este ejemplo es de cuatro meses.

El método de Winter, por su parte, es una versión modificada de la suavización exponencial y del método de Holt que analiza las tendencias y la estacionalidad a la vez. Se dice que esta técnica de pronósticos es del tipo "triple suavización exponencial", lo que lo hace ser actualizado de una manera muy sencilla, una vez que un nuevo dato real

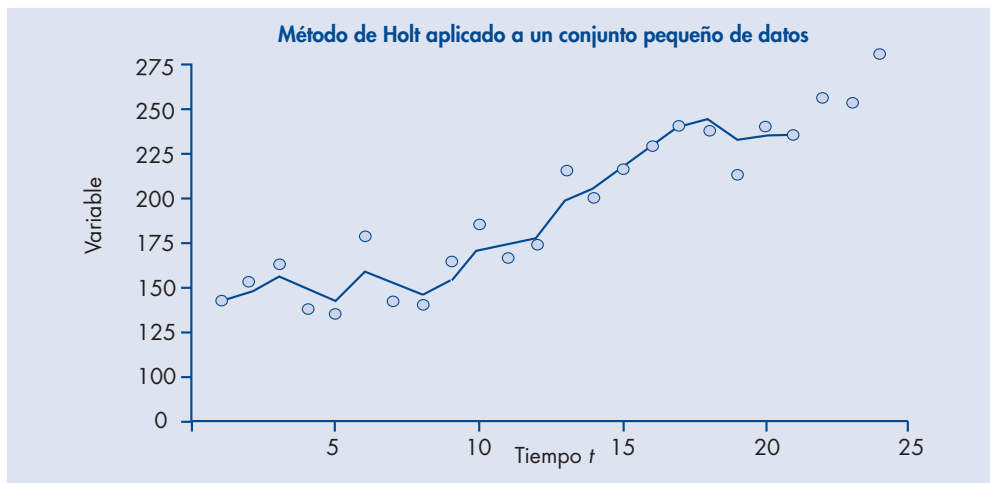


Figura 6.25 Otro ejemplo del cálculo de pronósticos utilizando el método de Holt.

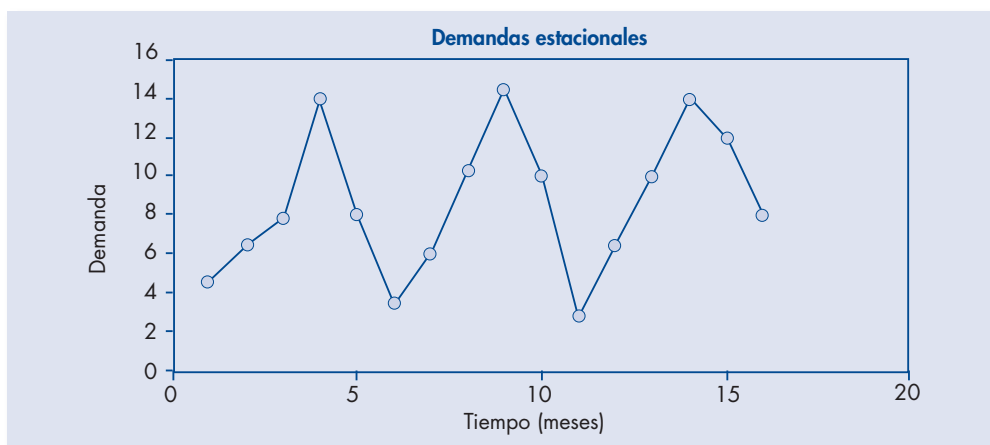


Figura 6.26 Ejemplo de serie de datos de demanda con estacionalidad.

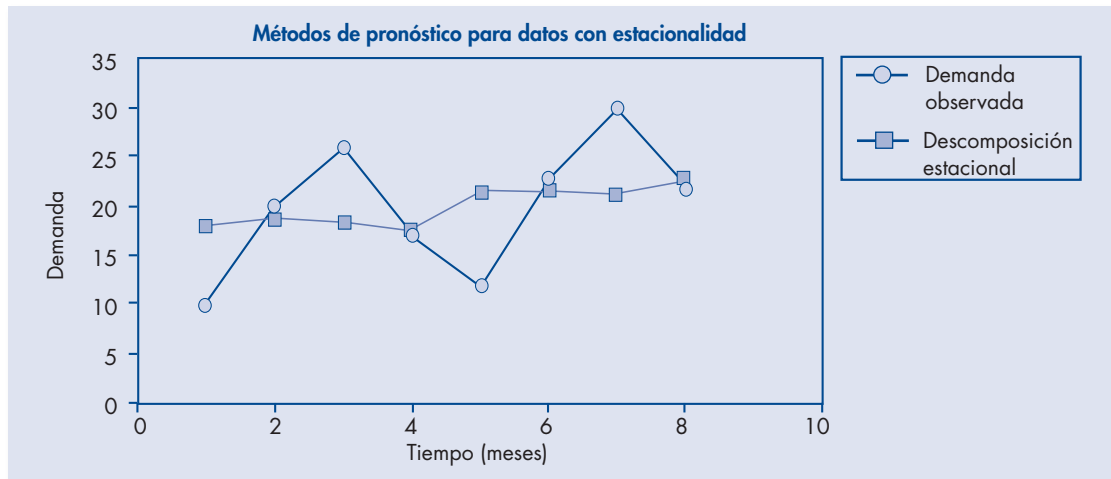


Figura 6.27 Ejemplo de pronóstico obtenido con descomposición estacional.

se conoce. El método utiliza tres ecuaciones de suavización exponencial en cada periodo del análisis para actualizar estimaciones de las series de datos sin la estacionalidad, sin los factores de temporadas y sin la tendencia, uno a la vez. Cada una de las tres ecuaciones posee una constante de suavización, y al igual que los métodos de suavización exponencial y de Holt, al utilizar valores de las constantes cercanos a 1, el pronóstico responderá rápidamente a cambios en la tendencia, pero también lo hará menos estable, esto hace forzoso que el administrador de las operaciones deba intentar varias combinaciones de estos parámetros antes de obtener los que mejor se ajusten al caso descrito; pero, una vez hecho esto, el método de Winter aproxima muy bien los datos pronosticados, por lo que, aunque presenta cierta complejidad en su aplicación, es un método

bastante usado por las empresas alrededor del mundo. La figura 6.28 permite observar los pronósticos obtenidos para una serie de datos utilizando el método de Winter.

Métodos más avanzados

En este apartado se describirán dos métodos: el *Box-Jenkins* y el método de Planeación Colaborativa, Pronósticos y Reabastecimiento (CPFR, por sus siglas en inglés),⁵⁸ que se basa en la Internet. El método de Box-Jenkins (apellidos de las dos personas que lo publicaron en 1970), cruza varias series de tiempo para obtener otra o más series de tiempo con las que se podrá estimar la demanda futura. El método supone que existe una relación de dependencia entre los valores de las series de datos de un periodo a otro

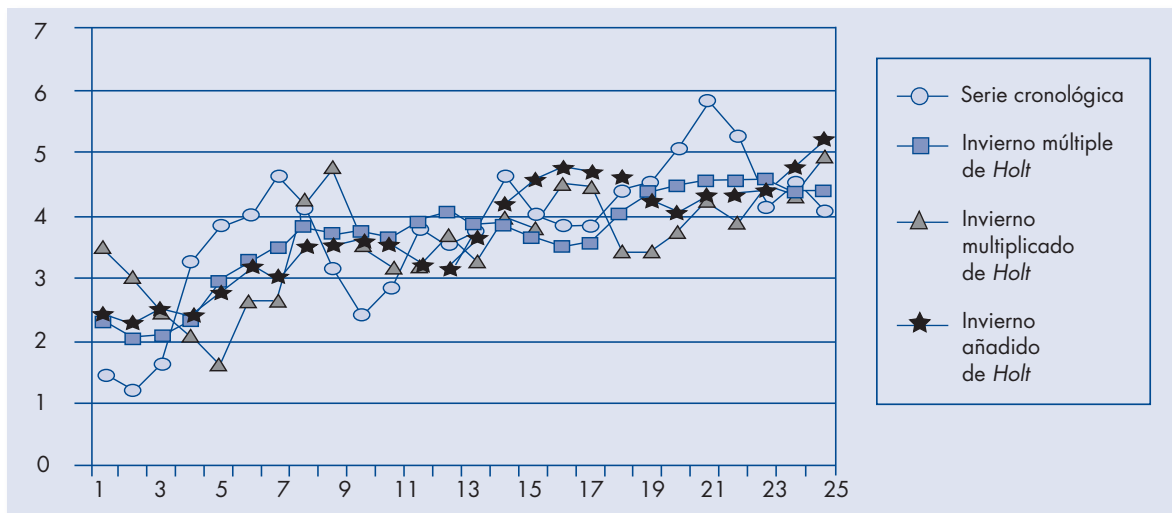


Figura 6.28 Ejemplo de pronóstico obtenido con el método de Winter.

⁵⁸ CPFR: Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment.

de tiempo, a diferencia del resto de las técnicas descritas anteriormente que suponen que los datos observados subsecuentes son independientes entre sí. La dependencia de los datos observados, separados por un número fijo de periodos, se conoce como autocorrelación y tener en consideración esas dependencias mejora sustancialmente los pronósticos.

La autocorrelación puede ser positiva o negativa y orden uno, dos, etc., dependiendo del número de periodos que contempla. Por ejemplo, si el ingeniero industrial percibe que en una empresa se da el fenómeno de que a un mes de ventas bajas le sigue uno de ventas buenas, la serie de datos tendrá una autocorrelación negativa y de orden uno. Si a valores altos en los datos, lo siguen valores altos en el periodo próximo, la autocorrelación es positiva de orden uno; si en la misma empresa el fenómeno se repite cada dos periodos, entonces la correlación es de orden dos y así sucesivamente. Para usar este método se deberán determinar las autocorrelaciones de muestras de datos para un periodo de separación, dos periodos o tres periodos, hasta lograr el ajuste necesario.

El modelo Box-Jenkins tiene distintas versiones, la más conocida es la de Promedios Móviles con Autorregresividad Integrada (ARIMA, por sus siglas en inglés). Los modelos ARIMA no son sencillos de construir, pues requieren un entendimiento profundo de los procesos que contempla. El ingeniero industrial utilizará técnicas matemáticas sofisticadas para la estimación de los parámetros del modelo y deberá tener grandes cantidades de datos históricos (se recomiendan al menos 72 observaciones). Lo interesante es que mediante el uso de este tipo de métodos se obtienen predicciones de corto plazo de muy buena calidad. En la figura 6.29 se encuentra un ejemplo del cálculo de pronósticos utilizando ARIMA.

Por su parte, el modelo CPFR se publicó por primera vez en 1995. Utiliza herramientas basadas en Internet, para coordinar los pronósticos de la demanda con la planeación de la producción, de las compras y reabastecimiento de inventarios entre distintos elementos de la cadena de suministro,⁵⁹ la figura 6.30 muestra una cadena de suministro típica y la forma en que se da el flujo de información derivado de la CPFR. El objetivo de la técnica es el intercambio

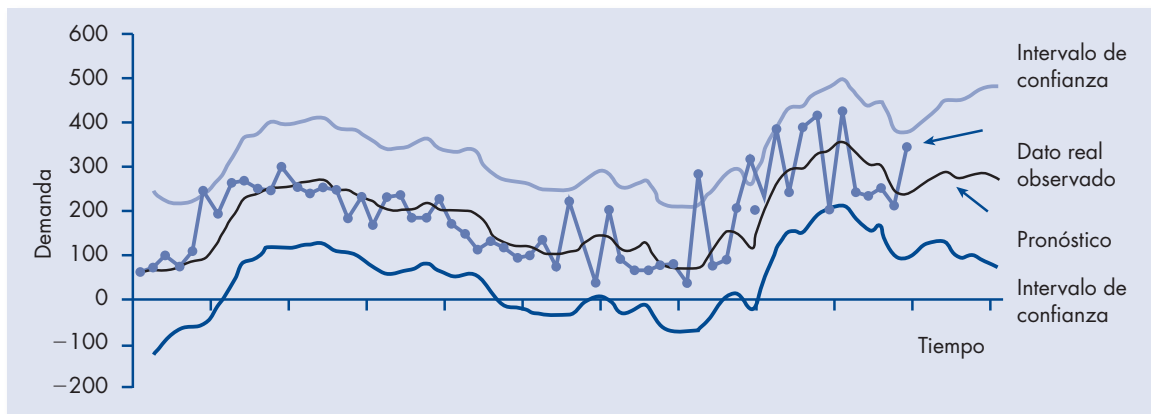


Figura 6.29 Ejemplo de pronóstico obtenido con Box-Jenkins (ARIMA).

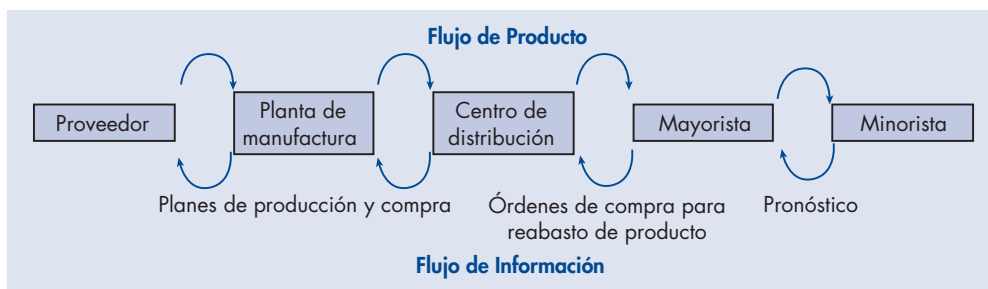


Figura 6.30 Cadena de suministro típica y su flujo de información y de bienes.

⁵⁹ Cadena de suministro es la conjunción de proveedores, productores, distribuidores mayoristas y minoristas y consumidores que intercambian bienes, servicios e información. Este concepto se trata con más amplitud en el capítulo dedicado a logística.

de información interna selecta de las empresas utilizando un servidor web⁶⁰ compartido, que permitirá determinar demandas futuras confiables (a mediano y largo plazo), utilizando un procedimiento cíclico e iterativo,⁶¹ que derivará en pronósticos consensuados (recuérdese los métodos de juicio).

Después de realizarse, los pronósticos serán compartidos con el resto de los integrantes de la cadena para proceder al reabasto de bienes. Los pasos generales a seguir para la aplicación del CPFR son:

1. Negociaciones para llegar a acuerdos. Se deberá establecer el objetivo de la colaboración, los recursos necesarios (técnicos, humanos, etc.) y la firma del acuerdo de confidencialidad.⁶²
2. Planeación conjunta. Creación de estrategias y planes de trabajo para identificar la secuencia y frecuencia de las actividades de planeación que son vitales y que pueden afectar el flujo de productos.
3. Elaboración de pronóstico de demanda. Usualmente se utilizan los promedios móviles para la generación de pronósticos de órdenes y de ventas de varios productos.
4. Reparto del pronóstico. Tiene la finalidad de que los elementos de la cadena (especialmente los proveedores) conozcan la información y, en caso de existir diferencias, se llegue a un pronóstico consensuado.
5. Flujo de productos para reabastecimiento de inventarios. Después de que el pronóstico es acordado por las partes, automáticamente se convierte en un pedido al proveedor e inicia el proceso de abastecimiento de producto.

Para finalizar esta sección, es importante mencionar que el ingeniero industrial deberá plantearse una serie de cuestionamientos para seleccionar la técnica de pronóstico que mejor se adapte a las necesidades de su organización; preguntas como: ¿cuál es el propósito y uso del pronóstico?, ¿la demanda es sensible a agentes externos, es estacional o existen tendencias crecientes o decrecientes?, ¿se cuenta con datos históricos?, ¿es importante para la empresa

analizar datos pasados?, y ¿cuál es el error permisible que se puede obtener del pronóstico? Son cuestiones básicas que el analista deberá plantearse antes de comenzar a trabajar con un método u otro. En general, menciona Durán (2005), las técnicas de pronósticos cuantitativas resultan más efectivas para pronosticar la demanda a mediano y corto plazos. Además, estas técnicas son susceptibles de automatizarse mediante el empleo de software comercial ampliamente disponible en el mercado.

Planeación agregada

Se ha mencionado que el ingeniero industrial puede trabajar para empresas de distinto giro y tamaño. Sin embargo, un aspecto que deberá recordar siempre es que no es lo mismo administrar una empresa de gran envergadura que una PyME y que necesitará distintas habilidades y grados de detalle en la información para la toma de decisiones en uno u otro caso; todo lo anterior, como también se describió ya, tendrá que ajustarse a los lineamientos descritos por las estrategias de la organización. Cuando el administrador de las operaciones enfrenta aspectos como la planeación de la fuerza de trabajo o los niveles de producción de toda la compañía es muy probable que tenga que usar la Planeación Agregada (AP, por sus siglas en inglés)⁶³ en su trabajo. La PA también es conocida como macroplaneación⁶⁴ y es utilizada por empresas manufactureras y de servicios para determinar la cantidad de mano de obra, los productos y sus cantidades necesarias (inventario), a fin de cumplir sus objetivos estratégicos. La PA, sobre todo, también permitirá establecer el rasgo que caracterizará a una firma respecto del compromiso con su recurso humano, es decir, si estará dispuesta a fijar responsabilidades con su personal en tiempos malos o a considerar a sus empleados un recurso del cual prescindir inmediatamente si es forzoso. Es por lo anterior que la PA es una técnica a la que el ingeniero industrial latinoamericano debe prestar atención y considerar aspectos éticos en su aplicación; en países donde existe gran cantidad de mano de obra a un costo relativamente bajo, la aplicación de este tipo de técnicas puede traer beneficios considerables en la reducción de costos, pero deberá ejecutarse con cuidado.

En términos generales, la PA comienza con la determinación de un pronóstico de la demanda esperada del

⁶⁰ Reparto de información a través de Internet.

⁶¹ Que se repite.

⁶² Acuerdo entre empresas o entre personas y empresas, que tiene por objetivo no dar a conocer ni compartir información importante con terceros bajo ninguna circunstancia.

⁶³ De Aggregate Planning, término en idioma inglés.

⁶⁴ Véase Nahmias (2005).

producto (véase la sección anterior). Posteriormente, el gerente de operaciones deberá determinar cuál es la capacidad "agregada" de su empresa para satisfacer los requerimientos esperados (capacidad de producción actual, cantidad de mano de obra disponible en el momento y los niveles de inventario existentes). Después de determinar la diferencia entre esas dos cantidades (*gap*), la tarea será balancear estos elementos y ejercer acciones para cumplir con los objetivos. La figura 6.31 ilustra este procedimiento.

Agregar debe entenderse como agrupar, consolidar o conjuntar los datos e información. Esta necesidad surge por tres razones fundamentales:

- La cantidad de datos provenientes de las operaciones se hace cada vez más compleja.
- Actualmente estos datos pueden obtenerse con relativa facilidad gracias a las tecnologías de información con las que cuentan las empresas, un ejemplo son los sistemas ERP.⁶⁵
- Aunque esas mismas tecnologías permiten el procesamiento de grandes cantidades de datos, los

pronósticos con datos consolidados tienden a ser más exactos.

Para ilustrar lo anterior, considérese, por ejemplo, las 10 000 a 120 000 diferentes cuentas (clientes) que tiene que atender un sistema de distribución de empresas de bebidas embotelladas,⁶⁶ o el más de un millón de SKUs⁶⁷ (número de diferentes productos) que pasan a través de la red de empresas detallistas (*retailers*) del tipo de almacenes de tiendas de prestigio en México.⁶⁸ Esto hace imperioso utilizar algún criterio para agrupar a los clientes y/o productos y tener información condensada que pueda servir en la PA y otras técnicas de la AO. La consolidación puede basarse en alguno de los siguientes criterios:

- a) Para la agrupación de los productos, se pueden utilizar criterios como:
 - *El tipo de producto.* Se refiere a la conjunción de los artículos de acuerdo con la similitud de sus características logísticas: volumen, peso, tamaño, etcétera.

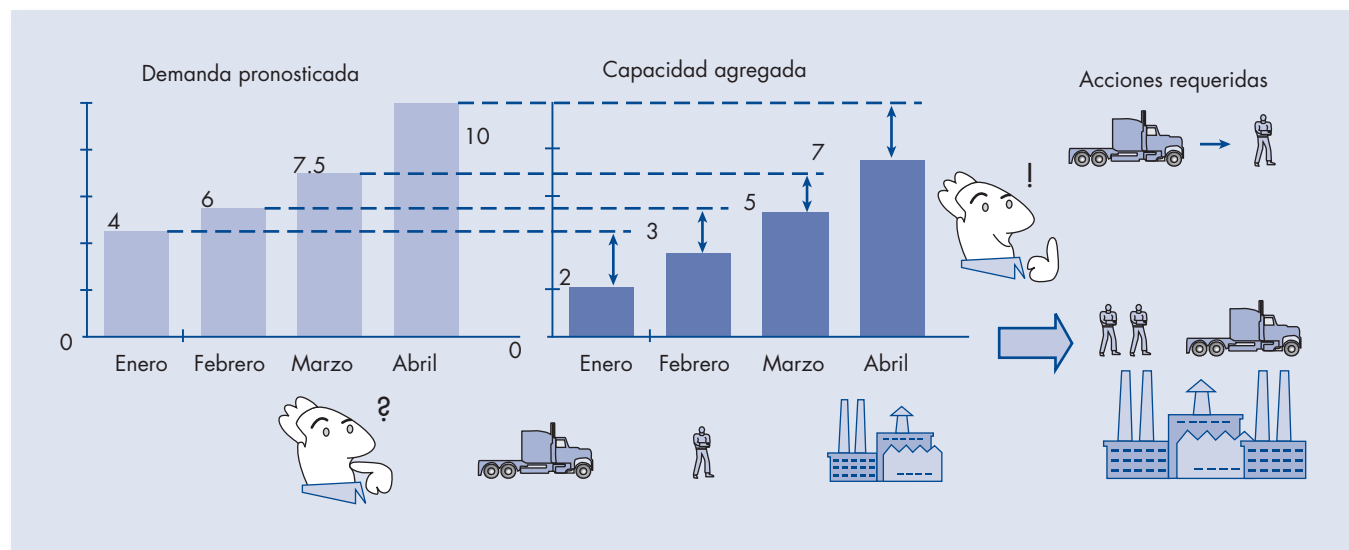


Figura 6.31 Esquema de trabajo de la planeación agregada.

⁶⁵ ERP: Enterprise Resources Planning System. Es un sistema de información evolución del MRP (Materials Resource Planning) y del DRP (Distribution Resource Planning) que ocupan las empresas con la finalidad de conjuntar la información de sus distintas áreas funcionales, con el objetivo de hacerlas más eficientes, brindando información confiable y de utilidad a la alta dirección. Se puede encontrar más información en la sección de administración de la cadena de suministro y el capítulo dedicado a la logística.

⁶⁶ Véase Simchi-Levi, *et al.* (2003).

⁶⁷ SKU: Stock Keeping Unit. Es una serie de dígitos que una empresa ocupa para identificar a la unidad más pequeña de los productos que maneja (piezas, cajas, tarimas, etcétera).

⁶⁸ El Puerto de Liverpool S.A. de C.V. y El Palacio de Hierro S.A. de C.V. son las empresas líderes del sector de tiendas departamentales de prestigio en México (compañías tipo JC Penney o Sears); y han implementado medidas exitosas en el manejo de altos volúmenes de mercancía en los últimos años.

- *El patrón de distribución.* En este esquema se conjuntan aquellos productos provenientes del mismo origen y/o aquellos cuyo destino es el mismo punto.
- b) Los clientes se agrupan según su proximidad geográfica y la clase a la que pertenecen:
- *Un agrupamiento por proximidad* puede realizarse gracias al código o zona postal, o al área geográfica (ciudad, región, estado, provincia, etcétera) a la que pertenece el consumidor.
 - *Nivel de servicio.* Frecuentemente se pueden identificar distintas clases en los clientes, de acuerdo con la importancia relativa que representan según su nivel de consumo. Así encontramos, por ejemplo, clientes tipo "A", "Platino", "V.I.P.",⁶⁹ etc., lo que indica la necesidad de un nivel de servicio diferenciado hacia éstos.

El lector puede preguntarse qué tan confiable es el uso de datos consolidados. Algo que el ingeniero industrial aprenderá es que la agrupación reduce la variabilidad o "ruido" contenido en los datos; es decir, los patrones se atenúan (véase figura 6.32). El efecto (error) inducido por este "maquillaje" en los datos deberá ser cuantificado y se tendrá que decidir si es factible su utilización. En el campo del transporte, como muestra, diversas investigaciones han

demostrado que al agrupar los datos entre 150 a 200 puntos da por resultado un error de no más de 1% al estimar los costos de distribución.⁷⁰

La PA trabaja muy de cerca a las estrategias corporativas de una organización y si una de las dimensiones elegidas por la empresa es la de reacción rápida a las variaciones en la demanda, esto puede implicar cambios frecuentes en la cantidad de mano de obra utilizada en la elaboración de un bien o servicio, es decir, el constante despido y recontratación de la fuerza laboral según se necesite. A esta forma de trabajo se le conoce como una estrategia de persecución.

La estrategia de persecución no es benéfica en el largo plazo para un negocio, pues generará en los empleados un temor constante a perder su empleo y, por tanto ellos enfocarán su atención en la búsqueda de mejores oportunidades laborales en otra empresa. Sin embargo, en el otro extremo, si se decide mantener una plantilla estable, el administrador se enfrentará a otro tipo de problemas, como la sobreproducción o existencia de recurso ocioso en temporadas bajas de ventas y la consecuente crisis por cubrir las nóminas en cada periodo de pago. Aquí se puede citar el caso de la armadora de autos Volkswagen, en su planta de Puebla. Cuando se presentan periodos de recesión en la demanda de autos de esta marca a nivel nacional e internacional, gracias a diversas negociaciones entre el sindicato, los administradores de la planta, los directivos de Alemania y las autoridades de la Secretaría de Trabajo local, se han podido implementar programas de respeto a la plantilla laboral, que contemplan el uso de medias jornadas, pago de fracciones de salarios, periodos predeterminados de inactividad, etcétera.

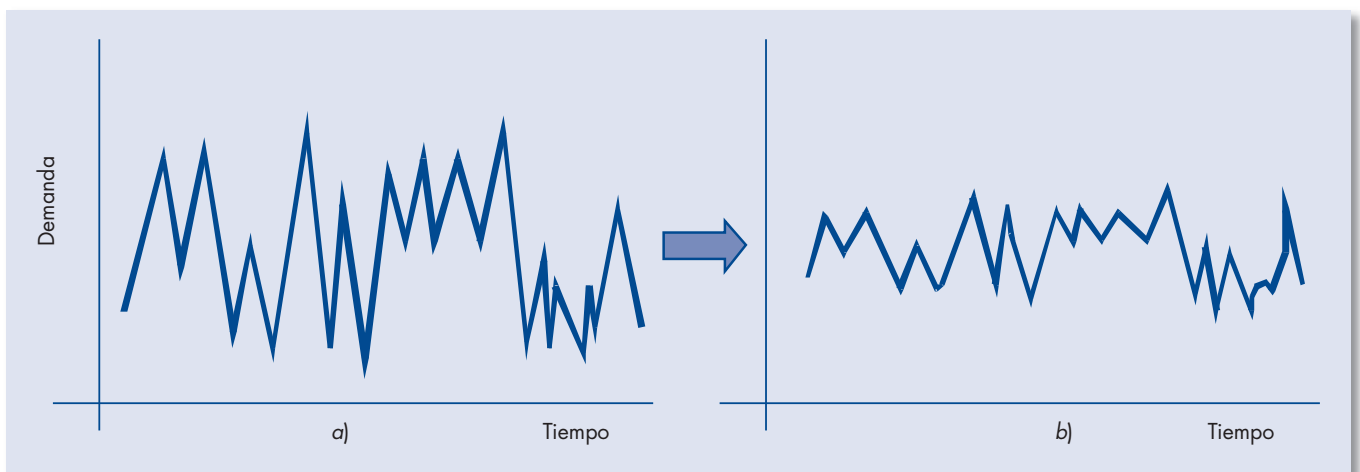


Figura 6.32 La variación de los datos a) anterior y b) posterior a la consolidación (agregación).

⁶⁹ VIP: Very Important People.

⁷⁰ Véase Ballou (1999).

Para finalizar, cabe recordar que el ingeniero industrial puede tener como objetivo la búsqueda de la minimización de los costos. Cuando suponga que estos costos son lineales, por ejemplo, si el costo de contratación de un trabajador adicional es el mismo costo de contratación del empleado anterior, o si el costo de mantener una pieza más en el inventario es igual al costo de mantenimiento de las otras piezas, entonces podrá hacer uso de la programación lineal (PL) para encontrar la solución que optimice su problema de PA. Las soluciones que arroja la PL, por ser cuantitativas, son bases bastante sólidas para la correcta toma de decisiones en las empresas. Las técnicas de la PA, aunque concebidas para la alta dirección⁷¹ y su aplicación a nivel *macro*, pueden ser utilizadas en cualquier estrato jerárquico de las organizaciones. Solamente deberá tenerse presente un grado de agrupación adecuado para la información que se pretenda analizar.

Administración de los inventarios

En términos sencillos, inventario es la acumulación de algún tipo de artículo, material o producto que representa valor y utilidad para una empresa. Este material puede servir como insumo (materia prima) para la generación de otros productos; también puede tratarse de producto intermedio (el cual se encuentra en proceso de transformación y será trasladado a una etapa siguiente del proceso productivo), o ser un bien terminado (se ha finalizado el proceso productivo y se encuentra esperando su transportación hacia el cliente). Existe un número considerable de razones por las cuales las organizaciones mantienen inventario, sin embargo, la más importante pareciera ser el combate a la incertidumbre; esto significa que la mencionada acumulación de producto servirá como un escudo ante la falta de certeza por parte de la empresa de las fechas y cantidades en las que un consumidor (cliente final) requerirá el bien que se ofrece; la ocurrencia de dificultades inesperadas a los proveedores,⁷² como es el caso de descomposturas en sus vehículos de reparto y/o maquinaria o la misma falla de sus propios proveedores; cambios en la programación de la producción (flexibilidad), la especulación,⁷³ entre otras.

Estas circunstancias son situaciones comunes pero complejas de analizar en los negocios, lo que obliga al ingeniero industrial a diseñar y revisar los Sistemas de Inventarios (SI) en una compañía. Los SI son el conjunto de políticas,⁷⁴ decisiones y controles que sugerirán cuáles son los artículos y las cantidades adecuadas que deberán mantenerse⁷⁵ en inventario, así como el tamaño del pedido y la frecuencia con la que una empresa deberá comprar el producto terminado (en el caso de empresas comercializadoras) o las materias primas (empresas manufactureras) necesarias para la producción. En otras palabras, el diseño del SI deberá resolver el problema de las cantidades a reservar en inventario para equilibrar los costos generados por el inventario (se buscará que el costo sea el menor posible) y el nivel de servicio que se desea brindar al cliente derivado de dicha cantidad. Los métodos para diseñar el SI se clasifican en dos grandes rubros: SI de demanda independiente y SI de demanda dependiente.

La diferencia entre ambos tipos de inventario radica, sobre todo, en el conocimiento de la información (específicamente la demanda). Los primeros consideran que ésta es independiente, es decir que no existe relación entre la demanda de producto en periodo de tiempo determinado y aquella del siguiente periodo. Los segundos, por el contrario, utilizan planes maestros de producción para calcular directamente los requerimientos de inventario.

Los SI pueden lucir de manera muy distinta dependiendo de la empresa. Aún en la actualidad existe un gran número de ellas que administran sus inventarios utilizando papel y registros manuales, otras ocupan sistemas incipientes como hojas de cálculo, software tipo ERP y las más sofisticadas emplean software especializado en inventarios. Sin embargo, un SI bien diseñado deberá considerar aspectos como:

- La demanda del producto y/o servicio, que es aleatoria y estimada por los pronósticos.
- Los tiempos que transcurren desde la elaboración de requisiciones hasta la llegada de la mercancía al usuario (*lead time*).⁷⁶
- El número de productos de la empresa.
- Los costos que trae consigo el inventario.

⁷¹ Presidencias y vicepresidencias en las organizaciones. Ejecutivos que definen y toman las decisiones a nivel estratégico en las empresas.

⁷² Proveedor: persona o empresa que abastece de todo lo necesario para un fin a una empresa, un grupo, asociaciones, comunidades, etcétera.

⁷³ Operación comercial que se practica con mercancías, valores o efectos públicos, con ánimo de obtener lucro, basado en las variaciones de los precios o de los cambios.

⁷⁴ Política: orientaciones o directrices que rigen la actuación de una persona o entidad en un asunto o campo determinado.

⁷⁵ Acumularse, almacenarse, retenerse.

⁷⁶ *Lead time*, para efectos de inventario puede entenderse como el tiempo que tarda un proveedor en entregar los pedidos que se le realizan.

- El nivel de servicio al cliente que desee brindar la corporación.
- El tiempo que deberá pasar entre las revisiones a los niveles existentes de inventario.
- La posibilidad de que el cliente solicite producto que no se encuentre en existencia actualmente y que esté dispuesto a aguardar el reabastecimiento del mismo (a esta forma de trabajo se le conoce como *backorder*).⁷⁷
- Los cambios que se puedan presentar en el inventario a través del tiempo.

Hablar de costos del inventario es todavía un tabú para muchas empresas latinoamericanas. El problema radica en que no realizan cálculos ni estimaciones de la cantidad de dinero gastado por concepto de sus inventarios.⁷⁸ El costo total del inventario se forma sumando el costo de mantenimiento, el costo de pedimento y el de penalización. El costo de mantenimiento (también conocido como costo de acarreo) es un costo proporcional a la cantidad de mercancía retenida como inventario; éste debe entenderse como el costo en que se incurre por conservar los artículos a través del tiempo. Es bien sabido que mantener inventario es, en la actualidad, un riesgo, pues al estar en una posición estática, el inventario puede ser sujeto de robos, daños ocasionados por desastres naturales y originados por el hombre (terremotos, inundaciones, incendios, etc.), caducar (en caso de alimentos y químicos), volverse obsoleto (pasar de moda) y/o perder valor a través del tiempo. Por todo lo anterior, el costo de mantener se estima multiplicando un porcentaje (interés) por el costo de una unidad del bien. El interés se forma por:

- El costo del espacio físico en el que se almacena el producto (rentas de espacio).
- Impuestos.
- Primas de seguros.
- Cargos por riesgo de obsolescencia y/o deterioro.
- Costos de oportunidad.⁷⁹

Un ejemplo de esta situación es el siguiente:

Supóngase que una empresa tiene los siguientes datos: 28% de costo de capital, 2% de prima de impuestos y seguros, 6% de costo de almacenamiento y 1% por obsolescencia; el interés base del costo de mantener inventario asciende, entonces, a 37%, lo que significa que se hará un cargo de 37 pesos por cada 100 pesos invertidos en inventarios durante el periodo de 1 año.

El costo de ordenar (de pedir al proveedor) es proporcional a la cantidad solicitada o producida; este costo se compone de una parte fija y otra variable. La parte fija contempla los costos originados por la generación de la orden de compra, el costo de envío y el transporte, el costo de recepción y el manejo del producto en la organización, etcétera. La parte variable comprende el número de unidades adquiridas por su costo unitario. En tanto, el costo de penalización es el costo en el que se incurre cuando no se tiene inventario suficiente para satisfacer la demanda. Si la empresa trabaja con *backorders*, la penalización es sólo el costo de los registros y/o costos de los retrasos; sin embargo, puede darse el caso de que el cliente se pierda, en tal situación la penalización será la ganancia perdida por la venta no realizada. Casos más complejos de la estimación del costo de penalización tienen que ver con los costos originados por el deterioro de la imagen de la empresa ante el cliente.

Si un gerente de operaciones posee estos datos podrá determinar fácilmente la Cantidad Económica a Ordenar,⁸⁰ cifra que es el punto de equilibrio entre los costos de ordenar y de mantenimiento en inventario y que coincide con la cantidad de menor costo total. El ingeniero industrial puede determinar esta cantidad graficando en una hoja de cálculo los costos de mantener, de pedir y el costo total del inventario. Al hacer esto obtendrá una gráfica parecida a la que se muestra en la figura 6.33. El punto más bajo de la curva de costo total coincide con el punto de intersección entre los costos de mantener y pedir; a este nivel de inventario se le conoce como la cantidad económica a ordenar. Hace varios años, los especialistas derivaron una fórmula para encontrar el punto mínimo de la curva del costo total (el EOQ) que dice:

$$\text{Cantidad económica a ordenar} = \sqrt{\frac{2 * \text{costo fijo de pedir} * \text{demanda en el periodo}}{\text{interés base costo de mantener} * \text{costo unitario del producto}}}$$

⁷⁷ Los *backorders* son aquellas órdenes de compra realizadas por el cliente que no pudieron ser abastecidas por el proveedor debido a falta de producto disponible, y que se ha acordado satisfacer cuando se compre o se fabrique más producto, según sea el caso.

⁷⁸ Es objetivo del presente texto es motivar en el futuro ingeniero industrial la práctica de investigación, estimación y conocimiento de los costos derivados del inventario, ya que son un factor crítico que le permitirá cuantificar los beneficios obtenidos al realizar mejoras al SI.

⁷⁹ Los costos de oportunidad reflejan un interés que pudo haberse obtenido al dedicar el dinero a alguna inversión alternativa y no a la compra de producto como inventario.

⁸⁰ También conocida como EOQ (Economic Order Quantity).

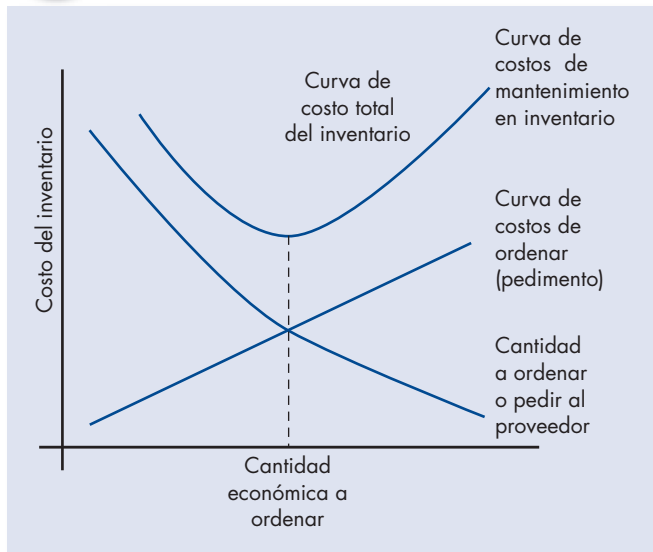


Figura 6.33 La determinación gráfica del EOQ.

El EOQ es una técnica que no pretende ser la respuesta a fenómenos complejos de inventario que suceden en las empresas, pero, como se mencionó al principio de este capítulo, el ingeniero industrial deberá entender primero los modelos sencillos (como el EOQ) para construir SI más elaborados.

El método EOQ no considera la incertidumbre en la demanda ni el uso de pronósticos para combatirla. Un SI más realista en las empresas requiere que los gerentes de operaciones sean conscientes de la situación originada por una mala estimación de la demanda, misma que se describe en la figura 6.34:

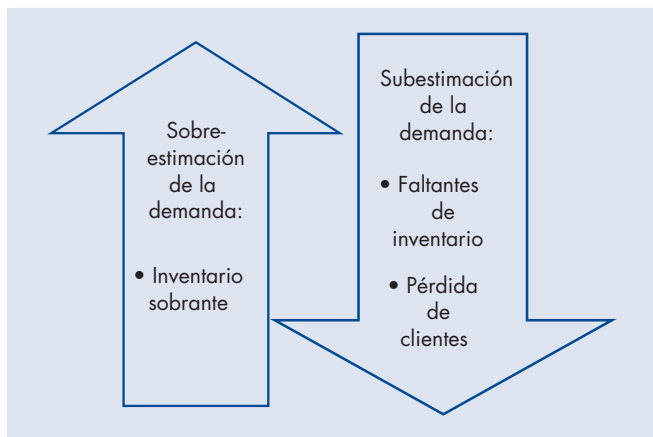


Figura 6.34 Resultados de una estimación errónea de la demanda.

Para evitar estimaciones incorrectas de la demanda y contemplar su variabilidad, es necesaria la obtención de un pronóstico de demanda del artículo que se desea analizar (véase sección de pronósticos). Debido a que se trata de decisiones que involucran riesgo, el pronóstico será comúnmente del tipo probabilístico. Un ejemplo que muestra cómo lucen dichos pronósticos se presenta en la figura 6.35. En este ejemplo se puede observar que un escenario de ventas de 200 piezas tiene una probabilidad de 40% de ocurrencia y así sucesivamente.

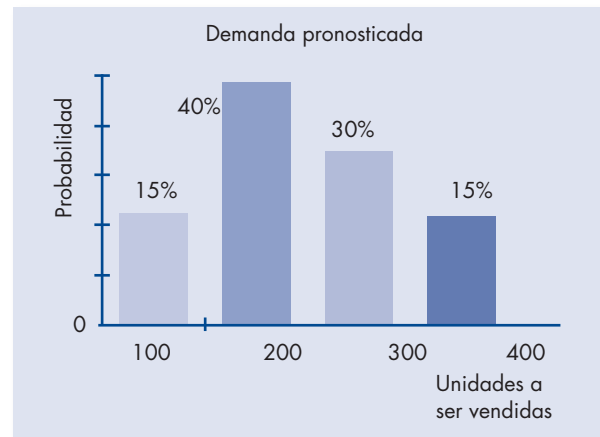


Figura 6.35 Ejemplo de pronóstico probabilístico de la demanda de un artículo.

Se procede al cálculo de utilidades esperadas,⁸¹ mismas que pueden graficarse contra las cantidades adquiridas o producidas, como se muestra en la figura 6.36, y entonces identificar fácilmente cuál es el nivel de inventario que presente una utilidad promedio mayor.

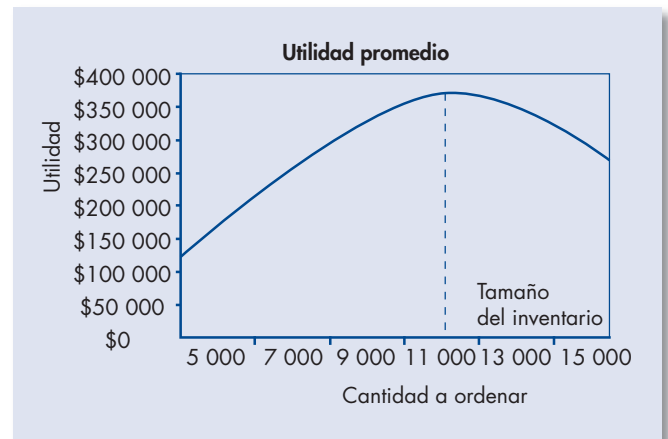


Figura 6.36 Gráfica de utilidades esperadas con y sin producción y el punto de reorden.

⁸¹ Utilidad esperada: Es la utilidad total de todos los escenarios ponderados, con la probabilidad de que cada escenario ocurra.

Esta gráfica de utilidades promedio siempre tendrá la forma de una "U" invertida; es decir, crece hasta cierto punto, a partir del cual comienza a decrecer. Al incrementarse la cantidad a producir, el riesgo (entendido como la probabilidad de grandes pérdidas) siempre se incrementará; no obstante, la probabilidad de grandes ganancias también aumentará, a esto se le conoce como equilibrio "riesgo-premio".

Si una empresa manufacturera tuviera que decidir entre comenzar la producción de los artículos del inventario o no, tendría que realizar de nuevo los cálculos de utilidades esperadas para ambos casos (producir o no); claramente, encontraría un punto de quiebre a partir del cual las utilidades promedio obtenidas al producir sean mayores que las obtenidas sin producción por el simple efecto de los costos fijos. A este punto se le conoce como punto de reorden y es la base de la técnica denominada máximos y mínimos o método (s, S) (véase figura 6.37).

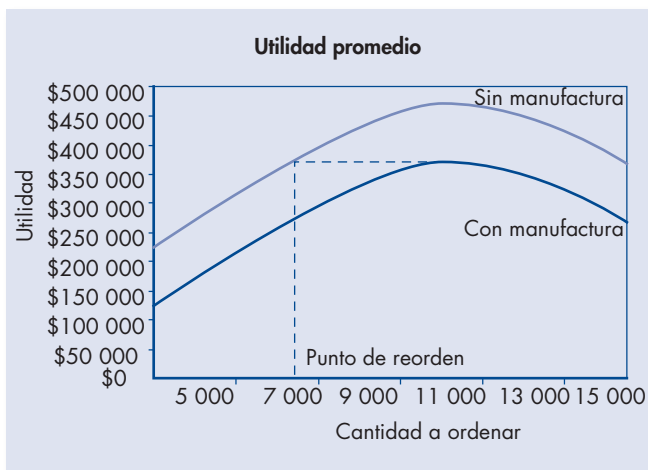


Figura 6.37 Gráfica de utilidades esperadas con y sin producción y el punto de reorden.

Esta técnica consiste en que siempre que el nivel de inventario de un producto llegue o sea menor a cierto valor, s (un punto llamado de reabastecimiento o reorden), la compañía deberá pedir más producto, en caso de tratarse de una empresa comercializadora, o producirlo, si es una manufacturera, hasta alcanzar un nivel máximo de inventario, dígame S . La diferencia entre s y S estará dada por los costos fijos asociados con el pedido, la manufactura y el transporte del producto. Esta forma de trabajo ha sido entendida de manera empírica por varias organizaciones y

se han impuesto "reglas de dedo", que indican que tener producto suficiente para dos o tres meses de ventas es una buena práctica.

En el caso anterior se sobreentiende que el proveedor es capaz de brindar un nivel adecuado de servicio a su cliente (entregas en tiempo y en cantidades exactas); para que esto suceda en la realidad, las empresas deberán negociar y hacer acuerdos para repartir el riesgo existente. De esta forma, el costo asociado con el inventario disminuye y se podrán obtener beneficios adicionales (más utilidades) para ambas partes. Las negociaciones más comunes para el reparto del riesgo con los proveedores son:

- Precio y descuentos por volumen (entre más se compra, el precio del producto desciende).
- El proveedor "recompra" el producto que el cliente no puede vender a un precio pactado con anterioridad.
- Reparto del ingreso (se acuerda una reducción en el precio de los productos por parte del proveedor a cambio de un porcentaje del ingreso obtenido por el cliente).
- Tratamiento a las devoluciones (el proveedor devuelve totalmente la cantidad pagada de artículos no vendidos siempre y cuando el número de devoluciones no sea más grande de cierta cantidad preestablecida).
- Los rebates.⁸² Las negociaciones y acuerdos efectivos motivarán a los integrantes de la cadena de suministro a cambiar las estrategias tradicionales de provisión, en las que cada elemento intenta optimizar su propio beneficio, por unas en las que la utilidad de la cadena es maximizada (optimización global).

Para concluir esta sección se explican algunas estrategias efectivas de reducción de inventarios que el ingeniero industrial deberá aplicar y monitorear en las compañías:

- a) *Uso de revisiones continuas.* Esta técnica calcula un punto de reorden (s) conformado por un inventario promedio y un inventario de seguridad⁸³ lo suficientemente grande para contrarrestar la variación de la demanda del producto durante el tiempo de entrega del proveedor, que es el periodo en el que más "indefensa" se encuentra

⁸² Es una cantidad de dinero pagada por el proveedor por las unidades vendidas a partir de cierta cantidad preestablecida.

⁸³ Cantidad de inventario que el distribuidor necesita mantener en sus bodegas, almacenes o centros de distribución a fin de protegerse contra las variaciones de la demanda promedio durante el tiempo de entrega del proveedor.

la compañía. Además, la técnica calcula un nivel máximo de inventario (S), añadiendo a s el tamaño del EOQ.

- b) *Revisión periódica.* El inventario es revisado en un intervalo de tiempo fijo, previamente determinado, y se emite una orden de compra al proveedor. Este tipo de política hace posible identificar productos obsoletos y/o de bajo movimiento, permitiendo reducir los niveles de inventario.
- c) *Supervisión estricta de los tiempos de entrega, inventario de seguridad y razón de uso (consumo) de lo inventariado.* Al revisar estos parámetros se asegura que la empresa posea o mantenga niveles adecuados de inventario; el administrador de las operaciones deberá estipular un proceso de control bien definido que ayude a identificar cuando un artículo inventariado ya no se está ocupando con regularidad. Si no se toman acciones efectivas, el inventario comenzará a abultarse.
- d) *Reducción de niveles de inventario de seguridad.* Se logra principalmente con la reducción de tiempos de entrega de los proveedores (*Lead Time*).
- e) *Implementación o mejora de la práctica del conteo cíclico en las empresas.* Éste reemplaza el conteo físico anual de todo el inventario por un sistema donde sólo una porción del mismo es contado periódicamente y en donde cada ítem es contado varias veces al año, dependiendo de la importancia relativa del producto para la empresa.
- f) *Método ABC.* Los ítems se clasifican en tres categorías (principalmente): clase A, son aquellos productos con la más alta utilidad, de manera típica representan 80% de las ventas anuales y sólo 20% de artículos en el inventario; la clase B representa 15% de las ventas anuales, y la clase C se refiere a productos de baja utilidad, pero que son la mayoría en términos de volumen.
- g) *Mantenimiento de la mayor cantidad de inventario posible* (o la posesión del mismo) con el proveedor y/o con los clientes.
- h) *Uso de métodos cuantitativos.* Están enfocados a mantener un balance adecuado entre los costos de ordenar y mantener.
- i) *Cálculo, seguimiento y control del nivel de rotación del inventario.* Es un índice definido como las ventas anuales sobre nivel de inventario promedio. Un incremento en la rotación significa un

decremento en los niveles promedio de inventario, lo que conlleva un alto nivel de liquidez,⁸⁴ bajo riesgo de obsolescencia y una baja inversión en inventarios ocasionado por un menor riesgo de ventas perdidas.

Tendencias futuras de la administración de las operaciones

Las distintas disciplinas de la AO seguirán evolucionando y transformando la manera en que se analizan y resuelven los problemas de una corporación y, a la vez, adaptándose para manejar la creciente complejidad de las operaciones del futuro. Algunas de las cuestiones con las que muy probablemente los lectores interesados lidiarán en un futuro no muy lejano son:

- Seguir creando conciencia de la importancia de las operaciones como arma estratégica.
- Administrar las experiencias de los clientes respecto a los servicios proporcionados.
- Aumento notable de organizaciones que ofrezcan bienes y servicios como parte de su portafolio de soluciones.
- Incorporación de modelos complejos y tecnología para la optimización de la red de distribución.
- Seguir coordinando la relación entre compañías que se apoyan entre sí, pero que son independientes.
- Producción combinada de bienes tangibles y servicios.
- Administración de puntos de contacto con los clientes.
- Incremento sustancial en el poder de cómputo aplicado a herramientas para la AO.

Como se observa, la AO tiene un espectro de aplicación muy amplio y con seguridad los ingenieros industriales del futuro encontrarán en ella un conjunto de herramientas poderoso y necesario para cumplir, los objetivos de su profesión. Se recomienda visitar los siguientes sitios en Internet, para estar al tanto de nuevos avances en la AO:

- mitsloan.mit.edu/omg
- www.apics.org/
- www.ebd.vd.edu/omms
- www.poms.org
- msom.society.informs.org/

⁸⁴ Liquidez es tener la capacidad de transformación de los productos en efectivo (líquido) de una manera rápida.

Palabras clave

Administración de operaciones, inventarios, pronósticos, programación y control de la producción, administración de proyectos, estrategia de operaciones, planeación agregada, calidad, TQM, administrador de las operaciones.

Casos para resolver

Caso 1

De acuerdo con Durán (2005), la demanda es consecuencia de la elección libre de los compradores, y lo que se puede vender es responsabilidad total de las empresas; en este caso, la responsabilidad es del administrador de las operaciones. En un estudio realizado por el mismo investigador, se encontró una empresa mexicana que ha aplicado exitosamente algunas de las técnicas de la AO descritas en el presente capítulo, en especial las enfocadas a la obtención de pronósticos, lo que le ha redituado beneficios tangibles.

Grupo Maza es una compañía con más de 25 años de antigüedad, establecida en Puebla, México. Posee distintas unidades de negocio (divisiones), pero una de las principales tiene relación con la manufactura de productos basados en plásticos (contenedores, tuberías, moldes, etcétera). La unidad plásticos emplea a poco más de 130 personas y dedica aproximadamente 60% de su producción al mercado nacional y exporta el resto.

Los directivos del grupo están conscientes de que en la división plásticos toda la planeación se fundamenta en la demanda pronosticada. Estos pronósticos permiten estimar entre otras cosas, volúmenes de ventas, presupuestos de los recursos financieros, planes de producción e inclusive requerimientos tecnológicos, por lo que conformar un pronóstico de calidad es un factor crucial para la división. Los pronósticos de demanda de productos plásticos son responsabilidad directa de las áreas funcionales de mercadotecnia y ventas, pero la alta dirección intervine reuniéndose con los gerentes de la división con el objetivo de recopilar información sobre el comportamiento actual y esperado de la industria alimentaria y de bebidas, sectores donde se sitúan sus clientes más importantes. Es también tarea del panel reunir información sobre posibles cambios tecnológicos de los materiales y cualquier otro dato que pudiera ser de relevancia para la empresa. Como resultado de evaluar esta información, los integrantes del panel de decisión están en la posición de establecer tendencias en el consumo de sus productos.

El pronóstico es complementado con datos provenientes de investigaciones de mercado, identificando aquellas estrategias de mercadotecnia que pueden influir en la demanda de los productos. Debido a que una

parte importante de la producción es exportada, Grupo Maza compara los ciclos de vida de los productos similares en otros mercados a fin de tener algunas referencias que sirvan en el contexto nacional.

Los resultados se comparan con datos históricos de las ventas en el último año y con la retroalimentación recibida por su fuerza de ventas. Con toda esta información, la empresa elabora diversos escenarios de demanda y ventas (algo similar a lo mostrado en la figura 6.35), considerando corto, mediano y largo plazos. La revisión, actualización y, en su caso, modificación de los pronósticos así calculados conjuntamente con los planes financieros y de producción se efectúa cada quince días.

Como puede concluirse, Grupo Maza combina diversas técnicas de pronóstico de demanda. La alta dirección enarbola el principio de que “cada empresa debe desarrollar su propio estilo de pronósticos, basándose en la historia y capacidad de su negocio y de su mercado”.

Caso 2

Se dice que no hay mejor manera de aprender que poniendo manos a la obra y, a diferencia de otras disciplinas, la ingeniería industrial debe tener sus laboratorios de experimentación y práctica en las empresas y organizaciones productivas. Es, por lo anterior, que la resolución del presente caso requiere que el estudiante forme un equipo de trabajo no mayor a cinco personas y se adentre en el mundo empresarial, a fin de ganar experiencia que le servirá en su ejercicio profesional. La tarea del equipo consistirá en buscar autorización para el acceso a dos empresas, con la finalidad de realizar observaciones y algunas preguntas sobre la forma en que se administran sus operaciones. La condición necesaria es que una de las compañías seleccionadas sea una empresa de manufactura y la otra esté dedicada a brindar algún servicio. El tamaño de la firma no es del todo relevante, sin embargo, experiencia previa indica que por ser de las primeras veces que el estudiante analizará la forma de trabajar de las organizaciones productivas, una empresa de tamaño medio a grande resultará más ilustrativa, aunque será más difícil acceder a ellas.

Después de haber obtenido el permiso de ambas empresas, el equipo deberá seleccionar alguna de las

herramientas que se han discutido a lo largo de este capítulo (inventarios, pronósticos, calidad, etcétera) que sean de su interés y agrado. La idea central del caso es que el equipo identifique las distintas clases de operaciones efectuadas por las compañías, las diferencias que existen y la forma en que se administran las mismas entre distintas empresas. Para resolver el caso, el equipo puede basarse en las siguientes preguntas, que intentará contestar con la información producto de sus observaciones o resultado de entrevistas con los actores (director/gerente de operaciones, jefes, coordinadores y empleados de las empresas).

1. ¿Cuáles son las áreas funcionales de la empresa en cuestión?
2. ¿Qué entiende la empresa por operaciones?
3. ¿Cuáles son las operaciones más importantes de la compañía?
4. ¿Existe un área (dirección, gerencia, jefatura, etc.) que se encargue de las operaciones en la empresa?
5. ¿Cuál es el objetivo, metas y/o estrategias de dicha área?, ¿cómo se determinan?
6. ¿Se relacionan las anteriores con la estrategia de la empresa?
7. ¿Las decisiones sobre las operaciones se toman de forma analítica?
8. ¿Qué tecnologías de información ocupa la empresa para administrar sus operaciones?
9. ¿El análisis de la demanda de productos (o servicios) es importante para la empresa?, ¿cómo se realiza?
10. ¿La compañía es eficiente en su producción?, ¿cómo lo hace?
11. ¿La empresa construye algún tipo de modelo para las operaciones?
12. ¿Cómo administra sus proyectos la empresa?, ¿ha incurrido en pagos de sanciones por no terminarlos a tiempo?
13. ¿Cuáles son los pronósticos utilizados por la compañía?, ¿cómo los determina?
14. ¿La empresa comparte información con sus proveedores y/o clientes?, ¿qué tipo de información?, ¿cuál es el objetivo?
15. ¿La empresa consolida información para hacer su planeación?, ¿qué resultados ha obtenido?
16. ¿Qué hace la empresa para combatir la variabilidad e incertidumbre en los datos, por ejemplo, la demanda de sus productos?
17. ¿Qué son los inventarios para la empresa?, ¿tiene algún tipo de inventario?, ¿cómo los administra y controla?
18. ¿Sabe la compañía el costo total derivado de la tenencia de sus inventarios?
19. ¿Qué tipo de técnica utiliza para determinar las cantidades a mantener en inventario?
20. ¿Qué es el riesgo para la empresa?, ¿cómo lo mide?
21. ¿La empresa hace negociaciones con sus proveedores a fin de compartir el riesgo?
22. ¿Cómo define calidad la organización en cuestión?
23. ¿Cuáles son las dimensiones más importantes de la calidad para la empresa?

Si bien existe la posibilidad de que alguna empresa se reserve algún tipo de información por considerarla estrictamente confidencial, el equipo deberá dejar muy en claro que el objetivo del caso es la formación inicial como ingeniero industrial, el aprendizaje de las herramientas de la AO y un acercamiento inicial con las compañías para poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos. Todas las conclusiones obtenidas deberán reportarse en un documento formal y de preferencia ser mostradas en una conferencia grupal para observar y discutir los resultados de otros equipos.

Para discusión

1. ¿Por qué se considera que la AO es una herramienta importante para el ingeniero industrial?
2. Mencione qué se entiende por proceso analítico, ¿cuáles son sus etapas?
3. Describa algunas de las teorías, ideas y conceptos que han surgido a través del tiempo y que han permitido el desarrollo de la AO.
4. ¿Cuál es el papel de un administrador de las operaciones dentro de una empresa o negocio?
5. ¿Cuáles son algunos de los problemas más frecuentes que se presentan dentro de una organización constituida como empresa y que pueden ser resueltos mediante la AO?
6. ¿Por qué son importantes las estrategias en un negocio?
7. ¿Cuál es la técnica de la AO que más llama su atención y por qué?

Bibliografía

- Bertrand, J y Fransoo, J. *Operations Management Research Methodologies using quantitative modeling international*. Journal of Operations & Production Management. Vol. 22. No. 2. 2002, pp. 241-264.
- Cachon, G. and Terwiesch, C. *Matching Supply With Demand. An Introduction to Operations Management*. McGraw-Hill/Irwin International Edition. Nueva York. 2006.
- Chase, R., Aquilano, N. and Jacobs, F. *Operations Management for Competitive Advantage*. 11 ed. McGraw-Hill. New York. 2006.
- Durán, J. *Haz tus pronósticos de demanda: Una estratégica manera de adelantarse al futuro y hacer crecer tu negocio* [en línea]. Agosto de 2005. Revista Entrepreneur en Español.com <<http://www.entrepreneurmexico.com/pagina.htm?N=14910&Ad=S>> [Consultada: 10 de marzo de 2007].
- Fleury, A. *Regional Report - Brazil and Latin America*. International Journal of Operations & Production Management. Volume: 18 Issue: 7, p. 662. MCB UP Ltd. 1998.
- Fuller, J. y Mansour, A. *Operations Management and Operations Research: A historical and relational perspective*. Management Decision 41/4. 2003, pp. 422-426.
- Mansour, A. *P/OM and Societal Development: A Historical Perspective*. Management Decision 41/2. 2003, pp. 190-194.
- Meredith, J. and Roth, A. *Operations Management in the USA*. International Journal of Operations & Production Management. Vol. 18. No. 7. 1998, pp. 668-674.
- Nahmias, S. *Production and Operations Analysis*. 5a. ed. rev. McGraw-Hill International Edition. New York. 2005.
- Rainbird, M. *A Framework for Operations Management: The value Chain*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. Vol. 34. No. 3/4. 2004.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. and Simchi-Levi, E. *Designing and Managing the Supply Chain*. 3ra. Ed. McGraw-Hill/Irwin. Nueva York, USA. 2007.
- Sohal, A., and Howard, K. *Effective Operations Management*. 2a. ed. MCB University Press Limited. UK. 2005.
- Velásquez, A. *Modelo de Gestión de Operaciones para PyMES Innovadoras*. Revista Escuela de Administración de Negocios. Núm. 47. enero-abril 2003, pp. 66-87.
- Werner, L. y Duarte, J. (2003). *Previsão de demanda: uma aplicação dos modelos Box-Jenkins na área de assistência técnica de computadores pessoais* Demand forecasting: an application of the Box-Jenkins models in the technical assistance of personal computer Gestão & Produção. Gest. Prod. Vol. 10. no.1. São Carlos Apr. 2003. ISSN 0104-530X, doi: 10.1590/S0104-530X2003000100005.



ESTUDIO Y DISEÑO DEL TRABAJO

Isidro Marco Antonio Cristóbal Vázquez
Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial
Texas A&M University

*Sólo un trabajo bien hecho y profundamente meditado puede,
en realidad, dignificar al ser humano.*

IMACV

Objetivo

- Mostrar las herramientas básicas para la mejora sistemática y razonada de los factores técnicos y sociales que influyen en el trabajo del ser humano.

Introducción

El estudio-diseño del trabajo (EDT) es una de las herramientas cualitativas más importantes de la administración de las operaciones de una empresa. De acuerdo con Sohal *et al.* (2005), su objetivo principal es satisfacer los requerimientos de productividad, eficiencia operacional y calidad al producir los bienes y/o servicios ofrecidos por una organización. Sin embargo, el ingeniero industrial siempre debe tener presente que un buen estudio-diseño también empata las necesidades de la empresa con aquellas del individuo¹ (principalmente el interés, el reto, el compromiso

¹ En este capítulo se utilizarán los términos empleado, trabajador, operario y operador como sinónimos.

y la satisfacción que éste encuentra en su trabajo). Desde los inicios de la ingeniería industrial y de la administración de operaciones (en la época de la Revolución Industrial), la *administración científica* y el *enfoque sociotécnico* han competido como filosofías que explican la manera en que las empresas pueden alcanzar la productividad, lograr la motivación del trabajador y la forma en que se debe estudiar-diseñar el trabajo. Por una parte, la administración científica tiene a sus máximos representantes en Frederick W. Taylor y los esposos Gilbreth, cuyos trabajos, efectuados a inicios del siglo xx, exaltaron la necesidad de “medir” el trabajo y de analizar concienzudamente los métodos para realizarlo. El enfoque sociotécnico, por el contrario, sostiene que los factores más importantes son las necesidades psicológicas y las aspiraciones personales del empleado; esta corriente fue sustentada principalmente por Abraham Maslow, Herzberg y Douglas McGregor, todos ellos científicos de la conducta del ser humano.

Debido a esta confrontación de corrientes ideológicas, la mayoría de los currículos de ingeniería industrial contempla dentro de las asignaturas del estudio y *diseño del trabajo* a los dos enfoques anteriores, los cuales se traducen en cuatro disciplinas que analizan los factores que propiciarán la productividad operacional de los negocios (centrándose en el individuo) y capacitarán al ingeniero para que, mediante una metodología formal, encuentre rutas de acción que incrementen la rentabilidad de las empresas. Las cuatro áreas dentro de un EDT son:

1. Estudio de métodos.
2. Medición del trabajo.
3. Ergonomía.
4. Higiene y seguridad industriales.

El estudio de métodos (EM) involucra observar y conocer en detalle la forma en que un trabajo se efectúa, recopilando y organizando los datos e información relevante sobre el proceso y determinando sistemáticamente mejoras al mismo. Estas mejoras serán resultado de un escrutinio exhaustivo de la información y deberán traducirse en formas más simples, eficaces y lógicas de ejecución de las actividades y, por ende, en una reducción de su duración, lo que repercutirá en la disminución de costos.² La medición del trabajo (MT), por otra parte, consiste en determinar los estándares³ de tiempo (tiempo de duración del trabajo) por medio de la observación directa de los

empleados, el empleo de la estadística y/o los tiempos predeterminados; estos patrones de tiempo serán utilizados por las empresas para evaluar el desempeño del trabajador, pronosticar, planear y controlar las cargas de trabajo, etcétera. La ergonomía, por su parte, es la disciplina que examina las capacidades y limitaciones psicológicas, fisiológicas y de comportamiento de las personas y busca diseñar lugares de trabajo acorde con dichas capacidades. Se recomienda revisar el capítulo sobre ergonomía. La higiene y seguridad industriales (HySI) proporcionarán un sitio de trabajo seguro e higiénico para los trabajadores por medio del control del ambiente físico de la empresa y de las operaciones. La aplicación correcta de las cuatro técnicas del estudio y diseño del trabajo deberá traducirse en oportunidades de mejora para los empleados debido a que tendrán estándares contra los cuales medir su rendimiento, mejorarán sus condiciones de trabajo, harán que sus equipos y las herramientas para ejecutar sus labores sean los adecuados, habrá mayor seguridad, orden, limpieza y, como consecuencia, una mayor moral, motivación y más productividad.

El ingeniero industrial, a través del estudio y el diseño críticos del trabajo, también podrá identificar cuál es la postura de una empresa respecto a la productividad⁴ y deberá fijarse como meta descubrir los factores que la afectan tanto en el plano individual (persona) como organizacional (equipo de trabajo, área, sección y compañía); en su análisis usará herramientas que le permitirán observar a las empresas desde los ámbitos técnico y social, esto le ayudará en la toma de acciones preventivas o correctivas que propiciarán un incremento de la eficiencia y eficacia de las operaciones y, por ende, de toda la organización. Asimismo, será capaz de configurar y establecer estándares de producción (indicadores) que le sirvan como termómetro para saber el estatus de su empresa y virar el curso de acción en caso de ser necesario. El presente capítulo describirá cada una de las técnicas mencionadas y al final presentará un estudio de caso para mostrar los beneficios del estudio y el diseño del trabajo para las empresas.

Estudio de métodos

El estudio de métodos (EM), también conocido como análisis de métodos, se centra en determinar cómo se realiza un trabajo, considerando que las tareas o actividades pueden ser realizadas por un solo operario o por un grupo

² La reducción de costos no sólo deberá entenderse en términos monetarios, sino en una reducción en distancias, en el uso de combustible, de energía, etcétera.

³ Tipo, modelo, norma, patrón o referencia.

⁴ Para una discusión más extensa del concepto de productividad, refiérase al capítulo correspondiente.

de ellos, utilizando herramientas, equipo o maquinaria. El EM se puede definir como el registro y el examen crítico-sistemático que se efectúa a las maneras de realizar actividades, con el fin de proponer mejoras que incrementen el rendimiento de los empleados y la calidad de los productos y/o servicios resultado de su trabajo. Un EM se conforma de seis etapas,⁵ según lo muestra la figura 7.1.

Seleccionar el trabajo a ser analizado dentro de una serie significa asignar prioridades para resolver las más urgentes y que tendrán más impacto en una empresa. La elección requiere que se consideren factores de costos, técnicos y humanos. Esto indica que deberán analizarse (y resolverse) primero aquellos trabajos que representen un costo mayor para la empresa (en términos de dinero, distancias, tiempos, etc.), los que involucren cambios de tecnología o aquellos que le ocasionen problemas importantes al empleado. La prioridad puede determinarse por medio del análisis de Pareto⁶ y/o con el análisis ABC; ambas herramientas muestran un listado de problemas (o sus causas) y la periodicidad con que ocurren en una em-

presa. Al ordenarlos de mayor a menor frecuencia se puede observar con facilidad aquellas situaciones altamente prioritarias para ser resueltas primero (situaciones clase "A", que en general sólo representan 20% de los problemas listados), aquellas que poseen una prioridad media (clase B) y las que pueden postergarse para resolverse más adelante (clase C). La figura 7.2 muestra un ejemplo de este análisis.

Después de elegir el trabajo para ser analizado, se procede a conocer su método actual, es decir, a identificar a profundidad los detalles vigentes de la ejecución del proceso, esto requiere dos aspectos muy importantes: primero, por medio de la observación directa se entenderá de qué trata la operación y se concluirá si el trabajo se puede dividir en partes más pequeñas y cuál es la secuencia de éstas; se conocerá cómo es el lugar donde se llevan a cabo, qué materiales, herramientas y equipo son utilizados y las personas que pueden (y/o deben) realizarlo. Segundo, toda esta información deberá registrarse en una forma adecuada, que permita su organización y facilite el

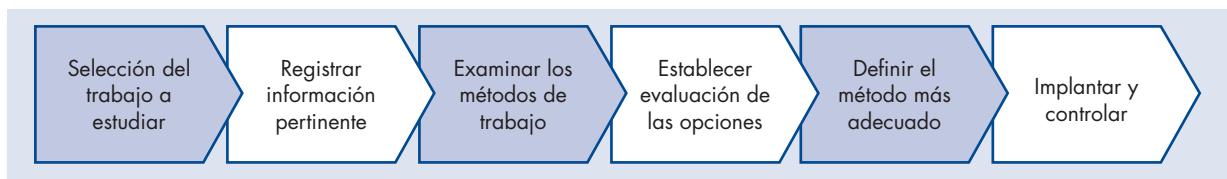


Figura 7.1 Las etapas de un *Estudio de Métodos de Trabajo*.

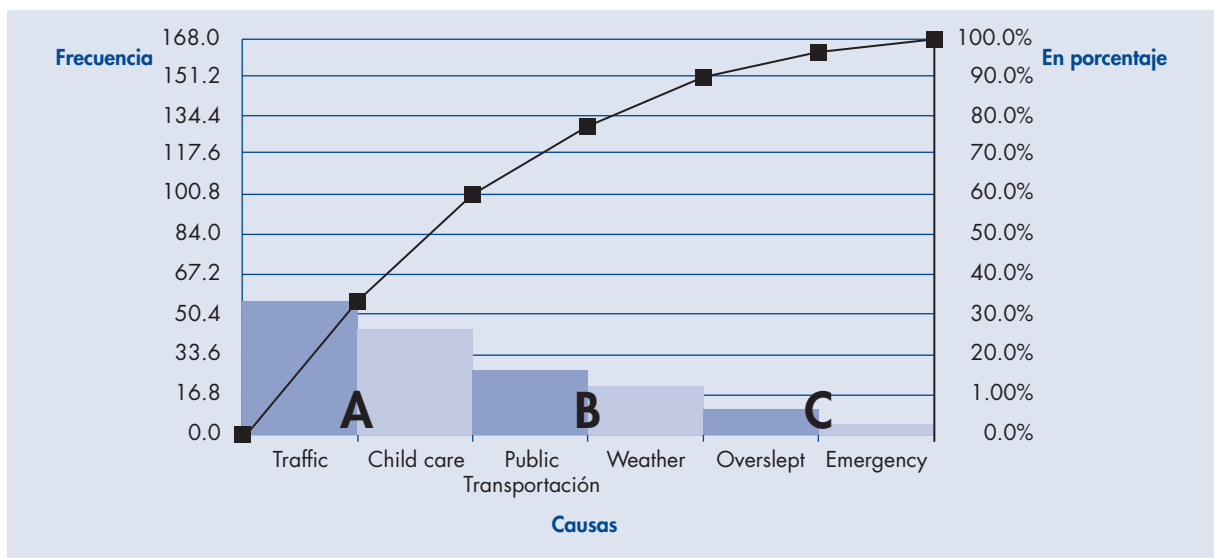


Figura 7.2 Ejemplo de análisis de Pareto y clasificación ABC.

⁵ Adaptado de Kanawaty (1992).

⁶ Utiliza el principio 80-20: donde 80% de los efectos son originados por sólo 20% de las causas.

análisis posterior. Para registrar la información, el ingeniero puede auxiliarse de varios medios: escribirla en papel, usar diagramas de flujo (tipo informáticos), etcétera; una ventaja de hacerlo con herramientas digitales (video) es que el análisis puede realizarse fuera de las instalaciones de la empresa. Sin embargo, la manera tradicional de organizar la información es usando gráficos y diagramas técnicos de análisis de proceso. En los diagramas, el ingeniero industrial utiliza símbolos para representar la información que ha recopilado. La simbología fue generada por la Asociación de Ingenieros Mecánicos de Estados Unidos de América, por lo que es estándar y permite que el mismo diagrama sea entendido por analistas en cualquier parte del mundo. Los símbolos más comunes utilizados en los diagramas de análisis de proceso son:



Operación (también conocido como acciones). Un círculo representa las actividades fundamentales de cualquier proceso, las cuales propician cambios en los materiales u objetos, transferencia de información o la planeación de algo; por ejemplo, clavar con martillo, torneear una pieza, barrenar una placa, dibujar un plano, teclear en la computadora, etcétera.



Transporte. Una flecha apuntando hacia la derecha indica movimiento; es decir, las personas, materiales y/o equipo son trasladados sin que se les efectúe ningún trabajo adicional. Por ejemplo, transportar material en carretilla, elevar objetos con poleas, llevar documentos impresos de un escritorio a otro, etcétera.



Inspección. Un cuadrado representa las actividades de verificación (ya sea en calidad o en cantidad) de los materiales o productos; también simboliza lecturas de algún tipo de indicador o de información impresa. Este tipo de tarea, por lo general, no añade valor al producto, por lo que se deberá ser muy crítico en su existencia. Por ejemplo, contar las piezas contenidas en un depósito, realizar inspecciones de calidad, lecturas de manómetros de tanques o de impresos informativos, etcétera.



Demoras. Una figura en forma de "D" semicircular indica la ocurrencia de interferencias en el flujo de las operaciones o en el movimiento de materiales, lo que imposibilita la consecución hacia el siguiente paso del proceso. También representa trabajo en suspenso o abandono momentáneo del mismo. Por ejemplo, la espera en los ascensores, los cuellos de botella en una máquina, los documentos impresos que aguardan su archivo, etcétera.



Almacenamiento. El triángulo invertido representa el depósito del material o producto en algún lugar, idealmente almacenes; aunque es probable que en el método actual se encuentren mercancías almacenadas en pisos o pasillos por error. El almacenaje suele ser de materias primas, producto en proceso de terminarse, producto terminado o inclusive de documentos (papel moneda en una caja de seguridad).



Actividades combinadas. Cuando dos de las actividades descritas antes se ejecutan simultáneamente, los símbolos se combinan. El símbolo de actividades combinadas más común es el de operación-inspección.

Los diagramas para *análisis de procesos* más comunes se clasifican, listan y describen a continuación:

1. Diagramas que indican secuencias de operaciones.
 - a) *Cursograma sinóptico del proceso.* También conocido como diagrama de flujo del proceso. Es una representación muy general y resumida de la secuencia de las operaciones e inspecciones principales, los materiales y los componentes de un proceso. En el extremo derecho del diagrama se anota la pieza o el elemento principal motivo del análisis y a la izquierda se registran todos los elementos, ensambles, subensambles, componentes y/o insumos necesarios para realizar dicho producto. Cada proceso e inspección debe detallarse de modo que el ingeniero industrial tenga, de forma rápida, una idea clara del proceso. La figura 7.3 muestra la estructura general de un cursograma sinóptico.
 - b) *Cursograma analítico.* También conocido como diagrama de flujo de proceso. Es un diagrama que muestra a detalle la secuencia que siguen los distintos elementos de un proceso. Consta de un listado de descripciones de cada uno de los pasos que conforman el trabajo, registrando el símbolo que corresponde a cada actividad. A diferencia del anterior, el cursograma analítico hace uso de todos los símbolos descritos con anterioridad, pero éstos siempre deben presentarse en un orden específico: operaciones, transportes, demoras, inspecciones y almacenajes. También tiene columnas para anotar el tiempo de duración de cada elemento, las distancias

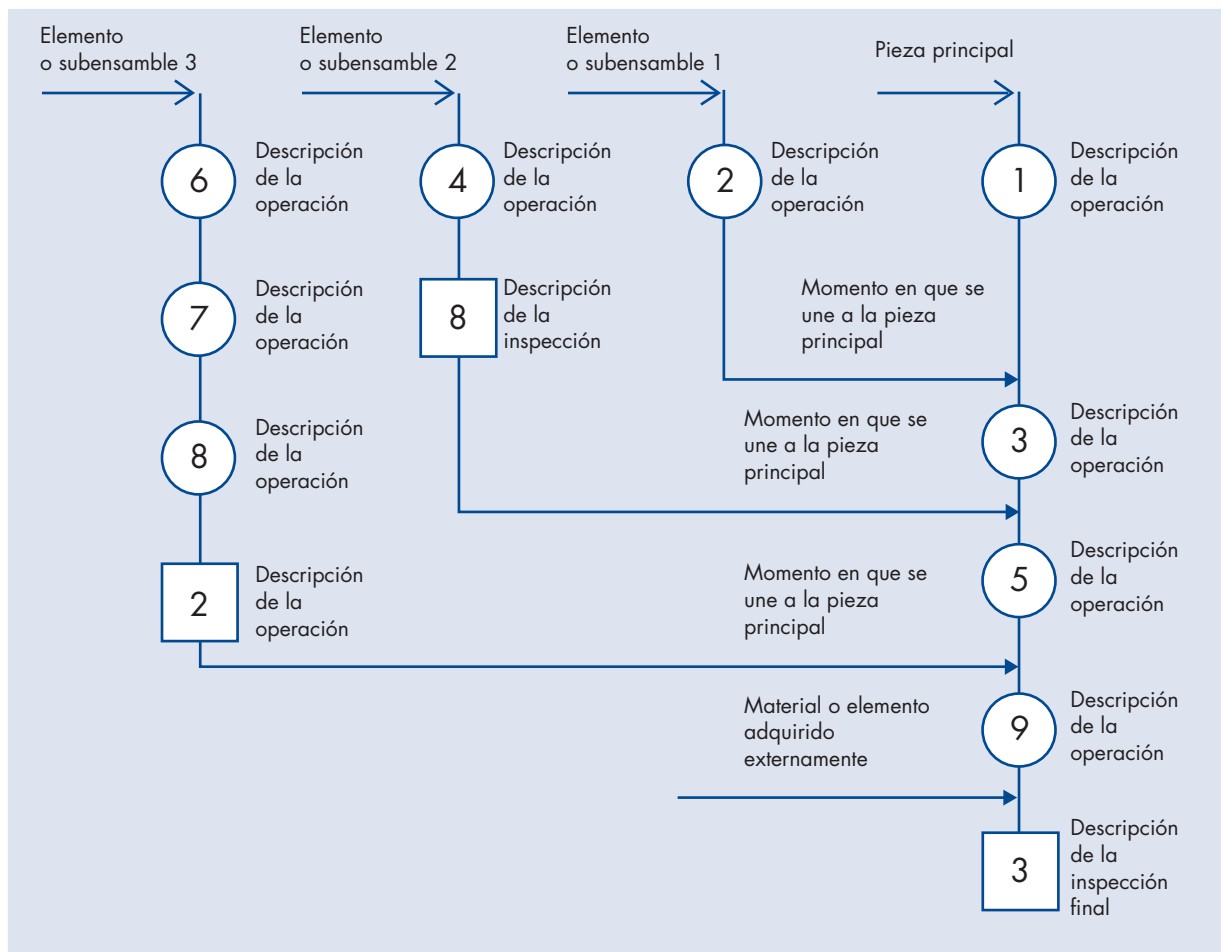


Figura 7.3 Estructura general de un cursograma sinóptico.

recorridas en el caso de los transportes, además de una sección para observaciones o recomendaciones hechas por el analista al momento de levantar la información. Existen tres versiones de este diagrama: del operario, de materiales y del equipo, que básicamente contienen la misma estructura, lo que cambia es quién o qué es el objeto central del análisis. Nunca debe olvidarse que este cursograma necesita de un encabezado que indique la versión, el nombre del trabajo, si se trata de la descripción del método actual o el propuesto, fechas, ubicación, autoría, etc. Es importante que éste cuente con un resumen que muestre el número total de operaciones, transportes, demoras, inspecciones y almacenajes, así como las distancias y los tiempos totales del proceso. Cada tipo de actividad se une por medio de una línea (que al final es una línea quebrada) que mostrará visualmen-

te si el proceso posee muchas actividades que no añaden valor, como demoras, inspecciones y almacenajes (la línea estará más cargada hacia la derecha). Si éste es el caso, se debe proceder inmediatamente al análisis crítico del proceso para tratar de eliminar algunas actividades. La figura 7.4 muestra la estructura general de este tipo de diagramas.

- c) *Diagrama bimanual.* Este diagrama muestra en detalle las actividades realizadas por ambas manos de un operario, siempre y cuando se realicen en un área de trabajo relativamente pequeña (mesa de trabajo). Se recomienda, en forma especial, cuando se analizan operaciones de ensamble, las cuales requieren un seguimiento meticuloso de las actividades efectuadas por cada extremidad del individuo. El diagrama consta de un encabezado (similar al diagrama anterior), un croquis que representará el área de trabajo, la ubicación del

Cursograma analítico				Operario/Material/Equipo					
Diagrama número:		Hoja número:		Resumen					
Operación analizada:				Actividad:	Actual	Propuesto			
				Operaciones					
				Transporte					
Actividad:				Demoras					
Método actual				Inspecciones					
Lugar:				Almacenajes					
Operario:				Tiempo					
Hecho por:				Distancia					
Descripción	Cantidad	Distancia (metros)	Tiempo (min)	Símbolo					Observaciones
				○	⇒	D	□	▽	
Operación 1									
Operación 2									
Inspección 1									
Transporte 1									
Demora 1									
Inspección 2									
Operación 3									
Transporte 2									
Inspección 3									
Operación 3									
Transporte 3									
Almacenaje 1									

Figura 7.4 Estructura general de un cursograma analítico.

empleado y la posición de las piezas, componentes y materiales utilizados, una escala de tiempo adecuada (minutos, segundos) para que el analista calcule de manera rápida el tiempo de duración de cada actividad, descripciones de las actividades ejecutadas por cada extremidad y su símbolo respectivo, los tiempos de ejecución calculados, etcétera. El analista podrá observar los tiempos de actividad/inactividad para cada mano e ideará, en la medida de lo posible, la manera de balancear el trabajo. La figura 7.5 muestra la estructura general de este diagrama.

2. Gráficos que poseen escalas de tiempo.

a) *Diagramas de actividades múltiples* (hombre-máquina). Este tipo de diagrama muestra de

manera gráfica la ejecución de actividades simultáneas de varios elementos del proceso, ya sean equipos de operarios o la interacción de éstos con maquinaria. El gráfico posee una escala de tiempo que permite observar la duración aproximada de las actividades, aunque la principal utilidad del esquema es la detección y cuantificación de tiempos muertos.⁷ Adicionalmente, este tipo de gráficos utiliza una simbología distinta, rectángulos rellenos en negro, gris o blanco. Un rectángulo relleno en blanco significa el tiempo en el cual el elemento analizado se encuentra inactivo, un rectángulo en negro significa, por el contrario, que el elemento se encuentra en operación u ocupado (realizando algún trabajo), pero de manera independiente (sin la interacción con

⁷ Tiempos de inactividad; tiempos de ocio que son improductivos.

Diagrama bimanual				Diagrama del área de trabajo		
Diagrama número:		Hoja número:				
Operación analizada:						
Actividad:						
Método actual / propuesto						
Lugar:						
Operario:						
Hecho por:						
Descripción mano izquierda	Símbolo	Tiempo	Escala de tiempo	Tiempo	Símbolo	Descripción mano derecha
Toma pieza	○		5 s		○	Torna tornillo
Sujeta pieza	D		10 s		○	Posiciona tornillo
			15 s		○	Toma desarmador
			20 s		○	Posiciona desarmador
			25 s		○	Gira desarmador
			30 s			
			35 s		○	Toma tornillo
			40 s		○	Posiciona tornillo
			45 s		○	Toma desarmador
			50 s		○	Posiciona desarmador
			55 s		○	Gira desarmador
TOTALES						

Figura 7.5 Estructura general de un diagrama bimanual.

otro elemento). Cuando el rectángulo es gris significa que se está realizando una actividad simultánea con algún otro elemento de la operación (trabajador operando una máquina, operadores trabajando en equipo, etcétera). Al igual que los anteriores, este diagrama requiere un encabezado que describa la situación analizada; es muy importante que en éste se detalle a los participantes (operadores y maquinaria) a fin de identificar plenamente la operación y las circunstancias de que se trate. En una sección de resumen se indicarán los tiempos de duración totales (tiempos de ciclo), el tiempo real de trabajo y el tiempo ocioso. Se recomienda realizar un cálculo de la proporción del tiempo real de trabajo, tanto de las personas como de las máquinas; de esta manera, el ingeniero industrial podrá decidir si dedica los recursos ociosos a otras actividades, maximizando así su utilización. La figura 7.6 presenta un esquema general del diagrama hombre-máquina.

3. Diagramas para representar flujo, movimiento y/o desplazamiento.

- Diagrama de recorrido.* Es complemento del cursograma analítico y permite observar, en dos dimensiones, la distribución real del área donde se ejecuta cada una de las actividades que componen el proceso (dibujo de planta), además de los flujos y las distancias recorridas. Esta representación ayuda a visualizar posibles cambios en la distribución de las áreas (*layout*), maquinarias, etc., para economizar tiempos y evitar recorridos innecesarios. El diagrama debe estar a escala y, por lo general, se ocupan los planos arquitectónicos de las instalaciones para su realización; sobre éstos se dibujan directamente los símbolos de las actividades que coinciden y se detallan aquéllas contenidas en el diagrama de flujo de proceso (véase figura 7.7).
- Diagrama de hilos.* Se llama así debido a que antes de que las computadoras personales fueran tan comunes, este diagrama

Diagrama hombre-máquina		Empresa, lugar, fecha		
Diagrama número:	Hoja número:	Resumen		
Operación analizada:			Actual	Propuesto
		Tiempo total		
Producto/proceso		Hombre		
		Máquina		
Método actual		Tiempo inactivo		
Operario:		Hombre		
Máquina:		Máquina		
Hecho por:		Utilización		
OPERARIO	Escala de tiempo	MÁQUINA 1		MÁQUINA 2
Saca pieza terminada	5 s	Inactividad		Inactividad
Limpia pieza	10 s			
Realiza medición	15 s			
Carga máquina 1	20 s			
Comienza maquinado	25 s	Maquinado		Maquinado
Toma pieza 2	30 s			
Carga máquina 2	35 s			
Comienza maquinado	40 s			
Saca pieza terminada	45 s	Inactividad		Maquinado
Saca pieza terminada	50 s			
Saca pieza terminada	55 s			

Figura 7.6 Estructura general de un diagrama hombre-máquina.

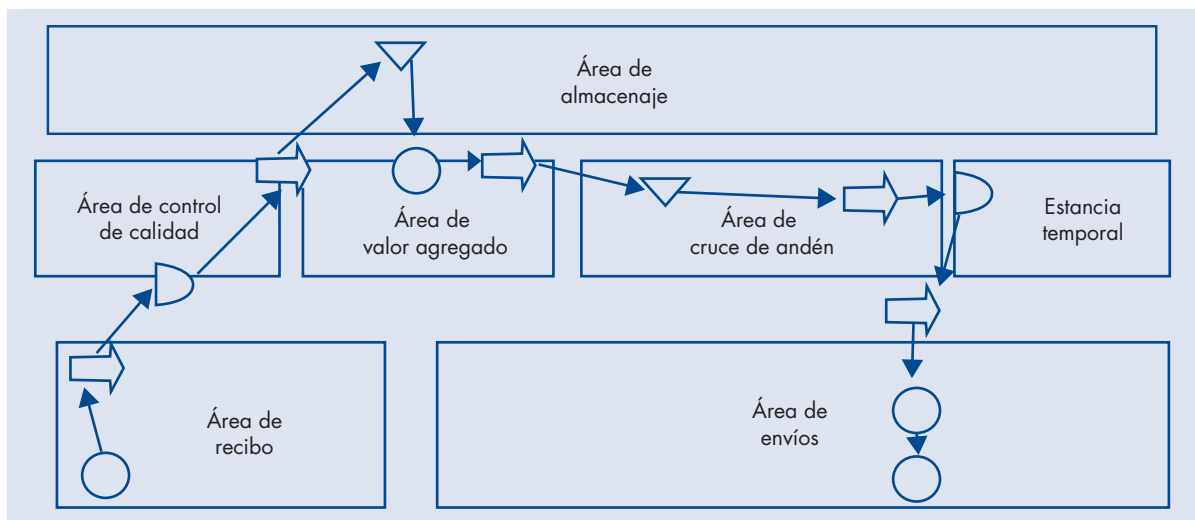


Figura 7.7 Ejemplificación de un diagrama de recorrido.

permitía observar la interrelación entre las distintas áreas de una empresa por medio del tendido de una o varias hebras de hilos (del mismo o distinto color), a fin de que el analista pudiera determinar visualmente qué

área tendría una mayor relación con otra, de acuerdo, principalmente, con el flujo de materiales, la energía y la información entre ellas; entre más hilos tuviera, más flujo existiría. En años más recientes esta relación también

Vocal	Valor	Líneas	Relación	Color
A	4		Absolutamente necesaria	Rojo
E	3		Especialmente importante	Naranja
I	2		Importante	Verde
O	1		Ordinaria	Azul
U	0		No importante	Sin color
X	-1	<	No deseada	Café
XX	-2	<<	Extremadamente indeseada	Negro

se representa con letras, valores, líneas, colores, etcétera, como se muestra en la figura 7.8.

En esta figura se muestra una representación del diagrama de hilos; nótese que las líneas más gruesas significan una mayor interrelación entre dos áreas. Al ingeniero industrial esta información le sirve especialmente en el diseño preliminar de *layouts*⁸ y áreas de trabajo, ya que por medio de éste sabrá qué espacios deberán situarse en proximidad y cuales evitar.

El siguiente paso en el EM consiste en examinar críticamente, y a profundidad, los métodos actuales registrados en los diagramas. Para esto, cada actividad, elemento del trabajo y/o paso en la operación será sujeta a un interrogatorio; esta serie de preguntas sigue una secuencia que intenta indagar:

- El motivo y la utilidad de la actividad.
- El lugar donde se realiza.

- La secuencia para realizarla.
- Las personas que la efectúan.
- La forma en que es ejecutada.

El objetivo de este interrogatorio es restarle la mayor cantidad posible de subjetividad⁹ al análisis y encontrar nuevos y mejores métodos de trabajo. Habrá que prestar especial atención a los transportes, demoras, inspecciones y almacenajes, pues en muchas ocasiones éstos no aportan ningún valor al proceso. Distintas interrogantes toman especial relevancia en esta etapa del EM, pero especialmente la pregunta ¿por qué?, como lo muestra la figura 7.9.

Al responder a las interrogantes anteriores, el ingeniero industrial debe ir siempre un paso más adelante y reflexionar en dos aspectos importantes del trabajo: primero, vislumbrará algunas alternativas de acción, esto significa añadir al análisis preguntas como: ¿qué más puede hacerse?, ¿cuáles son otras formas de hacer el trabajo?, y ¿cómo

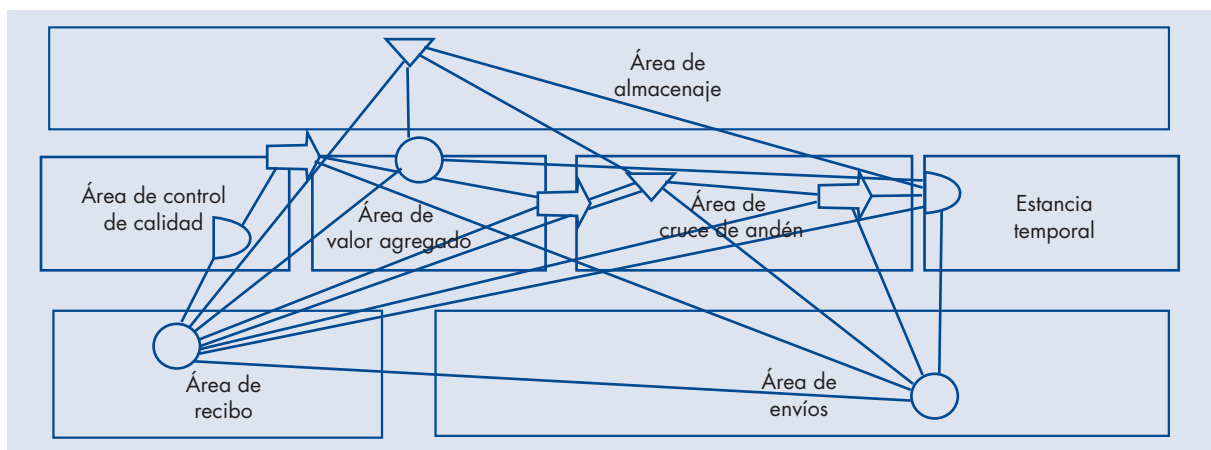


Figura 7.8 Ejemplificación de un diagrama de hilos.

⁸ *Layout* se refiere a la distribución física de un área de trabajo.

⁹ Subjetivo: Perteneciente o relativo a nuestro modo de pensar o de sentir, y no al objeto en sí mismo.

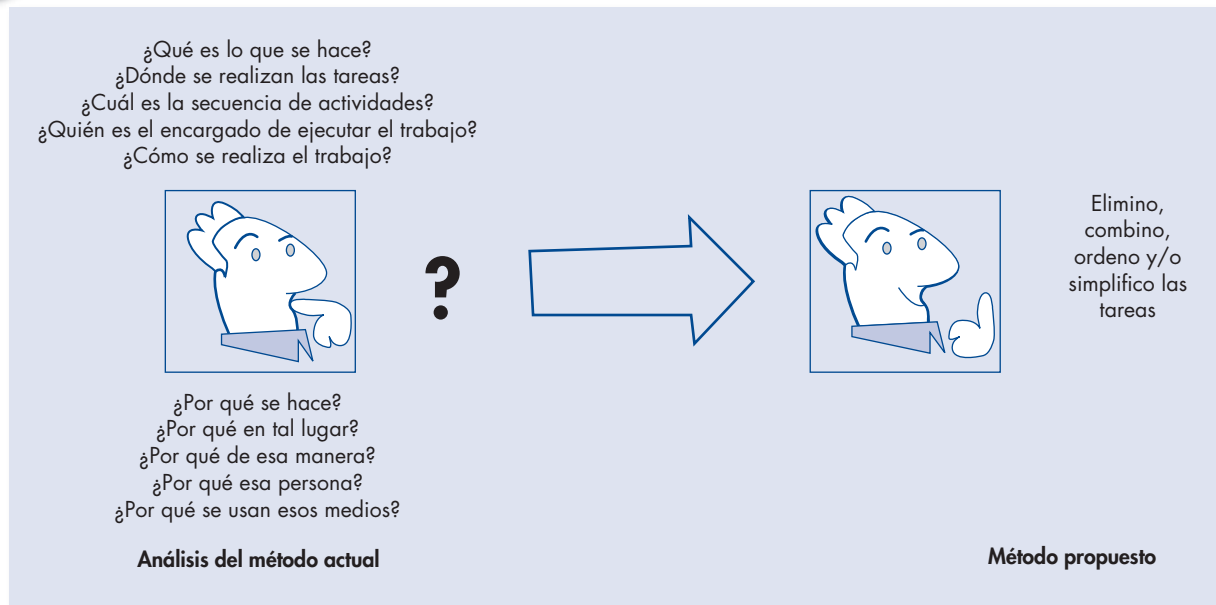


Figura 7.9 La técnica del interrogatorio crítico en el estudio de métodos.

se podría hacer menos costoso el proceso? Es de suma importancia que las opciones y/o alternativas contemplen, primero, el menor desembolso de recursos por parte de la empresa, esto requiere que el ingeniero eche mano de todo su ingenio y creatividad para diseñar soluciones novedosas que no sean tan costosas; sin embargo, una vez que se han agotado dichas posibilidades, decisiones que involucran una mayor inversión como una redistribución de la planta, la adquisición de nuevas formas de manipulación de materiales (grúas, polipastos, etc.) y otras tendrán que ser evaluadas.

También es importante que el ingeniero analice las posibles repercusiones que su decisión pueda acarrear; si bien pudieron ya haberse contemplado los beneficios de implantar un nuevo método, ¿se ha pensado en los posibles efectos negativos y/o consecuencias que la acción traería? Estos efectos son variados, y en muchas ocasiones, quizá no estén a simple vista. El caso más común se da con el recurso humano; por ejemplo, imagínese que se ha determinado un método propuesto con un solo operador en lugar de los dos que considera el método actual. ¿Qué sucederá con el empleado extra?, ¿será motivo de despido o se reasignará a otra área? Por el contrario, es muy frecuente que como resultado de la inexperiencia del ingeniero industrial, los métodos propuestos consideren la contratación de personal extra; contratar más empleados es una decisión difícil y la gerencia de una empresa exigirá

que la medida sea evaluada una y otra vez antes de tomar la decisión. El ingeniero industrial tendrá que realizar un análisis de los costos extras que dicho tipo de medidas tendrán y sopesar si los beneficios que se esperan obtener con la aplicación de los nuevos métodos no se ven opacados por un incremento en los costos. Además, la ética¹⁰ juega un papel importante en las decisiones de los nuevos métodos, principalmente cuando se analizan aspectos de corrupción, ecología, medio ambiente y seguridad, que le atañen a los procesos.

Resultado de la etapa de interrogantes es la concepción del método propuesto (o método perfeccionado), que idealmente debiera ser el método más adecuado conforme con la información y los análisis hechos hasta el momento. Estos nuevos métodos se registran, a su vez, en los diagramas descritos con anterioridad, a fin de efectuar su comparación con los actuales y observar tangiblemente las mejoras que traerán en reducción en el número de actividades, en tiempos, en distancias, en el número de personal e inclusive en costos. El método propuesto se somete a escrutinio de los jefes, supervisores y gerentes para lograr su convencimiento y aprobación; para ésta, el reporte del método propuesto deberá complementarse con los análisis de costos que se han mencionado anteriormente. Un proyecto que cuente con la cuantificación de los costos-beneficios que obtendrá su implementación es mucho más factible de ser entendido y aceptado.

¹⁰ *Ética*: recto, conforme a la moral. Parte de la filosofía que trata de la moral y de las obligaciones del hombre. Conjunto de normas morales que rigen la conducta humana.

Cuando ya se tiene la aprobación del proyecto, el primer paso para su puesta en marcha es la comunicación formal a todos los interesados (especialmente a los operadores que lo ejecutarán); la Organización Internacional del Trabajo (OIT) recomienda la elaboración de documentos tipo manuales de operación que indiquen el detalle del procedimiento y que, a su vez, puedan servir para el entrenamiento-capacitación de los operarios y ser una referencia en el futuro, en caso de dudas sobre el mismo.

La implementación del nuevo método continúa con el convencimiento del operario sobre las bondades del mismo. Convencer al trabajador es un factor crítico y necesario debido a la resistencia al cambio, ésta es una práctica negativa muy recurrente de los empleados en casi todas las empresas y consiste en negarse a acatar el nuevo método por considerar que pone en riesgo su empleo; los trabajadores no confían en quien lo diseñó, consideran que ellos son expertos en su trabajo y nadie externo puede sugerir mejores formas de ejecutarlo. La resistencia al cambio es algo que el ingeniero industrial tendrá que confrontar siempre en su ejercicio profesional. Este problema se agrava con la existencia de sindicatos, la antigüedad del trabajador en su puesto y lo drástico del cambio, por lo que el ingeniero deberá ser suspicaz y tener las mejores relaciones posibles con los miembros de distintos niveles jerárquicos de una organización, lograr el compromiso y entendimiento de los directivos, entender que los supervisores de la línea de producción son aliados y no enemigos y, sobre todo, tener en cuenta que existen organizaciones formales

e informales en el trabajo. Quien dirija el proyecto de EM, también deberá contar con conocimiento, experiencia, tacto, confianza en sí mismo y liderazgo.

Superados estos inconvenientes, el operario debe ser entrenado y capacitado en la nueva forma de trabajo; esto no es más que idear la manera en que el trabajador haga conciencia y se forme el hábito de ejecutar su trabajo de conformidad con los nuevos métodos.¹¹ Sin embargo, el ingeniero industrial no debe olvidar el control, es decir, supervisar la forma en que los empleados realizan su trabajo y cerciorarse, por un tiempo definido, que éste se ejecuta de acuerdo con el diseño y las especificaciones hechas. El ingeniero industrial deberá estar consciente de que la productividad y el desempeño de los empleados desciende al empezar a implementar un método nuevo. Esta baja en el rendimiento, comúnmente ocasiona desmotivación en los empleados, por lo que éstos intentarán regresar a sus antiguas formas de trabajo; esta etapa es crítica en los proyectos de EM, ya que es la fuente de muchos fracasos y por ello requiere supervisión total del ingeniero industrial, quien tendrá que mostrar su determinación y liderazgo para la feliz terminación del proyecto de EM.

Afortunadamente, existe un lado positivo al superar esta etapa: entre más se repita la nueva forma de trabajar, el operario adquirirá más destreza y habilidad en ella. Se dice que el trabajador “aprende” a hacer su trabajo. Existen unas gráficas llamadas curvas de aprendizaje que nos permiten anticipar esta situación (véase figura 7.10).

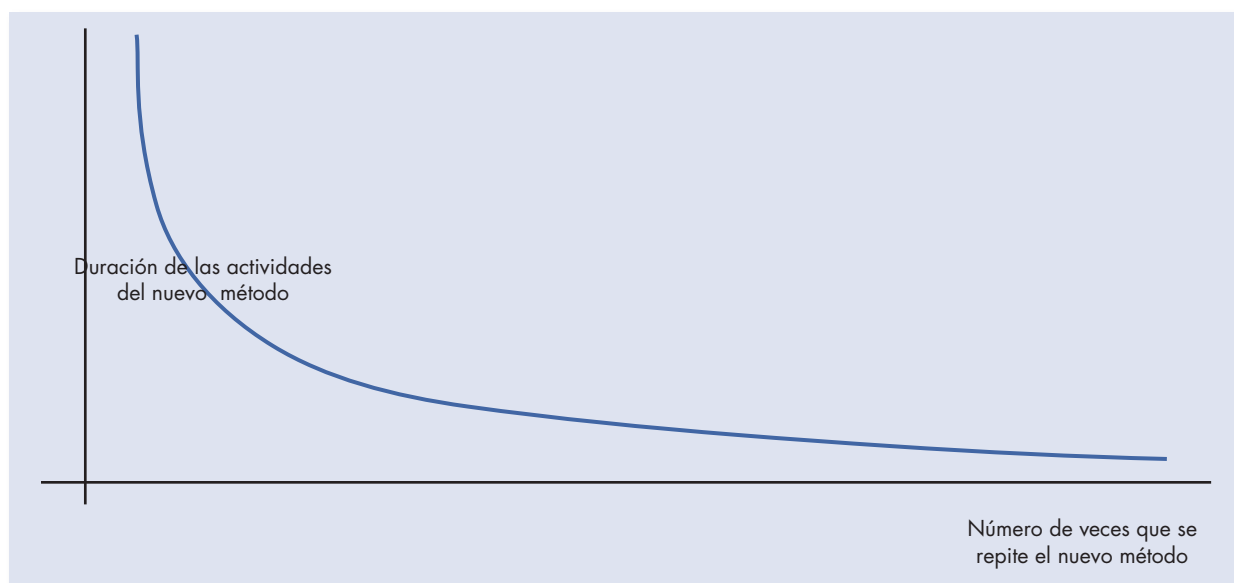


Figura 7.10 Curva de aprendizaje.

¹¹ Esto se llama conocimiento tácito.

Medición del trabajo

Según la OIT, la medición del trabajo (MT) se refiere a la aplicación de técnicas cuantitativas para determinar el tiempo que tarda un trabajador “calificado” en efectuar sus tareas comparándolas contra estándares preestablecidos. Un estudio de MT tiene dos objetivos principales:

- Detectar, reducir y/o eliminar el tiempo improductivo, entendiéndose como aquel que no añade valor a los productos o servicios. Es tiempo ocioso y de inactividad que a veces los empleados malgastan consciente e inconscientemente.
- Crear normas o estándares de tiempo que consideren las debidas tolerancias y retrasos inevitables, a fin de que funcionen como referencia del tiempo de ejecución de una tarea y a través de éstos se detecte cuando un empleado toma más tiempo del que debiera para ejecutar su trabajo.

Las normas de tiempo creadas se utilizan no sólo como medio de control y supervisión del desempeño de los em-

pleados, sino que estos datos pueden y deben auxiliar al resto de la empresa en su planeación (de la producción, por ejemplo), en la creación de presupuestos, normas de utilización de la maquinaria, fijación de políticas de salarios e incentivos (recursos humanos), etcétera. También pueden auxiliar a comparar varios métodos de trabajo (métodos propuestos) y determinar cuál es el más conveniente para la compañía. Como el lector puede deducir, existe una estrecha vinculación entre las funciones del EM y de la MT, si bien los objetivos de estos estudios son distintos, ambos complementan la formación básica del ingeniero industrial, pues para asegurarse de que los métodos propuestos son los mejores posibles, el ingeniero debe asumir los roles de analista de métodos y analista de tiempos; es sobre todo en las PyMEs cuando estas dos actividades suelen ser desempeñadas por la misma persona. Ambas técnicas darán el sustento para un diseño correcto del trabajo.

Los pasos a seguir para la ejecución de un estudio de MT se muestran en la figura 7.11.

La medición de cada uno de los elementos del trabajo se puede efectuar con distintas técnicas, las más comunes empleadas por el estudio de MT se presentan en la figura 7.12.

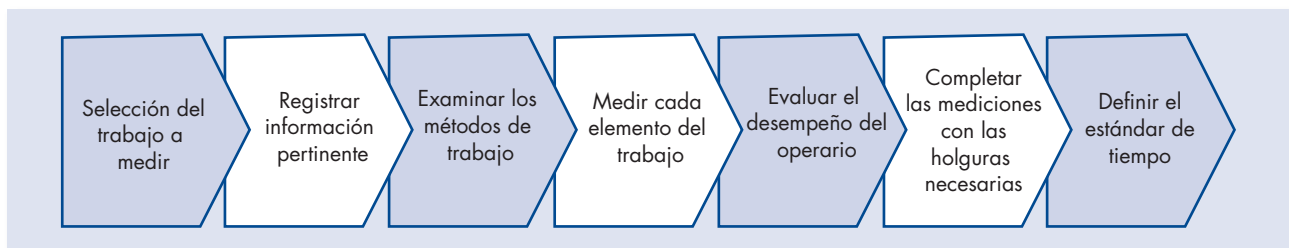


Figura 7.11 Pasos de un estudio de medición del trabajo.

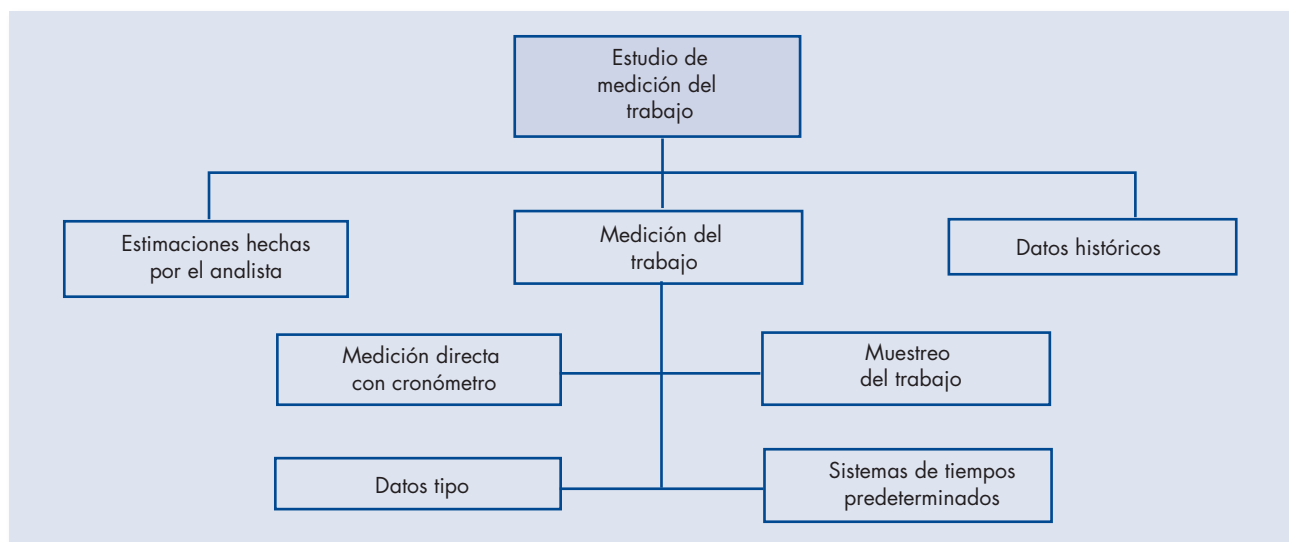


Figura 7.12 Técnicas de un estudio de medición del trabajo.

Medición directa. Estudio de tiempos con cronómetro

El estudio de tiempos es la técnica básica (y principal) de la MT. Su objetivo es registrar los tiempos de ejecución de las actividades de los empleados, observándolas directamente y usando un instrumento de medición del tiempo (por lo general cronómetro, aunque también se utiliza el video y el cronógrafo), evaluando su desempeño y comparando estos resultados con normas establecidas. La figura 7.11 describe los pasos generales de un estudio de MT, sin embargo, el estudio de tiempos (ET) tiene ligeras variantes:

1. *Seleccionar el trabajo.* La selección del trabajo tiene el mismo sentido que la realizada para un EM. Siempre que se instale un nuevo método, que cambien las especificaciones del trabajo o el tipo de producto o existan inconformidades por parte de los trabajadores acerca del estándar establecido, es probable que se requiera la ejecución de un ET.
2. *Seleccionar un operario "calificado".* El objeto de un ET debe ser el trabajador promedio, es decir, un operador que realice su trabajo consistentemente y a un ritmo normal. Se desea elegir a los empleados que tienen las aptitudes físicas necesarias, inteligencia, capacitación, destreza y conocimientos suficientes para efectuar las operaciones asignadas según las normas de seguridad y calidad definidas por el ingeniero industrial. Existen varios factores que influyen en el ritmo de trabajo de un empleado, los más comunes son:
 - Variaciones en la calidad de los materiales.
 - Eficiencia de los equipos.
 - Variaciones en la concentración de los trabajadores.
 - Cambios de clima y medio ambiente (temperatura, luz, ruido, etcétera).
 - Estado de ánimo.
3. *Análisis del trabajo.* Después de hacer las dos elecciones previas, el ingeniero industrial deberá describir detalladamente el método a estudiar, incluyendo el área de trabajo, los materiales e insumos y las herramientas y/o equipo utilizado. El objetivo principal de este paso no es criticar el método, sino conocer a profundidad las actividades que componen una tarea. Sin embargo, si el analista de tiempos

nota inconsistencias graves en los métodos de trabajo existentes, será necesario que las informe.

4. *Dividir trabajo en elementos.* Resultado del análisis del trabajo, éste se divide en partes o subelementos para efectuar las mediciones de una manera más sencilla, identificar y separar actividades improductivas, observar condiciones que originen fatiga al empleado, instantes donde pueda tomar pequeños descansos, etcétera. Algunas recomendaciones para esta división son:
 - Verificar que todos los elementos de trabajo son absolutamente necesarios.
 - Separar los tiempos de ejecución de las máquinas de los efectuados por el ser humano.
 - Identificar si los elementos son constantes con variables, es decir, si la actividad se ejecuta de forma consistente siempre que se realiza el trabajo o es resultado de alguna circunstancia repentina.
 - Seleccionar elementos de tal manera que sea posible identificar su inicio y terminación por algún sonido, señal luminosa, etcétera. Esto permitirá seleccionar los elementos que puedan ser cronometrados con facilidad y exactitud.
5. *Efectuar mediciones de prueba y ejecutar una muestra inicial.* La muestra inicial además de servir de práctica al analista, permite determinar algunos parámetros que servirán para establecer el número real de observaciones, auxiliándose de principios estadísticos (tamaño de muestra). Se recomiendan al menos 20 observaciones iniciales.
6. *Determinar el tamaño de la muestra.* Con los parámetros de la muestra inicial, y con el nivel de confianza y exactitud requerida por el ingeniero analista de tiempos, se procede a determinar el tamaño de la muestra del estudio. Estas observaciones se efectuarán aleatoriamente para garantizar la validez y confiabilidad del estudio. Existen distintas formas para calcular el tamaño de la muestra; la más recomendada es la estadística, que también presenta algunas variantes dependiendo del autor. La OIT recomienda utilizar la siguiente fórmula para el caso de un nivel de confianza de 95.45% y un margen de error de +5%; es decir, se pretende que 95.45% de las mediciones con cronómetro tengan, cuando mucho, 5% de error del dato real.

$$\text{Número de observaciones} = \left(\frac{40 * \sqrt{\text{tamaño muestra inicial} * \text{sumatoria (observaciones}^2) - (\text{sumatoria obs})^2}}{\text{sumatoria de las observaciones}} \right)^2$$

Por ejemplo, supóngase que un analista de tiempos realizó una muestra inicial de 10 observaciones. Los resultados se muestran en la tabla 7.1.

Tabla 7.1 Muestra inicial con 10 observaciones

Muestra inicial		
Núm.	Observaciones (min)	(Observaciones) ²
1	2.5	6.25
2	2.9	8.41
3	3.1	9.61
4	2.4	5.76
5	2.6	6.76
6	2.5	6.25
7	2.4	5.76
8	2.8	7.84
9	2.7	7.29
10	2.8	7.84

Aplicando la fórmula anterior, el número de observaciones a realizar para un ET sería:

$$\text{Número de observaciones} = \left(\frac{40 * \sqrt{10 * 71.77 - (26.7)^2}}{26.7} \right)^2$$

= observaciones

Otra forma de determinar el tamaño de la muestra del estudio es por medio de tablas. Éstas permiten calcular de manera muy sencilla el número de observaciones que se deben realizar al cumplirse algunas condiciones. H.B. Maynard desarrolló algunas de las tablas más conocidas al realizar estudios de MT para la compañía General Electric. Un ejemplo de utilización de estas tablas indica que para operaciones cuya duración ascienda hasta dos minutos, se deberán realizar 20 observaciones; si el trabajo analizado dura hasta 40 minutos, las observaciones a realizar serán sólo cinco.

7. **Cronometrar.** Es la medición del tiempo de ejecución con un cronómetro o algún otro instrumento. Es importante resaltar que el operario elegido debe tener pleno conocimiento de la ejecución del estudio de MT. Por ningún motivo, el ingeniero industrial debe ocultar el cronómetro ni tratar de engañar a los empleados al respecto, pues esto podría ocasionar reacciones negativas en ellos, lo que propiciaría el fracaso del proyecto.

8. **Calificar la actuación del operario.** Conocido también como valoración del ritmo de trabajo del empleado, califica el desempeño de éste, respecto de un nivel normal de ejecución del trabajo. Existen distintas metodologías para la evaluación o calificación del operario: norma británica, Westinghouse, evaluación sintética, calificación objetiva y por velocidad. Sin embargo, la calificación del operario es el paso más importante y crítico de un ET, ya que contribuye a definir con justicia el tiempo requerido para que un operario ejecute sus actividades en condiciones normales. La norma británica (conocida también como escala 0-100) utiliza los criterios de evaluación mostrados en la tabla 7.2.

Tabla 7.2 Criterios de evaluación

Escala	Descripción del desempeño del individuo
0	Actividad nula
50	Muy lento, movimientos torpes e inseguros, operador somnoliento, sin interés en el trabajo
75	Constante, resuelto, sin prisa, como de obrero no pagado a destajo, pero bien supervisado. Parece lento pero no pierde tiempo voluntariamente
100 (Ritmo estándar)	Trabajador activo y capaz; operario calificado promedio, logra con tranquilidad el nivel de calidad y precisión fijado
125	Muy rápido; el operario actúa con gran seguridad, destreza y coordinación de movimientos, superior al ritmo estándar
150	Excepcionalmente rápido, concentración y esfuerzo intensos sin probabilidad de durar así por periodos largos de tiempo

Fuente: OIT. *Introducción al Estudio del Trabajo* (1999).

Si el ritmo de trabajo observado en el empleado es inferior al ritmo estándar, el ingeniero analista de tiempos deberá asignar un factor menor de 100. Si por el contrario, el ritmo de trabajo es superior al ritmo tipo, deberá emplearse un factor mayor de 100. La evaluación se utiliza para determinar el tiempo básico, que es aquel que el operario demostraría en ejecutar una actividad a ritmo estándar. El tiempo básico se determina de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo básico} = \text{Tiempo observado} * \frac{\text{Calificación}}{\text{Ritmo estándar}}$$

Por ejemplo, imagine que en un ET el analista ha determinado dos tiempos observados (promedio de los tiempos cronometrados) para una misma actividad. La observación A registró una duración promedio de 1.6 minutos y la observación B de 2.5 minutos. Ahora supóngase que el operario, al ejecutar la observación A, fue calificado con 125 (véase tabla anterior), mientras que en la segunda observación mostró un desempeño inferior, que fue calificado con 80. Los tiempos básicos para ambas observaciones son:

$$\text{Tiempo básico A} = 1.6 * \frac{125}{100} = 2 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo básico B} = 2.5 * \frac{80}{100} = 2 \text{ min}$$

Otra forma de evaluar al operario es por medio del método Westinghouse. Este método considera cuatro factores para ser calificados:

- **Habilidad.** Se define como la destreza del empleado para ejecutar un método predeterminado; se determina por su experiencia y aptitudes netas. Por lo general, se califican seis grados de habilidad: deficiente, aceptable, regular, buena, excelente y extrema.
- **Esfuerzo.** Se refiere a la demostración de la voluntad del operario para trabajar con eficiencia. Se distinguen seis niveles de esfuerzo: deficiente, aceptable, regular, bueno, excelente y excesivo.
- **Condiciones de trabajo.** Son los niveles de iluminación, ruido, temperatura y ventilación que pueden afectar al operario. Las clases de condiciones son: ideales, excelentes, buenas, regulares, aceptables y deficientes.
- **Consistencia.** Los resultados obtenidos por el trabajador se repiten constantemente. Las clases de consistencia son: perfecta, excelente, buena, regular, aceptable y deficiente.

Cada factor es evaluado de acuerdo con los criterios mencionados, y cada calificación corresponde a una valoración numérica que se utilizará para la determinación del tiempo básico.

9. **Estimación de tolerancias.** Después de calcular el tiempo básico, es necesario agregar tolerancias, para determinar el tiempo estándar. Las tolerancias son fracciones de tiempo, constantes o variables, que deben añadirse al tiempo básico como

compensación por fatiga, necesidades personales y otros retrasos inevitables; se recomienda que sean de al menos 10% del tiempo básico. Las tolerancias por necesidades personales y fatiga se requieren para la comodidad y el bienestar del empleado. Diversos autores recomiendan asignar 5 y 4% del tiempo básico, respectivamente, para este propósito. Las tolerancias por fatiga física y mental se definen en función de los siguientes factores: condiciones de trabajo, iluminación, temperatura, humedad, ruido, ventilación y colores; además de la repetitividad del trabajo, concentración requerida para la tarea, monotonía de movimientos corporales, posición corporal del operario y cansancio muscular. La sección de ergonomía definirá con mayor profundidad los parámetros de comodidad para el empleado.

A continuación se muestran algunas recomendaciones de tolerancias a añadir al tiempo estándar hechas por la Organización Internacional del Trabajo:

A. Tolerancias constantes:	Añadir %
1) Tolerancia por necesidades personales	5
2) Tolerancia básica por fatiga	4
B. Tolerancias variables:	
1) Tolerancia por ejecutar el trabajo de pie	2
2) Tolerancia por posiciones anormales en el trabajo:	
a) Ligeramente molesta	0
b) Molesta (cuerpo encorvado)	2
c) Muy molesta (acostado, extendido)	7
3) Empleo de fuerza o vigor muscular (esfuerzo para levantar, tirar, empujar), determinado por el peso levantado (en kilogramos y libras, respectivamente):	
a) 2.5 kg/5 lb	0
b) 5/10	1
c) 7.5/15	2
d) 10/20	3
e) 12.5/25	4
f) 15/30	5
g) 17.5/35	7
h) 20/40	9
i) 22.5/45	11

j) 25/50	13
k) 30/60	17
l) 35/70	22
4) Alumbrado deficiente:	
a) Ligeramente inferior a lo recomendado	0
b) Muy inferior	2
c) Sumamente inadecuado	5
5) Condiciones atmosféricas (calor y humedad) variables.	0-10
6) Atención estricta:	
a) Trabajo moderadamente fino	0
b) Trabajo fino o de gran cuidado	2
c) Trabajo muy fino o muy exacto	5
7) Nivel de ruido:	
a) Continuo	0
b) Intermitente-fuerte	2
c) Intermitente-muy fuerte	5
d) De alto volumen-fuerte	5
8) Esfuerzo mental:	
a) Proceso moderadamente complicado	1
b) Complicado o que requiere amplia atención	4
c) Muy complicado	8
9) Monotonía:	
a) Escasa	0
b) Moderada	1
c) Excesiva	4

10. *Cálculo del estándar.* El último paso en un ET es el cálculo del tiempo estándar o tiempo tipo. Para su determinación es necesario calcular el tiempo básico (resultado de la calificación del desempeño del empleado) y añadir el tiempo por compensación o tolerancias. La figura 7.13 muestra la composición del tiempo estándar; más adelante se proporciona un estudio de caso donde se ejemplifica la determinación de tiempos estándar.

Muestreo del trabajo

El muestreo de trabajo es la versión más simple del estudio de MT. Su objetivo principal no es la determinación de estándares ni la medición de tiempos de operación; lo único que busca un estudio de muestreo es determinar proporciones de tiempo basados en observaciones aleatorias¹² que justifiquen su validez estadística. Piense, por ejemplo, que se desea estimar la proporción de tiempo ocioso de una máquina o de un empleado con relación al tiempo total de la jornada de trabajo; intuitivamente, se procedería a hacer observaciones repentinas, anotando el estatus del objeto de estudio (activo/inactivo); por supuesto, entre más observaciones repentinas se hagan, es más probable estimar acertadamente la proporción del tiempo que la maquinaria/individuo se encuentra en actividad/inactividad. Para que este análisis tenga validez estadística, es decir tenga un cierto nivel de confianza y exactitud de que las proporciones obtenidas son efectivamente ciertas, el ingeniero hará uso de principios matemáticos de probabilidad y estadística para determinar el número mínimo de observaciones aleatorias que tiene que realizar.

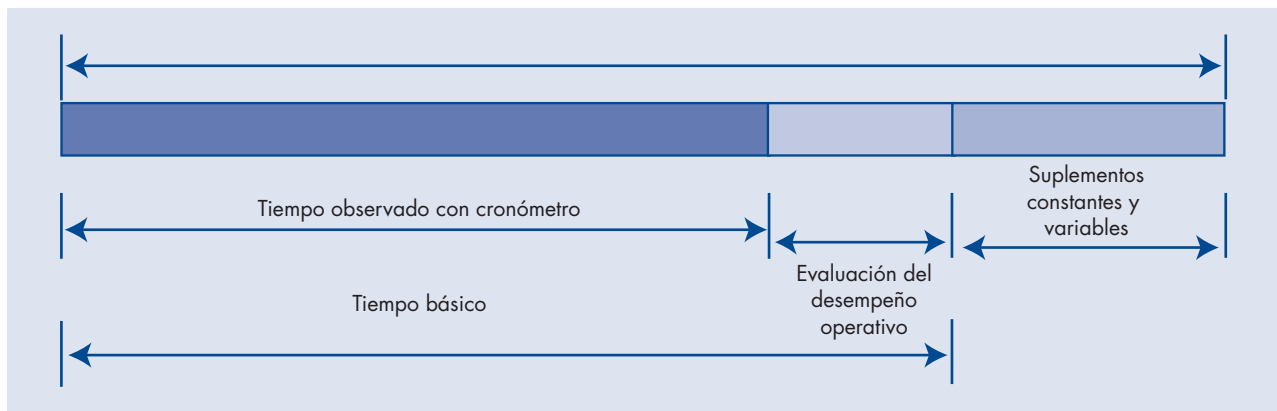


Figura 7.13 Composición del tiempo estándar.

¹² Aleatorio: Perteneciente o relativo al juego de azar o casualidad. Dependiente de algún suceso fortuito.

El procedimiento de un estudio de muestreo del trabajo es el siguiente:

1. Obtener una estimación inicial p de la proporción que se desea investigar por medio de una muestra de n observaciones preliminares y aleatorias. Dígase, por ejemplo, que se realizaron 100 observaciones, detectando en 90 de ellas que el empleado se encontraba realizando su trabajo (por supuesto, en 10 observaciones el operario se encontró inactivo). Entonces, la estimación inicial de actividad es $p = 90\%$, llámese q a la proporción de tiempo en que se encontró inactividad, entonces $q = 10\%$. Se recomienda que las observaciones iniciales sean más de 20.
2. Calcular el tamaño de la muestra, es decir, el número de observaciones que se deben efectuar para dar validez al estudio. Uno de los supuestos básicos es que las proporciones se distribuyen de manera normal, con esta suposición, el analista podrá determinar el número de observaciones a realizar a partir de la dispersión¹³ o variación que presenten los datos de su problema (cuya estimación proviene de las observaciones iniciales hechas en 1) y del nivel de confianza que desea en su estudio. Esto se debe a que existe una relación directa entre la variabilidad y el área bajo la curva de distribución normal (la gráfica de la distri-

bución normal se asemeja a una campana, véase figura 7.14).

Los valores más comunes de nivel de confianza y de margen de error para estudios de muestreo son 95 y 10%, respectivamente. Esto se debe leer así: el ingeniero tendrá la confianza de que en su estimación de la proporción, 95% de las observaciones tendrán un error de + 10%. Con estos dos datos, se puede calcular la desviación a que hace referencia la figura 7.14; entonces, 1.96 desviaciones es igual a 10, por lo que la desviación es de 5.1.

Con la fórmula $N = \frac{pq}{(\text{desviación})^2}$ se obtiene el número de observaciones (N) aleatorias a realizar. En este caso, $N = \frac{90 * 10}{(5.1)^2} = 35$ observaciones.

Si se desea un nivel de confianza mayor y/o un nivel de error más pequeño, el número de observaciones N se incrementará.

3. Realizar las N observaciones directamente al objeto de estudio y en forma aleatoria. Esto es, en el ejemplo que se está analizando, se deben realizar 35 observaciones al trabajador en distintos momentos para detectar su estatus de actividad. A fin de que el estudio tenga validez, las observaciones deben ser aleatorias, es decir, al azar; para ello, el analista puede ocupar tablas de números aleatorios

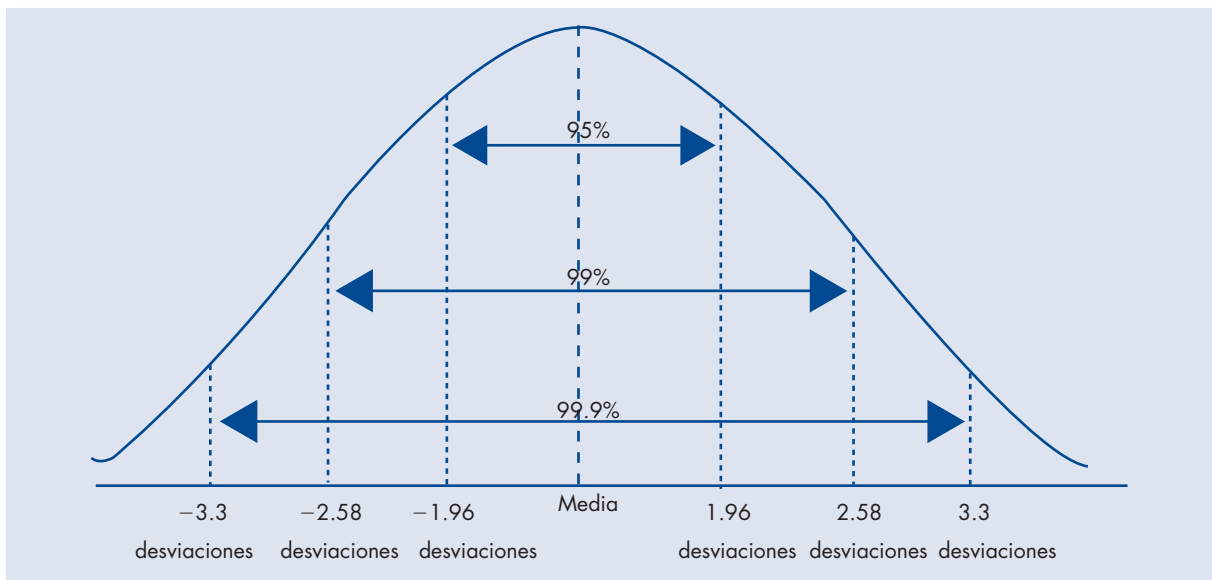


Figura 7.14 Curva de la distribución normal y el nivel de confianza de las áreas bajo su curva.

¹³ Desviación: Diferencia entre la medida de una magnitud y el valor de referencia.

o la función ALEATORIO de Microsoft Excel; la tabla 7.3 muestra un ejemplo de esta situación determinando el momento de las 35 observaciones.

Tabla 7.3 Tiempos de observación para un estudio de muestreo del trabajo

Número de observaciones	Número aleatorio	Transformación a minutos	Hora de la medición
1	0.604603	6	9:06 a.m.
2	0.106259	1	9:07 a.m.
3	0.785157	8	9:14 a.m.
4	0.237913	2	9:16 a.m.
5	0.759297	8	9:24 a.m.
6	0.26768	3	9:27 a.m.
7	0.092109	1	9:28 a.m.
8	0.809106	8	9:36 a.m.
9	0.438625	4	9:40 a.m.
10	0.950777	10	9:50 a.m.
11	0.796648	8	9:58 a.m.
12	0.086877	1	9:59 a.m.
13	0.4329	4	10:03 a.m.
14	0.718947	7	10:10 a.m.
15	0.985305	10	10:20 a.m.
16	0.889213	9	10:29 a.m.
17	0.176313	2	10:31 a.m.
18	0.776863	8	10:39 a.m.
19	0.780449	8	10:47 a.m.
20	0.996164	10	10:57 a.m.
21	0.833504	8	11:05 a.m.
22	0.058342	1	11:06 a.m.
23	0.191521	2	11:08 a.m.
24	0.134322	1	11:09 a.m.
25	0.387582	4	11:13 a.m.
26	0.649631	6	11:19 a.m.
27	0.234958	2	11:21 a.m.
28	0.730987	7	11:28 a.m.
29	0.236096	2	11:30 a.m.
30	0.907697	9	11:39 a.m.
31	0.707345	7	11:46 a.m.
32	0.1121	1	11:47 a.m.
33	0.417495	4	11:51 a.m.
34	0.429412	4	11:55 a.m.
35	0.461806	5	11:59 a.m.

4. Efectuar las mediciones y concluir sobre las proporciones. Las observaciones tienen que efectuarse en los momentos indicados; el ingeniero industrial puede auxiliarse de hojas de registro para estudios de muestreo (véase figura 7.15) y, con base en la información recopilada, estimar las proporciones de tiempo que le interesan.

Estudio de muestreo del trabajo		
Número de observaciones: 35		
Objeto del estudio: Proporción de tiempo activo del trabajador		
Trabajador activo	Total	Porcentaje
	30	86%
Trabajador activo		
	5	30%

Figura 7.15 Hoja de trabajo de estudio de muestreo.

Los estudios de muestreo del trabajo son una herramienta sencilla y de fácil aplicación para determinar proporciones de tiempo que sean de interés para una empresa. Además del estudio clásico (activo/inactivo), el muestreo puede determinar proporciones de los trabajos ejecutados por máquinas (tiempo de reparación, de preparación, de producción, de inactividad) o por el ser humano (proporción del trabajador uno, dos, tres, etcétera).

Sistemas de tiempos predeterminados y MOST

Los *sistemas de tiempos predeterminados* (STP) son las técnicas más avanzadas de un estudio de medición del trabajo. Se dice que son métodos indirectos porque se pueden obtener tiempos estándar sin la necesidad de hacer mediciones con cronómetro. Por el contrario, se utilizan bases de datos que contienen información de movimientos básicos (mover un brazo, dar un paso, doblar el cuerpo, colocar un objeto, etc.) y su duración; estas bases de datos se han ido construyendo y actualizando a través del tiempo y son resultados de ET aplicados en distintas empresas en todo el mundo. La idea principal de los STP es “armar” la operación de interés a partir de dichos movimientos básicos y sumar sus tiempos para determinar el estándar; estos sistemas se reconocen como los estudios de MT más confiables (exactos), pues el error estimado es considerablemente menor comparado con otras técnicas:

Error estimado	
Registros históricos	30%
Estimaciones	20%
Estudios con cronómetro	10%
Tiempos predeterminados	5%

Sin embargo, los STP también presentan desventajas:

- Requieren amplia experiencia del analista para poder determinar estándares adecuados.
- Requieren entrenamiento especializado y certificación por parte de algún organismo privado.
- Algunos de los STP sólo se pueden aplicar si se contrata a la firma consultora especializada que ha inventado el sistema.
- La gran mayoría de los sistemas se han inventado en Estados Unidos de América, por lo que su aplicación en otros países debe evaluarse detenidamente.
- La mayoría de los STP son marcas registradas propiedad de empresas privadas.

Existen dos tipos generales de STP:

- a) *Sistemas detallados*. Son aquellos que proporcionan subdivisiones precisas de los movimientos de los miembros del cuerpo.
- b) *Sistemas con tablas condensadas*. Contienen tablas de tiempos de duración de movimientos combinados, lo que requiere un análisis menos detallado de los métodos de trabajo.

Hay más de 250 STP conocidos. Los más comunes se listan a continuación:

- Motion Time Analysis (MTA)
- Work Factor (WF)
- Basic Motion Time Study (BMT)
- Methods Time Measurement (MTM)
- Universal Analyzing System (UAS)
- Micro Motion Analysis (MICRO)
- Modular Arrangement of PTS (MODAPST)
- Macro Motion Analysis (MACRO)
- Maynard Operation Sequence Technique (MOST)

De éstos, la técnica MOST es de las más recientes, novedosas y precisas, según lo detalla uno de sus creadores: Kjell B. Zandin, del Instituto Maynard en Suecia. Su primera aplicación industrial se presentó en Estados Unidos de América en 1974 y fue resultado de una extensa revisión de los datos del sistema MTM, también creado por H.B. Maynard, y cuya principal ventaja es la realización de estudios de medición del trabajo en la mitad del tiempo. Algunas ventajas adicionales del sistema MOST son:

- Los tiempos reflejan 100% del nivel de desempeño del operario, con ello se evita la necesidad y el sesgo que puede ocasionar la evaluación del trabajador.
- MOST es rápido de aplicar, sólo requiere 10 horas de tiempo del analista por cada hora de trabajo medido.
- Puede ser aplicado de memoria si el ingeniero industrial es suficientemente entrenado.
- Tiene acceso universal, esto es el modelo puede ser "interpretado" por cualquier persona entrenada en el sistema.
- Tiene una precisión adecuada.
- Es fácil de entender y aprender.
- Requiere de un mínimo de trabajo escrito, ya que se ha creado software auxiliar en el cálculo de los estándares.
- Tiene un sistema múltiple de niveles.
- Ofrece resultados consistentes.
- Fomenta el desarrollo de métodos.
- Permite el uso de suplementos y de valores extendidos.
- Su implementación es relativamente económica.

El MOST define que los movimientos de los objetos tienden a seguir ciertos patrones repetitivos: alcanzar, mover, asir (sujetar) y colocar. Estos movimientos básicos se identificaron y ordenaron como modelos de secuencia, que son las guías básicas para el análisis de MT en MOST. Esto significa que, por ejemplo, cuando se mueve un objeto, el movimiento sigue una secuencia estándar de eventos; por consecuencia, la trayectoria básica del movimiento de un objeto se describe por un modelo de secuencia universal, en lugar de un conjunto de movimientos básicos detallados al azar. Existen, además, distintas variantes y niveles de la familia MOST: básico (Basic-MOST), mínimo (Mini-MOST), máximo (Maxi-MOST) y administrativo (Admin-MOST); a continuación se describen las aplicaciones de cada una de éstas.

A) Sistema Basic-MOST

El Sistema MOST Básico fue el primero en aparecer; su unidad de tiempo es la diezmilésima de hora, llamada también TMU (unidad de medición de tiempo), y que equivale a 0.00001 horas. El Basic MOST emplea el factor 10 para obtener las TMU de una operación (véase el ejemplo a continuación). Se recomienda para trabajos cuya duración varía entre 15 segundos y 10 minutos. El sistema básico se encuentra formado por cuatro secuencias básicas:

- Secuencia de movimiento general
- Secuencia de movimiento controlado
- Secuencia de movimiento de herramientas
- Secuencia de movimiento de grúa manual

1. *Secuencia de movimiento general.* Se utiliza para describir el movimiento de un objeto libre por el espacio; lo componen cuatro parámetros: A = alcanzar, caminar (movimientos horizontales del cuerpo o extremidades); B = movimientos verticales del cuerpo (levantamientos); G = tomar u obtener el control de algo y P = poner, colocar o posicionar. MOST concluye que 50% de los movimientos realizados por un empleado son generales y se describen mediante la secuencia que se muestra en la tabla 7.4.

A cada subactividad o parámetro de modelo de secuencia de movimiento general, el ingeniero industrial debe asignar un valor (índice) relacionado con el tiempo de duración de la actividad basado en el contenido de movimiento de la subactividad. El MOST contempla tablas guía que describen distintas operaciones y la calificación que debiera ser asignada. Los índices representan la cantidad de TMU de duración de la actividad al multiplicarlos por 10: los índices más comúnmente usados son 0, 1, 3, 6 y 10; aunque con menos frecuencia también pueden emplearse 16, 24, 32, 42 y 54. El movimiento horizontal A puede emplear índices de hasta 330 (o sea 3 300 TMU). Un ejemplo del movimiento general se describe a continuación.

Supóngase que el analista de tiempos desea traducir la siguiente operación al modelo general del sistema MOST

básico: el operario inicia su trabajo dando tres pasos para recoger un objeto del suelo (el peso del objeto es despreciable, por ejemplo un tornillo), lo levanta y lo coloca sobre una mesa de trabajo que está frente a él. El modelo de secuencia general podría ser descrito de la siguiente manera:

$$A_6 B_6 G_1 A_1 B_0 P_1 A_0$$

La descripción del modelo sería:

A_6 = El operario da tres pasos (movimiento horizontal).

B_6 = El operario se inclina y se levanta (movimiento vertical).

G_1 = El operario obtiene el control de un objeto ligero.

A_1 = El operario mueve el objeto hacia la mesa (movimiento horizontal).

B_0 = No hay movimiento vertical.

P_1 = El operario coloca el objeto sobre la mesa.

A_0 = Punto de no retorno o finalización del trabajo.

Para determinar el tiempo que dura esta actividad (en TMU) se deben sumar los índices y multiplicar por 10. En el ejemplo, la duración de esta tarea es: $6 + 6 + 1 + 1 + 0 + 1 + 0 = 15$; que representan 150 TMU, que a su vez significan 0.0015 horas (0.09 minutos).

2. *Secuencia de movimiento controlado.* Se emplea para describir actividades como accionar una palanca o manivela, presionar un botón o interruptor o deslizar un objeto sobre una superficie. Adicionalmente a los parámetros A, B y G, el modelo de movimiento controlado utiliza tres parámetros:

- M = Movimiento controlado
- I = Alineación
- X = Tiempo de proceso tecnológico

Tabla 7.4 Secuencia de movimiento general

A	B	G	A	B	P	A
Movimiento horizontal (distancia de acción)	Movimiento vertical	Control del objeto	Movimiento horizontal	Movimiento vertical	Colocación	Punto de no retorno

Hasta un tercio de las actividades que se producen durante la operación de las máquinas de un taller pueden implicar secuencias de movimiento controlado. Una actividad típica de esta secuencia sería aquella en la que el trabajador accione la palanca de alimentación de una fresadora. El modelo de secuencia de movimiento controlado se indica de la siguiente manera:

A	B	G	M	X	I	A

Por ejemplo, un operador acciona la palanca de una máquina, levantándola 30 cm aproximadamente; al accionar la palanca se inicia un proceso de maquinado que tarda aproximadamente 3.5 segundos. Si el analista hiciera la traducción a la secuencia de movimiento controlado, ésta debería lucir así:

$$A_1 B_0 G_1 M_1 X_{10} I_0 A_0$$

Donde:

- A_1 = El operario dirige la mano hacia la palanca.
- B_0 = No existe movimiento vertical.
- G_1 = El operario sujeta la palanca.
- M_1 = Movimiento controlado de acción de la palanca.
- X_{10} = Tiempo de proceso de 3.5 segundos (transformado en TMU).
- I_0 = No existe alineamiento.
- A_0 = Punto de no retorno, finalización de la tarea.

3. *Secuencia de movimiento para herramientas.* Este modelo está compuesto de subactividades de la secuencia del movimiento general junto con parámetros especiales que describen la acción de herramientas manuales y de procesos mentales. Las herramientas empleadas son llaves de todo tipo, incluso dinamométricas, martillos, atomilladores eléctricos, destornilladores manuales, alicates, tijeras, cuchillos, trapos, aire comprimido, cepillos, toda clase de instrumentos de medida, bolígrafos, rotuladores, lápices, inspección visual o al tacto, etcétera. El MOST especifica que el uso de herramientas manuales sigue una secuencia fija de actividades divididas en cinco fases:

- Sujetar el objeto o herramienta.
- Colocar el objeto o herramienta en posición de trabajo.
- Usar la herramienta.
- Dejar la herramienta
- Regresar al lugar de trabajo.

Así, la secuencia de manejo de herramientas se muestra en la tabla 7.5.

Tabla 7.5 Secuencia de manejo de herramientas

A	B	G	A	B	P				A	B	P	A
Asir y controlar la herramienta			Posicionar la herramienta			Usar la herramienta			Dejar y hacer a un lado la herramienta			Punto de no retorno

Nótese que usar la herramienta puede adquirir a su vez siete parámetros:

- F/L = Apretar (sujetar) o aflojar (soltar). Se refiere a ensamblar o desensamblar mecánicamente un objeto mediante el uso de roscas, clavos; utilizando los dedos, las manos o alguna otra herramienta.
- C = Cortar. Contempla empuñar y utilizar algún instrumento cortante: tijeras, navaja, etcétera. La acción de torcer también está incluida en esta subactividad.
- S = Darle tratamiento a una superficie: pulir, pintar, limpiar, sopletear, etcétera.
- M = Medir. Utilizar algún instrumento que posea una escala fija para realizar la medición: vernier, calibrador, regla, etcétera.
- R = Registrar. Se refiere a escribir o marcar algún dato o señal para ejecutar un trabajo.
- T = Pensar y/o proceso mental. Contempla inspeccionar, leer o examinar.

Por ejemplo, un operario ejecuta la siguiente tarea: toma una tuerca de un depósito de tuercas localizado al alcance de su brazo, la coloca en un tornillo y la aprieta utilizando siete movimientos de los dedos. La traducción al modelo de secuencia del uso de herramientas es:

$$A_1 B_0 G_1 A_0 B_0 P_3 F_{10} A_0 B_0 P_3 A_0$$

Donde:

- $A_1 B_0 G_1$ = Toma y controla la pieza (tuerca).
- $A_0 B_0 P_3$ = Posiciona la pieza (tuerca).
- F_{10} = Usa la herramienta siete veces (en este caso el tornillo funciona como tal).
- $A_0 B_0 P_3$ = Deja la pieza a un lado (tornillo y tuerca).
- A_0 = Finaliza con punto de no retorno.

4. *Secuencia de movimiento de grúa manual.* El modelo de secuencia de grúa manual es cada vez más empleado en elementos cíclicos; utiliza seis parámetros:

- T = Traer grúa vacía.
- K = Enganchar/desenganchar.
- V = Vertical (sólo subir o bajar).
- L = Llevar grúa cargada.
- F = Liberar carga para izar.
- P = Posicionar para dejar carga.

La figura 7.16 muestra la determinación de tiempos estándar utilizando el sistema MOST Básico en una compañía. Nótese el tipo de formato a utilizar y cómo las distintas actividades que componen una operación son evaluadas individualmente utilizando los tres primeros modelos de secuencia explicados antes.

B) Sistema Mini-MOST

Otro de los sistemas de la familia MOST es el Mini-MOST; se le considera el más preciso y se emplea en trabajos de duraciones muy breves, idénticos y repetitivos (trabajos que se repiten más de 300 veces en un turno), aunque también se ha utilizado en operaciones con ciclos menores a medio minuto. Este sistema distingue dos clases de secuencias:

- Movimiento general
- Movimiento controlado

La primera secuencia es libre, muy similar a la descrita en el sistema básico, por ejemplo, caminar o trasladar una pieza al nivel de las extremidades; la segunda secuencia describe movimientos restringidos, como aquellos derivados de la fricción de dos superficies o los sujetos por una pieza adicional, como una bisagra.

Cálculo Most			Código												
			Fecha												
			Firma												
Actividad															
Condiciones															
Núm.	Método	Núm.	Modelo de secuencia										Frecuencia	TMU	
1	Se agarra el control del montacargas	3	A	B	G	A	B	P	A						90
2	Se prende y se alinea con la bomba	5	A	B	G	A	B	P	A						50
3	Se agarra el montacargas con la bomba	7	A	B	G	A	B	P	A						50
4	Trasladar la bomba, apretar botones y mover montacargas y bomba 10 m	10	A	B	G	A	B	P	A						
5	Dejar el control	11	A	B	G	A	B	P	A					8	
6	Alinear bomba en 5 pasos	12	A	B	G	A	B	P	A					4	
7	Quitar el montacargas que agarra la bomba	14	A	B	G	A	B	P	A					8	
8	Agarrar el control con el cual alejar el montacargas de la bomba	1	A	B	G	M	X	I	A						70
9	Apagar el control	2	A	B	G	M	X	I	A						390
10	Dejar el control	4	A	B	G	M	X	I	A					10	3 400
11	Agarrar una tuerca y tornillo de un diámetro de 1 pulg al alcance y colocar	6	A	B	G	M	X	I	A						520
12	Agarrar tornillo y tuerca de 3/4 de pulgada al alcance y colocar	8	A	B	G	M	X	I	A						
13	Atornillar las 12 tuercas con los tornillos	9	A	B	G	M	X	I	A						
14	Atornillar la flecha y agarrar tornillo y tuerca de 1/4 de pulgada al alcance	13	A	B	G	A	B	(P	A	F)*12	A	B	P	A	
15	Atornillar	15	A	B	G	A	B	(P	A	F)*8	A	B	P	A	
16	Verificar		A	B	G	A	B	P		T	A	B	P	A	
2 742													4 570		

Figura 7.16 Cálculos de tiempo estándar para una operación utilizando Basic-MOST®.

La secuencia de movimiento general para Mini-MOST consta de los mismos cuatro parámetros descritos: A = movimientos horizontales (alcanzar, caminar); B = movimientos verticales del cuerpo; G = obtención de control y P = poner o posicionar. La secuencia movimiento controlado consta de tres parámetros: M = mover, I = alinear y X = duración del tiempo de proceso tecnológico. La diferencia más importante entre MOST Básico y Mini es el multiplicador para el total del valor del índice, que en este caso no es 10 sino simplemente de 1; por lo que si la suma de los valores aplicados a los índices es de 64, ésta será también el total del valor de las TMU para dicho modelo. Otra diferencia significativa es que en el Mini-MOST las distancias se miden siempre en pulgadas.

C) Sistema Maxi-MOST

El Maxi-MOST consiste en cinco modelos de secuencia que utilizan un multiplicador de 100 (milésima de hora). Se emplea en estudios de MT con operaciones que se repiten menos de 30 veces por turno; es decir, ciclos de duración que no superen media hora, descontando los desplazamientos. Los modelos de secuencia son los siguientes:

- Movimiento general
- Movimiento controlado
- Manejo de herramientas
- Transporte con grúa motorizada o eléctrica
- Transporte con un camión rodante (carretillas)

La secuencia de movimiento general y la de manejo de herramientas son similares a las descritas en el sistema básico. La secuencia de movimiento controlado, sin embargo, utiliza los siguientes parámetros:

- P = Movimiento controlado de piezas
- T = Herramientas para roscas
- T1 = Herramientas generales
- T2 = Herramientas varias
- T3 = Herramientas de medida
- M1 = Manejo de máquinas (controles, principalmente)
- M2 = Manejo de máquinas (sujetando o soltando piezas)

El T1 incluye barras, golpeteos con el puño o utilizando un martillo, aplicadores de grasa (inclusive con los dedos), pistolas de silicón, tuberías, depósitos de líquidos con gatillo y aspersor, aerosoles, aplicación de cinta adhesiva, etc. El T2 incluye el empleo de esponjas, martillos, limado, ajust-

tar manualmente una rosca, machihembreado, etcétera. El T3 incluye la utilización de reglas plegables de carpintero y flexómetros, transportadores (medición de ángulos), esquadras, niveles de burbuja, vernieres y micrómetros de diversos tamaños y tipos, herramientas de calibración tipo pasa/no pasa, etcétera. El M1 comprende oprimir botones, accionar interruptores, palancas, manivelas, manillas y cambio de herramientas, etcétera. El M2 consta de la sujeción con pinzas, perros de arrastre, sargentos o sujeciones con llave, a mano y con levas.

El modelo de grúa eléctrica para Maxi-MOST contempla tres parámetros:

- T = Transportar con carga o sin ella
- K = Enganchar/desenganchar
- P = Posicionar carga

El modelo de uso de carretillas abarca desde carros manuales hasta carretillas elevadoras y traspaletas eléctricas; posee, a su vez, tres parámetros:

- S = Comenzar el movimiento/detener la carretilla
- T = Transportar, caminando o montado en otro equipo
- L = Carga y/o descarga

D) Sistema Admin-MOST

El sistema Admin-MOST es de los integrantes más recientes de la familia MOST. Fue liberado en 2003 para sustituir al Clerical-MOST, diseñado para analizar trabajos de oficina. Utiliza Basic-MOST, por lo que su unidad de tiempo es también la diezmilésima de hora. Las secuencias movimiento general, movimiento controlado y de herramientas son iguales a las de Basic-MOST, aunque se enfoca totalmente a las actividades de una oficina. Por el contrario, la secuencia de equipo es distinta y contempla los siguientes parámetros:

- W1 = Write (Mecanografía)
- W2 = Write (Uso de computadoras personales)
- K = Keypad (Uso de calculadoras, agendas electrónicas)
- H = Handling (Manejo de papelería, uso del ratón de la PC, apertura/cierre de sobres, doblado de cartas, pegar sellos postales, sellar documentos, archivar, fotocopiar, ensartar hilo a una aguja e inclusive el trabajo en un laboratorio)

Para finalizar esta sección es necesario comentar que los sistemas MOST se encuentran disponibles en software. Estas herramientas están constituidas por sistemas de bases de datos que permiten capturar y recuperar las suboperaciones descritas anteriormente y sus estándares de tiempo, pudiendo almacenar un millón o más registros de estándares de tiempo. Los sistemas MOST en software auxilian y facilitan la realización de estudios de MT, estimando los estándares de tiempo, así como la documentación y actualización de dichos estándares. El software MOST consta de un programa básico y algunos módulos complementarios. El programa básico tiene las siguientes características:

- Medición del trabajo (Basic-MOST, Mini-MOST, Maxi-MOST)
- Base de datos de suboperaciones
- Estimación de estándares de tiempo
- Base de datos de los estándares
- Actualización por volumen
- Documentación de las condiciones del trabajo (incluyendo el manual de administración del trabajo)

Los módulos suplementarios son:

- Datos de maquinado (velocidades y tiempos de proceso)
- Datos estándar sobre soldadura
- Balanceo de líneas
- Administración de procesos
- Estimadores de costos
- Reportes de desempeño

El objetivo del sistema MOST en software es ser un STP flexible que permita el cálculo de estándares en un amplio margen de situaciones industriales y de servicios reales. Además, busca hacer más eficaz, eficiente y simple la actualización de los estándares y su mantenimiento. De acuerdo con Zandin (2003), la intención del software MOST es "estimular a los ingenieros industriales que trabajen en la industria, en servicios y en universidades a tomar una actitud positiva frente a una disciplina fundamental y generalizada: la medición del trabajo".

Herramientas sociotécnicas en el estudio del trabajo

El enfoque sociotécnico reconoce la importancia de las necesidades físicas y psicológicas del empleado (especialmente

aquél en la línea de producción) en el EDT. Este enfoque se concentra principalmente en el análisis del ambiente físico del área de trabajo (como temperatura, iluminación y ventilación), el bienestar del empleado y sus relaciones sociales con el resto de los integrantes de la empresa. A través del tiempo, han sido varias las aportaciones de los investigadores de este enfoque que han impactado la manera en que el trabajo se analiza y diseña. Un ingeniero industrial no tendría completa su formación si no considera en sus análisis y propuestas a dichas contribuciones, las más importantes se describen brevemente a continuación.

Abraham Maslow, quien fue uno de los pioneros de este enfoque, creó y perfeccionó en 1954 y en 1970, respectivamente, lo que se conoce como la pirámide de jerarquías de las necesidades humanas, los niveles de dicha pirámide de lo más simple a lo más complejo son:

1. Nivel fisiológico: satisfacción de necesidades básicas, como hambre, sed, sexo, sueño, etcétera.
2. Nivel de seguridad: sensación de no correr peligro ni privación, seguridad en el trabajo, obtención de un ambiente ordenado y estable, etcétera.
3. Nivel social: necesidades de afecto, amor, pertenencia, de buenas relaciones sociales, etcétera.
4. Nivel de autoestima y respeto por sí mismo: necesidad de estatus, reconocimiento, prestigio, confianza en sí mismo, logro y conocimiento.
5. Autorrealización: independencia, moralidad, creatividad, potencial, etcétera.

Mediante esta pirámide, Maslow concluyó que los empleados no se motivan simplemente por tener un pago y ciertas condiciones en su trabajo, sino que es necesario que el individuo satisfaga sus distintas necesidades, nivel por nivel, ya que si una de ellas no está satisfecha, no puede ascender a niveles superiores. Para el ingeniero industrial, conocer esta pirámide es de suma importancia, ya que uno de los fenómenos más complejos que se presentan al idear planes para elevar la productividad de las empresas por medio de motivación al personal, es que lo que puede ser un motivador poderoso para una persona, puede no serlo para otra.

Otro de los investigadores sociotécnicos más destacados es, sin duda, Douglas McGregor, quien con sus teorías X y Y, publicadas en 1960 en el libro *El lado humano de las empresas*, puso de manifiesto las características del trabajador y su actitud ante su empleo; los hallazgos más importantes de su teoría X fueron:

- Al trabajador común le disgusta el trabajo y lo evitará a toda costa.

- Los trabajadores siempre están desmotivados, por lo que la empresa deberá darles dirección.
- Los empleados siempre buscan estar controlados, supervisados y dirigidos, sus ambiciones son bajas y desean nunca tener responsabilidades.

Por el contrario, su teoría Y presenta una panorámica totalmente diferente:

- El empleado posee una destreza natural enorme, tiene deseo de superación y una actitud y capacidades inigualables para el trabajo físico y mental.
- El trabajador se automotiva y se puede dirigir y supervisar solo.
- Busca y acepta las responsabilidades.
- Posee ingenio, imaginación y creatividad.

Durante los primeros años de la década de 1980, William Ouchi lanzó la "Teoría Z", la cual describe el punto de vista occidental de las formas organizacionales del trabajo en Japón. Su principal aportación es la combinación de conceptos que describen las relaciones humanas con técnicas de la administración científica. Las características más relevantes de una empresa Z son que llama a la responsabilidad colectiva, se preocupa decisivamente por sus empleados, los considera para una toma de decisiones participativa y desarrolla sistemas de control y evaluación basados en métodos científicos aplicados al trabajo; todo ello con la finalidad de mejorar la calidad y la productividad de las organizaciones.

Finalmente, King sugiere una serie de puntos a ser considerados en el EDT:

- *Prolongación de la tarea.* Contrario al principio de la división del trabajo y la especialización del trabajador propuesto por Taylor, King sugiere que un mismo empleado sea capaz de efectuar todas las operaciones de un mismo proceso.
- *Rotación en el trabajo.* Si el empleado puede hacer varias operaciones de un mismo proceso, es muy posible que también pueda realizar otros procesos, es decir, pueda efectuar otros trabajos si así lo desea. Esta acción le traerá flexibilidad a la compañía, al tiempo que todos los individuos comparten las tareas indeseables.
- *Prolongación de la tarea y rotación.* Esto permitirá al empleado enriquecer su trabajo y le ayudará a

que sea considerado un recurso valioso para la empresa, cuya retroalimentación y opinión es importante al momento de diseñar e implementar mejoras.

- *Participación del empleado en el diseño de su trabajo.* La experiencia dicta que nadie conoce mejor su trabajo que quien lo ejecuta, por tanto, el ingeniero industrial debe prestar atención a las opiniones y comentarios de los trabajadores cuando diseñe o rediseñe los procesos.
- *Trabajo de equipo.* Satisface el nivel social propuesto por Maslow. Pertenecer a un grupo propicia en el empleado un sentido de responsabilidad y obligación hacia los integrantes del mismo. Si, además, el individuo tiene características de líder¹⁴ el grupo puede reconocerlo como tal para efectos del cumplimiento de metas y objetivos; el ingeniero industrial debe conocer este fenómeno de dinámica de grupos y empatar esos objetivos y metas con las de la empresa. Si el líder falla, el grupo lo penalizará con rigor.

La idea central de esta sección es, además de mostrar algunas de las aportaciones más importantes del enfoque sociotécnico, hacer conciencia en el lector de que un programa bien sustentado de desarrollo profesional para los empleados de una empresa, si ésta quiere ser más competitiva, necesitará forzosamente aumentar sus habilidades y conocimientos. Conjuntamente con la ergonomía y la higiene y seguridad industriales, el ingeniero industrial deberá desarrollar ambientes laborales en los cuales los empleados puedan llevar a cabo sus asignaciones de manera que les produzcan la máxima satisfacción.

Aspectos básicos de ergonomía

A la ergonomía también se le conoce como la "ingeniería del ser humano" porque estudia las capacidades y limitaciones de las personas, especialmente en su ambiente laboral. La palabra proviene de dos vocablos griegos: *ergos*, que significa trabajo, y *nomos*, que significa el estudio de; por tanto, la ergonomía tiene como meta el diseño del trabajo, de modo que responda a las necesidades fisiológicas y psicológicas del ser humano trabajador. Sohal *et al.* (2005) comenta que se ha realizado una cantidad importante de investigaciones a través del tiempo sobre los requerimientos físicos que deben poseer los lugares

¹⁴ Líder: Persona a la que un grupo sigue reconociéndola como jefe u orientadora.

donde se efectúa el trabajo y que se resumen en los siguientes puntos:

- El trabajo se efectúa mejor sentado que de pie. Este punto aconseja diseñar las actividades considerando, siempre que se pueda, que el trabajador se encuentre sentado; si esto no es posible, el empleado deberá contar con una silla para tomar pequeños descansos cada vez que el trabajo lo permita.
- Posturas naturales del cuerpo y con cambios fáciles. El área laboral deberá diseñarse para que al trabajador le resulte fácil cambiar de posiciones; una posición fija sólo causará un rápido cansancio al empleado. Asimismo, realizar actividades utilizando posturas inadecuadas creará fatiga excesiva en el individuo.
- Movimientos simétricos. El reparto de cargas y balance de movimientos son fácilmente controlables y ocasionan menos cansancio en el empleado.
- Asignar espacio suficiente de trabajo. Los espacios muy limitados ocasionan angustia psicológica en las personas; estar bajo esta angustia por un periodo prolongado se traducirá, muy probablemente, en fatiga física.
- Altura del área de trabajo cómoda. El plano de trabajo y su altura dependen del tipo de trabajo y las operaciones que se efectúen; también es necesario considerar la altura del individuo, por lo que el consejo para el industrial es proveer al trabajador con equipo "ajustable".
- Utilización de aditamentos mecánicos para la fijación del trabajo. Las manos no deben utilizarse como pinzas de sujeción al efectuar un trabajo, se debe proveer al empleado un equipo especial de sujeción, como prensas.
- Apoyo de pies y brazos. Cuando sea apropiado, el diseñador del trabajo debe proveer accesorios de apoyo para los brazos, antebrazos y pies, a fin de lograr más comodidad al efectuar las labores.

Un análisis ergonómico es una herramienta que permite tener una visión general del medio en el que se efectúa una operación y que tiene como objetivo auxiliar en el diseño de puestos de trabajo que contemplen tareas seguras, saludables y productivas; también sirve como un medio de control de las mejoras implantadas en una empresa y/o para comparar diferentes áreas de trabajo. La base del análisis ergonómico, según Nogareda (2005), es una descripción sistemática de una serie de factores en el sitio de

trabajo (resultado de observaciones, entrevistas y la aplicación de los principios generales del estudio del trabajo), donde se analizarán los criterios fundamentales explicados antes y algunos otros que permitirán valorar globalmente la situación de comodidad de un trabajo; este análisis se complementa con mediciones cuantitativas derivadas del uso de instrumentos como el luxómetro (para registrar la intensidad de la iluminación), el sonómetro (para determinar los niveles de ruido) y el termómetro (análisis del ambiente térmico), entre otros.

En la ejecución de un estudio de ergonomía es muy importante diferenciar el trabajo que se realiza en oficinas del que se ejecuta en las plantas de empresas de manufactura, y que requiere de esfuerzos físicos. Para el análisis ergonómico de puestos de trabajo en oficinas, se deben analizar los siguientes factores:

- Dimensiones del área de trabajo
- Posiciones de trabajo
- Iluminación y uso de colores
- Niveles de ruido
- Temperatura

Para un estudio ergonómico que requiere trabajo físico extenso, los factores son:

- Dimensiones del área de trabajo
- Actividad física
- Cargas a maniobrar
- Posiciones del cuerpo
- Riesgo de accidente
- Contenido del trabajo
- Independencia del trabajador
- Comunicación del trabajador
- Iniciativa en las decisiones
- Repetitividad del trabajo
- Cuidado en el trabajo
- Iluminación y uso de colores
- Temperatura
- Niveles de ruido

Nogareda también menciona que al analizar ergonómicamente los puestos de trabajo, se debe proceder siguiendo tres pasos fundamentales establecidos por el Finnish Institute of Occupational Health:

1. El analista define y perfila la tarea que se va a analizar. El análisis puede ser de una tarea o de

- un lugar de trabajo. Frecuentemente, la tarea tiene que ser dividida en subtareas, las cuales serán analizadas por separado.
2. La tarea se describe enumerando las distintas operaciones realizadas y se dibuja un esquema del puesto de trabajo; aquí es útil la información de los diagramas que ya se han explicado con anterioridad.
 3. El analista puede proceder al análisis ergonómico de cada factor listado, utilizando algunas directrices y comparándolas con los valores recomendados.

Dimensiones del área de trabajo. La evaluación de áreas de trabajo tendrá en cuenta el equipo, el mobiliario y otros instrumentos auxiliares de trabajo; su disposición y sus dimensiones. La disposición del puesto de trabajo depende de la amplitud del área donde se realiza el trabajo y del equipo disponible, de modo que permitan una postura de trabajo apropiada y correcta, que no impida realizar movimientos con libertad. El analista deberá plantearse las siguientes preguntas: ¿existe el espacio suficiente para que el empleado pueda realizar los movimientos que exige su trabajo?, ¿puede cambiar de posturas con facilidad?, ¿el trabajador puede ajustar las dimensiones de su puesto de trabajo y adaptar el equipo que utiliza a sus necesidades? El ingeniero industrial también deberá determinar si las dimensiones de la mesa de trabajo son adecuadas para realizar actividades a distancias cortas (al alcance), actividades que requieren estirar las extremidades y actividades que se repiten esporádicamente. La altura del área de trabajo depende del grado de precisión visual que requiere la tarea, algunas actividades exigen apoyo manual, libertad de movimiento de manos y el manejo de materiales y objetos pesados. Será necesario considerar, a su vez, el campo visual del individuo y su ángulo de visión. Por último, se recomienda dimensionar los siguientes parámetros: el espacio para las piernas, el asiento, las herramientas y el equipo utilizados en el proceso, las instalaciones en las que se efectúa el trabajo, los dispositivos de protección personal, los controles y las ayudas para el manejo y el levantamiento de cargas.

Para diseñar puestos de trabajo adecuados, el ingeniero industrial debe tener en cuenta tanto a los individuos de mayor estatura para determinar, por ejemplo, el espacio necesario para las piernas debajo de la mesa, como a los individuos de menor estatura, para acotar las dimensiones de las zonas de alcance en plano horizontal. Para actividades que se ejecuten sentado, la altura del plano de trabajo dependerá del tipo de labor que vaya a realizarse, si éste necesita precisión, si es de mecanografía, si el trabajo exige agudeza visual o si requiere de un esfuerzo constante; por

ejemplo, si consiste en capturar datos en una computadora personal (PC), será necesario que el plano de trabajo esté situado a la altura de los codos. La figura 7.17 ilustra algunas recomendaciones de la altura del plano de trabajo para oficinas.

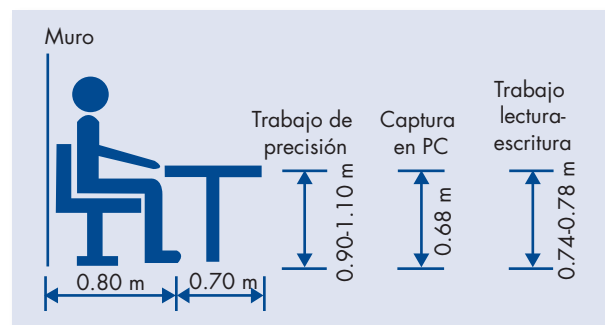


Figura 7.17 Recomendaciones del área de trabajo en oficinas.

Actividad física. Para su análisis, el ingeniero industrial necesita evaluar la intensidad física que requiere una operación, los métodos de trabajo utilizados y el equipo con que cuenta el operador (para facilitar su tarea). A fin de lograr lo anterior, el analista observará el trabajo y entrevistará al empleado y a su supervisor para definir, entre otros aspectos la cantidad de actividad física requerida por la tarea, si ésta depende de los métodos de trabajo, si existen "picos" de trabajo y si el operario puede realizar algunas pausas. El ingeniero debe preguntarse si la actividad física puede ser regulada por el trabajador y si el espacio de trabajo, el equipo y el herramental son obstáculos para la libre ejecución de sus actividades.

Cargas a maniobrar. Este factor considera el peso del objeto cargado, su distancia del cuerpo (distancia de agarre) y la altura a la que es levantado. Para efectuar un análisis, se mide la altura a la que se realiza el levantamiento, se pesa la carga y se estima el esfuerzo requerido. Nótese que este factor es considerado a fin de añadir tolerancias para el cálculo de tiempos estándar en los estudios de medición del trabajo.

Posiciones del cuerpo. Analizar la postura del cuerpo al ejecutar un trabajo requiere observar la posición del cuello, de los brazos, de la espalda, de las caderas y de las piernas durante la actividad física. El analista debe determinar, por separado, las posturas del cuello/hombros, codo/muñeca, espalda y caderas/piernas del operario al momento de ejecutar su trabajo; deberá concluir si éstos están relajados o tensos, cuál es la postura y/o movimiento más forzado que realiza el empleado y el tiempo en el que el individuo permanece en esa posición. En el trabajo de oficinas, se debe

tener presente que una posición sentada no es sinónimo de un trabajo cómodo; sin embargo, como ya se mencionó, una posición de trabajo de pie implica un esfuerzo muscular estático de pies y piernas que desaparece al sentarse, por lo que diseñar la ejecución de un trabajo en posición sentada siempre será recomendable; pero, también téngase presente que al mantener la posición sentada por un periodo largo, se originarán problemas lumbares y de espalda en el empleado.

Para conseguir una postura sentada correcta, se analiza el equipo elemental: la silla y la mesa de trabajo, y el apoyo de los pies y de los brazos. Un asiento de silla se considera adecuado cuando presenta las siguientes características: es regulable en altura, con un margen de ajuste entre 380 y 500 mm, el ancho del asiento debe situarse entre 400 y 450 mm, la profundidad entre 380 y 420 mm y se sugiere que el acolchado posea un espesor de 20 mm, además de estar recubierto con tela flexible y transpirable. Existen respaldos de sillas altos y bajos, un respaldo bajo debe ser regulable en altura e inclinación y conseguir el correcto apoyo de las vértebras lumbares; las dimensiones deberían ser: anchura entre 400 y 450 mm, altura entre 250 y 300 mm, ajuste en altura entre 150 y 250 mm y poseer un borde anterior inclinado; por el contrario, un respaldo alto de sillas debe permitir el apoyo lumbar y ser regulable en inclinación hasta 15°; el ancho debe estar entre 300 y 350 mm, la altura entre 450 y 500 mm y revestido de material igual al del asiento. Los respaldos altos permiten un apoyo total de la espalda y, por ello, la posibilidad de relajar los músculos y reducir la fatiga. La base de apoyo de la silla debe garantizar estabilidad, por lo que se sugiere que cuente con cinco brazos terminados en ruedas que permitan la libertad de movimiento. La longitud del descanso de los brazos será, por lo menos, igual a la del asiento (entre 380 a 450 mm). La figura 7.18 muestra el ejemplo de una silla que ha sido ergonómicamente diseñada satisfaciendo estas observaciones.



Figura 7.18 Silla de oficina que cumple con las especificaciones ergonómicas.

Riesgo de accidente. El riesgo de accidente se refiere a la eventualidad de sufrir un accidente, lesión o contin-

gencia inesperada en el trabajo, que ponga en peligro la integridad física de los empleados. El ingeniero industrial debe evaluar dicha posibilidad y la gravedad potencial que pudieran presentar los accidentes en su empresa. Con ese objetivo, debe revisar el historial y las estadísticas de accidentes de la compañía y complementar su análisis con entrevistas al personal encargado de la seguridad en la empresa. Los riesgos que suelen presentarse en un área de trabajo son:

- Riesgos mecánicos (máquinas)
- Riesgos causados por un diseño incorrecto del trabajo
- Riesgos relacionados con la actividad y actitud del trabajador (posturas o movimientos incorrectos, conductas inadecuadas)
- Riesgos relativos a la energía (electricidad, aire comprimido, gases, temperatura, agentes químicos, etcétera)

Se considera que el riesgo de accidente es pequeño si el empleado puede evitar la ocurrencia de accidentes teniendo precaución y siguiendo las normas de seguridad establecidas en la empresa; es considerable si el trabajador debe seguir las normas de trabajo prestándoles mayor atención; el riesgo es grande si el trabajador está obligado a ser especialmente cuidadoso y seguir normas especiales estrictas de seguridad debido a que existen riesgos tangibles en la operación; por último, el peligro potencial de accidentes es muy grande si el trabajador debe acatar normas y reglamentos estrictos y concisos y se hace acreedor a sanciones si no los cumple.

Las consecuencias del accidente se miden por su gravedad, las cuales pueden evaluarse según la siguiente escala: ligera, si el accidente causa como máximo un día de incapacidad;¹⁵ leve, si el accidente causa como máximo siete días de baja; bastante grave, si el accidente causa hasta un mes de baja, y muy grave, si el accidente causa hasta seis meses de baja o incapacidad permanente.

Contenido de trabajo. Se refiere al número y la calidad de las tareas individuales (suboperaciones) incluidas en una tarea. El analista debe evaluar el contenido del trabajo determinando si el operario realiza, además de sus actividades principales, tareas de planificación, preparación, inspección y corrección de los productos y/o servicios, en adición a actividades de mantenimiento.

¹⁵ Incapacidad debe entenderse como una situación de enfermedad o padecimiento físico o psíquico que impide a una persona, de manera transitoria o definitiva, realizar una actividad profesional y que normalmente da derecho a una prestación de la seguridad social.

Independencia del trabajador. Se refiere al análisis de las condiciones que limitan la movilidad del empleado y su libertad para decidir cuándo y cómo ejecutar su labor. Se deben identificar y evaluar las restricciones presentes a partir de la organización del trabajo o las restricciones físicas, el método de trabajo empleado y sus condiciones para detectar causas que limitan la actividad del operador; por ejemplo, puede darse el caso de que el operario dependa del tiempo de procesamiento de la maquinaria o equipo para efectuar sus labores o de la finalización del trabajo de otros empleados en fases previas del proceso.

Comunicación del trabajador. Este factor evalúa las oportunidades de los empleados para comunicarse con sus iguales, sus superiores y/o sus subordinados. El analista determinará el grado de aislamiento del trabajador a partir de las oportunidades que tenga para comunicarse con otros individuos; piénsese, por ejemplo, en áreas de trabajo con ruido excesivo que imposibilita la comunicación oral directa. Otro punto importante es evaluar cómo ayuda la tecnología al proceso de comunicación del empleado, considérense los casos de software de mensajes instantáneos tan populares en la actualidad.¹⁶ El analista debe preguntarse si este tipo de herramientas realmente permite una comunicación más efectiva entre los trabajadores.

Iniciativa en las decisiones. Las situaciones más importantes a valorar en este factor son la disponibilidad de información y su efecto en la decisión. El ingeniero determinará la complejidad que existe entre la información base para la toma de decisiones y la decisión en sí; por ejemplo, considérese el instante en que un operario observa una señal luminosa de una máquina indicando una presión muy alta que podría ser peligrosa; la acción pertinente debiera ser tomar medidas para disminuir dicha presión; éste es un ejemplo de la relación información-decisión simple. Sin embargo, en el trabajo existen relaciones más complejas que requieren un análisis de información más profundo e intenso y/o la evaluación de distintas alternativas. Este factor tiene en cuenta las consecuencias de las acciones (decisiones) y si el trabajador es totalmente consciente de ellas.

Repetitividad del trabajo. Se refiere a la aparición constante de actividades similares durante una jornada laboral, especialmente en los casos de empresas con producción en serie. El analista debe determinar cuántas veces se repiten los trabajos en una jornada laboral y establecer de manera subjetiva el grado de monotonía en la tarea que podría originar en el empleado.

Cuidado en el trabajo. Significa analizar el grado de atención y observación que un trabajador debe mostrar al ejecutar sus actividades, en los instrumentos que utiliza, en las máquinas que opera, en los tableros y controles que revisa, etcétera. La demanda de cuidado y atención se evalúa a partir de la relación entre lo que dura la observación y el grado de atención requerida. El ingeniero industrial debe determinar las demandas de atención del trabajo analizando el tiempo que el empleado dedica a observar, y compararlo con el grado de atención requerida; también es necesario calcular la proporción del tiempo dedicado a la observación de sus actividades.

Iluminación. Se refiere a los niveles de luz presentes en un área de trabajo y que, por lo general, se determinan por las mediciones de un aparato llamado luxómetro (véase figura 7.19). La medición se compara con valores recomendados en tablas que se encuentran en la literatura especializada (más adelante se dan algunas sugerencias).



Figura 7.19 Luxómetro PCE-174 con sensor de luz y logger de datos.

Además, el analista debe determinar la existencia de deslumbramientos originados por luces brillantes, reflectores eléctricos, superficies reflectantes y brillantes o áreas brillantes y oscuras. Elegir un sistema de iluminación adecuado permite lograr niveles aceptables de comodidad y percepción visual. En la elección se deben tener en cuenta factores como: el nivel de iluminación del punto de trabajo, el tipo de tarea a realizar (objetos a manipular), el contraste entre los objetos a manipular y el entorno, la edad del trabajador y la posición de las luminarias. La tabla 7.6 muestra niveles de iluminación adecuados para distintos locales o actividades.

¹⁶ MSN Messenger, Yahoo messenger, etcétera.

Tabla 7.6 Niveles de iluminación para locales y actividades

Local o actividad	Nivel de iluminación (luxes) ¹⁷
Despachos	500
Pasillos y escaleras	100
Servicios y sanitarios	100
Salas de espera y recepciones	100
Salas de reuniones y conferencias	300
Iluminación general	400
Iluminación para lectoescritura	400
Iluminación general para dibujantes	400
Dibujantes en trabajo continuo sobre una mesa	750
Dibujantes en trabajo discontinuo sobre una mesa	600
Trabajo en computadoras	500
Archivos	200
Cafeterías	200
Cocinas	500
Estacionamientos exteriores	10

Fuente: Comisión Nacional para el Ahorro de Energía de México. Dirección de Demanda Eléctrica.

Una iluminación deficiente puede provocar fatiga visual por efecto de fuertes contrastes sobre la retina. Algunas indicaciones generales para una correcta iluminación del área de trabajo son:

- Equiparar las luminarias con difusores para impedir la visión directa de la lámpara.
- Colocar las luminarias de forma que el ángulo de visión sea superior a 30° respecto a la visión horizontal.
- Evitar que la luz reflejada coincida con el ángulo de visión del operario.
- Evitar superficies de trabajo con materiales brillantes y colores oscuros.
- Si se dispone de luz natural, procurar que las ventanas estén equipadas con elementos de protección regulables (persianas) que impidan deslumbramientos y aumento de temperatura provocado por la acción directa de los rayos del Sol.
- Las ventanas deberán permitir la visión al exterior.

Ambiente térmico. Conseguir un ambiente térmico adecuado depende de la temperatura y humedad del aire, la temperatura de paredes y objetos y la velocidad del aire. Es un hecho indiscutible que se requiere de un clima adecuado para que los empleados realicen su trabajo de forma eficiente; una temperatura agradable en verano oscila entre los 20 y 22 °C, temperaturas mayores pueden provocar cansancio y somnolencia en el trabajador. La condición de humedad relativa más cómoda para el ser humano se encuentra alrededor de 50%; cuando la humedad es mayor se dificulta la evaporación del sudor y la resistencia a altas temperaturas se reduce; para evitar esta situación se debe mejorar la ventilación del lugar de trabajo. Por el contrario, cuando la humedad es baja, se presenta una excesiva transpiración en el cuerpo, lo que ocasiona resequead en las membranas mucosas (nariz y boca principalmente), en estas condiciones el analista debe incrementar de manera artificial la humedad del lugar de trabajo. Recuérdese que el propósito principal de la ventilación es proveer aire fresco, remover los gases contaminantes y mantener una temperatura adecuada en el sitio de trabajo. Para que la velocidad del aire no cause molestias, se debe situar entre 0.2 y 0.5 metros por segundo, aunque también depende de la temperatura y humedad del ambiente. Para trabajo en oficinas, donde la demanda física es baja, la temperatura ambiente debe mantenerse entre los 19 y 21 °C; por el contrario, para trabajos industriales que requieren gran demanda física, se recomienda una temperatura ambiente entre los 12 y 16 °C.

Niveles de ruido. La valoración del ruido también se hace de acuerdo con el tipo de trabajo realizado; diversos autores mencionan que existe riesgo de daño en la audición cuando el nivel de ruido es mayor de 80 dB;¹⁸ en estas condiciones se recomienda el uso de protectores auditivos. En trabajos que requieren comunicación verbal, el ambiente debe permitir al empleado dialogar libremente; en trabajos que requieren concentración, el trabajador necesita razonar, tomar decisiones y usar su memoria constantemente, por lo que los niveles de sonido deben permanecer bajos. Algunas recomendaciones generales respecto del ruido son:

- Aislar las fuentes de ruido para que no resulte molesto a los trabajadores que realizan sus labores en el área cercana y disminuya el nivel del ruido ambiental.
- Revisar que las cubiertas de los equipos estén bien sujetas y ajustadas para evitar el ruido que provoca su vibración.

¹⁷ Lux es la medida de flujo luminoso recibido en el plano de trabajo por unidad de superficie. Un lux equivale a un lumen/m².

¹⁸ dB o decibel es la medida de los niveles de sonido. Es una unidad logarítmica utilizada para describir una razón de sonido.

- Los pisos deben recubrirse con materiales que resulten seguros para transitar, que proporcionen el soporte adecuado para la actividad que se realiza y que no generen ruido al transitar por ellos. Piense, por ejemplo, en las desventajas de utilizar pisos de madera.
- Los protectores auditivos representan una mejor protección para los niveles elevados de ruido que los tapones para oídos, y permiten su combinación. Para los supervisores es fácil verificar su utilización y no se mueven fácilmente de su lugar.

Aunque el oído se protege de forma natural ante niveles elevados de ruido constante, las normas de ergonomía y de seguridad e higiene recomiendan evitar los ruidos de alto impacto, ya que no permiten que se accione el mecanismo natural de protección. El ingeniero industrial debe colocar medios para amortiguar el sonido (como el corcho) y evitar afectaciones a los empleados que no posean equipo de protección auditiva en áreas contiguas de trabajo. El aparato que se utiliza para determinar los niveles de ruido en decibeles es el sonómetro, la figura 7.20 muestra un tipo de sonómetro comercial.



Figura 7.20 Sonómetro industrial.

Para finalizar esta sección, el ingeniero industrial debe considerar que un punto clave de estudiar y diseñar el trabajo, con el fin de elevar la productividad, depende directamente de la consideración de los factores ergonómicos explicados anteriormente. Para que un diseño u organización de trabajo se consideren buenos es forzoso que el analista conozca, mida y evalúe estos factores y los refleje directamente en el área de trabajo, para que el empleado, quien es el ejecutor real del trabajo, se sienta cómodo. Sin embargo, para lograr esto también se requiere la recolección de información relevante para el diseño en las áreas reales donde el trabajo es efectuado. Es, entonces, cuando la experimentación y la observación toman importancia, pues son los dos métodos más comunes para obtener datos reales que permiten una mejor toma de decisiones. Recuerdese que la eficaz y eficiente utilización de un sistema productivo dependerá del grado en que las necesidades del operador humano fueron tenidas en cuenta para su diseño; es decir, aunque la empresa contara con maquinaria y equipo de última tecnología (probablemente importada desde otros países), es el ser humano local quien las ope-

ra. El ingeniero diseñador del trabajo deberá entender y aplicar estos principios para que la producción de bienes y/o servicios fluya sin dificultades.

Aspectos básicos de higiene y seguridad industriales

Uno de los objetivos principales del EDT, ejecutado por un ingeniero industrial responsable, que busque el aumento de la productividad de una empresa, es proporcionar un sitio de trabajo seguro e higiénico para los empleados a través del control del ambiente físico de la compañía y de sus operaciones. Si las condiciones del trabajo son apropiadas, seguras y cómodas se obtendrá un medio para elevar la productividad, ya que se tendrá más seguridad en la ejecución de las tareas, se reducirá el ausentismo y la impuntualidad ocasionados por accidentes y desmotivación del empleado, ya que éste elevará su moral.¹⁹ Los factores a controlar para lograr mejores condiciones de trabajo son:

- Control del alumbrado
- Control de la temperatura
- Ventilación adecuada
- Control del ruido
- Promoción del orden, la limpieza y el cuidado del lugar de trabajo
- Eliminación de materiales nocivos y/o irritantes (polvos, humo, vapores, gases, etcétera)
- Protección de puntos de peligro (sitios de corte, transmisión de movimiento)
- Dotación de equipo de protección personal
- Organización y cumplimiento de programas de primeros auxilios

Nótese que algunos de estos factores fueron analizados en la sección de ergonomía, pero un estudio de HySI los retoma para su estudio, complementándolos con otros.

El primer paso para determinar buenos programas es designar un responsable directo de la HySI en la empresa. Esta persona tendrá a su cargo aspectos como:

- La capacitación del personal.
- La divulgación de información sobre los riesgos de trabajo inherentes a sus labores, el contenido de la relación de medidas preventivas o del programa de seguridad e higiene en el trabajo, los

¹⁹ Moral: Estado de ánimo, individual o colectivo.

procedimientos y los manuales para la ejecución segura del trabajo, a fin de prevenir y/o controlar los riesgos de trabajo.

- La elaboración de un listado de atención a las emergencias que al menos contemple: cualquier medio de comunicación para reportar la alarma en las emergencias, un responsable de aplicar las medidas para la atención de emergencias y los telefónicos que se requieran para dar aviso al responsable, a los servicios de emergencia (bomberos, policía, rescate) y a los centros de información sobre el manejo de sustancias químicas en casos de emergencia.

El *Programa de seguridad e higiene en el trabajo* es un documento en el que se describen cronológicamente actividades, métodos, técnicas y condiciones de seguridad y salud que deberán observarse en el centro de trabajo, los responsables de operar y dar seguimiento a la prevención de accidentes y enfermedades de trabajo.

Un programa deberá contener al menos:

- Los factores de peligro en el centro de trabajo por el uso de materias primas, sustancias químicas, productos, herramientas, equipo, maquinaria, medios de transporte, instalaciones y tipos de energía del centro de trabajo.
- La exposición del personal expuesto del centro de trabajo, que implique el tiempo, la frecuencia y las concentraciones o niveles.
- Las políticas, objetivos y metas de seguridad e higiene, para la prevención, protección y control que se deben instrumentar en el centro de trabajo.
- Los recursos administrativos y técnicos que permiten dar cumplimiento al programa de seguridad e higiene.
- Procedimientos para el arranque, la operación, el mantenimiento, el paro de emergencia, el desmantelamiento de la maquinaria, equipo e instalaciones, así como para la investigación de accidentes.

La OSHA

En muchos países, el organismo que ha generado las normas y estudios más avanzados en relación con la higiene y seguridad laborales es sin duda la OSHA (Occupational Safety and Health Administration),²⁰ Departamento del Tra-

bajo de Estados Unidos de América, que tiene a su cargo la Administración de la Salud y Seguridad Ocupacionales y que fue fundada en 1971. Su misión es “asegurar la salud y seguridad de todos los trabajadores (estadounidenses), estableciendo y supervisando estándares, brindando entrenamiento, alcance y educación, por medio de alianzas, motivando la mejora continua de la salubridad y seguridad en el trabajo”. Los lineamientos de la OSHA remarcan que es responsabilidad del empleador familiarizarse con sus normas y asegurarse de su aplicación.

La OSHA busca, entre otras cosas:

- Estimular a los trabajadores y empleadores a reducir los riesgos en los centros de trabajo e implementar nuevos y mejores programas de seguridad y salud.
- Establecer derechos y responsabilidades para trabajadores y empleadores a fin de obtener mejores condiciones de seguridad y salud.
- Mantener un sistema de registros y reportes para detectar enfermedades y lesiones relacionadas con el trabajo.
- Establecer estándares obligatorios para la seguridad y salud laborales y exigir su cumplimiento.
- Fomentar la creación, análisis, evaluación y aprobación de programas de seguridad y salud ocupacionales.

Una de las recomendaciones más populares de la OSHA es su famoso código de colores, el cual ha sido adoptado en el mundo como el estándar para señalar e indicar distintas situaciones en el trabajo (véase tabla 7.7).

Análisis de HySI

Algunos puntos importantes que tendrán que considerarse al realizar un estudio de HySI son:

- a) Contar con un sistema adecuado de ventilación ayuda en la prevención de accidentes y fatiga del empleado. Los malos olores, gases y humos causan fatiga en el ser humano, derivado de un estado conocido como tensión mental. Esta tensión es un grado de depresión que se encuentra asociado con el movimiento del aire y la temperatura y humedad del área de trabajo. El fenómeno se explica como sigue: si el grado de humedad del aire se eleva, el enfriamiento del cuerpo humano por

²⁰ Ver <http://www.osha.gov/>

Tabla 7.7 Código de colores recomendado por OSHA

Color	Significado	Usos más comunes en las empresas
Rojo	Equipo de protección contra incendio, señales de peligro y alto	Cajas de alarma contra incendio, localización de extintores, etcétera. Tubería de rociadores, envases de seguridad para inflamables, señales de peligro, botones de paro de emergencia
Naranja	Partes peligrosas de maquinaria y equipo	Interior de guardas móviles, botones de arranque de seguridad, bordes de partes expuestas de equipo en movimiento
Amarillo	Precaución y daños a la salud	Equipo de construcción y de manejo de materiales. Marcas de esquinas, orillas de plataformas, pozos. Se puede usar en combinación con franjas negras y amarillas
Verde	Seguridad	Localización de equipos de primeros auxilios, máscaras contra gas, duchas de seguridad
Azul	Precaución contra puesta en marcha	Banderas de aviso en el punto de arranque de maquinaria, controles eléctricos, válvulas de tanques y calderas
Morado (púrpura)	Peligro por radiaciones	Envases para materiales radiactivos o fuentes de radiación
Negro y blanco	Marcas de tránsito y orden interior en locales	Demarcación de pasillos, señales de dirección, áreas libres en pisos, etcétera

medio de la evaporación decrece en efectividad, así se reduce la capacidad del organismo para disipar calor y se acelera el ritmo cardíaco, lo que ocasiona un incremento en la temperatura del cuerpo. Esta recuperación deficiente de la temperatura se traduce en un grado de fatiga considerable para el ser humano.

b) Promoción estricta del orden y la limpieza de las áreas de trabajo. Aplicar medidas de orden y limpieza conlleva las siguientes ventajas:

- Disminuye el peligro de incendio
- Reduce el número de accidentes
- Conserva el espacio de trabajo del empleado
- Mejora el ánimo del personal

El ingeniero industrial debe asegurarse de diseñar, implantar y supervisar programas que busquen que todas las cosas en el centro de trabajo se ubiquen en sitios apropiados; la supervisión de dichos programas es muy importante, pues cuando una empresa es capaz de mostrar que sus planes de orden y limpieza funcionan (gracias a la participación de directivos, analistas y empleados responsables) se crea un círculo virtuoso en el cual los trabajadores replicarán esas prácticas haciéndolas propias.

Estudios realizados muestran que la mayor parte de las lesiones y/o accidentes se deben a tres factores principalmente:

- Situación riesgosa en el ambiente físico
- Acto peligroso del empleado
- Combinación de ambas

Las situaciones riesgosas pueden deberse a diseños del trabajo mal realizado; por ejemplo, el riesgo en el ambiente de trabajo se origina por el equipo y las condiciones que rodean al área de trabajo, falta de vigilancia, falta de protección adecuada del herramental, localización inadecuada de las máquinas, estado físico de las zonas de trabajo (almacenes, bodegas, etcétera) y condiciones generales del edificio. Los actos peligrosos del empleado se refieren a conductas nocivas que algunos individuos replican en el trabajo con el riesgo de originar accidentes.

c) Para verificar las condiciones de seguridad en edificios, el analista de HySI deberá revisar aspectos tan variados como:

- Capacidad de carga del edificio.
- Mantenimiento y supervisión de áreas con alto tráfico y/o volumen (almacenes).

- Detección de grietas en muros y plafones, vibración excesiva y desplazamientos estructurales.
- Verificación del estado de pasillos, escaleras y otros sitios de paso, examinándolos periódicamente para verificar que se encuentren libres de obstáculos, que no presenten irregularidades y que no tengan sustancias derramadas que puedan ocasionar accidentes.
- Diseño de escaleras con una inclinación de 30 a 35°, huella de 24 cm aproximadamente, peraltes que no excedan los 20 cm; además de que deberán estar provistas de pasamanos, contar con al menos 108 lux de iluminación y estar pintadas de colores claros.
- Diseño de pasillos rectos y bien delimitados; para el flujo de vehículos donde se realicen vueltas, las esquinas deberán estar redondeadas o en diagonal. Si se ha contemplado el flujo en dos sentidos, el ancho del pasillo deberá ser de al menos el doble del ancho del vehículo más amplio más una tolerancia de mínimo 90 cm. Si el pasillo está considerado para flujo de vehículos en un solo sentido, el ancho deberá ser al menos igual al ancho del vehículo más amplio más una tolerancia de 60 cm. Además, deberán contar con una iluminación de por lo menos 54 lux y tener un programa de mantenimiento continuo.

Otras consideraciones importantes en los edificios deberán buscarse en los reglamentos de construcciones y de pro-

tección civil locales; algunos de ellos, por ejemplo, indican que deben existir al menos dos salidas en cada nivel del edificio, además se debe tener una protección adecuada contra incendios (extintores, sistemas de aspersión, tomas gemelas, etcétera). Una guía para la determinación del riesgo de incendio se muestra en la tabla 7.8.

d) Un factor de importancia en el análisis de HySI considera la identificación y eliminación de elementos nocivos para el ser humano. Los agentes capaces de modificar las condiciones del medio ambiente del centro de trabajo que, por sus propiedades, concentración, nivel y tiempo de exposición o acción pueden alterar la salud de los trabajadores se clasifican en:

- Físicos (ruido, radiaciones ionizantes, radiaciones electromagnéticas no ionizantes, presiones ambientales elevadas o abatidas, condiciones térmicas elevadas o abatidas, vibraciones e iluminación).
- Químicos (tóxicos, corrosivos, irritantes, reactivos, combustibles, inflamables y explosivos).
- Biológicos (seres vivos que al estar en contacto con el ser humano ocasionan enfermedades de tipo infeccioso, parasitario, alérgico o tóxico).

Los polvos se clasifican de la siguiente manera:

- Polvos irritantes (metálicos y rocosos).
- Polvos corrosivos (sosa y cal).

Tabla 7.8 Determinación del grado de riesgo incendio

Concepto	Grado de riesgo		
	Bajo	Medio	Alto
Altura de la edificación, en metros	Hasta 25	No aplica	Mayor a 25
Número total de personas que ocupan el local, incluyendo trabajadores y visitantes	Menor de 15	Entre 15 y 250	Mayor de 250
Superficie construida en metros cuadrados	Menor de 300	Entre 300 y 3 000	Mayor de 3 000
Inventario de gases inflamables, en litros (en fase líquida)	Menor de 500	Entre 500 y 3 000	Mayor de 3 000
Inventario de líquidos inflamables, en litros	Menor de 250	Entre 250 y 1 000	Mayor de 1 000
Inventario de líquidos combustibles, en litros	Menor de 500	Entre 500 y 2 000	Mayor de 2 000
Inventario de sólidos combustibles (a excepción del mobiliario de oficina) en kilogramos	Menor de 1000	Entre 1 000 y 5 000	Mayor de 5 000
Inventario de materiales pirofóricos y explosivos	No tiene	No aplica	Cualquier cantidad

Fuente: Secretaría del Trabajo y Previsión Social de México.

- Polvos venenosos (plomo, arsénico, mercurio, etcétera).
- Polvos orgánicos, derivados de pieles, plumas, cabello, etc., que pueden contener gérmenes que infecten al trabajador.

El analista debe diseñar las estaciones y áreas de trabajo de modo que eviten estos peligros potenciales, a través de medios adecuados para su manejo, como son:

- Sistemas de escape y extracción por medio de campanas de aspiración.
- Aislamiento del proceso.
- Dispositivos humedecedores o de absorción.
- Protección al personal por medio de equipo especial.

Cabe recordar que los sistemas de extracción son caros y su costo depende del diámetro de las tuberías. Entre más grande sean los conductos, el sistema es más caro pero más eficiente, ya que se requiere menos energía para la expulsión del aire. El ingeniero industrial debe evaluar que la inversión hecha en la instalación de estos equipos se "autopague" gracias a los ahorros obtenidos por efecto de la recuperación de materiales útiles en los desechos, financiamientos y exenciones fiscales por la instalación de sistemas ecológicos, etcétera.

a) Protección en los puntos de peligro

Significa aislar los sitios de corte y transmisión de movimiento. Según la OSHA, los empleadores son los únicos responsables de salvaguardar sus instalaciones, asegurando que sus empleados cuenten con la debida protección. Estos medios de seguridad deben estar correctamente diseñados para brindar protección sin limitar la ejecución del trabajo; algunos requisitos de los accesorios y medios de protección son:

- Dar protección efectiva al empleado.
- Permitir la operación normal del equipo en mayor o igual grado que sin ellos.
- Permitir su normal mantenimiento y conservación.

Es de vital importancia analizar las posibles ventajas de adquirir equipo de seguridad "de marca" contra equipo diseñado y hecho en la empresa. Si bien el herramental y equipo nuevo incluye de fábrica medidas de seguridad y protección al empleado satisfactorias, el analista deberá preguntarse: ¿qué hacer en los casos de maquinaria usada en los que no se cuenta con protección? Ante esta situa-

ción, hay que ejercer acción inmediata, contemplar medidas de prevención y protección parciales (corto plazo) contra permanentes (mediano y largo plazo) además de verificar que las medidas implementadas se cumplan. Lo más importante en este aspecto es que si el trabajador detecta que una máquina o equipo es peligroso, tenderá a laborar con menor esfuerzo como medida de precaución. Si además una empresa escatima en costos para la eliminación de peligros visibles, no podrá esperar una completa cooperación por parte de sus empleados.

b) Consideración de automatización

Cuando las condiciones de peligro prevalecen en el centro de trabajo se debe evaluar la opción de automatizar, esto significa la instalación de sistemas mecánicos y eléctricos (comúnmente robotizados) que efectúan operaciones con escasa o sin la participación de seres humanos. La automatización puede ser parcial o total; por ejemplo, piénsese en el caso de la industria de fundición en matriz. El peligro de salpicaduras de material incandescente al momento de la inyección en los dados es tal que representa un riesgo inminente de muerte al trabajador, por lo que el proceso deberá automatizarse por completo. Por otro lado, en la industria automotriz se utiliza la automatización parcial, por ejemplo, en los procesos de soldadura. La automatización, además, presenta ventajas en la reducción de costos de fabricación (ensamble), flexibilidad, calidad repetible, capacidad de producción predecible, etcétera.

c) Dotación del equipo necesario de protección personal

Ésta es otra forma de reducir los riesgos y peligros en el trabajo; de acuerdo con la naturaleza de la operación, existirán casos en los que se deberá proteger totalmente al trabajador con equipo especializado como gafas, caretas, cascos, uniformes, guantes y calzado especial, entre otros. El ingeniero industrial tiene algunas tareas importantes en este sentido:

- Seleccionar y probar el equipo de protección, para asegurar su buen funcionamiento cuando se presente alguna contingencia.
- Motivar y fomentar su uso. El personal debe estar capacitado y convencido en el uso del mismo, realizando acciones coercitivas en caso de ser necesario.
- Proporcionar equipo gratis o al costo al personal.
- Registrar, buscar y publicar casos de éxito donde el equipo haya evitado lesiones o salvado vidas en el pasado de la empresa.

- Capacitar acerca del uso seguro y correcto de las herramientas y equipo.
- Proporcionar la herramienta adecuada al trabajo a realizar.

d) Conservación

Se debe conservar (mantener) el herramental en buenas condiciones para asegurar el uso y la conservación de los medios de protección y prácticas de seguridad. Otro punto importante de la HySI es la integración de sistemas de control de calidad y mantenimiento del herramental y equipo. Estos sistemas deben considerar, entre otros aspectos, la verificación del aislamiento y conexión a tierra física de las herramientas eléctricas o de impulsión con motor eléctrico; el afilado de herramientas; la búsqueda de deformaciones en el equipo; contar con esmeriles agrietados o sin guardas y buscar y sustituir o arreglar herramientas con mangos con fisuras y con juego.

e) Establecimiento de un programa de primeros auxilios

Debido a que es prácticamente imposible eliminar al 100% los posibles accidentes y lesiones, hay que prepararse cuando ocurran contingencias y tener medidas de atención adecuadas en casos de lesión; además, se debe instruir a los empleados en estos procedimientos y difundir sus normas. El objetivo de un programa de primeros auxilios es la prevención de peligros potenciales, asegurar que se tienen y se conocen los procedimientos a seguir en caso de siniestros, garantizar que se cuenta con sistemas de primeros auxilios locales bien equipados y que el acceso a atención médica especializada está asegurado.

f) Determinación y control del peligro potencial de los materiales utilizados

En el caso de que una empresa utilice en sus procesos sustancias que presentan un peligro potencial para el empleado, por ejemplo sustancias químicas, será responsabilidad del analista conocer y difundir entre los empleados la composición de los compuestos, los peligros que conlleva su utilización, las medidas de control y protección para los empleados y si presentan efectos nocivos a largo plazo. Los materiales peligrosos para el ser humano son especialmente:

- Materiales corrosivos.
- Tóxicos e irritantes.
- Inflamables.

Los materiales corrosivos son principalmente ácidos y sustancias cáusticas que destruyen y queman los tejidos de la piel como resultado de su acción química por contacto directo o inhalación. Las medidas de prevención de peligro para los corrosivos son:

- Establecer métodos de manejo de estos materiales a prueba de "descuidos".
- Diseñar el proceso para evitar derrames o salpicaduras.
- Verificar que los operarios expuestos tengan y ocupen el equipo de protección adecuado y conozcan los procedimientos de manejo.
- Comprobar que existen procedimientos de primeros auxilios (dispensario equipado, duchas para lavado de seguridad, etc.) y que los operarios los conocen.

Los materiales tóxicos e irritantes suelen presentarse en forma de gases, líquidos o sólidos. Afectan los órganos y procesos normales del cuerpo debido a su ingestión, inhalación o absorción a través de la piel. Los métodos de control más comunes a aplicar en este caso son:

- Aislar al trabajador del proceso peligroso de forma completa o parcial.
- Ventilar adecuadamente con escape al exterior.
- Suministrar equipo eficaz de protección.
- Sustituir el material por otro no tóxico.

g) Materiales inflamables y agentes oxidantes

Son fuente de incendios y/o explosiones derivados de su contacto con igniciones espontáneas. Las fuentes de ignición espontánea son, entre otras, un aumento de calor por oxidación lenta y la falta de ventilación. Las medidas de prevención para este tipo de materiales son:

- Almacenamiento en zonas frescas, secas y bien ventiladas.
- Uso de frascos bien sellados.
- Diseño de procesos que minimicen la generación de polvos y liberación de gases y vapores inflamables.

El riesgo de explosión se presenta cuando polvos combustibles, vapores y gases se encuentran en concentraciones altas en el aire. Algunos materiales que parecieran inocuos, como el aserrín, también pueden ser explosivos.

Existen métodos de separación de materiales inflamables que pueden auxiliar en la disminución de riesgo de explosión:

- Absorción en líquidos o sólidos de gases y vapores en corriente. El gas o vapor se distribuyen en la sustancia absorbente, penetrando en su interior. El equipo más comúnmente usado en la industria son las torres de absorción, las columnas de placas con torre burbuja, las torres de aspersión y las lavadoras de celda húmeda.
- Adsorción en sólidos. Las moléculas del material son retenidas en la superficie del cuerpo adsorbente; el ejemplo más común es el carbón

vegetal, que se utiliza para separar benceno, tetracloruro de carbono, cloroformo, óxido nitroso y acetaldehídos.

- Condensación, combustión catalítica e incineración. Este proceso utiliza un catalizador comúnmente hecho a base de aleación de platino y alúmina. El objetivo principal de este método es la combustión de hidrocarburos, cuyos gases y vapores se oxidan a baja temperatura, dando como resultado gases inodoros e incoloros. El catalizador proporciona una superficie activada donde la reacción se efectúa más fácilmente y a temperaturas que varían entre 175 y 315 °C, que son relativamente bajas para el caso de combustiones.

Palabras clave

Diseño del trabajo, análisis de procesos, ergonomía, higiene y seguridad industriales, medición del trabajo, estudio de métodos de trabajo, enfoque sociotécnico, sistemas de tiempos predeterminados, MOST.

Casos prácticos

Caso 1²¹

Una pequeña empresa dedicada a la fabricación de puertas de madera en Colombia ha realizado estudios de tiempos para calcular el contenido en tiempo de sus operaciones manuales. La empresa define el ET como el registro de tiempos y ritmos de trabajo en condiciones determinadas, a modo de obtener valoraciones pragmáticas del contenido productivo de las actividades repetitivas. La empresa ejecuta sus ET de acuerdo con la siguiente metodología:

1. El analista primero debe familiarizarse con la operación seleccionada observando detalladamente los eventos.
2. Participar al operario que ejecuta la operación en el estudio para lograr así su cooperación.
3. Predisponer todos los medios y precisar las condiciones relativas a la operación que se estudia, antes de adelantar los estudios de tiempos. Por ejemplo, reconocer el lugar de trabajo

y la ubicación de las herramientas para efectuar las mediciones.

4. Tener a la mano el equipo de cronometraje para efectuar el estudio de tiempos; para esto se recomienda utilizar un cronómetro decimal de minutos, graduado en centésimas de minuto, y un cronómetro decimal de hora en el que figuren incrementos de centésimas de una hora. El primero se usa para estudios de tiempos tipo cíclico, mientras que el segundo puede ser más útil en estudios no cíclicos.
5. Determinar el método para la toma de tiempos, a fin de que lo observado sea preciso y válido como dato de lectura.
6. Estimar el número de observaciones necesarias para alcanzar cierto grado de precisión; por regla general, la empresa ha establecido realizar no menos de diez observaciones por operación.
7. Hacer las observaciones aleatorias de la operación que se estudia. Su finalidad es determinar

²¹ Adaptado de M. Cardona, (2006). Ingeniería de métodos y medición del trabajo: eficiencia para pequeña industria [en línea]. *El Mueble y la Madera*. Núm. 50. Colombia. <<http://www.revista-mm.com/rev50/admon.pdf>> [Consultada: 22 de marzo de 2007].

el tiempo transcurrido para cada elemento de la operación. Existen dos formas de registro:

- El método de la vuelta a cero: Las manecillas del cronómetro se vuelven a poner a cero al final de cada elemento, tan pronto como el tiempo transcurrido se haya registrado.
- El método continuo. En este caso, los tiempos por elemento se registran con el cronómetro funcionando sin interrupción a lo largo de la operación. Para obtener el tiempo transcurrido, cada lectura deberá sustraerse de la anterior.

Para el presente caso, la empresa ha elegido el proceso de corte de montantes de puertas en una sierra radial, el cual se realiza de forma repetitiva durante una jornada de trabajo. La descripción del proceso es el siguiente:

1. El operario toma la materia prima (bloque de madera) de una pila.
2. Mide el material y los accesorios conforme a las especificaciones.
3. Coloca el bloque de madera en la máquina.
4. Pone en marcha y acopla la máquina.
5. Operación de corte.

La empresa utilizó el método de cronometraje vuelta a cero y dividió las mediciones en siete rondas. Ocupando un formato adecuado, realizó el registro de los tiempos observados y los totalizó anotando el número de ciclos por operación. Se calculó, además, el tiempo medio del ciclo para cada operación de cortado con relación al tiempo total observado; en este caso, el tiempo observado promedio fue de 62.5 segundos.

Después de completar las observaciones, calcular el tiempo medio para cada elemento de la operación y hacer los análisis de los resultados de las operaciones, se procedió al cálculo del tiempo básico. El tiempo básico para la empresa es el tiempo total que debería emplear un trabajador calificado para completar su tarea de corte, ejecutándola a un ritmo regular y utilizando los métodos establecidos. El tiempo básico se obtiene a partir del tiempo observado, el factor de calificación de la actuación del operario y las asignaciones por contingencia y por descanso.

El factor de calificación consta de un incremento que se añade al tiempo promedio observado; es resul-

tado de comparar subjetivamente el ritmo al que el trabajador observado ejecutó su tarea y la idea que tiene el observador de ese ritmo. Para la empresa resulta claro que hacer tales comparaciones es complejo en la práctica, por lo que los gerentes y trabajadores, de común acuerdo, adecuan dichos ritmos a la tabla de calificación de la escala británica, ocupando la experiencia ganada en ET previos, realizados en otras empresas fabricantes de muebles. Las calificaciones deben tener el visto bueno del equipo de ingeniería industrial de la compañía y de la gerencia:

0	Actividad nula
50	Actividad muy lenta
75	Actividad a ritmo constante, pero sin prisa
100	Actividad normal. Se considera ritmo tipo
125	Actividad muy rápida
150	Actividad excepcionalmente rápida

El cálculo del tiempo estándar del proceso de corte de montantes de puertas se obtiene de la siguiente forma: la combinación del tiempo medio observado con el factor de clasificación da como resultado el tiempo básico para la tarea: tiempo básico = tiempo medio observado * (factor de clasificación/ponderación normal) = $62.5 (125)/100 = 78.125$ segundos.

Para calcular los tiempos de tolerancias, la empresa considera dar al trabajador la oportunidad de recuperarse de los efectos fisiológicos y psicológicos que produce realizar un trabajo específico. Para el presente caso, el analista efectuó las siguientes asignaciones por descanso para la operación de cortado de montantes de puerta (expresadas en porcentajes del tiempo básico):

Asignación básica por fatiga	4%
Asignación por trabajar de pie	2%
Asignación por condiciones de trabajo (incluyendo humo y polvo)	6%
Asignación por ruido	5%
Asignación por monotonía	1%
Asignación por tedio	2%
Asignación total por tolerancias	20%

La asignación total por tolerancias constituye 20% del tiempo básico, lo que equivale a 15.65 segundos. Además, la empresa fija un tiempo de compensación por contingencias de 5% del tiempo básico, lo que equivale

a 3.9 segundos y no añade consideraciones especiales extra. El tiempo estándar para la operación de corte en la sierra radial es:

Tiempo normal = tiempo básico + asignación por descanso + asignación por contingencias + asignación especial = $78.25 + 15.65 + 3.9 + 0 = 97.8$ segundos = 1.63 minutos

Los tiempos estándar calculados por la empresa fabricante de puertas se utilizan en las estimaciones de los costos laborales directos y en la preparación de sistemas de incentivos y contratos. La conclusión es que con la aplicación del EDT, EM y MT, los pequeños centros de producción de muebles pueden realizar un mejor control de sus operaciones de fabricación y agilizar sus procesos, trabajando de manera más ordenada, eficiente y productiva e incorporando estrategias sencillas pero de gran utilidad.

Caso 2²²

El recreo interactivo laboral (RIL) consiste en la introducción periódica y supervisada de “pausas activas” dentro de la jornada laboral de los empleados, con duraciones que van de siete a quince minutos y con la característica de ser dirigidas y supervisadas por profesionales especializados en el acondicionamiento físico. La idea central del RIL es prevenir y mejorar las patologías²³ relacionadas con el trabajo realizando paros que no requieren de condiciones especiales para ser efectuados (tiempo, lugar y/o vestuario) y que contemplan actividad física (diferente a la del trabajo, especialmente ejercicios de gimnasia) y actividades de recreación. Mediante su aplicación, el empleado obtendrá beneficios importantes no sólo físicos sino psicológicos en el mediano plazo: el RIL combate efectivamente el estrés y las tensiones laborales, promueve una mejor calidad de vida, auxilia al individuo en la eliminación de malos hábitos y permite una actitud positiva e impetuosa ante el trabajo. Técnicas como el RIL han surgido debido a que organismos

como la Organización Internacional del Trabajo (OIT) han concluido que el estrés laboral²⁴ es una enfermedad que va en aumento y que, por incidir directamente en la productividad, representa un peligro para la economía de las personas, las empresas y los países.

La minería es una de las principales industrias de la República de Chile, pero también es una de las que ocasionan más problemas de índole social debido a las condiciones riesgosas existentes inherentes al trabajo. Algunas condiciones han mejorado gracias al uso de tecnología moderna, pero otras como las psicosociales, derivadas de la separación familiar, los altos niveles de ruido, la liberación de polvos y gases, aunado a posiciones incómodas del cuerpo, siguen siendo una constante. La profesora Susana Altamirano, de la Universidad Santa María, ha investigado esta situación y realizó el trabajo denominado “Prevención del estrés laboral a través de un recreo de gimnasia: aplicación en la minería”. El estudio implementó programas RIL de 10 minutos en compañías mineras de su país, de manera específica en CODELCO²⁵ (División Salvador), donde participaron de manera voluntaria aproximadamente 223 trabajadores de distintas áreas.

Los resultados se midieron a los dos y a los cinco meses de la aplicación del programa. En primer lugar se utilizaron encuestas del grado de satisfacción de los empleados, quienes mostraron gran aceptación al programa y reconocieron mejoras en su ánimo. Después de cinco meses, se midió la flexibilidad del tronco y los hombros como parámetro del beneficio del ejercicio en musculatura y articulaciones para prevenir lesiones o dolencias causadas por las exigencias físicas de su trabajo y se encontró que en todos los trabajadores aumentó la flexibilidad, la cual llegó a más de 2 cm en tronco, y entre seis y 10 cm en hombros. La investigadora concluyó que los programas de este tipo pueden ser herramientas muy útiles y asertivas si se desea mejorar las relaciones laborales y disminuir el estrés presentado a través de síntomas y trastornos en el organismo de las personas. Estos programas permiten trabajar mejor anímicamente y elevar la productividad.

²² Caso adaptado de: Universidad Técnica F. Santa María (2006). *Recreos laborales de 10 minutos disminuyen estrés en la minería* [en línea]. Página web del programa MBA de la Universidad Técnica Santa María, Chile. <<http://www.mba.usm.cl/noticias.php>> [Consultada: 13 de marzo de 2007].

²³ Patología: Conjunto de síntomas de una enfermedad.

²⁴ El estrés laboral es un riesgo psicosocial asociado con la sobrecarga de trabajo, temor e inseguridad en el empleo y las presiones que sufren en su entorno.

²⁵ Refiérase a http://www.codelco.com/la_corporacion/fr_divisiones.html

Caso para resolver

Para analizar este estudio de caso, se deberá formar un equipo de trabajo de no más cinco integrantes. La tarea principal es visitar un establecimiento de comida rápida (hamburguesas principalmente, aunque cualquier otro negocio de comida rápida que esté accesible al equipo puede funcionar) para realizar un estudio del trabajo muy elemental que permita a los integrantes del equipo entender la complejidad que un estudio del trabajo real pudiera significar. Se ha seleccionado este tipo de establecimientos debido a que son negocios cuyos procesos se han diseñado ocupando procesos de análisis similares a los descritos en este capítulo.

El análisis deberá presentarse como un reporte escrito que contenga las técnicas de un EDT: estudio de métodos, medición del trabajo, ergonomía y seguridad e higiene industrial, pero de acuerdo con los siguientes lineamientos:

1. Para el EM. Identificar los tipos de operaciones que se efectúan en estos establecimientos, por ejemplo, la toma de órdenes, servir la bebida, servir un helado, pedir un paquete 3, etcétera, y observarlos en repetidas ocasiones hasta comprender el método (téngase en cuenta que es probable que se requieran diversas visitas a estos restaurantes). La información recabada deberá transcribirse a algún diagrama de análisis de procesos (se sugiere el uso del diagrama sinóptico y el de recorrido). El equipo procederá a seleccionar un par de procesos y ocupando la técnica de interrogatorio, deberá concluir si se puede realizar alguna mejora al método actual observado.
2. Para el estudio de MT. Se deberá determinar un estándar de tiempo para algún proceso repetitivo (servir bebidas, helados) por medio del uso del ET. Además, ejecutar un estudio de muestreo de trabajo para identificar la proporción de tiempo de inactividad/actividad de alguno de los dependientes del establecimiento.
3. Ergonomía. Realizar una descripción cualitativa de tres de los 14 puntos necesarios para un análisis ergonómico de trabajo físico, elegidos por el equipo. No se requiere de mediciones de temperatura, iluminación y ruido.
4. Higiene y Seguridad. El proceso de preparación de la comida involucra el uso de fuego y aceites con temperaturas muy elevadas. ¿Los empleados cuentan con protección suficiente?

Bibliografía

Asetemyt. *Revista ASETEMYT*. Boletín número 2 [en línea]. Página web de la Asociación Española de Técnicos en Métodos y Tiempos. <<http://www.asetemyt.com/>> [Consultada: 2 de enero de 2007.]

Cardona, M. Ingeniería de métodos y medición del trabajo: eficiencia para pequeña industria [en línea]. *El mueble y la madera*. Núm. 50. Colombia. <<http://www.revista-mm.com/rev50/admon.pdf>> [Consultada: 22 de marzo de 2007.]

Finnish Institute of Occupational Health. *Ergonomic Workplace Analysis*. Ergonomic Section. Helsinki, Finland. 1989.

Huertas, R. *Aplicación del análisis de métodos en la prestación de servicios* [en línea]. Página Investigación y Desarrollo: Área de Dirección de Empresas, Empresariales, Marketing, Empresas Deportivas de la ESERP. Madrid, España. <<http://www.eserp.com/art/artubhucast01.pdf>> [Consultada: 13 de marzo de 2007.]

Kanawaty, G. *Introduction to work study*. 4 ed. rev. International Labour Office Eds. Geneva. 1992.

Konz, S. and Johnson, S. *Work Design: Industrial Ergonomics*. 5a. ed. Holcomb Hathaway Publishing. 1999.

Niebel, B. *Methods, Standards, and Work Design*. 11a. ed. rev. McGraw-Hill Publishing Co. New York. 2002.

Nogareda, S. NTP 387: *Evaluación de las condiciones de trabajo: método del análisis ergonómico del puesto de trabajo* [en línea]. Página web de Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España – Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_387.htm [Consultada: 13 de marzo de 2007.]

Oficina Internacional del Trabajo. *Introducción al estudio del trabajo*. 3a. ed. rev. Limusa. México. 1999.

Prokopenko, J. *La gestión de la productividad: Manual práctico*. Limusa. México. 1997.

Sohal, A. and Howard, K. *Effective Operations Management*. 2a. ed. MCB, University Press Limited. United Kingdom. 2005.

Universidad Técnica F. Santa María. *Recreos laborales de 10 minutos disminuyen estrés en la minería* [en línea]. Página web del programa MBA de la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. <<http://www.mba.usm.cl/noticias.php>> [Consultada: 13 de marzo de 2007.]

Zandin, K. *MOST Work Measurement Systems*. Marcel Dekker. New York. 2003.



DISEÑO DE INSTALACIONES

Juan Carlos Gutiérrez Matus
Maestría en Ingeniería Industrial
Texas A&M University

Diseño es arte optimizado para alcanzar objetivos.

Shimon Shmueli

Objetivo

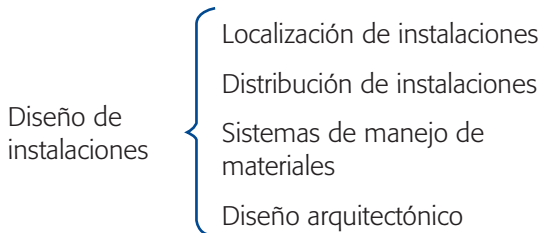
- Presentar los conceptos básicos y las estrategias para el diseño de instalaciones y para que el alumno pueda diferenciar entre localización y distribución.

Las instalaciones productivas

Una instalación productiva es aquel entorno físico dentro o alrededor del cual se lleva al cabo una actividad productiva, no sólo de manufactura, sino también de generación de servicios tales como: salud, educación, esparcimiento, comercialización, consultoría, etc. La forma en que se ubican y distribuyen las instalaciones en las que se llevan a cabo los procesos productivos tiene un gran impacto en el desempeño de sus operaciones. Independientemente de que sea una empresa manufacturera o de servicios, sea privada, gubernamental o sin fines de lucro, estas decisiones son de relevancia estratégica. La meta es reflejar las estrategias operativas en ubicaciones óptimas y distribuciones eficientes que permitan alcanzar una ventaja competitiva a las organizaciones.

La problemática del diseño de instalaciones

Cuando se planea una nueva instalación productiva surgen varias interrogantes: ¿dónde se ubicará?, ¿cómo se va a configurar o distribuir?, ¿cómo se va a construir?, y ¿cómo se va a equipar? Estas preguntas se refieren, precisamente, a los problemas de diseñar la localización, distribución, edificación y el sistema de manejo de materiales. Esquemáticamente se clasifican así.



En este capítulo se describirán algunos procedimientos y herramientas analíticas para enfrentar los dos primeros problemas, es decir, la localización y la distribución de instalaciones. La tercera y cuarta preguntas originan el problema de diseño arquitectónico y del diseño del sistema de manejo de materiales, los cuales están más allá del alcance del presente capítulo.

Los problemas de localización y distribución de instalaciones surgen en una gran variedad de contextos, que no forzosamente tienen que ver con una planta de manufactura. Algunos ejemplos son los aeropuertos, las plazas comerciales, las escuelas, los centros de distribución, las oficinas, los hospitales, etc. Dichos contextos definen en gran medida las características del problema de diseño. Sin embargo, es posible clasificar los problemas con respecto a los siguientes factores:

Instalaciones nuevas

Un problema de localización de una instalación se puede considerar en el modelo como un punto o una superficie definida. En el caso de distribución de instalaciones, la instalación nueva usualmente se considera en términos de superficies. Además, se puede ubicar o distribuir una sola instalación o varias de éstas, lo que implica un enfoque totalmente diferente para su solución. En el caso de instalaciones múltiples, podría haber relación de dependencia entre las mismas, lo que se debe considerar en su proceso de localización o distribución.

Instalaciones existentes

En el diseño de instalaciones se debe considerar siempre el ambiente de la o las instalaciones nuevas. Es probable que en dicho ambiente haya otras instalaciones con las que

existirá alguna relación clave, y que puede determinar la ubicación o distribución de las nuevas. La ubicación de las instalaciones existentes se conoce en forma determinística o se estima de manera estocástica (probabilística). De hecho, en algunos casos, la ubicación de las existentes puede ser variable en el tiempo, lo que puede generar un proceso de rediseño de instalaciones.

Interacción entre instalaciones

La naturaleza de las instalaciones existentes determina, en la mayoría de los casos, a las nuevas. Esta influencia o interacción entre las nuevas y las existentes, tiene varias características. Puede ser cuantitativa con relación al volumen de productos que se transportarán de una planta a un nuevo centro de distribución. En otros casos, la interacción se define en forma cualitativa, que es cuando se considera indeseable que las nuevas oficinas estén próximas a una máquina que genere calor o ruido excesivos. Por otro lado, la ubicación de la nueva instalación puede ser completamente independiente de algunas existentes.

Soluciones posibles

La posible solución de localización o de distribución de una nueva instalación puede estar en una sola dimensión cuando se restringe a algún segmento de recta; o sobre un plano, como usualmente sucede. Hasta puede ser tridimensional, cuando se planea redistribuir capacidades de almacenamiento dentro de un almacén. Si se considera el número de soluciones factibles, se dice que son discretas cuando se trata de un pequeño conjunto de soluciones. Pero, si la ubicación de la planta se proyecta en cualquier punto de una superficie definida, entonces se está ante una infinidad continua de posibles soluciones. Cuando se considera que la solución es ubicar la instalación dentro de un conjunto finito o infinito de puntos en un plano, entonces se debe considerar que un plano es una aproximación adecuada a la esfera.

Objetivos del estudio

Un proyecto de diseño de instalaciones tiene diferentes objetivos, todos ellos producto del planteamiento del problema. Los objetivos se plantean en términos cuantitativos, en el caso de minimizar los recorridos; o cualitativos, si lo que se desea es proveer comodidad a los empleados. En el problema de localización de instalaciones, usualmente predominan los objetivos cuantitativos. Algunos ejemplos de objetivos pueden ser:

- Minimizar los costos del sistema de manejo de materiales.

- Reducir el tiempo de producción.
- Disminuir la inversión en equipo.
- Minimizar la inversión total requerida por la instalación.
- Reducir el tiempo promedio de entregas.
- Minimizar los inventarios promedio.
- Reducir los costos de transporte de materias primas.
- Hacer uso eficiente del espacio.
- Utilizar el equipo en forma más eficiente.
- Aumentar la comodidad de los empleados.
- Incrementar el nivel de seguridad en las instalaciones.
- Mejorar las condiciones de trabajo.
- Facilitar la ejecución del proceso de servicio o manufactura.
- Facilitar los cambios futuros (flexibilidad).
- Adecuar las instalaciones a la estructura organizacional de la empresa.
- Aumentar la rentabilidad futura de una instalación.

Entre los objetivos cuantitativos de proyectos de diseño de instalaciones que se abordarán en este capítulo, destacan los de minimizar el costo total y los de minimizar el costo máximo.

El proceso de diseño

Pese a que en muchas ocasiones se hace una distinción entre diseño (refiriéndose a distribución) y localización de instalaciones, en este capítulo se considera que ambos procesos deben ser considerados diseños. Obtener una configuración dada de instalaciones en un plano o de áreas productivas dentro de una instalación es el resultado de un proceso de diseño que debe ser tanto analítico como de síntesis; de ciencia y de arte. Así pues, los problemas de localización y distribución de instalaciones son esencialmente problemas de diseño. Por un lado, en el problema de localización se desea diseñar parte de una red productiva, considerando la relación e interdependencia de las instalaciones con otros puntos o áreas geográficas, en los que aparecen los proveedores actuales, los mercados que ya se tiene, las materias primas, los recursos humanos y entornos sociales distintos. En el caso del problema de distribución de instalaciones, se desea diseñar una red de áreas funcionales considerando su relación e interdependencia, así como las restricciones estructurales y del ambiente inmediato.

La principal aportación de un ingeniero industrial en este proceso de diseño de instalaciones es dar el mayor énfasis posible al uso del análisis a través de herramientas metodológicas. Este énfasis no pretende estar encima de criterios subjetivos o del proceso artístico de diseño, sino apoyarlos al describir en forma más detallada el contexto en el que éstos se generan. Fundamentar la toma de decisiones en el análisis permite ahorrar tiempo y dinero al generar y seleccionar alternativas, que en otro caso sería un proceso meramente aleatorio y discrecional.

Es de suma importancia contar con un proceso general para enfrentar el reto del diseño, el cual podrá utilizarse en forma iterativa dentro del proyecto total de diseño de instalaciones, con la finalidad de aproximarse de manera paulatina al resultado deseado en términos de localización o distribución. Dicho proceso se realiza siguiendo estos pasos:

1. Planteamiento del problema.
2. Análisis del problema.
3. Búsqueda de soluciones alternativas.
4. Evaluación de los diseños alternativos.
5. Selección del diseño preferido.
6. Especificación del diseño.

A continuación se describirán los pasos anteriores haciendo algunas consideraciones respecto del diseño de instalaciones.

Planteamiento del problema de diseño

Usualmente, el diseñador no se enfrenta a un problema bien estructurado, sino a una situación que debe ser analizada con el fin de asegurar un adecuado planteamiento del problema. Es posible que se le pida diseñar una ampliación de un centro de distribución existente, ya que no hay suficiente espacio para almacenar los productos; sin embargo, es posible que el verdadero objetivo se alcance sólo al hacer una redistribución de las áreas de almacenaje que permita un óptimo aprovechamiento del espacio.

Un enfoque útil para plantear el problema es definir el escenario actual y el deseado. En un centro de distribución se puede considerar, inicialmente, el escenario actual como: "el centro de distribución necesita una ampliación"; y el escenario deseado: "el centro de distribución tiene una ampliación". Considerando estos escenarios, el problema se plantearía en términos de localizar y dimensionar la ampliación del centro de distribución. Este planteamiento es bastante estrecho, por lo que al tomarlo se podría perder la oportunidad de obtener ahorros a largo plazo.

Un enfoque más amplio es considerar el escenario actual como: "bajo nivel de servicio generado por el centro

de distribución”; y el escenario deseado: “un buen nivel de servicio generado por el centro de distribución”. Estos escenarios reflejan una visión total del sistema del centro de distribución. El planteamiento del problema consiste en rediseñar el centro de distribución para alcanzar los niveles de servicio deseado. Este planteamiento es más robusto y puede considerar una nueva configuración de las áreas de almacenaje, así como el de los procedimientos de operación y el sistema de manejo de materiales.

Un planteamiento estrecho no sólo puede hacer perder una oportunidad de mejora más eficiente, sino también restringir el número de soluciones posibles y, con ello, el riesgo de seleccionar una que sea contraproducente para el sistema de producción en su totalidad. Por otra parte, una mayor amplitud en el planteamiento del problema permite generar más soluciones que benefician al sistema productivo en su totalidad. Sin embargo, la amplitud del planteamiento se restringe por condiciones económicas, de tiempo y estructura organizacional.

Análisis del problema de diseño

El análisis del problema formulado consiste en una descripción más detallada de las características, objetivos y restricciones de dicho problema. Esto requiere un esfuerzo importante para recopilar de la información que permita conocer los hechos relacionados con el problema. Un requisito crítico para alcanzar un diseño de instalaciones exitoso es conocer y entender cómo funciona la organización. Para ello es necesario, en la mayoría de los casos, efectuar un mapeo crítico de los procesos. Describir lo que se hace, y también por qué se hace de esa forma. Lo anterior evitará que se consideren restricciones en el proceso que en verdad no existen y que sólo son producto de la costumbre.

Durante el análisis se deben identificar los factores críticos que afecten al problema. Esto permitirá generar, más adelante, los criterios adecuados para la evaluación de los diseños alternativos que pretenden dar solución al problema. Al enfocar adecuadamente los esfuerzos en el proceso de análisis, se generarán las características de la solución que se busca.

Búsqueda de soluciones alternativas de diseño

Las alternativas de diseño son especificaciones del escenario deseado, que se definió en el planteamiento del problema. El proceso de generación de diseños alternativos es un proceso predominantemente creativo, por lo que el diseñador debe buscar alguna forma de mejorar sus habilidades creativas, con el fin de hacer más y mejores diseños alternativos. Cabe recordar que la calidad del diseño final no puede ser mejor que la producida en esta fase.

Evaluación de los diseños alternativos

Ya que se tiene una serie de diseños alternativos, es necesario evaluarlos con uno o varios criterios. Mientras más cuantitativos sean los criterios, más sencilla será la evaluación, pues sólo se calcula dicho parámetro para cada alternativa. Por ejemplo, si el único criterio de evaluación es el costo, simplemente se tiene que presupuestar la inversión necesaria para cada localización o distribución alternativa de la instalación.

Sin embargo, la mayoría de las veces, es necesario utilizar criterios subjetivos, lo cual complica más el proceso de evaluación. Varios criterios cualitativos podrán ser cuantificados (con una base subjetiva), pero habrá algunos que no. Entre las metodologías utilizadas para la evaluación de los diseños alternativos destacan las siguientes: análisis de costo-beneficio, análisis de factores ponderados o una simple lista de pros y contras.

Selección del diseño preferido

Tras la evaluación de los diseños alternativos, se pondrán a consideración de la dirección de la empresa de uno a tres de los mejores diseños, así como de las áreas y personas involucradas o afectadas por el diseño. De esta manera, se pueden conciliar los criterios de quien diseña y de la gerencia, así como hacer recapitulaciones ante la opinión de quien dirige, controla y opera el sistema productivo.

El diseñador deberá, entonces, mostrar y hacer lucir, en forma adecuada, las características de cada diseño recomendado. Para ello, puede ayudarse de tecnologías informáticas a través de las cuales se puede hacer una representación tridimensional del diseño. Varias de estas herramientas permiten, por ejemplo, hacer un recorrido virtual por la nueva distribución de la instalación. En el caso de localización de instalaciones, una animación en la que se aprecie el flujo de productos, información o clientes, de una instalación a otra, permite a la gerencia apreciar las implicaciones de cada diseño.

Especificación del diseño

Una vez que la dirección selecciona un diseño, se procede a completarlo con todos aquellos detalles que no se consideraron en el modelo. Todo ello con la finalidad de preparar el proyecto de implementación del diseño.

Localización de instalaciones

Es frecuente que las organizaciones productivas tengan que tomar decisiones de ubicación de instalaciones, sin importar que sea una empresa existente o nueva. Como se mencionó al principio de este capítulo, sobre este tipo de

decisiones recae gran parte del éxito de un sistema productivo, en términos de calidad y productividad de sus operaciones. Debido a ello, vale la pena contextualizar el problema de localización dentro de la cadena de suministro.

Localización en la cadena de suministro

Si se analizan y rastrean los bienes y servicios que se utilizan diariamente, se verá que están formados por elementos que han pasado por una gran cantidad de organizaciones productivas. Es decir, las materias primas son procesadas por alguna organización, para que sean enviadas a otra que las transformará en productos, que a su vez serán parte de algún producto más complejo elaborado por otra organización, misma que lo enviará al consumidor final a través de centros de distribución y tiendas. Así pues, estas organizaciones forman una red que se denomina cadena de suministro (véase figura 8.1), y en la que participan proveedores, plantas de manufactura, bodegas, centros de distribución, distribuidores y minoristas.

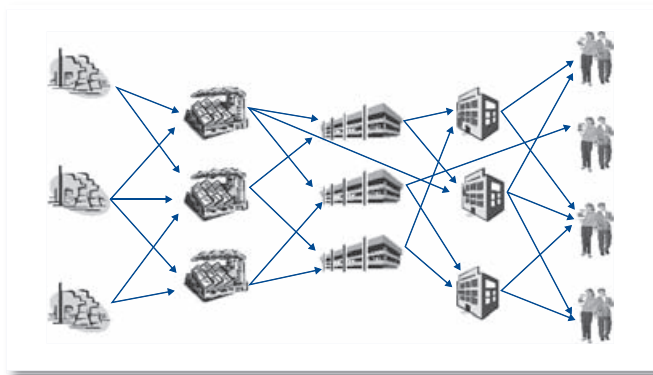


Figura 8.1 Cadena de suministro.

El flujo de bienes e información a través de la cadena de suministro va agregando valor a los productos que llegan a los clientes finales. Dicho valor conlleva costos asociados a la obtención, transportación, transformación y almacenamiento de los bienes, así como al procesamiento de la información. En ciertas industrias, el costo logístico de distribución puede ser mayor al costo de producción. En un ambiente de negocios tan competido como el actual, se requiere planear y configurar la cadena de suministro de tal forma que proporcione el mayor valor posible para los clientes, con el menor costo total posible.

El proceso de configurar la cadena de suministro involucra determinar la ubicación de plantas, centros de distribución y puntos de venta y de servicio. La localización puede ser una decisión más crítica que las relacionadas con la transportación e inventario. Cuando exista un cambio en aspectos como disponibilidad de materia prima, impuestos

o costos de mantener inventario, transportación, mano de obra, etcétera, las decisiones que se tomen en cuanto a la configuración del transporte e inventarios pueden cambiar en un tiempo relativamente corto. Por otro lado, las decisiones que se tomen con respecto a la localización de instalaciones son fijas y difícilmente podrán cambiar, aun a mediano plazo. Las inversiones millonarias que se efectúan en instalaciones, como una planta armadora de automóviles o un moderno centro de distribución, hacen muy difícil que las decisiones de cambiar la localización puedan ser tomadas a corto o mediano plazos.

De esta manera, el problema de localización se enfoca a determinar los factores críticos que posean un mayor efecto sobre el aumento del valor y la reducción de los costos de operación dentro de la cadena de suministro. En un extremo de la cadena de suministro se encuentran los productores de materias primas, quienes deben considerar como factor crítico la cercanía que tienen con los recursos naturales que explotan. En el otro extremo de la cadena están los minoristas, para quienes un factor crítico sería la cercanía con los clientes. En medio de la cadena, las empresas de manufactura desean estar cerca de los proveedores, los recursos humanos y las vías de comunicación necesarios para sus procesos de transformación.

Ya que el objetivo primordial es obtener ventajas competitivas al minimizar los costos de operación, los factores más importantes suelen ser cuantitativos. Los costos logísticos de adquisición y distribución son ponderados de manera más importante. Sin embargo, algunos otros factores cualitativos generan restricciones importantes en el proceso de selección, pero aun así deben ser cuantificados durante el proceso de selección de alternativas.

Factores que impactan la localización

Ante los retos y las oportunidades que genera la globalización, el problema de localización puede verse como una secuencia de fases sucesivas de acercamiento, como se muestra en la figura 8.2. Estas fases parten desde el punto en que se selecciona el continente, pasando por el país, la región o el estado, la localidad y, por último, el sitio específico en que se ubicará la instalación productiva. A lo largo de estas fases, se podrá utilizar una o varias veces el proceso de diseño, descrito anteriormente en este capítulo, con el fin de tomar la decisión correspondiente.

Inmerso en la cadena de suministro global, el problema de localización es bastante complejo, pues existen muchos factores que hacen a cada ubicación ventajosa o desventajosa con respecto a otras. Dentro de los insumos de información del proceso del diseño, así como en las consideraciones restrictivas que impactan las decisiones de localización, se pueden considerar los siguientes factores:

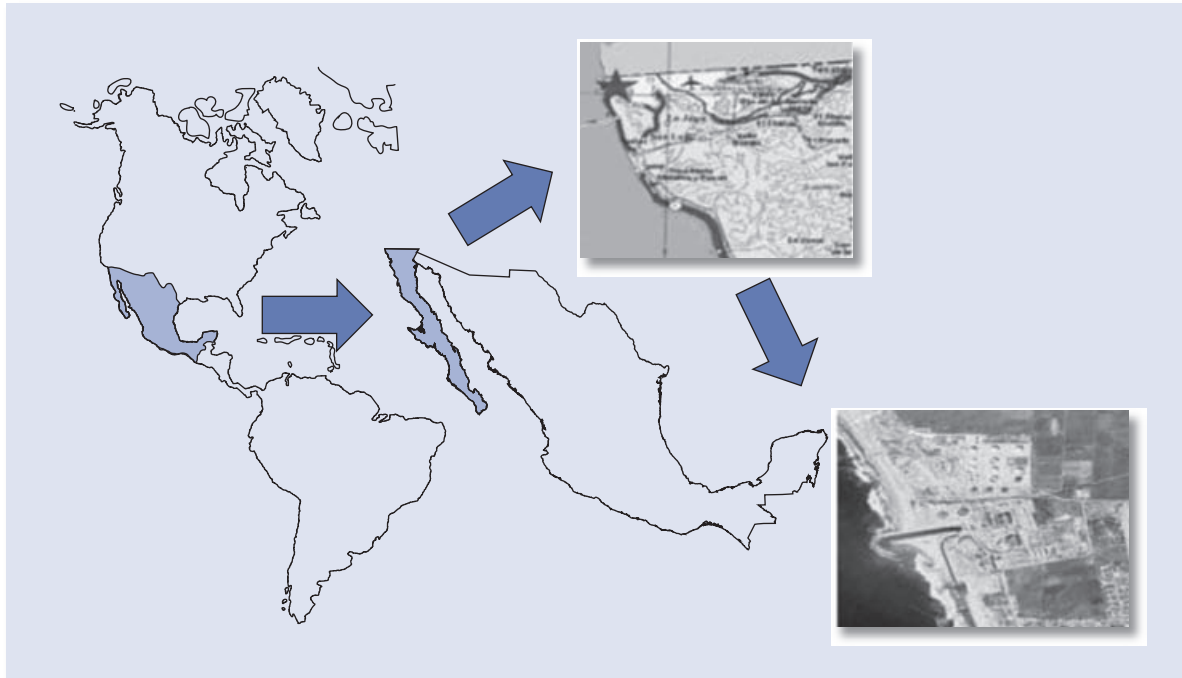


Figura 8.2 Fases de acercamiento.

Infraestructura. La importancia de la infraestructura es vital, ya que determina, en el caso de transporte, los costos unitarios de adquisición y expedición de productos, y los costos de organización y servicio, en el caso de infraestructura de comunicaciones. Por ello, es necesario evaluar las necesidades de la empresa en estos rubros con el fin de cuantificar el impacto de la infraestructura disponible.

Recursos naturales. De la disponibilidad de recursos dependen en gran medida los costos de abastecimiento, no sólo los que consume la empresa en cuestión, sino también los que consumen sus proveedores.

Impuestos y servicios. Es de suma importancia integrar el impacto de impuestos al capital, operación y aranceles en los que se incurre al operar en una región específica, además del costo actual y a largo plazo de los servicios necesarios.

Recursos humanos. Un país o región será un mejor candidato si cuenta con abundancia de mano de obra barata y capacitada; sobre todo si se trata de empresas de manufactura. En términos generales, es necesario integrar al proceso de selección los costos relacionados con la productividad de la mano de obra. En el caso de organizaciones enfocadas al desarrollo y la investigación, la ventaja podría existir al ubicarse próximos a fuentes de talentos, como son las universidades.

Condiciones de la demanda. La cercanía de los mercados de consumos no sólo implica la posible disminución del costo de distribución, sino, como es el caso de los servicios, la oportunidad de mantener o aumentar el número de clientes.

Condiciones de los proveedores. En ocasiones, el hecho de ubicarse cerca de un proveedor de clase mundial implica una ventaja competitiva, que debe ser cuantificada.

Condiciones de la competencia. Ubicarse cerca de la competencia significa una ventaja competitiva, ya que se puede echar mano de las mismas fuentes de recursos materiales, humanos, tecnológicos o de información.

Históricos. Se deben tener en cuenta las ventajas generadas históricamente en algunas regiones con respecto a ramas industriales específicas. Dichas ventajas se reflejan en el prestigio que tiene cierto producto o servicio proveniente de una región, así como en el fomento brindado por la sociedad y el gobierno para el desarrollo de cierta actividad productiva ya arraigada en la zona.

Idiosincrasia. Las ventajas y desventajas que surgen al ubicarse en una sociedad con diferente idioma y cultura, representan costos en términos del proceso de adaptación organizacional. Las características sociales de una región influyen en la organización y sus prácticas gerenciales. En el

peor de los casos se puede tomar la decisión de ubicarse en una región en la que la sociedad manifieste una actitud adversa a ese tipo de empresas.

Normatividad. Es necesario considerar la legislación local que pueda restringir o fomentar las operaciones de la empresa. Actualmente es necesario revisar con detalle las legislaciones ambientales, que pueden generar incrementos en los costos esperados de instalación y operación.

Condiciones macroeconómicas. El análisis del tipo de cambio, tasas de interés y la balanza comercial de un país o región son algunos parámetros que proporcionan una ventaja competitiva ante la posible ubicación. El tipo de cambio puede variar en forma impredecible, por lo que es importante considerar su impacto en las utilidades de la empresa.

Dada la naturaleza estratégica de las decisiones de localización, es necesario estimar y pronosticar las condiciones futuras de estos factores y no sólo evaluar las condiciones actuales.

Características del problema de localización

Después de analizar el contexto y los factores que influyen en la problemática de la localización de instalaciones productivas, a continuación se presentan algunos enfoques para plantear y analizar estos problemas. Existen varios aspectos que hay que considerar al plantear el problema, como el número de instalaciones a ubicar, la cantidad de posibles ubicaciones a considerar y si la relación entre las ubicaciones conviene modelarlas dentro de una red.

Problemas de localización única o múltiple

Un aspecto fundamental en el planteamiento del problema es el número de instalaciones que se pretende ubicar, el problema de ubicar una sola instalación (o problema de localización única) es muy diferente al de ubicar varias instalaciones al mismo tiempo (o problema de localización múltiple), como se muestra en la figura 8.3. Lógicamente, localizar una sola instalación es más simple pues no hay que considerar la forma en que se dividirá la demanda y/o el abastecimiento entre las diferentes instalaciones. Tampoco se tiene que dividir la red de distribución ni estimar costos crecientes, como los inventarios de seguridad, para proteger la operación de cada instalación. Es posible considerar un problema de localización múltiple a través de métodos de localización única, pero es necesario y pertinente considerar que no existe interdependencia entre las instalaciones a ubicar.

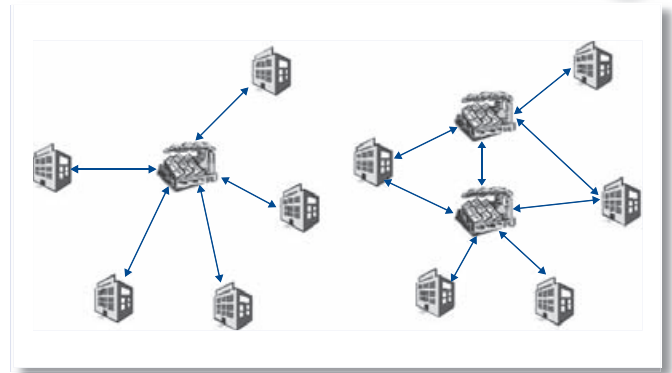


Figura 8.3 Localización única y múltiple.

Problemas discretos o continuos de localización

Otro aspecto relevante es la forma en que el modelo considerará el conjunto de posibles soluciones al problema; es decir, las posibles ubicaciones que serán consideradas al buscar la idónea. A partir de este factor se puede hacer una distinción entre problemas discretos de localización y problemas continuos de localización. Los problemas continuos de localización consideran que la ubicación idónea se encuentra dentro de un intervalo continuo de área, es decir, puede estar en cualquier parte de un plano.

En el caso de problemas discretos, las decisiones de localización de una instalación se limitan a un conjunto relativamente pequeño de posibles ubicaciones que resultan factibles. El mejor modelo para este tipo de problemas consiste en evaluar los costos de instalación y operación (o rentabilidad) de cada posible ubicación y escoger la mejor. Para encontrar la solución de problemas discretos existen métodos como el de factores ponderados. Los problemas continuos de localización consideran que la localización idónea puede darse en un intervalo continuo de área, es decir, la ubicación puede estar en cualquier parte de un plano.

Problemas de localización en un plano o una red

Los problemas de localización radican, casi siempre, en minimizar los costos de operación dentro de la cadena de suministro, la cual es una red de organizaciones. Es por ello que al modelar los flujos de mercancía, energía o información que entran y salen de una instalación, éstos corresponden precisamente a una red, ya sea de transporte, de cableado o comunicación, en la cual no forzosamente todos los nodos están comunicados. De esta manera, resulta más conveniente y aproximado a la realidad modelar las ubicaciones dentro de una red que de un plano. En este caso, las distancias ya están dadas por la naturaleza de la red, por ejemplo, la longitud de la carretera que une dos

poblaciones muchas veces no corresponde a una línea recta en el plano. Pero, las metodologías para resolver estos problemas de localización en red no se cubrirán en este capítulo.

Cuando se consideran los problemas de localización en un plano, se plantean varias suposiciones que hacen al modelo menos realista. Algunas de estas suposiciones, descritas en Francis, McGinnis y White, son las siguientes:

- Un plano es una aproximación adecuada a la esfera.
- Cualquier punto en el plano se puede considerar como una ubicación válida.
- Las instalaciones que han de ubicarse en el plano pueden ser idealizadas como un punto.
- Las distancias recorridas entre las instalaciones nuevas y las existentes pueden representarse adecuadamente por distancias en un plano.
- Los costos de transportación son directamente proporcionales a la distancia planar¹ utilizada, con la constante de ponderación, que es independiente a las magnitudes de las distancias.
- Los costos fijos pueden ignorarse.

Existen modelos de localización mucho más complejos que pretenden eliminar estas restricciones, pero, en la mayoría de los casos, estas suposiciones son aceptadas.

Modelación de distancias en el plano

Los problemas planares de localización, continuos y la mayoría de los discretos, consideran relaciones de proximidad como un factor crucial. Por lo anterior, el modelo utilizado debe representar, de alguna forma, las distancias entre dos puntos en un plano. Se utilizan dos formas principales para modelar distancias entre ubicaciones: las distancias euclidianas y las distancias ortogonales.

Sean i y j dos instalaciones cuya localización está dada por las coordenadas (x_i, y_i) y (x_j, y_j) , respectivamente, entonces la distancia euclidiana entre ellas está dada por:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (1)$$

la cual representa la longitud de la línea recta que une las dos ubicaciones. Mientras que la distancia ortogonal está dada por:

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (2)$$

que representa la distancia entre las ubicaciones con recorridos estrictamente paralelos a los ejes horizontal y vertical; la figura 8.4 muestra la diferencia entre ambas distancias.

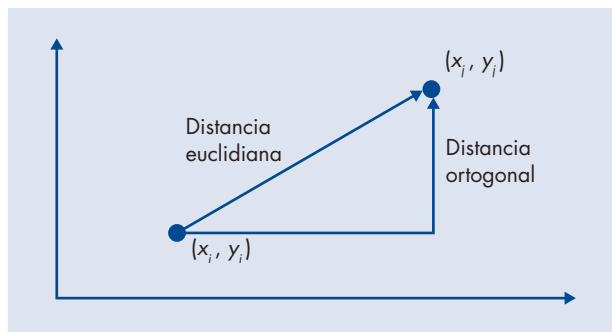


Figura 8.4 Distancia euclidiana y ortogonal.

Ambos tipos de modelación de distancia tienen su razón de ser en aplicaciones comunes. El uso de distancias ortogonales es adecuado, por ejemplo, en entornos urbanos, donde el trazo de las calles hace que los recorridos se aproximen a dichas distancias.

Problemas continuos de localización única

El problema de localizar una instalación debe entenderse en el contexto de su relación con otra serie finita de instalaciones ya existentes. Dichas instalaciones pueden representar a proveedores, centros de distribución, clientes, etcétera. Entonces, el objetivo de estos modelos es encontrar las coordenadas (x, y) de la ubicación óptima para la nueva instalación, respecto de n instalaciones existentes con coordenadas (r_i, s_i) , donde $i = 1, 2, \dots, n$.

Problema minisum con distancias ortogonales

El nombre *minisum* se refiere al objetivo del modelo, el cual es precisamente minimizar la suma ponderada de la distancia que exista entre la nueva instalación y las ya existentes. Se aplica en cualquier situación en la que se desea minimizar los costos totales de transportación o empleo de recursos de distribución al encontrar las coordenadas (x, y) que minimicen la siguiente función:

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n p_i (|x - r_i| + |y - s_i|) \quad (3)$$

La ponderación p_i se refiere a constantes positivas que se asocian con cada una de las n instalaciones ya existentes. Deben ser determinados de acuerdo con el planteamiento

¹ Planar. Se refiere a que el contexto de análisis es un plano.

del problema, y representan volúmenes de productos, costos de transportación, número de clientes potenciales, etcétera.

Debido a que se trata de distancias ortogonales, es posible aseverar que los costos totales son iguales a los costos de recorridos horizontales más los costos de recorridos verticales, es decir:

$$f(x, y) = f(x) + f(y) \quad (4)$$

de esta manera se pueden encontrar los valores óptimos x y y en forma separada, considerando:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n p_i |x - r_i| \quad (5)$$

$$f(y) = \sum_{i=1}^n p_i |y - s_i| \quad (6)$$

Un método para encontrar la coordenada x de la ubicación óptima es el siguiente:

1. Ordene las instalaciones existentes en forma ascendente de acuerdo con sus coordenadas x_i .
2. Calcule la ponderación acumulada para cada instalación.
3. Sea P igual a la sumatoria de todas las ponderaciones $\sum p_i$.
4. La coordenada óptima x es igual a la coordenada x_i , cuya ponderación acumulada sea la primera en exceder $P/2$.

La coordenada óptima y se determina de igual forma.

Problema minisum con distancias euclidianas

Este modelo sigue la misma tónica que el anterior, pero considerando distancias euclidianas entre la instalación nueva y las existentes. De hecho, la variante más utilizada es aquella que minimiza la suma ponderada de las distancias euclidianas cuadradas.

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n p_i [(x - r_i)^2 + (y - s_i)^2] \quad (7)$$

A esta variante del problema *minisum* euclidiano se le conoce con el nombre de problema gravitacional o del centroide. Los nombres se deben a que este modelo matemático genera la solución que se obtiene usando un modelo mecánico, en el que cada ponderación representa un peso que cae desde la ubicación correspondiente y jala un cordón que lo une a los otros pesos, como se ilustra la figura 8.5. Cuando se alcanza un equilibrio, la unión de los cordo-

nes representa la ubicación óptima alcanzada a través del centro de gravedad.

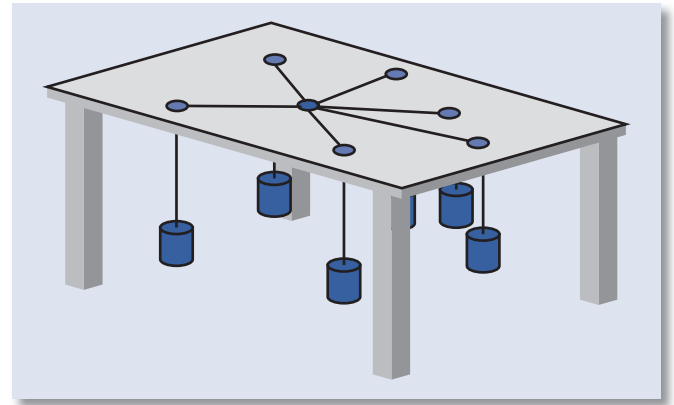


Figura 8.5 Analogía mecánica del modelo gravitacional.

Es sencillo obtener las coordenadas (x, y) que minimizan la ecuación correspondiente y proporcionar la ubicación óptima, a través de las siguientes fórmulas

$$x = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^n p_i r_i \quad (8)$$

$$y = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^n p_i s_i \quad (9)$$

donde:

$$P = \sum_{i=1}^n p_i$$

Problema minimax con distancias ortogonales

El objetivo de minimizar la suma de las distancias ponderadas (modelos *minisum*) no siempre es el adecuado para problemas que se pretenden resolver. Por ejemplo, si dentro de un parque industrial se desea situar una estación de bomberos, su ubicación óptima es aquella que permita llegar a sus bomberos a todas las instalaciones, aun las más lejanas, en un mínimo de tiempo. En tales situaciones, el objetivo del modelo es encontrar alguna ubicación que minimice la distancia máxima requerida para alcanzar las instalaciones existentes. Deseamos, entonces, minimizar la función:

$$h(x, y) = \max \{(|x - r_i| + |y - s_i|) \mid 1 \leq i \leq n\} \quad (10)$$

Este problema puede tener una solución geométrica en la que se busca el o los *diamantes* más pequeños que cubran las ubicaciones de todas las instalaciones existentes. En este procedimiento, un diamante se refiere a un

cuadrado inclinado 45° . Así, la solución se obtiene de la siguiente forma:

1. En un plano cartesiano se dibujan las coordenadas de las instalaciones existentes.
2. Se dibuja el rectángulo a 45° o más pequeño posible, pero que cubra todas las ubicaciones.
3. Los lados más cortos del rectángulo se extienden en una dirección, hasta formar un cuadrado.
4. Se localiza el centro del cuadrado para obtener el punto (x_1, y_1) .
5. El rectángulo se extiende en dirección contraria a la del paso 3.
6. Se localiza el centro de este segundo cuadrado y así considerar el punto (x_2, y_2) .

Todos los puntos del segmento de recta que une los puntos (x_1, y_1) y (x_2, y_2) son ubicaciones óptimas bajos el criterio minimax.

Problemas discretos de localización única

El mejor modo para resolver problemas discretos de localización consiste en evaluar el costo de localizar la nueva instalación en cada una de las posibles ubicaciones y escoger la de menor costo.

Discriminación por factores ponderados

Es el método más sencillo y flexible que ayuda en la toma de decisiones sobre cuál es la mejor alternativa de localización. En éste se construye una estructura jerárquica de factores, que responde a los objetivos planteados en el problema de localización. Después, se valora cada una de las n posibles ubicaciones con respecto a esta estructura para conocer la idónea. Es posible considerar factores de cualquier índole, tanto cuantitativos como cualitativos, aunque estos últimos tendrán que expresarse en una escala numérica que permita medir las valoraciones subjetivas sobre dichos factores.

El procedimiento para llevar a cabo esta metodología es el siguiente:

1. Se selecciona una lista de m factores que se consideran importantes para la decisión de localización.
2. Se establece una estructura jerárquica de dichos factores a través de una ponderación p_i que refleje la importancia relativa de cada uno, considerando

que se está distribuyendo una ponderación total de 1 o de 100%, esto es:

$$P = \sum_{i=1}^n p_i = 1$$

3. Se establece una escala de calificación a su conveniencia, que permita hacer el mínimo de valoraciones necesarias para cada factor. Un ejemplo sería, de 0 a 3 cuando las valoraciones son pocas, como bueno, regular, malo y no aplica; o de 0 a 100 para permitir valoraciones más detalladas.
4. Para cada una de la n ubicaciones se necesita obtener una calificación c_{ij} correspondiente a cada uno de los m factores. Dichas calificaciones pueden ser el resultado de análisis cuantitativos o de valoraciones subjetivas de expertos.
5. La calificación ponderada CP_i para cada ubicación se determina sumando el producto de cada ponderación por la calificación obtenida en dicho factor, esto es:

$$CP_i = \sum_{j=1}^m p_j c_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

El resultado consiste en recomendar localizar la nueva instalación en la o las ubicaciones con mayor calificación ponderada.

Evaluación por punto de equilibrio

En este método es posible analizar la relación que existe entre la capacidad de producción de la nueva instalación y la ubicación que permite minimizar los costos totales de operación. A diferencia de los modelos anteriores, en los que se considera que la nueva instalación tendrá una capacidad fija de producción de bienes o servicios, al aplicar el punto de equilibrio se puede evaluar qué ubicación es conveniente en términos de costos para cada nivel de capacidad posible. Para ello, se considera que los costos totales de operación C_i , en cada una de las n posibles ubicaciones, es una función del volumen de producción Q , esto es:

$$C_i = F_i + V_i(Q) \quad (12)$$

donde F_i y V_i representan los costos fijos y variables asociados a localizar y operar la nueva instalación en la ubicación i . De esta manera, se tienen n funciones lineales de costo total que podrán dibujarse en una gráfica. La metodología para desarrollar este análisis es el siguiente:

1. Determine los costos fijos F_i y las variables V_i para cada una de las posibles ubicaciones.

2. Dibuje las funciones de costo total C_i en una gráfica en cuyo eje horizontal se asignan los volúmenes de producción Q .
3. Identifique en la gráfica los segmentos de líneas (funciones de costo) que están por debajo de las demás, a diferentes volúmenes de producción.
4. Calcule los correspondientes puntos de equilibrio para las funciones de costo identificadas en el punto anterior.

Los puntos de equilibrio son los límites de los intervalos de producción, para los cuales la ubicación con menor costo representa la mejor opción de localización.

Problema de carga recorrida

Este enfoque es análogo a los modelos *minisum*, pero para un número finito de posibles ubicaciones. Así pues, el objetivo es determinar cuál de las n posibles ubicaciones minimiza la suma de distancias d_{ij} de recorridos a las demás ubicaciones, multiplicadas por un factor de carga p_j asociada con cada ubicación. El factor de carga recorrida CR_i de cada ubicación está dado por:

$$CP_i = \sum_{j=1}^n p_j d_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

en el cálculo del factor de carga recorrida se puede utilizar el enfoque más pertinente, para que las distancias d_{ij} se consideren ortogonales:

$$CR_i = \sum_{j=1}^n p_j (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

o euclidianas:

$$CR_i = \sum_{j=1}^n p_j \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

Así, se calcula el factor carga recorrida CR_i para cada ubicación y se recomienda aquella cuyo resultado es el menor.

Distribución de instalaciones

Los sistemas productivos, ya sea de bienes o servicios, pueden dividirse en procesos o grupos de procedimientos que van agregando valor al producto final. Cada uno de estos procesos suele tener necesidades distintas en cuanto al uso de recursos humanos, equipo, materia prima, etc., y requieren de un espacio para ejecutarse. En el proceso de diseño de distribución se genera una configuración de los

espacios o áreas dedicadas a los diferentes procesos, áreas o departamentos que se alojarán en una instalación. Lo que se busca es ubicar cada una de estas áreas o departamentos dentro de la instalación, de tal forma que coadyuve a la productividad y eficiencia en la ejecución del proceso productivo en su totalidad.

Características del problema de diseño

El diseño de distribución es un proceso iterativo en el que usualmente se acumula y procesa una gran cantidad de información, la cual tiene la finalidad de ayudar a tomar las decisiones tentativas que permiten seleccionar las características del diseño final de distribución. La mayoría de las herramientas utilizadas en este proceso pretenden sintetizar y esquematizar mucha información, tanto de origen cuantitativo como cualitativo, de manera que sea fácilmente manejable. La distribución final tendrá, entonces, aspectos generados con base en análisis cuantitativos, pero también en aspectos de origen subjetivo, resultado de la creatividad y el estilo del diseñador.

En la actualidad, las condiciones de los mercados exigen un alto nivel competitivo, que se traduce en una mayor variedad de productos con un menor ciclo de vida. Altas exigencias en calidad y ejecución son la norma, aunadas al uso más rápido y frecuente de nuevas tecnologías. El desempeño logístico debe ser casi perfecto, no sólo en la distribución de productos terminados, sino también en los flujos internos de partes y materiales. Esta situación hace que cada vez las organizaciones se vean, con más frecuencia, en la necesidad de emprender proyectos de distribución de sus instalaciones. Es por ello que existe una gran variedad de alcances de un problema de distribución. El alcance puede ser tan estrecho como buscar la ubicación de un nuevo equipo dentro de las instalaciones existentes, hasta ser parte de un proceso de reingeniería de toda la organización, en el que se diseñen instalaciones totalmente nuevas.

El proceso de diseño de distribución no se puede concebir como un problema aislado a la naturaleza del sistema productivo. Éste debe partir del diseño del producto, del proceso y del programa de producción y reflejar su influencia en cada etapa. No es nada común que la distribución de instalaciones afecte el diseño original del producto; esto sólo ocurre cuando, a través de la distribución, hay una infactibilidad técnica de alguna característica del diseño del producto. Por otra parte, el diseño del proceso, que debió desarrollarse a la par del diseño del producto, puede tener algunos cambios significativos durante el diseño de la distribución. Varios de estos cambios son originados por restricciones provenientes de las características del terreno o edificio, o por normatividad de tipo local o ambiental.

Planeación sistemática de la distribución, SLP

Existen varios procedimientos creados para guiar a los diseñadores a generar nuevas distribuciones de instalaciones. Uno de los más usados es el inventado por R. Murther en 1961, llamado Planeación Sistemática de la Distribución (SLP, por sus siglas en inglés: Systematic Layout Planning), el cual representa una muy buena adecuación del proceso de diseño enfocada a la distribución de las instalaciones. El SLP parte de un problema ya planteado de diseño de distribución y forma una estructura de pasos que describe las fases de análisis del problema, búsqueda y desarrollo de diseños alternativos y la evaluación de dichas alternativas.

Análisis del problema en SLP

El primer paso del SLP consiste en recopilar información. Para poder crear un buen proyecto de distribución se necesita obtener la información pertinente, sin desperdiciar tiempo y recursos con información inadecuada. De hecho, en muchas ocasiones la información requerida no se encuentra disponible y los esfuerzos se deben enfocar a la generación de dicha información. Como se mencionó al inicio de la sección, los datos más relevantes son los que describen los diseños del producto(s), del proceso y del programa de producción.

El siguiente paso es describir y analizar los flujos de materiales, productos o personas que se moverán a través de las instalaciones. Es necesario conocer y determinar cuál será la magnitud, velocidad y continuidad de dichos flujos, y con ellos determinar los patrones más adecuados que seguirán dentro de la instalación. Para complementar este análisis es necesario identificar los equipos, las áreas o los departamentos por los cuales los flujos de productos o personas tendrán que pasar para ser procesados. Lo anterior lleva al siguiente paso del SLP, llamado análisis de actividades. Con base en el diseño del proceso, se integran factores cualitativos que influyen en la ubicación relativa de cada área o departamento, en términos de conveniencia de su cercanía. Para este análisis se utilizan herramientas como las gráficas y los diagramas de relación de actividades. En éstas se conjuntan y sintetizan las razones cuantitativas y cualitativas que hacen a cada par de áreas candidatas a ser contiguas o lejanas.

El siguiente paso es traducir la información del producto, proceso, programa y conjunto de actividades en necesidades de operaciones para cada una de las áreas en términos de equipo, recursos humanos y, finalmente, en requerimientos de espacio. Dichos requerimientos suelen ser condiciones ideales, que deberán ajustarse más tarde por las condiciones imperantes de disponibilidad de espacio.

Búsqueda de diseños alternativos en SLP

El primer paso de esta fase consiste en actualizar los diagramas de relaciones con los datos generados sobre los requerimientos y la disponibilidad de espacio. Es posible comenzar a generar planos alternativos de distribuciones considerando las áreas y las relaciones de adyacencia, cercanía y alejamiento que se desean satisfacer. Estas alternativas serán ajustadas por condiciones específicas, como selección del sistema de manejo de materiales, ubicación de los servicios, características y limitaciones del equipo y cantidad del personal.

Evaluación de alternativas en SLP

El inicio de la evaluación de las alternativas puede ser un proceso paralelo al de generación de las mismas. Se pueden descartar aquellas alternativas cuyo desempeño es menor al de otras con respecto a los objetivos generados en el planteamiento del problema. Esto permitirá mantener un número manejable de alternativas, para detallarlas posteriormente. En la evaluación final no sólo participa el diseñador, sino también la dirección de la empresa y demás áreas afectadas por el proceso de diseño.

Análisis de flujos

Considerando que la mayoría de los proyectos de distribución tienen el objetivo de minimizar el manejo de materiales o el recorrido de los clientes, el análisis de flujo se enfoca principalmente a la descripción cuantitativa y cualitativa de dichos flujos entre departamentos o áreas. Para llevar a cabo este análisis se consideran los aspectos que definen y dan forma a los flujos, como:

- Las características de los productos.
- Las características del proceso.
- Las características del programa de producción.
- Las características de instalaciones existentes.

La forma más común para analizar los flujos es el uso de diagramas y esquemas que permiten apreciar en forma sintetizada la naturaleza de los productos y los procesos que albergará una instalación. Al recabar esta información, es muy importante resaltar el hecho de que estos datos son pasados, por lo que se deben considerar los cambios posibles que tendrán los procesos, productos y programas con la nueva distribución.

Características del producto

Sobre los productos, interesa conocer sus características de diseño, número de partes, tamaños, requerimientos de

materiales, etcétera. Entre las herramientas que se usan para conocer las características del producto se encuentran:

- Planos de ingeniería del producto.
- Planos de ingeniería de las partes.
- Diagramas en explosivo.
- Listas de partes.
- Listas de materiales.

Se necesitan conocer las características de cada uno de los de productos que se procesarán en la instalación, así como la relación entre ellos en términos de materia prima, partes y procesos que tienen en común. Es muy poco frecuente que las decisiones que se tomen respecto de la distribución de la instalación tendrán algún efecto sobre el diseño del producto.

Características del proceso

Las características del proceso de producción son las que tendrán un efecto más profundo en la distribución de las instalaciones. Para su análisis, se han desarrollado los siguientes diagramas:

- Diagrama de ensamble.
- Diagrama de flujo de proceso.
- Diagrama de flujo de multiproductos.
- Matriz de recorridos.

A través de los diagramas de ensamble se pueden encontrar diferentes variantes del proceso de ensamble y seleccionar alguna que permita simplificar el flujo de productos y materiales, obteniendo el mismo resultado final del proceso. Con los diagramas de flujo se detalla aún más el proceso, lo que permite considerar el impacto de las inspecciones, los almacenamientos y las esperas en el flujo de productos y materiales. En los casos en que sea necesario ver la relación que existe entre varios productos que comparten algunos procesos, los diagramas de flujo de multiproductos son las herramientas adecuadas. Con estos diagramas se pueden observar cómo los flujos de diferentes productos son concurrentes y divergentes en algunas áreas de la instalación.

Las herramientas anteriores son de gran ayuda para el proceso de diseño de distribución de instalaciones, pero tienen su origen en el diseño y el análisis de los procesos de producción. Éste no es el caso de la matriz de recorridos, la cual fue creada como apoyo al diseño de la distribución de instalaciones, concentrando información relevante sobre la magnitud de los flujos. Esta matriz despliega mediciones del flujo entre departamentos o áreas que pueden

estar en términos de viajes por día o de costos de manejo de materiales por día (véase tabla 8.1).

Tabla 8.1 Matriz de recorridos

De Hacia	Para				
	1	2	3	4	5
1. Almacén	–	40	85		23
2. Moldeo		–	63		37
3. Tornos			–	18	
4. Soldadura	47			–	5
5. Pintura					–

Programa de producción

Después de recabar información sobre qué se produce y cómo se produce, se necesita saber cuánto y cuándo se producirá. Las herramientas principales para conocer las características del programa es la planeación agregada y el plan maestro de producción tentativos. Si no se cuenta aún con estos planes, se necesita recabar y procesar la información suficiente a partir de pronósticos y datos históricos de productos similares. Otro dato mínimo es las metas de producción anuales para cada producto. Esta información permitirá conocer la mezcla de productos y qué tan constante o intermitente habrá de ser la producción de cada producto. De hecho, a muchos de los planes de producción les afectarán profundamente las decisiones tomadas en el proceso de distribución de la instalación.

Características de las instalaciones existentes

Lo ideal sería no finalizar un diseño arquitectónico y estructural de una instalación de edificio, sin antes haber diseñado su distribución. Si no es el caso, se deben conocer las limitaciones y oportunidades que se presentan cuando ya existe el edificio que albergará al sistema productivo. Esto tendrá gran relevancia a la hora de definir la configuración de los flujos de productos, ya que se verán acotados por la cantidad y geometría del espacio disponible. En el rubro de instalaciones existentes también se debe considerar la infraestructura y las vías de comunicación que serán utilizadas por la instalación, los cuales podrían definir los puntos adecuados para la recepción y el embarque.

Patrones de flujo

Una vez que se han descrito los flujos necesarios para llevar a cabo un proceso productivo, se pueden considerar los patrones que seguirán dichos flujos sobre una superficie

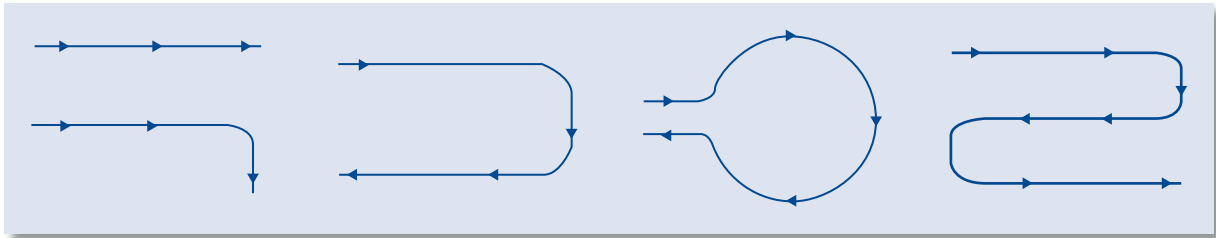


Figura 8.6 Patrones básicos de flujos horizontales: a) en I, b) en L, c) en U, d) en O, e) en S.

horizontal. En la figura 8.6 es posible describir cinco patrones básicos: el flujo en I, en L, en U, en O y en S.

Lógicamente, una infinidad de patrones de flujo pueden generarse a partir de la combinación de estos cinco patrones básicos. Se puede aumentar una dimensión y considerar el flujo existente en varios niveles de una instalación, ya sea en otros pisos, mezzanines o equipo elevado de manejo de materiales. Entonces, se tiene como resultado un sistema de flujos horizontales, en los que hay que considerar los flujos verticales necesarios para su interconexión.

Para seleccionar los patrones que seguirá el flujo es necesario considerar las restricciones arquitectónicas de una instalación existente o la forma del sitio seleccionado, así como la conveniencia de que los puntos de recepción y embarque de productos (o salida y entrada de clientes) se encuentren en el mismo lado o en lados opuestos de la instalación. Esta decisión se ve influida por instalaciones externas de transportación. Considerando la interconexión vertical de flujos, se pueden considerar economías al usar un mismo equipo para todos los flujos ascendentes y descendentes, y sus implicaciones en los flujos horizontales que conecta.

Tipos básicos de distribución

Se pueden considerar cuatro categorías principales de distribución: por producto estático, producto, proceso y celular (o por grupo); las cuales se basan en la naturaleza del proceso.

Distribución por producto estático

Este tipo de distribución se utiliza cuando resulta imposible, muy difícil o inconveniente mover el producto que está siendo procesado, debido, generalmente, a su tamaño. Esta característica impide hacer que el producto fluya a través de las etapas de procesamiento correspondientes. Debido a que no se puede trasladar el producto a los procesos, entonces los procesos se llevan al producto. Este hecho hace que se requiera de una gran planeación logística, que permita colocar alrededor del producto, las diferen-

tes estaciones de trabajo, en el momento y lugar en que se necesiten. Algunos ejemplos de procesos en los que se aplica este tipo de distribución es en la fabricación de aeronaves y buques, así como en la industria de la construcción (véase figura 8.7).

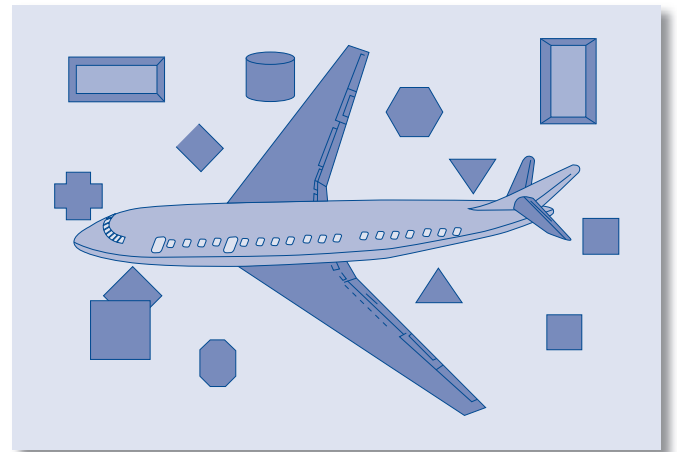


Figura 8.7 Distribución por producto estático.

Por la naturaleza de esta distribución, es muy posible que se requiera duplicar equipo, con lo que se limita su grado de utilización. Asimismo, se requiere una fuerza laboral altamente calificada, con el fin de que sea responsable de toda una tarea dentro del proceso.

Distribución por producto

Las distribuciones por producto, como se muestra en la figura 8.8, son adecuadas cuando se tiene una variedad muy pequeña de productos altamente estandarizados, los cuales son producidos en altos volúmenes. A este tipo de distribución también se le conoce como distribución de producción en línea. Un caso común son las armadoras de automóviles, en las que exista una línea de producción para cada modelo. En dichos procesos, los productos pasan por una secuencia fija de operaciones y los altos volúmenes permiten una buena utilización, manteniendo un flujo constante de productos a través de la línea.

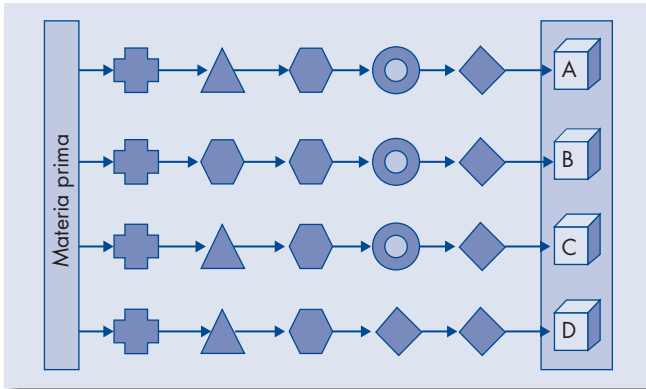


Figura 8.8 Distribución por producto para los artículos A, B, C y D.

Los productos deben pasar de inmediato de una operación a otra, minimizando el inventario en proceso. Para lograr dicha fluidez, lo único que se necesita es balancear la línea o, dicho de otra forma, homogeneizar la capacidad de las estaciones encargadas de cada operación. El balanceo permite eliminar operaciones que provoquen cuellos de botella y reducir el tiempo total de producción. Si no existe inventario en proceso, no se necesita espacio entre las estaciones de trabajo, por ello, en este tipo de distribución, también se minimiza el manejo de materiales.

El esfuerzo de capacitación del personal, al especializarse en una sola operación, resulta simple y rápido. Se puede decir lo mismo sobre los esfuerzos de planeación y control de la producción, ya que los flujos de productos son constantes a través de las estaciones por largos periodos.

Una de las desventajas de este tipo de distribución, debido al aprovechamiento máximo de equipo y espacio, es su falta de flexibilidad. Por ejemplo, cuando surge algún desperfecto en un equipo, toda la línea de producción se detiene; sin poder utilizar equipo similar de otra línea. Cuando se diseña la distribución de una instalación, considerando una producción en línea, se desea satisfacer los requerimientos de cada producto; así, un cambio en el diseño del producto implicará un cambio mayor en el diseño de la distribución. Otra desventaja surge cuando en el mercado sólo existen equipos con mayor capacidad a la de la línea de producción; por ejemplo, un equipo monta 150 motores por hora, mientras que la línea de producción sólo fabrica 100 autos por hora. En este caso, dicho equipo no será utilizado eficientemente, y en ocasiones tendrá que ser adquirido para varias líneas, lo que aumenta aún más la ineficiencia de utilización.

Distribución por proceso

Este tipo de distribución, ilustrado en la figura 8.9, está pensado para instalaciones en las que se genera una alta

variedad de productos no estandarizados en volúmenes bajos de producción. A este tipo de producción también se le conoce como talleres de trabajo, y no se justifica, en este caso, destinar un equipo para procesar un solo producto, ya que la mezcla de productos cambia constantemente. Así pues, la instalación se deberá distribuir en departamentos especializados en un solo tipo de proceso o equipo. Dichos departamentos podrán utilizarse por todos los productos, según lo indiquen sus especificaciones, generando un gran flujo interdepartamental.

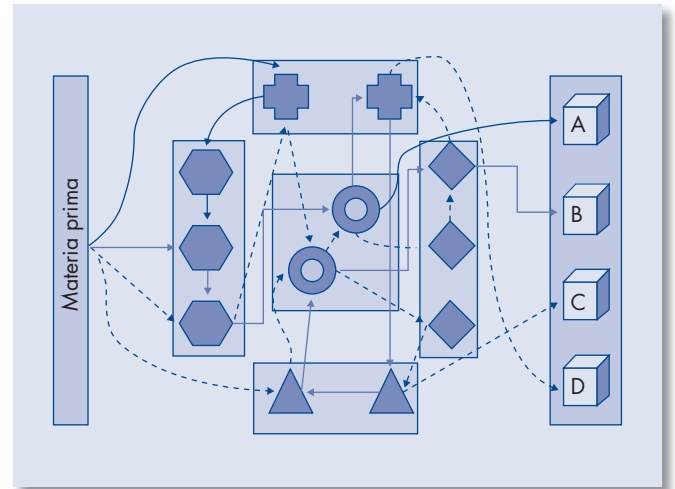


Figura 8.9 Distribución por proceso para los artículos A, B, C y D.

Al compartir equipo, se logra un aprovechamiento máximo del mismo, por lo que la inversión requerida en dicho rubro es baja. La flexibilidad de los talleres de trabajo se ve reflejada en la variedad de habilidades del personal y del equipo. Dicha flexibilidad permite hacer cambios en el diseño de un producto, sin la necesidad de hacerlos en la distribución de la instalación.

Ya que los patrones de flujo no son iguales ni constantes para cada producto, se requiere una mayor inversión y flexibilidad en el sistema de manejo de materiales. Por la misma razón, la planeación, el control y la supervisión de la producción se vuelve más compleja y costosa. Para lograr el máximo aprovechamiento del equipo, es necesario minimizar los tiempos muertos, y esto sólo es posible aumentando la inversión en inventario de material en proceso. A su vez, dicho inventario en proceso, aunado al aumento en el manejo de materiales, hace que los tiempos de producción sean más largos que en la producción en línea. Las desventajas anteriores, pese a no desaparecer, por ser parte de la naturaleza de este tipo de producción, pueden ser mitigadas a través de un buen diseño de la distribución de la instalación.

Distribución celular

En ocasiones, los productos de una organización no son tan estandarizados ni sus volúmenes tan altos como para utilizar una distribución por producto; tampoco son productos tan diversos ni sus volúmenes tan bajos como para utilizar una distribución por proceso. En dicho caso, se puede analizar la posibilidad de agrupar los productos en familias cuyos procesos sean semejantes, tanto en los procesos que requieren como en la secuencia de los mismos. Por ello, a este tipo de distribución también se le conoce como distribución por grupo. Con base en esta agrupación, se puede generar una distribución específica de procesos para cada familia de productos. A un conjunto de procesos que se encargan de un grupo específico de productos se le llama *célula* (véase figura 8.10).

Este tipo de distribución considera características de las distribuciones por producto y por proceso, pero busca equilibrar las ventajas y limitaciones de ambas.

Análisis de relación de actividades

El proceso de análisis de las actividades o procesos se enfoca principalmente en la integración de factores cualitativos; en el diseño de la distribución de instalaciones. La matriz de recorridos sólo considera el factor cuantitativo del manejo de materiales, por lo que Muther diseñó la gráfica de relación de actividades o gráfica REL con el fin de considerar también factores cualitativos.

Gráfica de relación de actividades, REL

La gráfica REL utiliza una calificación de cercanía en lugar de los números de la matriz de recorridos. La figura 8.11

muestra un ejemplo de un diagrama de relación para la distribución de un centro de servicio automotriz. En la columna de la izquierda se listan las áreas o departamentos que están involucrados en la distribución de la instalación. Las calificaciones de cercanía se aplican para cada par de áreas o departamentos, asignando alguna de las letras A, E, I, O, U o X. Además del análisis previo del producto, proceso, programa, etc., se recomienda efectuar varios cuestionarios y entrevistas con los encargados de los procesos, con el fin de encontrar las razones adecuadas para asignar cada calificación. Si se tienen m número de actividades, el número de calificaciones resultantes está dado por $c = m(m - 1)/2$.

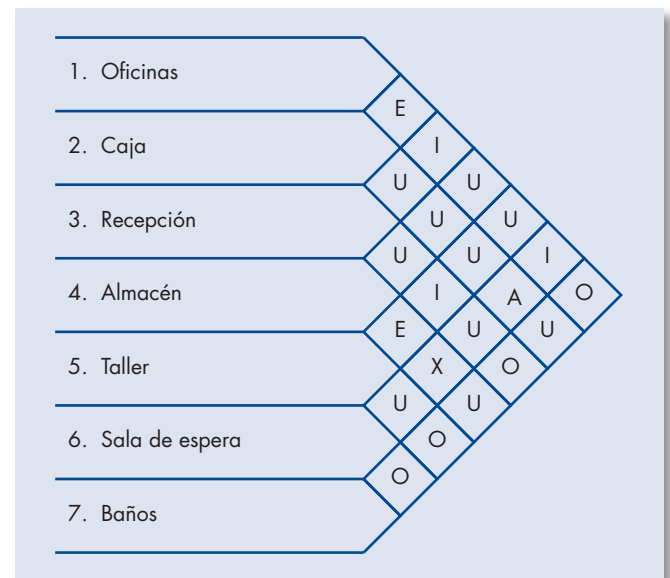


Figura 8.11 Gráfica REL para un centro de servicio.

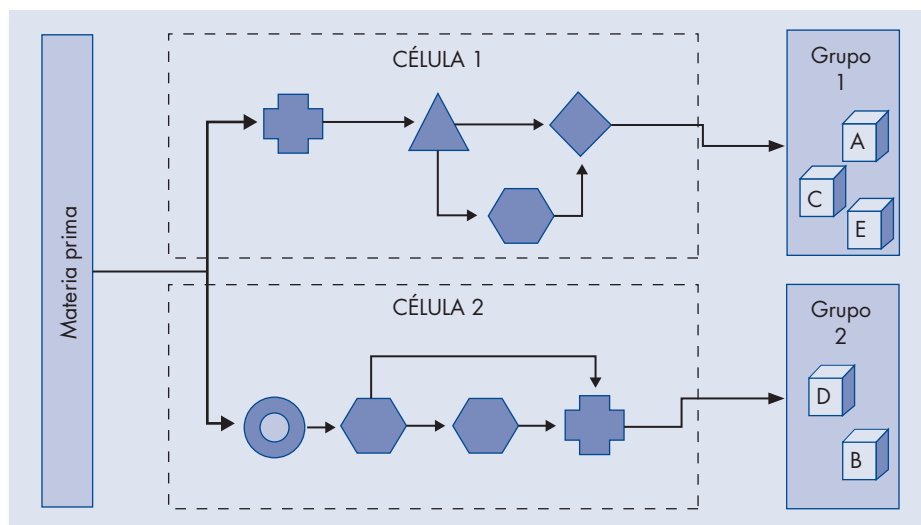


Figura 8.10 Distribución celular para dos grupos de productos.

La letra A se asigna cuando se considera que es absolutamente necesario que las dos áreas se encuentren cerca. Si se considera, por alguna razón, que es especialmente importante, se asigna la letra E. Una calificación I indica que se considera importante que dichas áreas estén cerca, y una O indica una importancia ordinaria (común). La U no asigna importancia alguna a la cercanía de las áreas, mientras que con la X se indica que la cercanía de las áreas es indeseable. Con base en su definición, estas seis calificaciones tienen una jerarquía que es muy útil al momento de asignarlas. La jerarquía de las calificaciones de cercanía es: A, X, E, I, O, U.

Con el fin de que un diagrama de relación de actividades sea útil en etapas posteriores del proceso SLP, se debe cuidar la proporción de calificaciones asignadas. En general, es recomendable que el número de letras A o X asignadas no rebase el 0.05 c. Imagínese una distribución de instalación donde sea absolutamente necesario que la mayoría de las áreas estén adyacentes; no sería factible encontrar un diseño que satisfaga este requerimiento. Por otra parte, si se considera indeseable que la mayoría de las áreas se encuentren próximas se desperdiciaría mucho espacio y los costos de manejo de materiales aumentarían mucho.

Para cumplir este requerimiento de proporcionalidad se deben analizar las razones por las que se desea asignar una A o una X. Si se considera absolutamente necesario que dos áreas de oficinas estén adyacentes por la cantidad de documentos confidenciales que pasan de una a otra,

esta restricción puede eliminarse con el uso de un sistema neumático de transmisión de documentos. Si, por el contrario, se considera indeseable, por ejemplo, que la oficina esté cerca de una maquinaria que genera calor y ruido, se puede cambiar la restricción y se considera utilizar muros con aislante térmico y acústico.

Siguiendo con las condiciones de proporcionalidad, se recomienda que el número de calificaciones E asignadas no rebase 0.1 c, las de I el 0.15 c y las de O el 0.2 c. Si se logra no rebasar estas proporciones, el resultado será que a más de la mitad de las calificaciones se les asignará una U, lo cual elimina restricciones y no complica en demasía el problema de distribución.

Diagrama de relación de actividades

Con base en la gráfica de relación de actividades, es posible representar sobre un plano las calificaciones de cercanía asignadas entre actividades. Para ello, las actividades se representan en el diagrama de relación de actividades como nodos en forma de bloque. En la figura 8.12 se presenta el diagrama de relación resultante de una gráfica REL.

Considerando el orden jerárquico de las calificaciones de cercanía, en el diagrama se colocan las actividades cuya relación fue calificada con A y se unen con cuatro líneas; se siguen colocando las actividades calificadas con E y se unen con tres líneas, y así sucesivamente, hasta que las relaciones calificadas con una letra U, no sean unidas por ninguna línea. De esta manera, la cantidad de líneas representa la

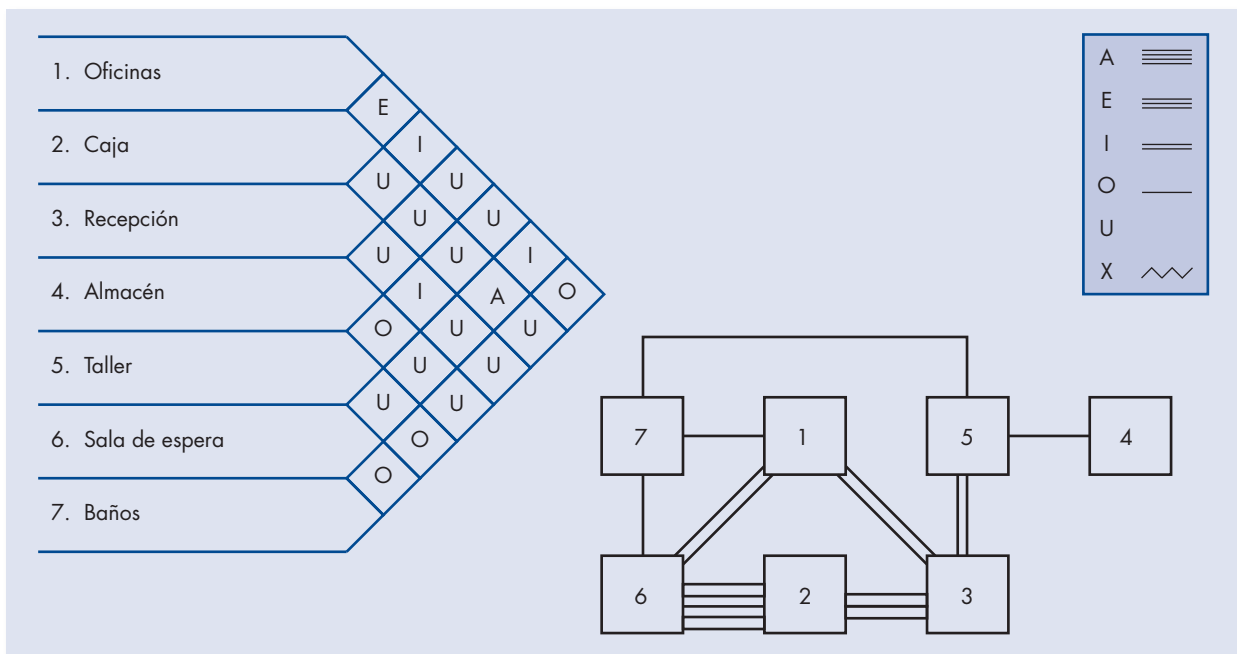


Figura 8.12 Gráfica REL con su correspondiente diagrama de relación estrella.

magnitud del flujo existente entre un par de áreas. Una de las principales características deseables de un diagrama REL es que las líneas de flujo nunca se crucen; entonces se dice que el diagrama es planar. Para lograr obtener un diagrama planar, en ocasiones algunas calificaciones de la gráfica REL no podrán representarse en un diagrama de relación de actividades. El proceso de discriminación de las relaciones que entran al diagrama REL depende del criterio del diseñador, quien puede optar por generar varias opciones del diagrama.

Diagrama de relación de espacios

El diagrama de relación de actividades permite ver sobre un plano las relaciones de cercanía que se desean satisfacer en la distribución final. Sin embargo, se necesita traducir dicha cercanía en adyacencia, es decir, en qué áreas estarán pegadas una con otra. Si se pudiera considerar las líneas del diagrama de relación como la magnitud de una fuerza de atracción que hace que los bloques de las áreas o departamentos se unan, el resultado final sería una distribución por bloques. Para llegar a dicha distribución, se puede utilizar un método gráfico, a través de una gráfica planar, la cual es una red formada al satisfacer ciertas calificaciones de cercanía con una relación de adyacencia.

En la figura 8.13 se muestra la creación de una gráfica planar con base en el diagrama de relación anterior (figura 8.12) y considerando que las relaciones de cercanía tipo A, E e I deberán ser satisfechas con una relación de adyacencia.

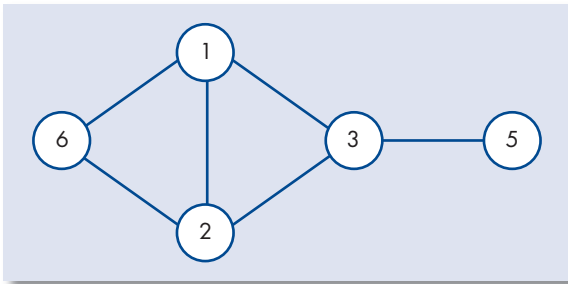


Figura 8.13 Gráfica planar.

Una gráfica planar se dibuja al considerar los nodos como actividades con relación de adyacencia y a los arcos como dichas relaciones. Dentro de la gráfica, las áreas que se generan a través de arcos y nodos se les denominan caras. De esta manera, a toda el área que se encuentra fuera de los límites de la gráfica, se le denomina cara exterior. Pero, para poder transformar esta gráfica planar en una distribución por bloques es necesario apoyarse en una gráfica dual. Dicha gráfica se construye sobre la planar, poniendo un nodo en cada una de las caras, incluyendo la exterior.

Para unir los nodos de la gráfica dual, los arcos duales deberán pasar por cada uno, y sólo uno, de los arcos de la gráfica primal.

La figura 8.14 muestra una posible gráfica dual, generada a partir de la gráfica primal anterior (véase figura 8.13). Nótese que a la gráfica primal se le ha añadido un nodo adicional llamado "Ex", el cual representa la relación de adyacencia requerida entre los departamentos 1 y 3 con el exterior de la instalación. También se puede considerar que las áreas formadas por los nodos y los arcos de la gráfica dual corresponden a las diferentes áreas de la instalación; es decir, que los arcos duales son los límites de las áreas. Con la finalidad de obtener una distribución preliminar de las áreas, cada una de ellas se considerará como bloques homogéneos.

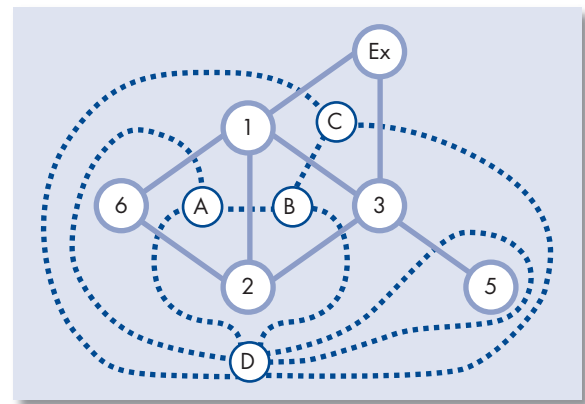


Figura 8.14 Gráfica dual.

El diagrama de bloques en la figura 8.15 es el resultado de la gráfica dual, la cual no contempla los departamentos 7 y 5, que no poseían una restricción de adyacencia. Por esto, es más sencilla su anexión a la distribución por bloques. En la figura 8.16 se muestra esta distribución con todos los departamentos.



Figura 8.15 Distribución por bloques.

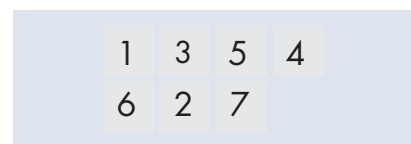


Figura 8.16 Distribución por bloques (todos los departamentos).

Una de las principales limitaciones de este enfoque es la condición de planaridad que deben cumplir las gráficas. En muchas aplicaciones complejas es difícil discriminar las relaciones que no se considerarán en las gráficas.

Plano por bloques y distribución detallada

Con base en la información recopilada sobre las características del producto, proceso y programa de producción, se deben determinar los requerimientos de espacio para cada área o departamento. Esta estimación podrá basarse, por ejemplo, en el volumen mensual de producción deseado, las características del equipo necesario y el tipo de distribución. Estos factores permitirán precisar cuántos de estos equipos serán requeridos y cuál se multiplicará por el área necesaria para operar dicho equipo a fin de obtener el requerimiento de espacio de esa área de maquinado. De forma similar, se pueden estimar los requerimientos de personal y espacio de almacenaje. Esta información de espacio requerido tendrá que contrastar con las limitaciones de espacio. Las limitaciones pueden establecerse por el edificio o terreno existentes.

Para cada actividad o departamento se tendrá un templete a escala, que representa el área requerida y ajustada por la disponibilidad. Con base en la distribución por bloques, se generan varias formas de acomodar los templates dentro del área del edificio, también a escala. Se hacen las modificaciones necesarias a la forma de las planillas, para hacer mejores adecuaciones. El resultado final se conoce como plano por bloques. En la figura 8.17 se muestra el plano por bloques para el ejemplo del centro de servicio automotriz.

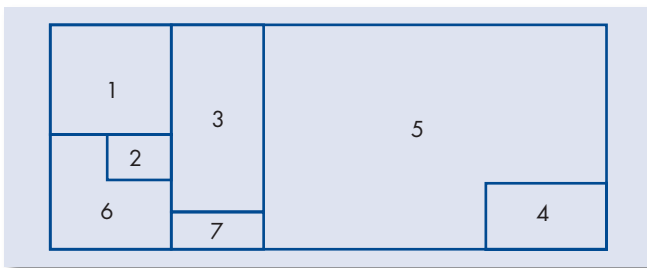


Figura 8.17 Plano por bloques para la estación de servicio.

Cuando se tiene un conjunto considerable de planos alternativos, se necesita pasar a la fase de selección de diseños recomendados, antes de hacer el diseño detallado de la instalación.

Flexibilidad del diseño detallado

Al diseñar la distribución detallada se debe considerar que las instalaciones, en la mayoría de los casos, son dinámicas a lo largo del tiempo. Pero, pueden ocurrir cambios en la demanda, las características y la mezcla de productos, la tecnología, etcétera. Dichos cambios son responsables de reconfiguraciones, expansiones y contracciones futuras de las instalaciones, lo cual se traduce en inversiones significativas de dinero.

Considerar la flexibilidad en el diseño de la distribución, significa prever los posibles cambios a corto y mediano plazos y reflejarlos en el diseño. Es común intentar optimizar la distribución con las operaciones actuales sin considerar los planes estratégicos de la organización ni los riesgos asociados al proceso de negocios de la misma. Con la flexibilidad como premisa de diseño de distribución, es posible que no se logre un uso eficiente de los recursos actuales, lo cual no es malo, siempre y cuando se busque el costo mínimo de operación a mediano y largo plazos.

Consideraciones de manejo de materiales

Desde el inicio del proceso de diseño de instalaciones, las distancias y los costos de manejo de materiales se consideran un factor importante. La distribución y el sistema de manejo de materiales son procesos análogos y deben realizarse en forma simultánea. Durante la distribución detallada, ésta debe ser congruente con las especificaciones del sistema de manejo de materiales. Para ello, se requiere estar familiarizado con las características e implicaciones de cada una de las alternativas de sistemas de manejo de materiales.

Palabras clave

Diseño, distribución, instalaciones, localización, ubicación.

Caso práctico

La empresa CAMEPLÁS S.A., está ubicada en el estado de Veracruz y se dedica a la producción de polietileno de alta y de baja densidad. En el último año aumentó su cartera de clientes con varias empresas situadas al norte y el oriente del valle de México. Un estudio sobre la cadena de suministro de la empresa revela que es conveniente la instalación de un centro de distribución en el valle de México, con el fin de reducir los costos de transportación del producto y mejorar el servicio que proporciona a sus clientes. Los clientes de CAMEPLÁS suelen hacer la mayoría de sus pedidos en forma urgente y el tamaño promedio de los pedidos es similar para cada cliente. Por esta razón, la empresa desea ubicar su centro de distribución de forma en que ninguno de sus clientes espere un tiempo excesivo en la recepción de su pedido. Para analizar el problema, la empresa colocó las ubicaciones de sus clientes sobre un plano cartesiano. Las coordenadas resultantes de sus clientes son: (0, 23), (6, 28), (11, 19), (13, 25), (18, 24), (26, 17), (17, 21), (28, 7), (30, 5), (36, 0), (37, 11).

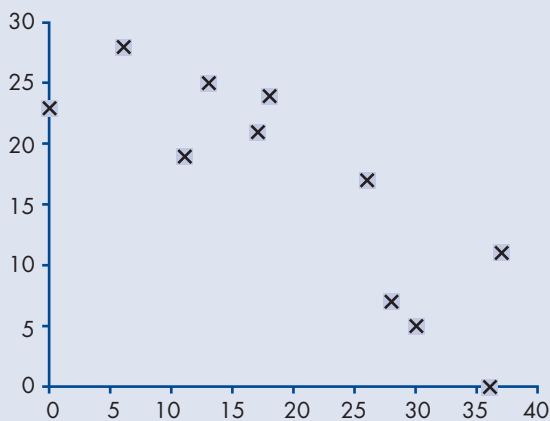


Figura 8.18 Clientes de CAMEPLÁS.

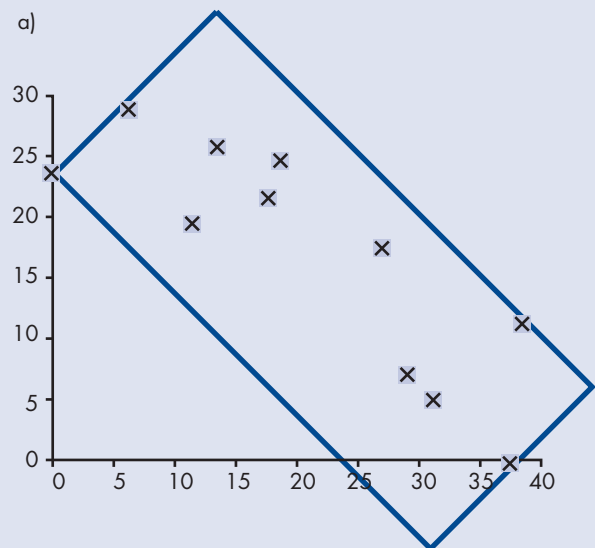
Preguntas

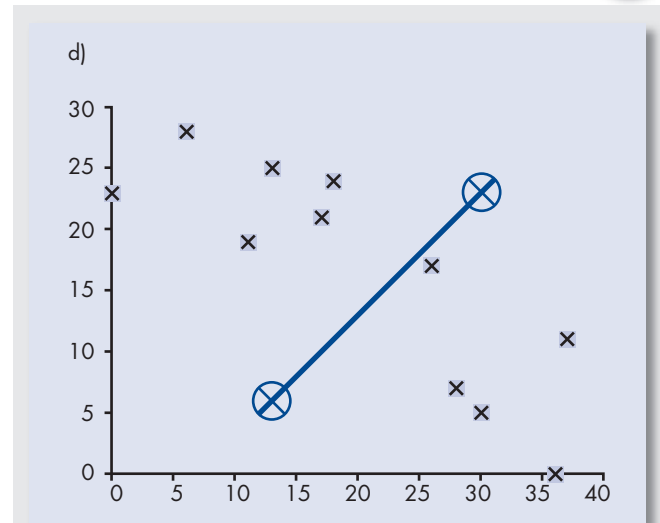
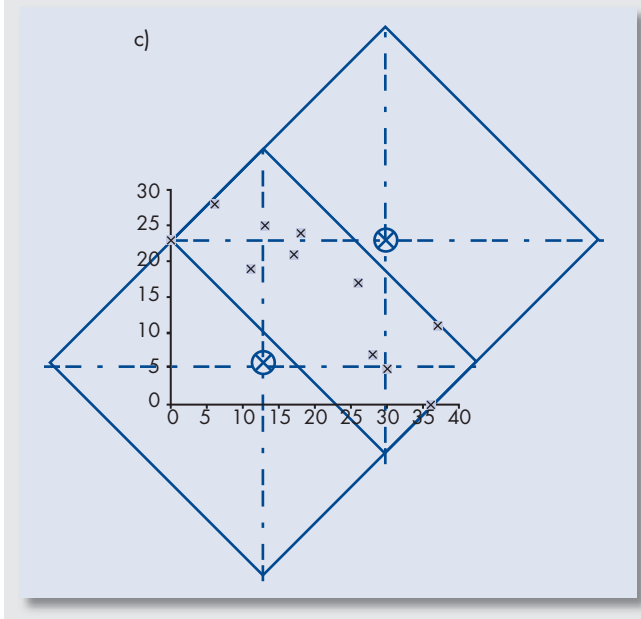
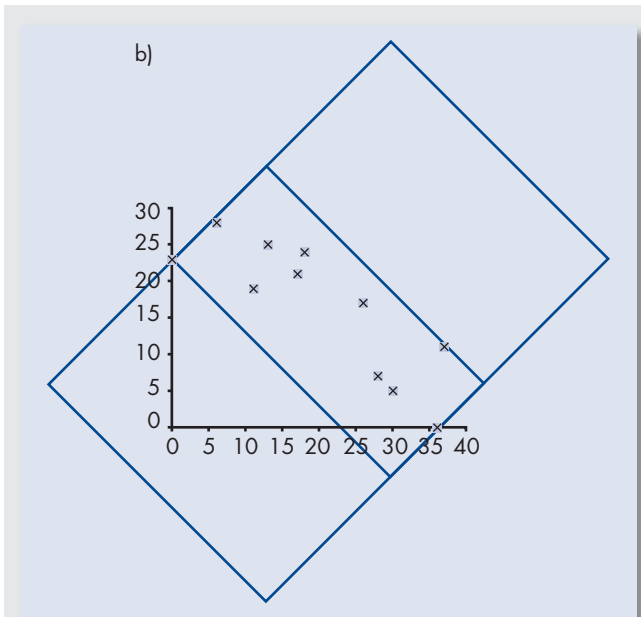
1. De acuerdo con el contexto de la ubicación del centro de distribución, ¿cuál es el mejor enfoque para modelar las distancias, las euclidianas o las ortogonales?
2. Con base en el objetivo de servicio de la empresa, ¿cuál es el enfoque de mejora más adecuado, el *minisum* o el minimax?

3. ¿Cuáles son las posibles ubicaciones que más convienen al centro de distribución de CAMEPLÁS?

Soluciones

1. Tratándose de un contexto urbano, la modelación de distancias más aproximado a la realidad son las distancias ortogonales, debido a la cuadrícula que forman las manzanas de la ciudad.
2. La empresa desea minimizar el tiempo máximo de envío a sus clientes, por lo cual el enfoque más congruente con sus objetivos es el minimax.
3. Para resolver este problema con minimax, se puede utilizar el procedimiento geométrico de diamante.
 - a) Primero, se dibuja el mínimo rectángulo que cubra todas las ubicaciones en el plano.
 - b) Después se expanden los lados cortos del rectángulo hasta formar cuadrados de ambos lados.
 - c) Al determinar los centros de cada cuadro, se obtienen los puntos (29.5, 23) y (12.5, 6).
 - d) Cualquier ubicación que esté dentro del segmento de recta que une los puntos (29.5, 23) y (12.5, 6) será una ubicación óptima para el centro de distribución de la empresa CAMEPLÁS.





Casos para resolver

Caso 1

La empresa ACEPLAC S.A., fabrica placas de acero, las cuales distribuye a empresas tanto mexicanas como extranjeras. Tras la expansión de su mercado durante los últimos años, se ha posicionado con uno de los principales proveedores en México. Por ello, la empresa instalará una nueva planta en la que se producirán entre 840 000 y 860 000 toneladas por año. Se ha decidido

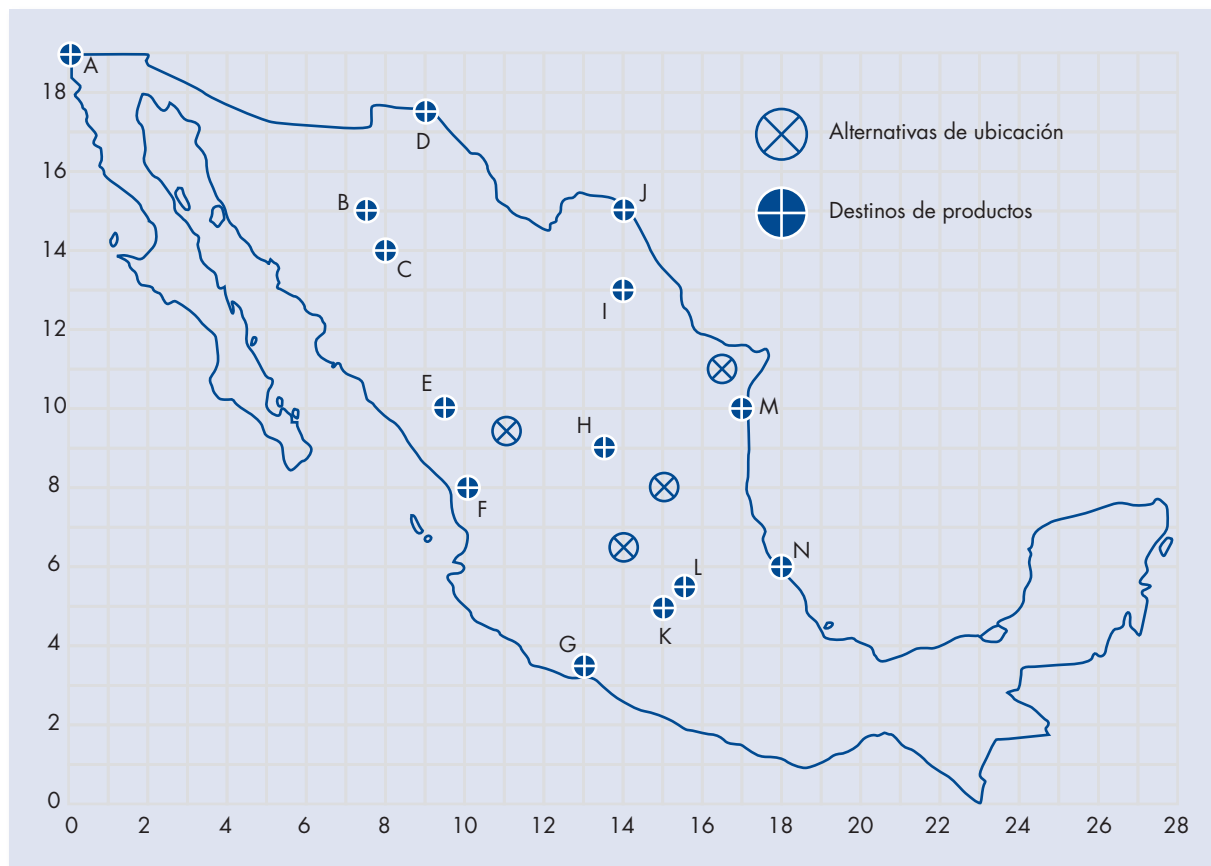
situar la planta en alguna de las cuatro opciones de ubicaciones diferentes, en los estados de Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro y Jalisco. En seguida, se recabó la información referente a los costos de fijos y variables relacionados con el aprovisionamiento y producción de la planta en cada una de estas opciones.

Otro factor que se desea considerar son los costos de distribución de las placas a cada uno de los 14 principales clientes; el siguiente plano muestra sus ubicaciones.

Para estimar los costos de distribución se considerará que las distancias euclidianas son una buena aproximación a la red carretera y ferroviaria. El costo de transportación de tonelada por kilómetro se conside-

ra constante, independientemente de cuál sea el punto de origen y destino. Los volúmenes que se transportarán por año (en miles de toneladas) a cada uno de los clientes principales se estiman de la siguiente forma:

Ubicación	Coordenadas	Costos fijos anuales	Costos variables por tonelada
Jalisco	(11, 9.5)	\$ 8 470 000	\$ 41.2
Querétaro	(14, 6.5)	\$ 6 350 000	\$ 45.7
San Luis Potosí	(15, 8)	\$ 12 950 000	\$ 35.9
Tamaulipas	(16.5, 11)	\$ 9 110 000	\$ 40.5



Con base en estos datos, sugiera a la empresa la ubicación idónea para su nueva planta, justificando su recomendación.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
110	16	14	83	48	41	83	75	70	90	53	71	80	16

Para discusión

1. ¿Cuál es la finalidad de que los ingenieros industriales aborden el problema de diseño de instalaciones?
2. ¿Cuáles son los cuatro aspectos principales que abarca el diseño de instalaciones productivas?
3. ¿Qué importancia tienen para una organización productiva las decisiones de localización y distribución de sus instalaciones?
4. ¿Qué posibles objetivos puede tener efectuar un diseño de instalaciones productivas?
5. ¿Por qué se considera que tanto la localización como la distribución de instalaciones son procesos de diseño?
6. ¿Cuál es la importancia del análisis dentro del proceso de diseño de instalaciones?
7. ¿Cuáles son las etapas del proceso de diseño de instalaciones?
8. ¿Cuál es la importancia de las decisiones de localización respecto de la cadena de suministro?
9. ¿Qué clase de factores pueden afectar las decisiones que se toman al ubicar una instalación productiva?
10. ¿Cómo se clasifican los problemas de localización con respecto al número de posibles ubicaciones?
11. ¿Qué consideración habrá de hacerse si se modela el problema de localización de instalaciones dentro de un plano?
12. ¿Cómo se puede calcular la distancia entre dos ubicaciones sobre un plano?
13. ¿Cuál es el objetivo de los problemas *minisum*?
14. ¿Cuál es la utilidad práctica de asignarle, en un problema de localización, una ponderación o peso a cada una de las instalaciones existentes?
15. ¿En qué consiste el problema de distribución de las instalaciones?
16. ¿En qué consiste la planeación sistemática de las instalaciones?
17. ¿Por qué se efectúa un análisis de flujos?
18. ¿Cuáles son los tipos básicos de distribución de instalaciones?
19. ¿Cómo se efectúa un análisis de relación de actividades?

Bibliografía

Ballou, R. H. *Business Logistics/Supply Management*. 5a. ed. Prentice-Hall. New York. 2004.

Chase R. B., N. J. Aquilano, and F. R. Jacobs. *Production and Operation Management*. 8a. ed. McGraw-Hill. New York. 1998.

Francis, R. L., L. F. McGinnis, and J. A. White. *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*. 2a. ed. Prentice-Hall. New York. 1992.

Krajewski, L. J., and Larry P. Ritzman. *Operations Management. Strategy and Analysis*. 5a. ed. Prentice-Hall. New York. 1999.

Muther, R. *Systematic Layout Planning*. Industrial Education Institute. Frankfurt. 1961.

Nahmias S. *Production and Operations Analysis*. 4a. ed. McGraw-Hill. New York. 2001.

Rosenblatt, M. J. The Dynamics of Plant Layout. *Management Science* 32. Núm. 1. EUA. 1986.



ADMINISTRACIÓN DE LA EMPRESA

Gabriel Baca Cruz
Master Business Administration
Universidad de Las Américas
Campus Ciudad de México

*El líder es aquel que conoce el camino,
enseña el camino e inspira para recorrerlo a su lado.*

GBC

Objetivo

- Presentar cómo surge la “administración” en el desarrollo de las empresas, así como el proceso administrativo, sus bases teóricas, el liderazgo y cómo se traduce la creatividad y la visión, o planeación estratégica, en actividades concretas en todos los niveles de una organización.

Introducción

La *administración* es uno de los factores que determina el éxito o fracaso de cualquier organización. Este proceso, metodología u oficio, contempla muchas actividades. Algunas, se basan estrictamente en números y muchas otras corresponden al desarrollo de habilidades propias de la persona responsable de determinadas actividades dentro de la empresa.

De manera general, la administración se aplica a cualquier actividad que se realiza en la vida diaria, ya sea laboral o personal, de manera informal o metódica. Durante un día normal todos seguimos un proceso o secuencia de actividades planeadas (en forma inmediata o bien

pensada), que nos llevan a decidir, organizar y ejecutar diferentes acciones. Por ejemplo, ¿cómo se planea un domingo?: hacer ejercicio, ir al supermercado, asistir a una comida, ver el partido de fútbol o simplemente quedarse en casa y ver la televisión. De igual forma, un día laboral se planea, organiza y ejecuta de acuerdo con diversos factores, como las actividades que han quedado pendientes del día anterior o con base en una reunión programada a una hora específica, o a la ejecución de actividades como realizar inspecciones a la planta, revisar el desempeño de los operadores, etcétera.

A lo largo de la historia de las organizaciones, se han implantado diferentes teorías administrativas, algunas de las cuales aún siguen vigentes desde hace más de 150 años. Desde luego, que se han ido modificando con base en las necesidades de la época, el ramo industrial, entorno, cultura y objetivos, haciendo de la administración y sus procesos un elemento dinámico dentro las empresas.

Historia de la administración

La administración surgió a finales del siglo XIX, establecida por quien se considera el padre de la administración científica: Frederick Taylor. En esa época, Taylor colaboraba para la firma Bethlehem Steel Company y en su búsqueda por mejorar la productividad de los operadores de la fábrica analizó la forma en que cada trabajador manejaba las barras de acero. En ese entonces, cada persona ejecutaba sus actividades de acuerdo con su experiencia, aptitudes y actitudes. Se considera que a partir de los estudios de Taylor inició la administración científica, ya que incluyó a la administración de la producción análisis basados en números, tiempos y movimientos, especialización del trabajo, estandarización de actividades y pago a destajo.

Este cambio en las actividades de los trabajadores y de los supervisores de las organizaciones generó una revolución administrativa, pues el rol de ambas partes cambió. Por un lado, los operadores se habían convertido en especialistas de una o varias actividades y recibían un pago con base en la cantidad de bienes que generaban. Por otro, el supervisor se convertía, de igual forma, en un especialista encargado de asegurarse de que las actividades específicas realizadas por su grupo de operadores se hicieran de manera eficiente, buscando la forma de incrementar la producción de su equipo contra el resto de los grupos de operadores que manejaban otros supervisores y, por tanto, él y los trabajadores a su cargo podían recibir un mayor beneficio económico.

En el capítulo 1, al tratar la historia de la ingeniería industrial, se explicó que el capitalismo es el principal impulsor de la ingeniería industrial y sus revoluciones. Con la aplicación de la administración científica de Taylor se logró incrementar la producción de bienes necesarios para

cubrir la demanda de productos de los consumidores de esa época. En consecuencia, al haber una mayor capacidad para generar un mayor número de bienes, fue necesario establecer nuevas formas de organización del trabajo, permitiendo que la producción se realizara de manera controlada. El cambio no fue sencillo, pues el reordenamiento de operadores, actividades y supervisores, condujo a la organización de los trabajadores para la fundación de sindicatos que les permitieran defender sus intereses ante las nuevas formas de administrar las empresas.

Entre las principales aportaciones de Taylor, destacan cuatro principios. El primero dice que para todo proceso debe existir un procedimiento estructurado, para lograrlo fue necesario obtener el conocimiento empírico de los trabajadores y la base fundamental para ello fue el estudio de tiempos y movimientos, y los diagramas de flujo. Ambas herramientas siguen utilizándose de manera cotidiana dentro de las empresas para proyectos de mejora.

El segundo principio se basó en la selección científica y mejora progresiva del operador. Los trabajadores fueron objeto de estudios a fin de descubrir sus conocimientos, habilidades, aptitudes y actitudes, con el objeto de elegir a las personas más capaces para realizar un trabajo determinado. Este principio sigue vigente hoy en día, a través de la implementación de diferentes herramientas (estudios psicométricos, evaluación de liderazgo, entrevistas de competencias), con el fin de determinar quien es la persona más calificada para desempeñar alguna posición dentro de una organización.

El tercer principio de Taylor fue adaptar al operador para trabajar con base en la ciencia. Esto significa que el operador debía apegarse a las nuevas formas de trabajo y estar convencido de que cualquier modificación dentro del proceso de producción debería realizarse en forma inmediata; es decir, debían estar abiertos al cambio. Esto permitió que no se regresara a los métodos empíricos de operación. Este principio lo podemos ver en la actualidad a través del establecimiento de manuales de políticas y procedimientos, impartición de cursos y entrenamientos que enseñan o refuerzan los procesos definidos y las auditorías administrativas que aseguran que el operador ejecute el proceso de acuerdo con lo establecido.

El cuarto principio consistió en establecer una clara división entre quienes definen el negocio en el ámbito intelectual y quienes lo ejecutan. La alta dirección define qué se quiere y cómo se va a producir un bien de consumo. El rol del trabajador se limita, entonces, a producir el producto definido por la empresa y deja a un lado la capacidad que tenía de pensar y elaborar un objeto de acuerdo con sus ideas. Esto se sigue viendo hoy en día en las reuniones que muchas empresas realizan en el plano directivo, en donde se evalúan los resultados del negocio y las nuevas

oportunidades que se presentan en la industria. Ellos son los responsables de definir y transmitir a toda la organización el tipo de bien o servicio que se producirá dentro de la empresa y el resto de los empleados serán los encargados de que se genere.

Esta nueva forma de trabajar tuvo, al igual que todos los nuevos procesos, productos o empresas, una serie de oportunidades que abrieron la puerta para generar nuevas teorías y formas de administrar las organizaciones. Taylor se enfocó demasiado en la eficiencia técnica del operador, lo que provocó que los trabajadores se sintieran como si fueran un objeto y con una presión para no cometer errores. Apegarse al método establecido y obedecer al supervisor era lo único importante. La forma de liderar a los operadores se basaba en la autoridad, es decir, “el jefe siempre tiene la razón” y la función del trabajador sólo se limitaba a obedecer lo que su superior indicaba. El trabajador no era tomado en cuenta en ningún aspecto, sólo se respetaba la autoridad. Actualmente se puede ver este tipo de organización en el Ejército, en donde las decisiones y las acciones se toman con base en la autoridad del superior.

Después de las aportaciones realizadas por Taylor apareció un nuevo grupo de pensadores encabezados por el francés Henri Fayol, quien es considerado el *padre de la administración moderna*. A principios del siglo xx, Fayol estableció en Francia lo que se considera el primer proceso administrativo, que incluía 14 pasos con los cuales las organizaciones estarían en posibilidad de llevar una administración integral de sus objetivos y recursos a través de la *planeación*, organización, coordinación y control.

Derivado de la necesidad de modificar la forma de administrar las organizaciones y dejar a un lado el método rígido de Taylor, surgieron nuevas teorías enfocadas en la parte humana de las empresas. Esta nueva escuela humano-relacionista fue desarrollada principalmente por Elton Mayo, quien a través de sus estudios descubrió que la comunicación es uno de los temas críticos de éxito dentro de una organización.

El proceso administrativo

A través de la evolución de las diversas escuelas administrativas, de manera general siempre se le ha denominado proceso administrativo. Éste consta de cuatro pasos fundamentales, aunque algunos autores manejan algunos más; estos pasos, como se comentó al principio del capítulo, son aplicables a cualquier proyecto, actividad o tarea que se quiera realizar dentro de una empresa o en la vida diaria. La disciplina en el seguimiento de este proceso permite tener una clara visión de donde se encuentra la compañía en un momento dado, en términos del cumplimiento de los objetivos establecidos.

La planeación

Durante la etapa de planeación se definen los objetivos organizacionales. Los accionistas (dueños) de la empresa son quienes marcan el rumbo que seguirá su negocio. Esta etapa del proceso administrativo normalmente se divide en: planeación estratégica, la cual establece los objetivos a largo plazo de la empresa, es decir, los planes que definen el rumbo de la compañía durante los próximos cinco años; y la planeación táctica, que define los objetivos anuales y mensuales, o sea, los pequeños pasos que al conseguirlos llevarán a la empresa a lograr sus objetivos estratégicos. Esto se puede observar con un ejemplo muy sencillo: cuando somos niños, nuestro plan estratégico en la escuela es terminar la primaria (plan de seis años) y el plan táctico es aprobar cada uno de los años del plan de estudios (cada año), y en un mayor detalle, aprobar cada materia de manera mensual.

Normalmente, las compañías de gran tamaño planean sus objetivos cubriendo cuatro aspectos principales:

- a) *Accionistas*. La planeación referente a los accionistas involucra específicamente aspectos financieros. Para su establecimiento es necesario considerar variables como la economía global; México, al participar en las economías de mercado se ve afectado directamente por la situación económica de otros países, tal como sucede a diario con los movimientos en los tipos de cambio frente al dólar, las recesiones económicas, la inflación y otros factores macroeconómicos de los distintos países con los que se tienen acuerdos comerciales. Al tener interdependencia en insumos y exportaciones, las empresas se ven en la necesidad de conocer datos del mundo que le permitan contar con una mejor perspectiva de cómo pueden obtener mejor rentabilidad de sus productos y servicios.

Otro aspecto muy importante a considerar dentro de la rentabilidad es la situación de la industria. Por ejemplo, durante los últimos años hemos visto el caso del sector aeronáutico que a partir de los ataques terroristas de 2001 a Estados Unidos de América, entró en una seria crisis financiera llevando a varias aerolíneas a la bancarrota. Esto como consecuencia de las pérdidas generadas por la decisión de dejar de viajar de miles de pasajeros por miedo a nuevos ataques, y porque las aerolíneas se vieron en la necesidad de incrementar sus costos para implementar nuevas medidas de seguridad que garantizaran a los pasajeros tranquilidad al utilizar este medio de transporte. Al reducirse las ventas y aumentar los

costos, las empresas buscaron distintas estrategias que les permitieran permanecer en el mercado; en el caso de México se ha visto cómo las líneas aéreas nacionales entraron en un proceso de venta a la inversión privada y para ello tuvieron que ejecutar un plan de recuperación financiera cuya puesta en práctica llevó tres años para que la empresa fuera atractiva al momento de ponerla a la venta. Otros competidores optaron por la fusión entre aerolíneas con el fin de tener más cobertura y menos costos; por ejemplo, dos aerolíneas que viajan al mismo destino el mismo día, casi a la misma hora y cada una con una ocupación de sus asientos disponibles a 40%, decidieron fusionarse y establecer un solo vuelo, el cual incrementaría su nivel de ocupación de 75 a 82%; esto permitió disminuir costos, pues en vez de pagar el mantenimiento de dos aviones sólo se paga uno. También se redujeron los costos en la gasolina, los sueldos de la tripulación, la utilización de las instalaciones de aeropuertos y otros gastos.

El objetivo de todas las empresas es hacer dinero, sin embargo, no todo el tiempo es posible generarlo en las cantidades deseadas, de ahí la importancia de la planeación estratégica que permita establecer objetivos claros hacia dónde se dirige el negocio y qué se espera de él financieramente, aunque esto signifique que en el plan haya pérdidas financieras.

En el plan de los accionistas se pueden definir diferentes estrategias para mejorar la rentabilidad.

Si se analiza desde un punto de vista muy sencillo, la rentabilidad es la división aritmética ingresos/gastos. De esta forma, se puede implantar una estrategia para hacer más grande el numerador, es decir, tener más ingresos, o hacer más chico el denominador, o sea, reducir los costos de la compañía.

Para aumentar los ingresos se puede planear incrementar la base de ventas, ya sea a través de un mayor número de vendedores o mediante la adquisición de empresas de la industria (comprar cartera). También se pueden subir los precios, siempre que los análisis de la demanda por el impacto en este cambio lo permitan.

Si se desea reducir los costos se pueden establecer planes de optimización. En la mayoría de las industrias, el recurso más caro es el humano, de ahí la necesidad de buscar siempre nuevas maquinarias, sistemas y programas de mejora continua en los procesos operativos, que permitan tener un incremento de la productividad de la empresa, es decir, hacer más con los mismos recursos. Las ideas de la planeación se ejemplifican en la tabla 9.1.

- b) *Clientes.* La planeación enfocada al cliente es indispensable en las empresas, tanto de manufactura como de servicios. Debido a la globalización se pueden encontrar productos de todo el mundo, con la misma calidad o mejor que la que se produce localmente, y sobre todo, a un costo

Tabla 9.1 Planes y recursos

Plan estratégico	Plan táctico	Recursos necesarios
Incrementar los ingresos de 1 000 MDP a 4 500 MDP en 2011. El plan se establece en 2008, pero con una visión a cuatro años. En el plan se especifica el resultado final y los parciales (cada año).	Ingresos en 2008 1 800 MDP Incrementar la base de vendedores de 40 a 75.	Inversión en recursos humanos. Establecimiento de un plan de incentivos por ventas.
	Ingresos en 2009 3 000 MDP Adquirir cartera de otros competidores por 1 200 MDP.	Compra de al menos un competidor con una cartera por 1 000 MDP. Compra de cartera de competidores menores de acuerdo con el perfil del cliente entre 200 a 500 MDP.
	Ingresos en 2010 3 700 MDP Aumentar precio entre 20 y 25%.	Plan de comunicación para clientes.
	Ingresos en 2011 4 500 MDP Plan de mercadotecnia agresivo en medios de comunicación masivos.	Financieros para fondeo de planes de mercadotecnia en promoción y publicidad (televisión, radio, medios impresos).

menor. Los enfoques en la diferenciación de producto se hace cada vez más importante. Para definir la planeación, es necesario mantener una constante retroalimentación con los clientes y con las áreas de la empresa que están en contacto directo con ellos, de tal manera que los objetivos y procesos de la empresa se orienten a satisfacer sus necesidades. La planeación no sólo implica establecer el producto o servicio que se debe generar para satisfacer al cliente, también debe incluir medios de retención de clientes y preparar las áreas de atención a clientes, que cada vez son más requeridas por los consumidores. La mayoría de los productos de consumo masivo tiene en sus empaques teléfonos a los cuales se puede marcar para comunicar quejas, oportunidades de mejora en los productos o simplemente para conocer el servicio posventa que está ofreciendo la empresa productora.

Una empresa sin clientes satisfechos es una empresa que en el mediano plazo desaparecerá si no reacciona y se adapta a las necesidades de los clientes. Antes de la apertura comercial del país, había pocas opciones en diferentes servicios y productos, que en muchas ocasiones se vendían a precios altos y con una calidad que no cubría las necesidades reales de los consumidores. Hoy en día, al existir una gama tan grande de productos, el enfoque al cliente se hace indispensable para mantener a una empresa dentro del mercado.

En la planeación enfocada al cliente, se deben establecer objetivos claros de los productos o servicios que se van a ofrecer, por ejemplo, la calidad en términos de durabilidad, confiabilidad y precio; el tiempo de respuesta en el cual se solucionarán las quejas y en cuánto tiempo se contestarán las llamadas de los clientes. Y un punto muy importante es considerar qué tipo de herramientas serán necesarias para lograrlo. Esto se liga perfectamente con la planeación de accionistas, ya que implica, en muchos casos, una inversión en recursos que permita generar no sólo el producto o servicio que el cliente requiere, sino los recursos necesarios para la atención posventa.

- c) *Recursos humanos.* En los últimos 15 años, en México las grandes empresas, nacionales y extranjeras, han puesto especial énfasis en la satisfacción del empleado. Hoy en día diferentes medios de comunicación y empresas de consultoría en administración de personal y desarrollo organizacional, dedicadas al análisis de los negocios, establecen

diversos métodos de medición para conocer cuál es el grado de satisfacción de los empleados de una empresa por trabajar en ella. Hay una gran diferencia al comparar este enfoque con el que se tenía al inicio de la administración científica de Taylor, ya que ahora el empleado forma parte integral de la planeación de los objetivos de las compañías.

Las variables que se analizan son muy interesantes, como la remuneración económica al empleado en comparación con puestos similares en otras empresas, el análisis de liderazgo, que incluye cómo son tratados por los superiores, si son tomados en cuenta, si la empresa se maneja con ética internamente y hacia la sociedad, si se puede opinar de manera abierta sin miedo a la represión, si la comunicación fluye en todos los niveles de la organización, y otros aspectos como el respeto a las preferencias religiosas, sexuales o las discapacidades y la forma en que se respeta y alienta la participación de la mujer en los altos mandos.

Las grandes corporaciones compiten por ser reconocidas, nacional o internacionalmente como la mejor empresa para trabajar en ella, pues además de adquirir un renombre nacional, generan la atracción de los trabajadores más talentosos para sus operaciones, ¿a quién no le gustaría trabajar en la empresa donde pagan mejor, tiene mayores prestaciones, se respetan razas, géneros, preferencia sexual y tienen líderes preocupados por hacer que sus equipos mejoren cada día?

Estos conceptos han sido introducidos en México por empresas extranjeras, sin embargo, grandes corporaciones mexicanas se mantienen en los primeros lugares, año tras año, ya que manejan la filosofía de que empleados satisfechos generan clientes satisfechos. Los objetivos deben ser claramente establecidos, así como los métodos de medición del desempeño, tanto internos como externos, para competir y ocupar un buen lugar en los resultados de los análisis que hacen los medios y las empresas dedicadas al desarrollo humano. Este tema es algo subjetivo, pues involucra en muchos casos la percepción del empleado, y por ende, suele ser complicado de medir. El medio más utilizado son las encuestas de satisfacción parametrizadas, que permiten, a través de modelos matemáticos, establecer en qué medida se encuentran satisfechos los empleados.

Está demostrado que tener empleados satisfechos genera una mayor calidad en los productos

y servicios producidos por las empresas. El hecho de que un ser humano se sienta parte integral de un grupo, como en un equipo de fútbol, un club social o el grupo de amigos de la escuela, hace que se involucre más con los resultados de la compañía, y que su compromiso y lealtad sean mucho mayores, respecto de una empresa donde el empleado se siente explotado, sin ser tomado en cuenta, en un ambiente hostil y de administración autoritaria.

La planeación de los objetivos de los empleados incluye la contratación de gente experta en el ámbito directivo, para lo cual se recurre a empresas especializadas en buscar talento con características específicas. Estas organizaciones son conocidas como *head hunters* (cazadores de cabezas o traducido al ámbito laboral, cazadores de talento). Estas prácticas son comunes en las grandes empresas debido a que al tener objetivos cada vez más ambiciosos se requiere contar con el mejor personal disponible en la industria para asegurar de que se puedan cumplir con los objetivos en tiempo y forma.

- d) *Responsabilidad social*. Este concepto apareció en el país hace al menos 15 años y ha tomado mayor importancia en los últimos días. Este concepto se encarga principalmente de evaluar las actividades que realizan las empresas en relación con el tema ambiental, tanto en tratamiento de desperdicios, basura, ahorro de energía y agua, como en actividades que ayudan a la conservación del medio ambiente como reforestación de zonas ecológicas. El gobierno federal ha establecido premios y reconocimientos en todo el país en relación con este tema. Hoy en día, se pueden ver en empaques de productos, sellos, publicidad, etcétera, de diferentes empresas la leyenda: "Empresa socialmente responsable", en cumplimiento con muchas de las normas y parámetros establecidos para que se considere a una empresa con estas características.

Los objetivos como parte de la planeación de la empresa

Para que la planeación sea exitosa, deben establecerse objetivos que cumplan con las siguientes características:

- a) Claros
- b) Medibles

- c) Alcanzables
- d) Retadores

- a) *Claro*. Cuando un objetivo es claro no requiere mayor interpretación, si se redacta en una frase sencilla será mucho mejor, ya que hay que recordar que será comunicado a todos los niveles de la organización. Esta parte del proceso de planeación es una de las más complicadas, aunque aparentemente parezca sencillo establecer qué se espera de la compañía. Todas las empresas quieren ganar más dinero, tener más ventas, gastar menos, lograr más participación en el mercado y contar con más empleados satisfechos, pero definir cuánto se quiere, cómo se quiere y cuánto cuesta lograrlo es la parte complicada. A fin de poder hacer una definición clara, se requiere realizar previamente un análisis de la industria y de los recursos disponibles para trabajar. Aquí es donde interviene la comunicación; ya que se tienen que realizar sesiones de planeación entre las áreas principales de la organización, como finanzas, ventas, producción, recursos humanos, mercadotecnia, etc., para que cada una de las áreas que participarán en el logro de los objetivos, aporten sus comentarios y sugerencias acerca de cómo podrán llegar a cumplirlos de acuerdo con los resultados de otros años, la experiencia adquirida en otras empresas y los recursos con los que disponen.

Por ejemplo, una planta de producción de tornillos anualmente vende 3 000 000 de unidades; uno de sus objetivos es incrementar la venta en 10%. ¿El objetivo es claro? Lo que es claro es que se tendrán que vender 300 000 tornillos más que el año anterior.

Desde el punto de vista del enfoque al cliente, el objetivo sería reducir en 50% sus quejas porque el tornillo se rompe. Para los empleados, un objetivo podría ser alcanzar una calificación de 8.5 (escala 0-10) para este año. En el ámbito de la responsabilidad social, un objetivo podría ser ganar la certificación de empresa socialmente responsable en este año.

Como se puede ver en los ejemplos anteriores, hay un aspecto en común para hacer que un objetivo sea claro y es el uso de números: 10% de ventas, 50% de reducción de quejas, satisfacción de 8.5. Este aspecto lleva al siguiente punto.

- b) *Medible*. Un objetivo que es medible tiene la garantía de que al final del año todos los que se encuentran en la organización conocerán si se logró o no, a menos de que no se cuente con una herramienta disponible para su medición. El hecho de poder determinar el grado de logro del objetivo elimina cualquier

subjetividad que se pueda presentar y hace posible establecer acciones concretas para ir corrigiendo el rumbo de la empresa o área durante el año.

Normalmente, al evaluar los resultados de las áreas y de los empleados, si no se tienen objetivos medibles, se corre el riesgo de obtener sólo percepciones e interpretaciones de la realidad: “yo creo que lo hice muy bien”, “el equipo considera que hicimos un buen trabajo”. A través de objetivos claros y definidos con números, su medición se hace más sencilla. El punto crítico para que sea medible es poder implementar en la organización un sistema de medición que asegure que se podrá observar el resultado final de lo que se trabajó durante el día, mes o año. Este sistema puede ir desde lo más sencillo, como son las hojas de registro y al final hacer la suma total, hasta el uso de sistemas de información que permiten de manera electrónica, a través de bases de datos, explotar datos que muestren diferentes resultados, incluso haciendo comparaciones contra el objetivo final, como porcentaje de logro, comparativos contra el año pasado, etcétera.

Un aspecto importante en la medición de un objetivo es tener acceso a esta información de manera constante, con el fin de que los responsables de su logro sepan qué grado de cumplimiento se ha logrado en el momento de revisarlo. En los últimos años este tema ha tomado mayor importancia debido a la competitividad a la que hoy en día se enfrentan las empresas. El tener información disponible da la oportunidad a la gerencia de tomar decisiones oportunas. En muchas organizaciones, la medición del cumplimiento del objetivo se realiza al final del año. En estos casos, no se permite a las áreas y personas poder corregir el rumbo y tomar las acciones necesarias para lograr el objetivo establecido. Es necesario que la gerencia, junto con sus equipos, realicen una planeación de reuniones en las cuales se dé seguimiento a los resultados obtenidos de manera parcial.

Retomando los objetivos de la empresa de tornillos de nuestro ejemplo, se puede ver en las unidades vendidas contra el año pasado si efectivamente se incrementaron las ventas en 10%. Esta empresa realiza una reunión trimestral (de acuerdo con su plan) para medir el cumplimiento de su objetivo. Como se puede observar en la tabla 9.2 al término del primer trimestre las ventas sólo han aumentado en 1.99% contra el año pasado. El hecho de conocer en ese momento el resultado parcial de su objetivo anual, les permite tomar decisiones que les ayuden a alcanzar el 10% de incremento. Hacia el término del segundo semestre se observa que hay una mejoría y se encuentran en 7.65 por ciento.

Las empresas y los empleados saben muy bien lo que han logrado hasta ese momento y comienzan a planear nuevas estrategias con el fin de alcanzar el objetivo establecido. Al conocer todos las cifras, quedan descartadas, frases como “me he esforzado mucho, pero no he vendido”, “he hecho miles de visitas a clientes”, “no sabía que íbamos tan abajo, si no hubiera hecho algo diferente”, etcétera, de ahí la importancia de manejar todo con números, compartirlos, revisarlos y reestablecer nuevos planes.

Para dar formalidad al proceso de medición de objetivos, muchas empresas utilizan lo que se denomina *scorecards* o tarjetas de resultado, en las que a través de una tabla muy sencilla se establecen los diferentes objetivos del área y su correspondiente medición. Esta herramienta utiliza simplemente números, los plasma en una hoja y va registrando el resultado parcial. Un *scorecard* sencillo pero típico se muestra en la tabla 9.3.

c) *Alcanzable*. Uno de los aspectos que pueden causar mayor frustración a una organización o persona es tratar de lograr algo que humanamente es imposible. Como se vio antes, es muy importante que todas las áreas participen en la definición de objetivos, éstos tienen que ser realistas conforme a los recursos que dispone la empresa.

Tabla 9.2 Análisis mensual de ventas

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Ventas acumuladas 2009	256 200	622 071	880 159	1 469 278	1 814 369	2 104 897
Ventas acumuladas 2010	265 257	637 842	897 656	1 557 141	1 912 345	2 104 897
% incremento 2009 vs. 2010	3.53	2.54	1.99	5.98	5.40	7.65

Reunión de medición de objetivos Reunión de medición de objetivos

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Ventas acumuladas 2010	2 155 716	2 345 900	2 421 991	2 572 882	2 812 912	3 000 000

Tabla 9.3 Scorecard

Objetivo	Resultado alcanzado				
	Medición	Malo	Esperado	Bueno	Excelente
Incremento en ventas	10%	Menor a 9.50%	Entre 9.51% a 10.5%	Entre 10.51 a 12%	Arriba de 12%
Reducción de quejas	50%	Menor a 45%	Entre 45.01 a 55%	Entre 55.01 a 65%	Arriba de 65%
Evaluación de empleados	8.5%	Menor a 8%	Entre 8.01 a 9%	Entre 9.01 a 9.5%	Arriba de 9.5%
Certificación de empresa socialmente responsable	Certificado	Sin certificado	Certificado		

La definición de objetivos puede ser un proceso muy sencillo. Tómese el ejemplo de un joven estudiante, que como tal tiene una secuencia académica (grados escolares, que van ligados a planes de estudio = planeación de la educación) sobre la cual se establecen objetivos alcanzables (aprobar las materias tomando los cursos y aprobando los exámenes). Sería ilógico pensar que el objetivo a tres años de una persona que acaba de entrar a la preparatoria sea graduarse en ingeniería industrial, ya que no tiene los medios (conocimientos) para lograrlo.

De igual forma, en la empresa se debe hacer un análisis profundo de la situación de la industria, de la compañía y de los recursos disponibles para definir los objetivos de manera que sean alcanzables para todas las áreas y personas involucradas. Normalmente, las empresas establecen para el plan de cada año incrementar sus resultados contra el año anterior (como en el ejemplo de la venta de tornillos, cuyo objetivo era aumentar las ventas 10% respecto del año anterior), ésta es una base muy sencilla para determinar que el objetivo sea alcanzable de acuerdo con las tendencias de los últimos años; es decir, se puede analizar cómo ha ido creciendo la empresa año con año y determinar el promedio de los últimos tres periodos. Esto, aunque no es una garantía, se basa en tendencias y permite a las personas que determinan los objetivos tener un buen grado de certeza de que podrán lograrlos.

Por otro lado, cuando las empresas deciden establecer objetivos más ambiciosos, ya sea para incrementar el negocio o en épocas en las que se deben reducir gastos debido a la situación de la industria (por ejemplo, el ramo aeronáutico en los años 2001-2002) tienen que hacer un análisis mucho más profundo de los recursos y estrategias que seguirá la organización para poder alcanzar los objetivos.

¿Qué sucede en una fábrica cuando la alta gerencia decide reducir el número de operarios en 50% debido a que la mano de obra es demasiado cara para los costos

de operación y se debe seguir produciendo la misma cantidad de productos? La solución más sencilla, aunque menos eficaz sería reducir en ese porcentaje al personal, sin embargo, la otra mitad restante no estará en capacidad de producir la cantidad de unidades requeridas por sus clientes, no por falta de ganas, sino porque aunque trabajaran las 24 horas del día, no alcanzarían a hacerlo debido a que las máquinas con las que cuentan no son las adecuadas (por velocidad de elaboración del producto, calentamiento después de cierto tiempo de uso en la jornada de trabajo u otros factores). ¿El objetivo es alcanzable en las nuevas condiciones? Desde luego que no, porque los recursos disponibles, tanto humanos como en maquinaria, no son los óptimos para lograrlo.

La siguiente pregunta sería: ¿qué se debe hacer para lograr 50% de reducción en el número de operarios en la planta? Se tienen al menos dos opciones: implementar procesos de mejora continua, o hacer cambios radicales (lo que en la década de 1990 se denominó reingeniería).

La mejora continua es un proceso de optimización de la producción, en el que la eficiencia en el uso de los recursos humanos se logra de manera gradual. Tal vez para este año se reduzca 10% haciendo modificaciones en los procesos operativos, para el 2007 será otro 10%, y así hasta lograr 50% solicitado. Esto no implica grandes inversiones para la empresa, ya que las mejoras básicamente se enfocan en la forma de trabajar de la gente.

Por otro lado, si la decisión es reducir en un solo año 50%, entonces la solución tiene que ser radical y eso implica, a su vez, reemplazar la maquinaria que se está utilizando en el proceso. En este ejemplo, las máquinas que emplean los operarios tienen una antigüedad de 10 años, y hoy en día se pueden comprar nuevos equipos con una eficiencia tal, que permiten producir, por persona, 60% más de aquella producción lograda con la maquinaria tradicional.

La siguiente pregunta que se hace la alta gerencia al establecer un objetivo alcanzable es: ¿se tiene el dinero suficiente para comprar el equipo necesario a fin de lograr el objetivo? Si la respuesta es no, habría que preguntarse si el objetivo es alcanzable. Este tipo de análisis requiere tiempo, ya que en las sesiones de planeación se deben integrar muchos datos que permitan establecer objetivos correctos. Esto significa que en las reuniones se deben tener preparados datos de productividad de los operadores, por ejemplo, cuánto se podrá reducir el costo de operarios con un plan de mejora continua. Las cifras deben ser analizadas previamente por los expertos en ingeniería. En relación con el reemplazo de equipo, el área de producción debe tener información actual y confiable de la nueva tecnología disponible en el mercado, los beneficios que aporta y sus costos.

Finalmente, la alta gerencia podrá definir un objetivo alcanzable en la medida en que tenga información disponible sobre el tema que quiere definir: ventas, costos, recursos humanos, tecnología. Para esto, cada una de las áreas deberá involucrarse en las sesiones de trabajo y estar comprometida en hacer un análisis adecuado de lo que inicialmente se establece como objetivo.

d) *Retador*. Un objetivo debe ser un reto para quien lo va a ejecutar; el reto es una fuente de motivación para el ser humano. Si la realización de algo cuesta mucho esfuerzo y se realiza, lo que se disfruta es el logro.

Establecer objetivos retadores involucra una serie de beneficios para las personas que lo logran y también para quienes no lo alcanzan. En principio, un reto genera muchas sensaciones para el humano: incertidumbre, emoción y, sobre todo, para la gente que le gusta triunfar genera la necesidad de innovar y de crear nuevas cosas. Además, el hecho de innovar propicia que cada persona descubra habilidades que desconocía tener, como trabajar bajo presión, ser analítico, adquirir buena expresión oral y liderazgo situacional. Un reto abre las posibilidades de involucrarse a lo que uno nunca pensó. Al conseguir paso a paso los retos, la autoestima se incrementa y nos sentimos con la confianza para lograr retos aún mayores. Así se construyen las historias del éxito, de gente que vio los retos como oportunidades de crecer y no como problemas. En la lucha por conseguir el objetivo, desde luego, se puede fracasar y la frustración tiene un impacto muy importante en las personas, sin embargo, fallar tiene también un impacto positivo: ayuda a descubrir que se pueden hacer mejor las cosas, que se debe cambiar para mejorar.

En las empresas, específicamente en los distintos departamentos, el reto también puede llegar a generar un mejor trabajo en equipo, siempre que el líder proporcione

los medios adecuados para que esto suceda. El objetivo planteado debe inspirar a querer lograrlo, y a obtener lo mejor de cada persona dentro de la organización para conseguirlo.

La organización

Una vez definida la planeación, la siguiente etapa en el proceso administrativo es la organización, es decir, cómo se distribuirán el trabajo y los recursos dentro de las diferentes áreas que conforman la empresa. En esta etapa ya se sabe qué es lo que se debe hacer, entonces, hay que establecer quién lo debe hacer. Para ello se puede realizar un ejercicio que vaya de lo general a lo particular, en el que se analiza la estructura organizacional de la empresa y se define, de acuerdo con su perfil (conocimientos, experiencia y actividades), el área indicada para hacerlo y, dentro del área, a la persona correcta para realizar cada actividad. En el caso del crecimiento en las ventas de la fábrica de tornillos, primero se analiza en detalle el objetivo y eso dará la guía para poder organizar quién o quiénes son los más adecuados para realizar la actividad.

El plan es incrementar las ventas en 10% respecto al año anterior. Este objetivo inicialmente depende del área de ventas, así que se analiza la estructura organizacional del área de ventas, donde por lo general existe una subárea encargada de los productos estrella, o sea, los que más se venden (el tornillo de $\frac{3}{4}$ de pulgada tiene mayor potencial de venta) y dentro de esa misma subárea hay tres vendedores, quienes se han dividido la República Mexicana en tres zonas, norte-centro, sureste y suroeste. En el análisis de demanda que se realizó, se detectó una gran oportunidad en la zona norte debido a que actualmente hay un gran auge de fábricas de manufactura. ¿Quién será el grupo de ventas y la persona más adecuada para realizar la venta del producto estrella? Es evidente que el vendedor de la zona norte-centro será el más indicado para hacer esta tarea, sin embargo, la siguiente pregunta es: ¿tendrá el tiempo suficiente para lograr incrementar las ventas él solo? En caso de que, con base en su experiencia, sepan que no lo logrará, entonces se tendrán que reorganizar los vendedores de otras zonas para darle apoyo.

Una forma muy sencilla de esquematizar la organización de objetivos dentro del proceso administrativo es la denominada "Cascada de la organización". A través de ésta se observa cómo se va de lo general a lo particular; el proceso de organización es como una cascada y en cada uno de los escalones se encuentra un área, grupo o persona (véase figura 9.1).

Otro aspecto a considerar dentro de la organización son los recursos destinados al cumplimiento de los objetivos. Toda empresa cuenta con recursos limitados y debe

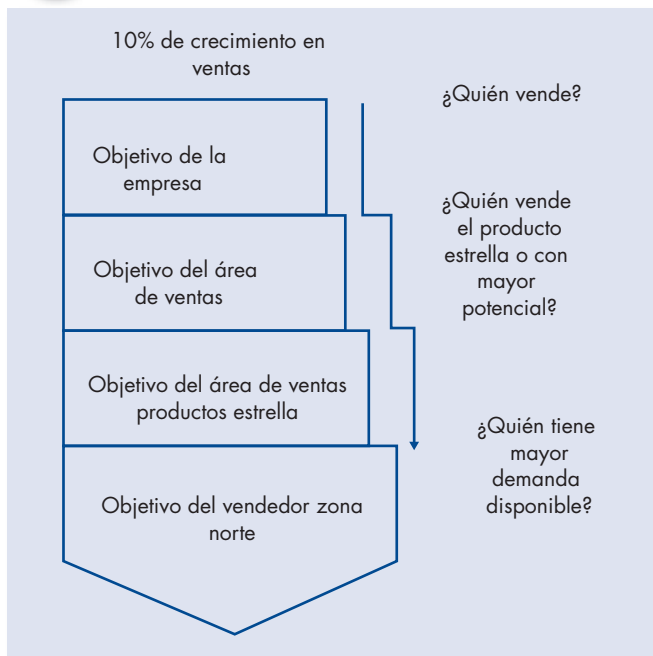


Figura 9.1 La cascada de la organización.

repartirlos de forma óptima para que todas las áreas involucradas puedan tener acceso a personal, dinero y equipos que les permitan alcanzar la actividad encomendada.

Para organizar de manera adecuada al personal y los recursos financieros, nuevamente es necesaria la comunicación entre las áreas que trabajarán para lograr los objetivos. La experiencia juega un papel importante, ya que los proyectos o trabajos anteriores permitirán tener una visión más clara de las actividades, horas, gente y dinero requerido para alcanzar lo que solicita la gerencia general.

Otro aspecto muy importante a considerar son las prioridades en el proceso de organización. Pongamos un ejemplo; ¿cuántas ocasiones ha sucedido que usted quiere ir al banco, a comprar algo para comer, a pagar en la tesorería y llevar a su novia a la escuela, todo antes de las 9:30 horas? ¿Qué se debe hacer primero? Nuevamente el análisis de las variables que están en juego deciden cuál debe ser la primera actividad. Tal vez llevar a la novia a la escuela porque si no llega a tiempo no la dejarán entrar; después, ir al banco para tener dinero y poder comprar la comida y, al final, pagar en la tesorería. En una empresa sucede exactamente lo mismo, todos los objetivos son importantes y se tienen que cumplir, sin embargo, se puede dar prioridad, según convenga, en tiempo y en recursos requeridos para alcanzarlos.

En el proceso de organizar se debe considerar siempre a la comunicación. De nada serviría establecer quién hará determinada actividad, si no lo sabe hacer o no sabe que debe hacerlo. Una interacción oportuna con las áreas

correspondientes permitirá a los responsables hacer una planeación más adecuada de sus actividades y, a su vez, conocer qué se espera de ellos.

La ejecución

Como su nombre lo indica, es simplemente ejecutar lo que se ha planeado y organizado. Esta etapa del proceso administrativo se enfoca básicamente en dos factores: el nivel de capacidad y la competencia de la persona quien ejecuta; pero, tal vez aún más importante, es la capacidad del liderazgo que se puede ejercer en las personas para que alcancen lo que se espera de ellas.

Para llevar una correcta ejecución de los objetivos establecidos, todas las personas deben tener claro lo que se espera de cada quien y también cómo se estima que se haga en tiempo y forma. Para cumplir el objetivo, la gerencia deberá tener un plan establecido que describa actividad por actividad, el responsable de cada actividad, el tiempo requerido, la fecha compromiso para terminarla y los recursos que son necesarios para lograrla.

La ejecución permite al empleado (siempre y cuando lo quiera) explotar todas sus capacidades para alcanzar el objetivo establecido. Esta etapa, como se mencionó anteriormente, está enfocada más al líder que al colaborador, pues de la forma en que éste enfoque los objetivos, delegue responsabilidades y motive a su equipo dependerá, en gran medida, que el grupo lleve a buen término lo que se espera de él.

La ejecución involucra la capacidad y la competencia de la persona o grupo que hace las actividades para lograr el objetivo. Hay que considerar, dentro de la capacidad, el nivel de conocimientos y las habilidades que tiene la persona, pues esto sí afecta la ejecución de las actividades. ¿Qué pasa si a un contador se le pide elaborar una fórmula para inventar un nuevo perfume? ¿Si a un ingeniero se le solicita que aplique un estudio psicométrico a una persona? ¿O si a un beisbolista se le pide que sea jugador de fútbol profesional el día de mañana? Tal vez, en todos los casos la persona tenga ganas de realizarlo, pero no cuenta con el conocimiento o la habilidad requerida para lograrlo, es decir, no es competente. Podría ser un experto en lo que hace, pero ahora se le pide que haga algo totalmente distinto de lo que hacía antes. Seguramente habrá personas que lo logren, pero habrá algunas otras que no, pues no tienen la misma destreza, la misma capacidad organizativa, la misma edad, etc. Esto lleva a que la persona llegue al denominado "nivel de incompetencia", el cual existe para todas las personas en el mundo. Cada uno de nosotros llega a un punto en el que ya no podemos realizar lo que deseamos, lo importante es que cada quien conozca su propio nivel de incompetencia.

Cada año todas las organizaciones se enfrentan a nuevos retos derivados del ritmo tan dinámico que tenemos hoy en día. Normalmente, las empresas y los empleados no están preparados para enfrentar todos los retos, lo cual implica tener que aprender sobre la marcha y, muchas veces, ejecutar aspectos nuevos y poco conocidos, tanto para la gerencia como para los colaboradores; sin embargo, si el equipo se siente capaz y motivado para lograrlo, será suficiente (siempre que no se pida algo radicalmente distinto, como los casos antes mencionados). Algo que el líder deberá considerar es la preparación de su equipo; aunque dentro de la organización es muy difícil impartir maestrías y/o diplomados sobre temas específicos para preparar a los empleados, es importante que al menos se impartan pláticas y cursos breves a fin de que se pueda tener un panorama de qué es lo que la organización está buscando y guías sobre cómo podrían lograrlo.

Por ejemplo, véase la planeación de la satisfacción de los empleados. Esto es algo relativamente nuevo en el país, sin embargo, no significa que las empresas no trabajen para conseguir ser reconocidas y tener contento al personal que colabora en ellas. El objetivo es claro, puede ser una calificación interna o tener el reconocimiento en el ámbito nacional como un excelente lugar para trabajar. Si bien no hay cursos de satisfacción del empleado, porque cada empresa es diferente y tiene necesidades distintas, sí hay puntos que se evalúan y sobre ellos se deben establecer actividades que permitan alcanzar el objetivo. En el caso de que las empresas evalúen el desempeño de sus empleados (reconocer el buen trabajo realizado), se deben establecer las actividades que estarán relacionadas con este tema. Siguiendo el ejemplo, la gerencia deberá tener claro qué casos son los que tendrá que reconocer, en caso de que el trabajador exceda la meta que se le ha planteado. ¿Qué pasa si un colaborador en lugar de producir 100 tornillos al día, produce 150? Se puede reconocer su trabajo de varias formas: darle un incentivo económico por alcanzar una producción mayor, un reconocimiento verbal, o por escrito, y dependiendo del grado de reconocimiento se le podrían otorgar diversos premios, como regalos o viajes.

El punto importante de la ejecución es precisamente eso, "ejecutar", no existe otra forma de lograrlo más que hacerlo. Con relación a la satisfacción de los empleados, el líder deberá tener información disponible para detectar cuando un empleado excede las expectativas y, en consecuencia, realizar ciertas acciones que permitan al colaborador sentir que su buen trabajo es reconocido.

La ejecución implica llevar la teoría a la práctica, el objetivo a un plan y un plan a acciones concretas que se inician y concluyen en el tiempo planeado. Como parte de la evaluación que hacen las empresas de su personal,

hay algunas que consideran el denominado "coeficiente de ejecución", que consiste en una simple división de los objetivos concretados entre el total de objetivos establecidos. Llevando esto a un nivel más detallado, se podrían describir actividades para que también se evalúe de la misma forma al empleado.

Esto implica también, en muchas ocasiones, llevar varios objetivos y actividades al mismo tiempo. La habilidad y la capacidad organizativa del gerente, así como la de los colaboradores, permitirán a una persona definir cuántas actividades puede ejecutar de manera simultánea. Esto no significa, por ejemplo, que haga tornillos, venda y cobre al mismo tiempo, sino que tenga la habilidad de organizar su día de acuerdo con los objetivos definidos, de modo que ejecute uno por uno y cuando llegue la fecha podrá tenerlos todos concluidos.

El control

Es la última fase del proceso administrativo y se enfoca al aseguramiento de los resultados. Como se vio antes, en muchas ocasiones, la empresa sólo revisa el resultado al final del plan, lo cual es un error muy grave de la gerencia, ya que asumir que algo quedó claro y se está ejecutando sin contratiempos es como vendarse los ojos y ponerse una pistola en la cabeza, ya que los resultados podrían ser muy distintos a lo esperado.

Para lograr un buen control hay cuatro elementos principales y todos están apoyados por la comunicación:

- Revisión de los planes.
- Datos numéricos disponibles (esperados contra reales).
- Acciones correctivas.
- Seguimiento.

Para ejemplificar lo anterior, a continuación se plantea un caso extremo que podría suceder en una empresa que no diera la debida importancia al control.

En la empresa de tornillos se detectaron dos plagas, una de moscas y otra de abejas, por lo cual se asignó al área de mantenimiento el objetivo de acabar con los nidos ubicados en dos esquinas de la planta principal (planeación y definición de objetivos). El jefe del área destinó dos grupos de trabajo y un presupuesto de gasto de 200 000 pesos para acabar con el nido de abejas y 10 pesos para el de moscas (organización tanto de recursos humanos como financieros).

El grupo asignado para las abejas decidió acabar con el nido usando una bazuca, que tiene un precio de 190 000 pesos, y contratar a una persona que les ayude a manejarla,

debido a que ninguno es experto en ello (ejecución). El grupo orientado a las moscas decidió alcanzar su objetivo comprando un matamoscas de ocho pesos.

La gerencia no llevó a cabo reuniones para asegurarse de que el equipo haya entendido el objetivo y lo que se espera de ellos (control); solamente dio la instrucción, una fecha de cumplimiento y les indicó con cuánto dinero contaba cada uno. Por otro lado, los colaboradores tampoco tuvieron la iniciativa de preguntar qué podrían hacer, es decir, no tuvieron una sesión donde definieran el plan, qué se esperaba de ellos y qué beneficios traería a la empresa dicho plan.

Al llegar la fecha comprometida para cumplir el objetivo, se hizo una revisión de los resultados. El grupo enfocado a las abejas efectivamente acabó con el nido, sin embargo tuvo que pagar 200 000 pesos más por reparaciones a los daños generados al edificio. El objetivo se cumplió, pero lo que habrá que preguntar es si este gasto y la forma de hacerlo pudieron haber sido diferentes si la gerencia hubiera aplicado los cuatro pasos de control mencionados.

¿Qué hubiera sucedido si en la revisión de los planes (primer paso) el gerente detecta que el equipo compraría una bazuca para acabar con el nido?, ¿los habría dejado seguir con el plan o se los habría cambiado?, ¿qué hubiera sucedido si al reunirse con ellos hubiera descubierto que el costo de la bazuca era de 190 000 pesos más 10 000 de un operador?, ¿el gerente hubiera dejado que la compraran? Si el gerente se hubiera dado el tiempo de hacer las dos primeras fases del control, habría estado en posición de corregir (tercera fase) y tomar decisiones correctas, mejorando lo que los equipos planeaban y hacían. La gerencia es la que orienta las acciones y decisiones de sus equipos.

Una vez que el gerente hubiera conocido el plan de la bazuca, hubiera tenido que asegurarse de que no se comprara y que se estableciera un nuevo plan, volver a revisarlo y, finalmente, ver el progreso que tenían en el exterminio del nido (cuarto paso).

Por otro lado, el grupo de las moscas también alcanzó su objetivo, acabó con el nido gastando 10 pesos en todo su plan. Si bien es cierto que éste es un ejemplo exagerado, la mayoría de las empresas caen en este tipo de situaciones al no asegurarse de que lo que se está pensando y haciendo es lo que realmente esperan. Realizando un adecuado control de lo que se ejecuta, se eliminan muchas barreras y malos entendidos como: “yo pensé”, “yo creí que había querido decir que...”, “yo supuse que lo iba a hacer entender”, etcétera.

El control también se refiere en gran medida a lo que es la eficiencia y la eficacia. En términos generales, la eficiencia se refiere a los recursos (cuántos recursos se requieren para lograr un objetivo) y la eficacia se enfoca en

el resultado. Actualmente, las empresas tienen que mirar ambas dimensiones en forma muy estrecha y entender que el primer punto es la eficacia. Todas las empresas y las personas quieren triunfar, todos desean obtener una calificación de diez en la escuela, todos quieren graduarse y tener un buen empleo, hacer dinero, tener un cónyuge, etc. La eficacia analiza si se consiguió o no el resultado. En el ejemplo de las moscas y las abejas podemos decir que tanto la bazuca como el matamoscas son métodos eficaces para acabar con el nido, ya que en ambos casos se logró exterminar la plaga.

La eficiencia, por otro lado, como se mencionó, se enfoca al uso de recursos para alcanzar el objetivo. Regresando al mismo ejemplo, el equipo de las abejas gastó 400 000 pesos, mientras que el de las moscas sólo 10 pesos. ¿Cuál fue más eficiente?

En las empresas de hoy en día la competencia es cada vez mayor y se tiene que trabajar con márgenes de ganancia cada vez menores, por eso es imprescindible que todos los colaboradores estén conscientes de que no sólo es necesario alcanzar el resultado, sino obtenerlo al mínimo costo. La aplicación de los cuatro pasos de control mencionados dará la oportunidad de confirmar si efectivamente se alcanzará el resultado (eficacia) y si se están utilizando los recursos en forma adecuada (eficiencia).

Para llevar un buen control se recomienda hacer revisiones mensuales con los responsables de las áreas. Llevar el seguimiento de los objetivos establecidos en la etapa de planeación y, a su vez, realizar las revisiones a los planes de trabajo establecidos. Un gerente que no sabe lo que sucede dentro de su área, no sabrá las decisiones que debe tomar para que sus subalternos trabajen en forma óptima.

Como se ha visto a lo largo de este capítulo, el proceso administrativo proporciona la guía básica para llevar de una manera ordenada las actividades, ya sea de nuestra empresa, de nuestro día o de cualquier cosa que se quiera hacer. También se ha visto que estos cuatro pasos están interrelacionados entre sí y que cada uno marca la pauta para la ejecución del siguiente.

En resumen, una empresa debe planear su futuro estableciendo los objetivos que tiene definidos, considerando cuatro aspectos: accionistas, clientes, empleados y responsabilidad social. Una vez definidos éstos, se tienen que establecer objetivos en mayor detalle que deberán distribuirse a todas las áreas de la empresa. Posteriormente, se deben organizar los recursos que trabajarán para alcanzar los objetivos, ya sea humanos, tecnológicos y/o financieros. Esto permitirá hacer el siguiente paso de la cadena; en la planeación, se debe saber cuál es el objetivo y en cuánto tiempo se debe lograr; en la organización, se debe saber quién y con cuáles recursos se va a lograr. Después, se ejecuta el plan, en el que cada persona realiza

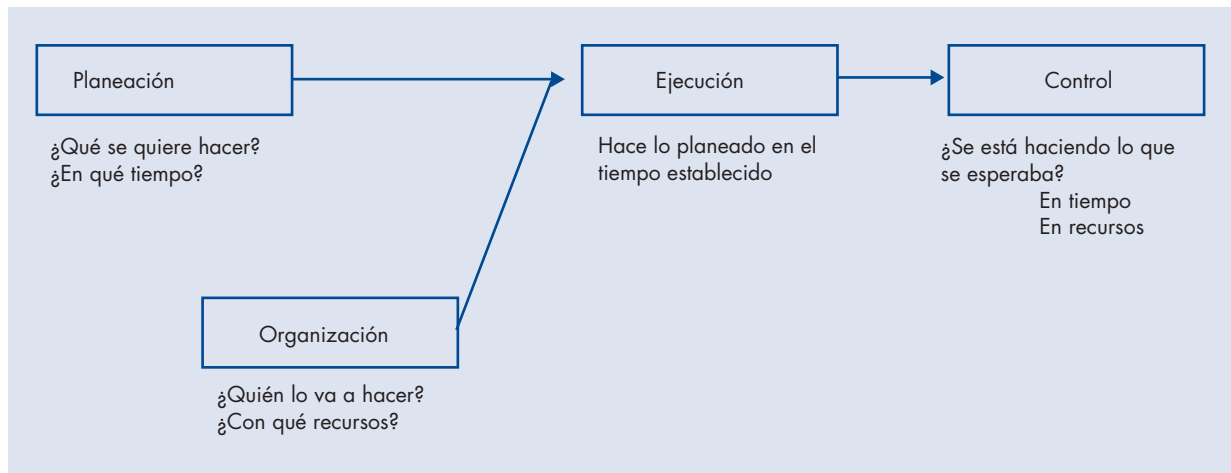


Figura 9.2 Aspectos para planear una empresa.

las actividades planeadas y que al ir concretando una a una, harán que el objetivo final sea alcanzado. Por último, se aplica la parte de control en la que se asegura que lo planeado es lo que sucede en la realidad, y de no ser así, se toman las acciones correctivas necesarias para que se logre lo establecido inicialmente.

Liderazgo

El liderazgo es un tema que a través del tiempo se ha analizado, encasillado y revolucionado; para algunos es un tabú, para otros es ciencia ficción y para muchos es la base de una administración efectiva. Hoy en día, por la dinámica de la economía en la que las fronteras se han eliminado de manera total y las organizaciones experimentan cambios constantes, contar con líderes se ha convertido en la base para mantener a las empresas al día y para que sean competitivas dentro de la industria en la que participan.

Más adelante se revisarán los conceptos generales de liderazgo y los estilos que más comúnmente se pueden encontrar en las organizaciones. También se analizarán las características del líder, las diferencias entre un administrador y un líder dentro de una empresa y cómo se complementan éstas para lograr el éxito.

El líder es en esencia la persona capaz de influir en los pensamientos, palabras y actos de otras personas sin el uso de la fuerza.

Por otro lado, el líder se puede presentar en cualquier ámbito, ya sea en el trabajo o en una organización altruista, en la familia, con los amigos, etc. No existe una línea formal de autoridad hacia él, la gente lo sigue y obedece porque lo consideran como el que más sabe o el que más les gusta para que les diga qué hacer; no necesariamente tiene una responsabilidad sobre algún tema o tarea específica.

Es la persona que le gusta crear y actuar sin que necesariamente tenga que hacerlo.

Muchos autores afirman que se nace para líder; para otros, un líder se hace. Lo cierto es que un líder debe contar con ciertas características naturales, pero el factor que realmente lo consolida es la práctica sobre esos dones naturales y el mejoramiento de sus habilidades a través de la experiencia. Ninguno de los grandes líderes de la historia fue aceptado y seguido desde que apareció; en todos los casos hubo un periodo de aprendizaje sobre cómo hablar, cómo comportarse, cómo comprometerse con la gente. Este conocimiento y mejoramiento de las habilidades fue lo que los consolidó como líderes.

El líder existe si hay personas que lo sigan; pero para que haya seguidores, el líder necesariamente debe ser un medio para alcanzar satisfactores que las personas requieran. La mayoría de la gente desea hacer un excelente trabajo, sobresalir y ser valorado. Es responsabilidad del líder lograr que la gente aproveche al máximo sus capacidades a través de algo imprescindible, la confianza para escuchar, apoyar y hablar. Si ésta se pierde, el líder perderá credibilidad y perderá lo que lo hace líder: sus seguidores. La oportunidad que tiene cada líder para llevar a las personas a explotar al máximo su potencial, tanto personal como profesional, es una tarea que engrandece, pues tiene en sus manos el futuro de alguien; es por eso que cada persona que decide ser líder tiene una gran responsabilidad en la vida de cada uno de sus seguidores. Los valores con los que se conduzca dentro y fuera de la empresa, marcarán el tipo de persona que estará a su lado y serán la base para desempeñar sus actividades de manera cotidiana.

El rol del líder ha cambiado en los últimos años. Recuerdese que en los inicios de la administración científica, con Taylor, las empresas se conducían a través del jefe, con

poca participación del empleado y todo se basaba en su autoridad, es decir, en el puesto o posición que tenía dentro de la empresa. Actualmente, los líderes más que jefes, son colaboradores dentro del equipo, alguien que ayuda y apoya a sus empleados, asegurándose de que cuenten con la guía y los recursos necesarios para poder cumplir con los objetivos establecidos. El líder actual ha cambiado el poder que le otorga el puesto que tiene, por la autoridad que le dan sus conocimientos, su confianza y su capacidad de apoyar a su equipo en el logro de sus actividades.

Anteriormente se decía que los empleados trabajan para el jefe, hoy en día el concepto ha cambiado. Ahora, todos colaboran para lograr un objetivo, cada integrante del equipo tiene un rol establecido y el líder es responsable de apoyar para que se cumpla dicho rol.

Es importante señalar que actualmente, para muchas empresas mexicanas, la participación del líder todavía no toma un papel primordial en el éxito del negocio. Se pueden encontrar muchas organizaciones que continúan con un esquema basado en la autoridad, en la cual al jefe no se le puede cuestionar, comunicar, presentar nuevas ideas o discutir las necesidades personales, ya que él, al ser quien "manda", es el único capacitado para pensar, decidir y hacer dentro de su área. Estas organizaciones muy pronto se verán en la necesidad de cambiar o desaparecer.

En las empresas se tienen diferentes estilos de liderazgo (estilo es la forma en la que el líder se conduce dentro de la organización). Una vez que se ha definido quién es el líder, éste será el responsable de hacer que los integrantes de su equipo alcancen los objetivos planteados. Para lograrlo, empleará un estilo de liderazgo que será lo que determine la forma en que administrará a su personal, los recursos y, sobre todo, la manera en que se relacionará con ellos.

El líder normalmente expresa la forma en que quiere que se hagan las cosas y comunica cuál es su estilo de liderazgo y cómo espera que trabajen sus empleados. Cuando el líder no comunica cómo se relacionará con ellos, los colaboradores se ven forzados a entenderlo con la práctica, comprendiendo los mensajes que el líder les da conforme interactúan con él.

Para cada estilo de liderazgo se aplican las siguientes variables:

- A quién se enfoca.
- Cómo lleva el proceso administrativo.
- Cómo ve a sus colaboradores.
- Cómo ejerce su poder en su equipo.

En seguida, se analizan distintos estilos de liderazgo.

■ Líder autocrático

Se enfoca en el líder.

Cómo lleva el proceso administrativo. Él es quien piensa, organiza, decide y lleva un estricto seguimiento de los avances del plan. Considera que él tiene más conocimientos y habilidades para tomar decisiones, aunque no siempre es cierto. Este estilo no necesariamente es malo, se puede aplicar en forma adecuada cuando el equipo con el que trabaja, o un integrante del mismo, es nuevo y tiene poca experiencia. El líder asumirá toda la responsabilidad, ya que él cuenta con más elementos.

Cómo ve a sus colaboradores. Desde su punto de vista, sus empleados trabajan para él y no tienen la capacidad de guiarse y decidir por ellos mismos, por eso él es el jefe y para eso le pagan. El líder no puede delegar prácticamente ninguna responsabilidad y considera que nadie de los que participan en su equipo está preparado para cubrir su responsabilidad en caso de que él no se encuentre.

Cómo ejerce su poder en el equipo. A través de la fuerza y el control; lo que el líder espera de ellos es principalmente obediencia y respeto a todo lo que piense y decida.

■ Líder participativo

Se enfoca en el equipo y sus colaboradores.

Cómo lleva el proceso administrativo. A través de la participación de sus colaboradores, el líder da la pauta para que se hagan discusiones abiertas en las que su equipo pueda opinar y enriquecer las ideas. La decisión final, la toma él, pero considera lo que su gente opina. Este tipo de liderazgo es efectivo cuando se cuenta con un grupo que está acostumbrado a hablar y escuchar de manera que todos tengan la oportunidad de participar y tener en cuenta lo que sus colegas piensan. Otro aspecto a considerar en este estilo es la experiencia que tenga el equipo pues sus participaciones darán mucho más información a todo el equipo. Permite a los colaboradores ir aprendiendo a tomar decisiones y responsabilidades que corresponden al líder y que él delega para que los subalternos vayan experimentando y aprendiendo.

Cómo ve a sus colaboradores. Como una parte integral del equipo, con amplia experiencia y conocimientos de su trabajo y con capacidad para proponer buenas soluciones que ayuden al líder a tomar una decisión rápida y acertada. El líder ve dentro de sus colaboradores gente que

puede cubrir su puesto cuando él se encuentre ausente, pues confía en que el grado de participación y de toma de decisiones ha sido adecuado.

Cómo ejerce su poder en el equipo. A través del diálogo y la conciliación de ideas, sin embargo, está consciente de que en ocasiones deberá ejercer la autoridad y tomar decisiones en forma independiente y cuando la situación así lo requiera.

Líder liberal

Se enfoca en el equipo.

Cómo lleva el proceso administrativo. Sólo realiza la parte de planeación y el resto lo delega al equipo, ellos son los responsables de organizar los recursos, ejecutar y dar seguimiento a los resultados. El líder únicamente pide resultados y sólo es consultado cuando el equipo siente que no tiene todos los elementos necesarios para tomar una decisión.

Cómo ve a sus colaboradores. Al igual que en el estilo participativo, los ve como un grupo experimentado capaz de tomar decisiones basado en sus conocimientos y experiencias; sabe que sus colaboradores se mantienen motivados para alcanzar los objetivos con un seguimiento mínimo. Este estilo solamente se puede aplicar cuando el grupo tiene muchos años de experiencia y hay un verdadero trabajo en equipo; cada uno conoce sus responsabilidades y son capaces de tomar acciones correctivas en el momento en que detectan cualquier situación que pueda desviarlos del resultado esperado.

Cómo ejerce su poder en el equipo. A través de la confianza en sus colaboradores. Basándose en la autoridad formal que le da la organización, hace saber a su equipo que él es quien manda y que sólo hará uso de esa autoridad en caso de que no se pueda llegar a ningún acuerdo con el equipo.

El líder establece su estilo de liderazgo según sus experiencias personales y profesionales, generalmente siempre ejerce el mismo estilo, haciendo que en ocasiones sea complicado para los colaboradores su interacción con él, ya que cada persona cuenta con experiencia propia que le hace ver el trabajo con un enfoque distinto al del líder.

Ken Blanchard maneja lo que denomina el liderazgo situacional, el cual es una mezcla de los estilos de liderazgo. El líder, en este caso, se adapta al colaborador, dependiendo de dos variables: la competencia (conocimientos y experiencia) y el compromiso del colaborador. En el caso

de una persona con pocos conocimientos y poco compromiso se debe ejercer un estilo autocrático. El líder se encarga de decir cómo y cuándo realizará dicha persona sus actividades con el objetivo de ir desarrollando conocimiento y habilidades.

Un colaborador con mayor competencia para realizar su trabajo, pero con un compromiso variable hacia la tarea, se sentirá poco comfortable con lo que realiza, ya sea porque no tiene la experiencia necesaria o porque el trabajo que hace no le es del todo agradable. En este caso, el líder debe tener un estilo principalmente autocrático para darle dirección en sus decisiones y ayudarlo a ser, en ocasiones, participativo, cuando tenga un buen grado de compromiso, con el fin de guiarlo sobre lo que quiere hacer y que vaya adquiriendo la confianza necesaria, hasta el punto en que lo lleve a sentirse cómodo con las tareas que realiza.

Cuando tenga un colaborador con un buen grado de competencia y un compromiso variable, el líder deberá ser autocrático en menor grado y estar más orientado hacia el lado participativo, pues requiere de un menor grado de dirección.

Finalmente, si el colaborador tiene un grado de competencia y de compromiso altos, se tendrá que aplicar un estilo liberal, ya que el empleado es capaz de pensar, decidir y corregir, de manera independiente, y sólo consulta a su líder para pedir apoyo después de haber explorado opciones para conseguir lo que necesita sin haberlo logrado.

Características de un líder

En términos empresariales, el líder es la persona que tiene la autoridad formal; en otras palabras, es el jefe y eso le da formalmente el derecho de decidir y hacer lo que considere necesario para lograr el éxito del área en la que se desempeña.

En la actualidad, esta función se ha transformado y el enfoque se centra en cómo colabora el líder con su equipo, cómo les facilita el trabajo en términos del entendimiento de la empresa y sus objetivos, cómo ayuda para tener recursos disponibles y, sobre todo, cómo propicia el desarrollo de las habilidades, conocimientos y actitudes de los miembros del equipo, para lograr un crecimiento profesional y personal en cada uno de ellos. También es importante que el líder permita que sus colaboradores interactúen con él para que le ayuden a mejorar su liderazgo.

Esta nueva relación de trabajo, hace que los equipos adquieran un alto compromiso, tanto con el líder como con el resto de los integrantes del grupo. Genera, también, un ambiente de trabajo en equipo y, sobre todo, hace sentir al colaborador que cuenta con un apoyo real por parte del líder y que éste tiene la oportunidad de desarrollar al máximo sus capacidades en todos los sentidos.

Recuérdese la definición de líder en términos generales: *es la persona capaz de influir en otra, sus pensamientos y palabras sin el uso de la fuerza.*

¿Cómo logra el líder hacer que esto suceda? Debe contar con varias características y habilidades (naturales y desarrolladas con la experiencia):

- *Debe estar enfocado en servir a sus colaboradores.* Él es el principal promotor del trabajo en equipo; debe apoyarlos con recursos y consejos que ayuden a alcanzar los objetivos de la empresa y ser un *coach* para ir trabajando nuevas habilidades que les permitan desarrollarse dentro o fuera de la organización.
- *Tiene escucha efectiva.* Para que un líder pueda conocer las necesidades de su equipo debe saber escuchar e interpretar lo que sus colaboradores le están transmitiendo. Para lograrlo, es necesario que tenga sesiones grupales y/o individuales con sus integrantes de forma que pueda abrirse un espacio en un ambiente adecuado donde el líder interactúe de manera directa con sus colaboradores. En estas sesiones podrá tratar temas de trabajo y personales. El líder siempre debe tener tiempo para atender a su grupo y demostrar un interés genuino por escuchar lo que sus colaboradores desean compartirle.
- *Tiene conocimiento y lo comparte.* El líder debe conocer lo que sucede en la industria en la que trabaja: si hay problemas, si está en auge, si hay nuevas tecnologías, cómo se encuentra la competencia, si tiene nuevos productos, etc. Esta información adquiere valor cuando la comparte con su grupo, ya que demuestra que posee un gran conocimiento (recuérdese que ese es uno de los factores que influyen en que la gente siga a alguien y, en consecuencia, actúe conforme a lo que el líder recomienda).
- *Ofrece soluciones.* Otro de los factores clave para que un líder se consolide como tal es su capacidad de generar estrategias y soluciones a problemas que se presentan tanto para el área como para una persona en particular. Esto le permite ser una guía o un consejero ante diversos problemas que surjan durante las operaciones de un negocio.
- *Es innovador.* Una de las grandes diferencias entre un jefe y un líder es que el segundo busca siempre innovar, nunca acepta el *status* de lo que existe. Siempre está en busca de mejorar lo que tiene, porque es un eterno inconforme con sus resultados. Su actitud ante el reto permite que

sus colaboradores comiencen a tener ese mismo enfoque siempre y cuando el líder lo comparta y les “contagie” su actitud. Lo más importante es que los resultados se consoliden y que el equipo vea que desafiar los procesos actuales y mejorarlos, además de ser un reto, tiene una recompensa, ya sea profesional (a través del reconocimiento del jefe) o personal. En la generación de soluciones, el líder no es necesariamente quien da las mejores ideas, pero sí debe tener la capacidad de entender que puede haber mejores iniciativas y que él debe ser el principal promotor de ellas, ya que son productos del conocimiento y experiencia de sus colaboradores.

- *Está convencido de que su equipo sabe hacer su trabajo.* Esto obviamente no es un dogma de fe, el líder simplemente da la confianza al equipo para que éste resuelva los problemas que se le puedan presentar y genere soluciones sin la necesidad de consultar todo al líder. Esto también implica poder detectar a la gente que no tiene la capacidad de resolver problemas por sí misma, por lo que el líder debe establecer un estilo de liderazgo adecuado para ayudar al colaborador a mejorar sus habilidades. Si, finalmente, la persona no es capaz de elevar su nivel de desempeño, el líder podría prescindir del colaborador. Este proceso también es un acto de liderazgo (aunque muchos no lo consideran así), porque permite a los buenos colaboradores sentir que el líder es capaz de tomar decisiones difíciles por el bien de la mayoría.
- *Sabe dar y recibir retroalimentación.* Para que una persona se consolide como líder, debe tener algo fundamental: saber explicar a su colaborador lo que está haciendo mal sin que éste se sienta ofendido, insultado o denigrado. El colaborador debe sentir que en su líder puede encontrar un guía, una persona que siempre está al pendiente de su desempeño y que le ayuda a mejorar sus habilidades. En este caso, el colaborador no toma las correcciones del líder como un regaño sino como una oportunidad de mejorar. Algo muy importante y difícil es tener presente que el líder no siempre tiene la razón y que a veces el colaborador no está preparado para dar retroalimentación. Lo anterior dificulta expresar correctamente lo que se quiere decir, haciendo parecer al colaborador como una persona agresiva o que reclama alguna acción al líder. La madurez del líder para enfocar esa situación como una oportunidad de mejora, hará que busque mayor información que le permita conocer en

detalle qué es lo que tiene que corregir. El siguiente paso es no tirar en saco roto lo que el colaborador compartió, ya que al hablar con su líder se genera una expectativa de cambio, que de no cumplirse le hará perder credibilidad y, por tanto, seguidores. Recuérdese que el líder no nace del todo como líder, sino que tiene un proceso en el cual debe mejorar a través de la práctica, por eso es importante que él mismo se dé la oportunidad de encontrar gente que le proporcione retroalimentación oportuna. No debe mostrar molestia alguna al escuchar lo que el colaborador quiere compartir, para que sienta seguridad y estar dispuesto a repetir esta acción las veces que sean necesarias.

- *Dice lo que piensa y hace lo que dice.* El líder debe ser siempre consistente en sus palabras y, sobre todo, en sus acciones. Hay una frase que dice: “las palabras convencen, pero el ejemplo arrasa”; de nada servirá exigir cosas que el mismo líder no está dispuesto a cumplir. En el ambiente laboral se observan muchas situaciones en las que el jefe o líder exige llegar temprano, salir tarde, entregar las cosas a tiempo, conducirse de manera ética, pero él es el único que no lo cumple, ¿por qué?, “porque él es el jefe”. No hay nada más desalentador y desintegrador dentro de un equipo que un líder que no profesa lo que dice. Cuando esta situación se presenta, normalmente los empleados se vuelven contra del líder y pueden suceder dos cosas: que el equipo se acostumbre o se desintegre, ya sea que renuncien o el jefe los quite de su puesto. Lo más triste de todo es que el líder continuará con ese comportamiento a lo largo de su carrera y, finalmente, siempre tendrá una alta rotación en su equipo. Además de la consistencia en sus actos, el líder deberá basar sus acciones en una estructura ética y moral, de acuerdo con los valores de la empresa y los de la sociedad en general buscando ser un ejemplo de bien para su equipo.
- *No impone, negocia.* Una de las características más importantes del líder es que sólo en pocas ocasiones se ve en la necesidad de usar la posición que tiene dentro de la organización para conseguir lo que necesita. De manera normal, platica y negocia las necesidades de su equipo, internamente o con otras áreas. Esto permite siempre establecer compromisos entre las personas.
- *Convierte los problemas y los cambios en oportunidades.* En la vida cotidiana, y en el trabajo, las personas enfocan en forma distinta los cambios y los retos. Habrá gente que siempre vea el cambio

de manera negativa y las situaciones difíciles de igual forma. Para el líder, cada nuevo reto o cambio significa una oportunidad para encontrar nuevos caminos y formas de trabajar, siempre está preparado para el cambio, pues sólo así se logra el progreso.

- *Tiene sentido del humor.* Es muy importante para el líder hacer del trabajo un lugar agradable, ya que esto propiciará un ambiente con poco estrés, pues como parte de la cultura establecida se dan momentos para reír y relajarse. Normalmente se pasa más tiempo en la oficina que en la propia casa y, por tanto, es necesario hacer del lugar de trabajo un sitio agradable en todos los sentidos.

El líder debe llevar a cabo el proceso de liderazgo a través de varias etapas y aplicando las características anteriormente mencionadas. La primera etapa es la denominada “el inicio como líder” y es cuando se le da el poder formal dentro de la organización para que dirija a un grupo de personas. El líder podrá comenzar de dos formas: creando su propio equipo de trabajo, lo cual, por lo general, sucede cuando el área a su cargo es nueva, es decir, no hay nadie contratado a excepción de él; o integrándose como líder de un equipo o un área ya existente. En esta etapa definirá cuál es la cultura dentro de su equipo; los valores que espera sean manejados con sus colaboradores y los lineamientos de interacción.

Una vez que ya existe el equipo, inicia la etapa de “conocimiento del grupo”. Esto se refiere a que el líder establece una evaluación de las características de cada uno de sus integrantes. Cuáles son los antecedentes e información relevante de cada persona; su experiencia laboral, antigüedad en la empresa, participación en otras organizaciones, estudios, edad, familiares, intereses, pasatiempos, etc. Al final de esta etapa, el líder tendrá un perfil de cada uno de sus integrantes y podrá comenzar a definir qué tipo de liderazgo le convendría aplicar por cada persona. De igual forma, deberá compartir información sobre los temas a fin de que sus colaboradores también conozcan cuál es su perfil de líder y se puedan crear lazos de comunicación a través de temas comunes. Por ejemplo, si se sabe que a todos les gusta el básquetbol se podrá platicar el tema y será de interés para la gran mayoría. Crear este tipo de momentos le permitirá al líder generar un sentimiento de pertenencia de él hacia el grupo o, lo que es lo mismo, el equipo dirá “es uno de los nuestros”, independientemente de las diferencias que se puedan encontrar como estatura, aspecto, voz, etc., ya que encuentran temas afines.

La tercera etapa es la comunicación e involucramiento del equipo en los objetivos. El líder debe realizar sesiones

de trabajo para explicar la importancia de conseguir los objetivos y cómo se traducen las acciones que los colaboradores llevarán a cabo para lograrlos. Este punto es vital para la efectividad del líder; en muchas ocasiones, los líderes simplemente comunican por correo electrónico lo que esperan de su grupo durante el año, esto no permite a los integrantes entender la importancia de cada uno, así como la prioridad y recursos disponibles para lograr los objetivos. Es más efectivo que dentro de su explicación se incluya un mensaje como: "sé que cada uno de ustedes ayudará a lograr los objetivos" o "cuento con un gran equipo". También es muy importante que los colaboradores sepan que cualquiera que sea la situación que se presente para alcanzar el objetivo, contarán con el apoyo de su líder.

La cuarta etapa consiste en dar un seguimiento muy cercano al desarrollo de los objetivos, esto permitirá al líder tener el control de desempeño de sus colaboradores y, a su vez, le dará la oportunidad de estar en contacto con su gente. Además, estará demostrando un compromiso verdadero de "el ejemplo arrasa", de que él es el primer interesado en cumplir los objetivos de la empresa y se está asegurando de que se puedan cumplir. Si un líder no está cerca de sus colaboradores dará una imagen de que el trabajo que realizan éstos no es relevante y, por tanto, perderán motivación. Durante esta etapa se aplican varias de las características mencionadas con anterioridad, como la retroalimentación, el ejemplo y la confianza en su grupo.

La quinta y última etapa del liderazgo contempla "la celebración y el reconocimiento". Para todos los integrantes de un equipo es muy motivador festejar los logros obteni-

dos, para esto el líder debe dedicar tiempo y recursos con el fin de reconocer el trabajo bien hecho. La celebración como tal lleva en sí el mensaje: "sabía que lo lograrían" y, sobre todo, es el momento apropiado para que el líder agradezca a sus colaboradores por el trabajo demostrado y el compromiso con la organización y, particularmente, con él. Cuando hay este tipo de actividades se genera un mayor trabajo en equipo y los colaboradores se sienten cercanos al líder, esto a su vez es la semilla para lograr nuevos objetivos. Estas etapas se muestran en la figura 9.3.

Hasta ahora se han visto cuáles son los estilos de liderazgo que se pueden aplicar dentro de una organización, las características de un líder y cuál es el proceso que sigue para desarrollar el liderazgo en su equipo. Ahora, se revisarán las diferencias entre un administrador y un líder, y lo que sucede cuando ambas características se combinan.

Un administrador y un líder

Es necesario hacer un análisis para distinguir entre un líder y un administrador. Ambos tienen características diferentes, pero se complementan uno al otro. El administrador se enmarca de manera específica en un ambiente laboral, es responsable de aplicar el proceso administrativo dentro de su área, se encarga de tomar decisiones y rendir cuentas a su jefe y de manera forzosa debe hacer que las cosas funcionen, pues tiene autoridad dentro de la organización en la que participa. No necesariamente la gente lo sigue, pero todos deben obedecerlo por la responsabilidad y autoridad que tiene en la organización.

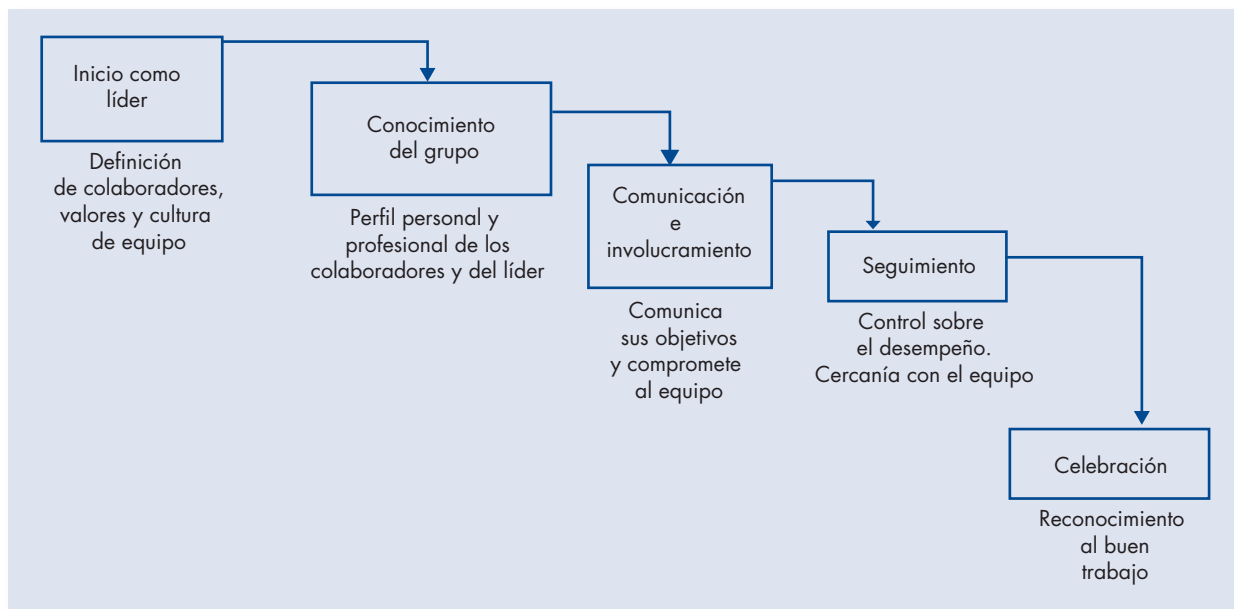


Figura 9.3 Etapas del desempeño de un líder.

Para que los gerentes de una empresa sean eficientes y eficaces deberán tener ambas características. Puede haber excelentes administradores con buena planeación, organización del equipo y buen control, pero carentes de habilidades para manejar personal. Este tipo de situaciones se dan en personas que son excelentes en su trabajo, por ejemplo, alguien que es muy bueno haciendo tornillos de acuerdo con las políticas de la empresa, merece convertirse en el supervisor del área, sin embargo, si no tiene ninguna característica de líder, no sabe motivar, no tiene una visión de dónde quiere ir con su equipo, sólo sabe regañar a la gente, no le gusta que lo critiquen cuando se equivoca, entonces, al ascenderlo se acabaría con la carrera de un excelente productor de tornillos. Por otro lado, existen personas que son líderes eficaces, saben escuchar a su gente, tienen sentido del humor, dan entusiasmo y motivación al equipo pero no tienen habilidades administrativas, es decir, logran un equipo muy contento pero que no consiguen los objetivos que se establecen dentro de la organización, pues carecen de planeación y organización de su gente, de sus recursos y de sus resultados.

Actualmente, ante el dinamismo de la economía y las industrias, se necesitan administradores que sean líderes, pues con tantos cambios en planes y estrategias, las empresas se ven forzadas a adaptarse rápidamente al mercado y ambas características son indispensables para poder llevar una buena implementación del proceso administrativo y ser capaz a su vez de movilizar a sus equipos de manera óptima. No existe un gerente o persona mejor y una peor, simplemente, se trata de habilidades y características que necesitan los gerentes de hoy en día.

La persona correcta a cargo de un equipo de trabajo será aquella que logre un balance entre la administración y el liderazgo. Quien sepa cuándo ser conservador y cuándo arriesgarse, cuándo mantener los procesos actuales o buscar la innovación, cuándo ser negociador o decidir directamente sin consultar a su equipo, cuándo debe prescindir de los servicios de un colaborador o apoyarlo para que ponga en práctica todas sus habilidades; cuándo decidir bajo números o sólo bajo sus sentidos; cuándo dar órdenes o exigir el máximo de su equipo. Lo que nunca debe perder es dar dirección a su equipo, tener sentido del humor, alinearlo a las necesidades del negocio y estar abierto a la comunicación en ambos sentidos.

La creatividad y la visión estratégica

Estos dos temas involucran la capacidad de ver el futuro de una manera clara y cómo se traducen esos conceptos o ideales en acciones concretas a lo largo de toda la empresa.

La *creatividad* permite, a través de la mente, generar ideas y pensamientos de cómo nos gustaría que fuera algo y qué se puede hacer para lograrlo. Todo lo que se observa a nuestro alrededor, los automóviles, la televisión, la radio, ha sido producto de dos cosas: la creatividad para buscar una solución a una necesidad y la forma cómo se planearon esos pensamientos creativos en acciones concretas para alcanzar lo que sólo existía en la mente.

A lo largo de la vida se presentan diversas situaciones que deben ser resueltas; para poder encontrar la solución se debe “pensar” y usar la mente, es decir, “ingeniar” (de ahí viene el término de ingeniero) posibles formas de obtener lo que se necesita. La creatividad se usa en todas las actividades que realiza el ser humano para generar soluciones, a veces la solución es más sencilla, otras más compleja, pero siempre se están produciendo formas de resolver situaciones.

Todos los productos y servicios son resultado de una necesidad. Alguien pensó en cubrir esa necesidad y generó la solución a partir de una idea, de una forma de pensar. Los grandes productos que han trascendido por décadas han sido generados a partir de la creatividad. La creatividad implica un cambio; da la oportunidad de ver, pensar y hacer las cosas de manera distinta a aquella que actualmente se tiene; para esto es necesario que los sentidos y la imaginación estén preparados para pensar fuera del contexto en el cual se encuentran. Hay una frase que dice: “No esperes llegar a un lugar distinto si sigues actuando de la misma forma que antes”, esto quiere decir que para la creatividad no existen soluciones pasadas, sólo existen soluciones sobre una situación existente.

En una empresa la creatividad es fundamental para poder mejorar los productos y procesos existentes, el líder es el responsable de impulsarlo y propiciarlo a través de sus equipos. Hasta la década de 1980 lo único que importaba era producir en grandes cantidades; sin embargo, en las últimas dos décadas se busca también producir más rápido, hay que hacer diferentes productos de acuerdo con las necesidades cambiantes del cliente y a bajo costo. Esto se logra a través de la creatividad e innovación. En estos años hemos sido testigos de cómo grandes corporaciones han ido al fracaso por no cambiar y seguir generando soluciones que en su momento fueron exitosas.

En la medida en que se continúe aplicando la creatividad y la innovación a los productos y procesos se estará en posibilidad de seguir siendo competitivos. Para poder lograrlo, hay que mantenerse informado sobre nuevas tendencias en el mercado, nuevos hallazgos y mejores prácticas. Generar nuevas ideas y soluciones implica un riesgo al fracaso, sin embargo, los grandes descubrimientos tuvieron muchas fallas antes de ser perfeccionados y lanzados; los consumidores sólo ven el resultado final del

producto pero desconocen las horas empleadas en generar ideas, concretarlas en algo tangible, no están al tanto de la producción, las pruebas de calidad, el desperdicio, el plan de mejora, etc. Siempre existirá un riesgo en la creatividad, lo importante es controlarlo de forma que se reduzca al mínimo.

Los líderes deben estar conscientes de que el querer cambiar el presente involucra una etapa de cambio y de resistencia en la forma de pensar y actuar de las personas dentro de la organización, y que lo que hasta ahora funcionó para un momento específico es necesario cambiarlo.

Los pensamientos que se deben evitar si se quiere ser creativo son:

- ¿Si funciona por qué tengo que hacerlo distinto?
- ¿Qué pasa si no funciona o si cuesta mucho?
- Nadie más lo hace distinto, ¿por qué lo tendríamos que hacer diferente?
- Tal vez esto ya se le ocurrió a alguien más, mejor pensemos en otra cosa.

La innovación y la creatividad no esperan a que se presente una oportunidad, el líder debe buscarla y generarla, es decir, nunca conformarse con lo que se tiene actualmente. Esto no significa que todo el tiempo se deba estar cambiando, ya que sería demasiado costoso para la empresa, pero sí se debe permanecer alertas ante la competencia, hacer evaluaciones periódicas de los procesos, y sobre todo, tener sesiones con sus colaboradores para conocer las nuevas ideas que pueden generar a partir de las situaciones que han tenido que enfrentar en el trabajo diario.

La creatividad permite buscar de manera constante mejorar los resultados, siempre cuestiona si lo que se hace actualmente es lo mejor, qué tanto ha cambiado el entorno (competidores, clientes, industria, economía) respecto a cómo se están haciendo las cosas en su empresa u organización. El líder es el promotor del cambio y hace énfasis en que esto es lo único constante, por lo cual los productos, procesos, políticas y reglas del negocio deben ir cambiando también de manera recurrente.

Por otro lado, se pueden tener ideas excelentes, muy innovadoras, pero sin un esquema claro de cómo llegar a ellas, y ahí es donde la visión estratégica entra en el ordenamiento de todas las ideas creativas e innovadoras. Las grandes corporaciones se han generado a partir de ideas creativas, necesidades del mercado y la capacidad de establecer esas ideas en un plan con acciones concretas que lleven a la empresa de manera estructurada a conseguirlo.

Un ejemplo claro son las industrias de automóviles. Henry Ford pensó en cómo solucionar el problema del transporte y se comenzaron a producir automóviles con

su marca. Si no hubiera tenido visión estratégica se habría limitado únicamente a “pensar y diseñar” un automóvil, sin embargo, no sólo pensó en la solución sino que también imaginó (visión estratégica) cómo sería tener una empresa de automóviles en Estados Unidos de América y después en el mundo.

La visión estratégica permite ver el futuro a largo plazo (tal como se vio en el proceso administrativo en el aspecto de planeación), es decir, cómo se ve la empresa, el área o la vida de una persona en los próximos cinco o diez años. Una vez que tiene pensado cómo se quiere estar, se deben establecer los pasos a seguir para lograrlo.

Esto permite el diseño de la empresa, los productos que generará, la estructura organizacional, las políticas y los procedimientos, la cultura y su responsabilidad social. En cada rubro se llevan al cabo cientos de actividades que consolidarán a la empresa a largo plazo tal como se le imagina el día de hoy.

Ética en los negocios

La ética es un tema apasionante y a la vez complicado, pues involucra creencias, costumbres, sentimientos además de pros y contras. A veces se mezcla con la moral y esto la hace aún más interesante, ya que incluye el aspecto social. Recuérdese que la función de las empresas es satisfacer alguna necesidad de la sociedad y estas necesidades están basadas en aspectos positivos o negativos. Eso explica por qué surge la ética de los negocios.

Inicialmente se puede decir que la ética estudia los aspectos buenos y malos del ser humano, se enfoca sobre todo en el aspecto interno de las personas y los factores que definen su comportamiento. La ética está estrechamente relacionada con los valores, ellos definen la importancia que tiene para cada persona actuar de una forma u otra.

Cada persona, desde que nace, comienza un proceso de aprendizaje de los valores que se tienen en su familia, los que se enseñan en la escuela, los de la sociedad y los que se tienen en una empresa. Las grandes corporaciones establecen valores de la compañía y a través de éstos esperan que los empleados conduzcan sus actos y decisiones. Por lo general, se manejan valores universales, como el respeto y la honestidad, lo cual es algo lógico si consideramos que todas las empresas legalmente constituidas deben cumplir con un marco legal, es decir, están reconocidas en todas las entidades gubernamentales como empresas, pagan impuestos, otorgan a sus trabajadores seguridad social, etc. A su vez, cada empresa maneja determinado tipo de valores con el fin de establecer lo que se denomina cultura organizacional, la cual define cómo deben actuar los empleados en su conjunto; por ejemplo,

el valor del trabajo en equipo, es decir, la empresa espera que todos sus colaboradores se apoyen entre sí, busquen soluciones conjuntas y que los objetivos se alcancen trabajando todos como equipo y no como áreas separadas.

Es función del área de recursos humanos tener una comunicación efectiva con todo el personal de manera que cada quien conozca y comprenda el significado de los valores de la empresa y cómo se espera que se comporten los empleados en cualquier situación. Para lograrlo, normalmente se realizan campañas de comunicación en las que se muestran los valores de la empresa; por ejemplo, si una organización considera que la libertad de culto religioso dentro de su personal es importante, podrá hacer campañas para informar que la empresa no sólo acepta sino que valora que haya gente de diferentes religiones, católica, protestante, musulmana, etc. Asimismo, la aceptación de la libertad de culto religioso implica que se reprueba cualquier acto de discriminación basado en la religión, es decir, que alguien sea sujeto de burla, se le denigre o que se le nieguen oportunidades de crecimiento sólo por tener una preferencia religiosa diferente a la del jefe o de la mayoría.

Cada empresa establece sus valores y define lo que es éticamente correcto y lo que no lo es. Desde el principio, una compañía con un fuerte enfoque hacia el aspecto ético deberá tratar de asegurarse de que las personas que contrate actúen con base en valores similares a los de la organización; esto significa que durante el proceso de entrevistas para seleccionar a una persona se plantean preguntas sobre estos temas como: "¿ha robado alguna vez?, ¿ha tenido que mentir para conseguir algo?, ¿qué opina de trabajar con gente de varias religiones? Estas preguntas ayudarán a conocer el perfil del candidato y a confirmar si concuerdan o no con los valores de la empresa.

Aunque no existe un método infalible para determinar el perfil del colaborador, la entrevista de selección representa una guía de la forma de actuar de la gente. Una vez que se ingresa a una empresa se inicia el proceso de inducción en el cual la organización comienza el proceso de transmisión de sus valores, políticas internas y todos aquellos datos que considera necesario comunicar para que la persona que ingresa conozca cuáles son los comportamientos esperados mientras desempeña sus labores.

Por ejemplo, en México algunas personas consideran que la corrupción es normal y que es una práctica común que hay que seguir para alcanzar objetivos, desde evitar una infracción hasta robar y alterar datos de las empresas con el fin de mostrar información incorrecta. Ésta es una conducta ética negativa que debe desaparecer, y las empresas juegan un papel muy importante para intentar cambiar los paradigmas éticos en una población.

La ética es un valor general, es decir, no es responsabilidad sólo de la empresa o del líder; sino de todas las

personas. Además, otro punto muy importante es que no se puede ser "medio ético", se es o no se es; es decir, no se puede considerar a una persona más ética o menos corrupta que otra porque en vez de robar 100 pesos sólo robó 50.

Ser una persona íntegra o con ética se demuestra en todos los aspectos de la vida, y finalmente es un reflejo de su forma de actuar en la empresa. Esto quiere decir que es difícil que una persona que es honrada y honesta en su casa o en la calle, será una persona corrupta en su empresa y viceversa.

En una compañía existen diversas actividades y situaciones que hacen de la ética un tema complicado y que sólo las personas con una fuerte convicción hacia sus valores y a las de la empresa, lograrán llevar de manera correcta su propio actuar y el de su equipo de trabajo.

La responsabilidad del líder es asegurarse de que todo su equipo conozca no sólo los valores de la empresa sino los propios de su estilo de trabajo. No se puede negar la importancia de que el líder sea consistente entre sus palabras y sus acciones. Una de sus características es que "dice lo que piensa y hace lo que dice". Esto está muy ligado a la ética, pues no actúa correctamente un líder que asegura que el respeto es muy importante para él, pero insulta y denigra a sus colaboradores cada vez que cometen un error o no cumplen sus expectativas. ¿Qué pasa cuando un padre de familia dice a su hijo que la corrupción es mala, pero cuando es detenido por un agente de tránsito ofrece dinero para evitar la multa y le dice a su hijo: "esto sólo lo puedo hacer yo porque soy grande"? ¿qué impacto genera en un colaborador o en el hijo, que el líder o el padre actúen de manera distinta a lo que dice y a lo que está establecido por la organización? Se pierde totalmente la confianza en esa persona. Un líder sin ética gana seguidores pero los perderá cuando sus actos demuestren que no es consistente entre lo que dice y lo que hace.

Otro punto muy importante a considerar es la confidencialidad de la información que maneja el líder. Cuando una persona crece en la organización, va accediendo a datos que para la compañía son confidenciales, sobre todo en aspectos financieros y de inteligencia del negocio, es decir, datos que son vitales para que la empresa opere de manera exitosa. Muchas empresas, con el pretexto de que en la guerra y en los negocios todo se vale, compran información o contratan a los ejecutivos con la condición de que compartan con ellos los datos que son clave para poder superar a su competidor. Un líder con ética sabrá diferenciar entre compartir experiencias y compartir información confidencial.

Un líder consistente con lo que dice y hace, y orientado al cumplimiento de los valores de la empresa, demuestra al equipo lo que es y no es aceptable por él. En muchas

ocasiones, cuando el empleado no cumple con los valores organizacionales y es sorprendido busca culpar a alguien más de lo sucedido para evadir su responsabilidad, o puede argumentar también que ya no lo volverá a hacer. Cuando a un empleado se le descubre en un acto no ético se le debe despedir, ya que como se ha mencionado, no se puede ser “medio ético, medio mentiroso o medio corrupto”. Cuando el líder lo descubre se ve en la necesidad de despedir al colaborador pues está faltando a los valores de la compañía, a los propios del grupo e incluso, a veces se podría proceder legalmente en contra de él dependiendo lo que haya hecho (fraude, robo, etc.). Esto conlleva el mensaje al grupo de que en esa empresa, o al menos con ese líder, no se aceptan ese tipo de comportamientos, y también deja un precedente de las consecuencias a aquellos que piensen realizar algo similar; también consolida la posición del líder frente al grupo al demostrar que tiene capacidad de decisión y acción sobre situaciones tal vez difíciles, pues en muchas ocasiones se puede contar con un empleado excelente en resultados pero con pocos valores. ¿Qué conviene más?, ¿tener un colaborador muy eficiente pero no ético, o uno no tan eficiente pero honesto? Aparentemente la decisión puede ser compleja, ya que se perderá una fuerza de trabajo importante, pero de no hacerlo así, se dará el mensaje de que cualquier persona puede incumplir con los valores de la empresa mientras trabaje bien o mientras sepa que no pueden prescindir de él por la carga de trabajo.

El colaborador también juega un papel importante en la ética empresarial. En muchas ocasiones, la responsabilidad ética de cada integrante de un equipo recae en el líder, pero aunque éste debe tomar las decisiones correctas para evitar que se presenten situaciones no éticas y asegurarse de reforzar los valores de la empresa el líder no es responsable de cambiar los pensamientos y acciones de sus colaboradores. Cada persona es libre de pensar y actuar como mejor le parece, de acuerdo con los valores que adquirió desde niño, y el hecho de trabajar en una empresa difícil-

mente hará que cambie su forma de pensar sobre lo que es bueno y es malo. Una persona con valores poco arraigados será presa fácil de la corrupción. En muchas ocasiones, se puede ver gente que destruye su carrera, e incluso a su familia, porque no tiene claros los valores de la empresa y principalmente los propios, e inicia prácticas de corrupción con el fin de obtener dinero.

Podría darse el caso de que el colaborador actuara de manera no ética de forma independiente o de que el líder buscara obligarlo a actuar de una manera distinta a la de los valores de la empresa. Ésta es una situación difícil, pero el resultado dependerá del convencimiento de esa persona sobre lo que es bueno y lo que es malo (ético). Muchas empresas, para tratar de prevenir situaciones como ésta, en la que los colaboradores reciben amenazas de sus jefes para actuar sin ética o son acosados sexualmente, establecen áreas exclusivas para investigar estos actos con el fin de eliminarlas y, de igual forma, reforzar ante todos los empleados que el respeto y la honestidad son valores muy fuertes para la organización por encima del puesto.

También es muy triste observar a colaboradores que compran incapacidades médicas con el fin de no trabajar y recibir dinero, gente que busca de manera constante obtener dinero a través de fraudes, usando la información de la empresa para venderla, mentir sobre un error cometido y culpar a otra persona, etcétera.

En resumen, la ética de la empresa debe ser transmitida a todos los empleados en todos los niveles. Una excelente comunicación sobre los valores de la organización, los beneficios de ajustar la conducta a esos valores y las consecuencias en caso de no cumplirlos, reforzarán en los empleados los actos buenos y malos para la empresa. La responsabilidad de actuar con ética depende del líder y del colaborador y más que ser un requisito de una organización laboral, es una forma de vivir, pues los valores con los que actuamos los traemos desde niños y los consolidamos a través de los años.

Palabras clave

Líder, creatividad, planeación, administración.

Caso práctico

Una empresa dedicada a la impresión de revistas lanzará una nueva publicación. El área encargada de imprimir está compuesta por cinco personas, incluyendo al líder. Las características de cada una son las siguientes:

Colaborador 1. Es una persona joven que le gustan los retos y está abierta a los cambios.

Colaborador 2. Es una persona de recién ingreso a la empresa que está en la etapa de aprendizaje.

Colaborador 3. Es una persona que tiene más de 10 años en el área y ha pasado por varios puestos; conoce todo el proceso de impresión y considera que la forma como se realiza el proceso en la actualidad es perfecto.

Colaborador 4. Es una persona que no está convencida del cambio en el proceso, porque él quería que lo nombraran nuevo líder del área.

El nuevo producto requiere que se cambien varios aspectos del proceso actual en un plazo no mayor a tres meses para que la publicación salga a la venta antes del periodo navideño.

Preguntas:

1. ¿Qué estilo de liderazgo deberá emplear el líder para lograr el éxito del proyecto?
2. En el caso del colaborador 4, se empleará el liderazgo situacional para ayudarlo a que se reintegre al equipo de un forma positiva. ¿Cuál sería la mezcla adecuada?

Respuestas:

1. El estilo de liderazgo que se podría utilizar es el participativo para incluir las opiniones de los

colaboradores con experiencia en la industria y permitir que la gente nueva exprese sus ideas fuera de los vicios que se tienen dentro de la operación. También se podría utilizar en algunas situaciones el estilo autocrático debido a que se requiere dar mucha dirección pues la misma inexperiencia no permitirá al colaborador tener toda la visión de las cosas. Por ello, el líder deberá ser muy directivo en cuanto a lo que se tiene que hacer para que no se pierda tiempo y esfuerzo en la ejecución de sus actividades.

2. La situación del colaborador 4 es complicada, ya que tiene gran conocimiento del negocio pero no siente compromiso para realizar un buen trabajo, es decir, "puede pero no quiere". El líder deberá tener un estilo principalmente autocrático para darle dirección en sus decisiones y en ocasiones participativo cuando su compromiso aumente. En el caso de que el colaborador insista en un deficiente compromiso deberá salir de la organización.

Casos para resolver

Caso 1

Una empresa dedicada a la producción de muebles para oficina tiene un plan estratégico de reducir el costo de los salarios en 20% en las áreas administrativas. Éstas se componen de cinco equipos de trabajo: administración, finanzas, nóminas, tesorería y recursos humanos. Cada una cuenta a su vez con 20, 15, 8, 4 y

6 personas, respectivamente. El director de estas áreas debe definir el plan para la reducción de salarios para los próximos tres años.

Elabore una propuesta de plan por área que cumpla con el objetivo de reducción de 20% en el costo de los salarios y señale cuáles serían los criterios que se eligieron para realizarlo.

Para discusión

1. Mencione las cuatro etapas del proceso administrativo.
2. Explique cuatro aspectos básicos para la planeación de los objetivos de una empresa.
3. Mencione la diferencia entre un plan estratégico y un plan táctico.
4. Explique cuatro características que debe tener cualquier objetivo bien planteado.
5. Cite un objetivo medible en su familia.
6. ¿En qué consiste la cascada de la organización?
7. Explique el concepto de coeficiente de ejecución.
8. Mencione cuatro elementos básicos del control.
9. Explique la diferencia entre eficiencia y eficacia.
10. Describa los diferentes tipos de líder que existen.
11. Mencione al menos cuatro características que debe tener un líder.
12. Describa las etapas del desempeño de un líder.

13. Mencione una definición de creatividad.

14. ¿Por qué es importante que un líder sea creativo?

Bibliografía

Blanchard, K. *Las 3 claves del empowerment*. Smartbook. 2005.

Blanchard, K, Patricia Zigarmi y Drea Zigarmi. *El líder ejecutivo al minuto*. Ediciones Grijalbo. 1990.

Drucker, Peter F. *Administración, tareas, responsabilidades y prácticas*. Pan Books. 1977.

Hicks, Herbert. *Administración de organizaciones desde un punto de vista de sistemas y recursos humanos*. McGraw-Hill. Buenos Aires, Argentina. 1976.

Koontz, Harold y O'Donnell, Cyril. *Principios de dirección de empresa: un análisis de las funciones directivas*. McGraw-Hill. 1961.

Kotter, John. *A Force for Change: How Leadership Differs from Management*. Harvard Business School Press. 1990.

McGregor, Douglas. *El aspecto humano de la empresa*. McGraw-Hill Education. México. 1981.

Taylor, Frederick. *Principios de la administración científica*. Herrero Hermanos. México. 1961. Primera edición en inglés 1911.

Weber, Max. *Economía y sociedad*. Fondo de Cultura Económica. México. 1970. Edición original 1922.



10

LA PLANEACIÓN Y LAS DECISIONES DE INVERSIÓN

Gabriel Baca Urbina
M. en C. en Administración
UPIICSA-IPN

La planeación de una empresa adquiere sentido cuando se instala la empresa y se observa que las cosas funcionan de acuerdo con lo planeado. Antes de eso, la planeación sólo es un dogma.

GBU



- Presentar los principales conceptos utilizados en la planeación de instalaciones industriales y de las inversiones en las empresas.

Antecedentes

Un ingeniero industrial cuenta con las herramientas necesarias para realizar la *planeación* de muchas actividades dentro de una empresa, y para tomar decisiones de inversión importantes. Hay tres materias básicas que son útiles para este propósito: *evaluación de proyectos*, planeación estratégica e ingeniería económica. Las dos primeras son materias terminales, lo cual significa que para poder estudiarlas y aplicarlas, es necesario haber cursado prácticamente todos los estudios de la licenciatura, es decir, son asignaturas en las que se pueden y deben aplicar todos los conocimientos adquiridos hasta ese momento. Además, si el alumno tiene una

buena idea de lo que significa el enfoque de sistemas en el funcionamiento de una industria, su trabajo de planeación será más sencillo.

Planear cualquier actividad dentro de una empresa significa entender que ninguna de las áreas que la componen trabaja en forma aislada; es decir, no se puede planear sólo en el área de producción, porque lo que se vaya a producir depende de las ventas y éstas, a su vez, de las condiciones macroeconómicas, que determinan indirectamente el poder de compra de los consumidores; por tanto, tampoco se podrán planear las ventas independientemente de todos los factores internos y externos a la empresa, pues una planeación que no considera todos los factores, tiene mayor probabilidad de no ser tan precisa como aquella que sí los tiene en cuenta, y aún así, el futuro siempre será incierto.

Además, hay que distinguir entre una planeación idealizada de aquella que considera las condiciones del ambiente en que la empresa está inmersa. Para realizar una planeación idealizada se utiliza la metodología de la evaluación de proyectos, y para la segunda se emplean las herramientas de la planeación estratégica.

Por otro lado, el estudio de ingeniería económica proporciona las herramientas necesarias para tomar decisiones de inversión, considerando que el valor del dinero cambia a través del tiempo. Esto es muy sencillo de comprobar: tómense en este momento cien unidades monetarias del país donde viva (por ejemplo, cien pesos para México, cien australes para Argentina, cien soles para Perú, etcétera). Vaya a la tienda más cercana y sin importar lo que venda esa tienda, ya sea alimento, ropa o material de oficina, compre tanto como pueda con las cien unidades monetarias y anote cuidadosamente las cantidades de artículos que pudo adquirir con ese dinero. Regrese un año después a la misma tienda con las mismas cien unidades monetarias. Notará que podrá comprar menos que lo que compró un año atrás, es decir, el dinero habrá cambiado de valor.

La planeación de una empresa normalmente se hace para varios años en el futuro. En la planeación se establecen muchísimas determinaciones, entre ellas, las ganancias probables que obtendrá la compañía por concepto de la venta de los productos que elabora. Pero, obsérvese que esas ganancias se irán obteniendo a través de los años, y si se está de acuerdo en que el dinero de un año no tiene el mismo poder adquisitivo del dinero del año siguiente, entonces el ingeniero encargado de hacer la planeación, se verá en la necesidad de contar con una herramienta que le permita tener en cuenta este hecho. Ésta y otras herramientas las proporciona la ingeniería económica.

En este capítulo se hará una descripción de la forma en que se planea una empresa, desde los puntos de vista estratégico e idealizado, hasta cómo se toma la decisión final desde el punto de vista económico.

La evaluación de proyectos, una planeación idealizada. La planeación estratégica, una planeación no idealizada

La metodología de esta materia se desarrolló por primera vez con la participación de un grupo de expertos de la ONU (Organización de las Naciones Unidas), después de terminada la Segunda Guerra Mundial. Al terminar el conflicto bélico, casi toda Europa estaba deshecha, así como una parte de Japón; y los ganadores de la guerra, EUA e Inglaterra, decidieron crear la ONU, el Banco Mundial (BM) y el Fondo Monetario Internacional (FMI), con objeto de reconstruir al mundo. La ONU diría el cómo y el BM y el FMI aportarían los recursos para lograrlo.

La idea de un nuevo proyecto productivo surge después de haber detectado una necesidad o un gusto insatisfecho. Si por ejemplo, en un país en desarrollo no hay suficiente carne de res, o la que hay tiene precios inaccesibles para una parte de la población, se dice que hay una necesidad insatisfecha de carne en la población de ese país, y se sabe que si se logra producir esa carne a precios accesibles, es casi seguro que el producto se vendería. En el mundo se producen muchos productos de consumo no básico o suntuario, como relojes de pulso, perfumes o lociones y plumas de escribir costosas, entre muchos otros. Evidentemente, nadie necesita de esos artículos para vivir, sobre todo si son costosos; sin embargo, se producen y tienen un mercado definido, pues están enfocados a satisfacer gustos personales, desde los más sencillos hasta los más exigentes.

Pero, antes de decidir producir cualquier artículo, necesario o suntuario, se requiere realizar una serie de estudios y determinaciones que guíen a los inversionistas sobre las características que deberá tener la nueva unidad productiva. A esos aspectos que llevarán a tomar la decisión de invertir en una nueva unidad productiva se les conoce como evaluación del proyecto.

En 1955, la ONU publicó el *Manual de evaluación de proyectos*, donde los expertos de este organismo pusieron en práctica, por primera vez, una metodología para planificar grandes proyectos de desarrollo regional, la necesidad de aquel tiempo. En ese manual se abordan proyectos como instalación de plantas generadoras de energía eléctrica, construcción de carreteras, de presas, entre otros. Evaluar esos proyectos, de acuerdo con la metodología propuesta, implicaba determinar y cuantificar, en primer término, cuáles eran las necesidades de los productos o servicios que se pretendía desarrollar, es decir, si se tenía el proyecto de instalar una planta generadora de energía eléctrica, se cuantificaba la necesidad en términos de los

millones de habitantes que no contaban con ese servicio y que se verían beneficiados con la nueva instalación.

Luego, había que determinar el tamaño de la planta, expresado en millones de kwatts generados por año y lugar donde se instalaría la planta para beneficiar al mayor número de habitantes al menor costo; después, se establecía cuál sería el monto de la inversión requerida para instalar la planta con la capacidad señalada y, finalmente, se determinaba la rentabilidad económica de la inversión. Este último término indica que en la instalación de cualquier planta productiva se requiere una inversión cuantiosa y que en su operación deberá proporcionar ganancias económicas por la venta de sus productos (o servicios) y que al llevar a cabo el proyecto se considere un buen negocio.

Con el paso del tiempo, la metodología creada por los expertos de la ONU se fue sofisticando en muchos sentidos. Recibe el nombre de metodología porque contiene un conjunto de métodos o técnicas en cada una de las etapas, las cuales se utilizan para ir haciendo determinaciones más precisas a lo largo del estudio que abarca prácticamente todas las actividades que pueden realizarse en una empresa. Dicha metodología tiene una secuencia lógica de presentación, por lo que con el paso del tiempo se fue aplicando cada vez en forma más amplia, no sólo a proyectos de desarrollo regional, sino también a proyectos productivos estatales y privados, con un refinamiento cada vez mayor de las técnicas empleadas en las determinaciones.

Desde principios del siglo xxi, la metodología de evaluación de proyectos se aplica como requisito indispensable para solicitar préstamos de proyectos productivos de cualquier tipo. No importa si el gobierno de un país solicita un préstamo al FMI para realizar un proyecto regional de gran alcance, o si una persona física pide financiamiento a un banco con el fin de instalar una microempresa productiva. Tanto el FMI como el banco pedirán al solicitante un estudio con la evaluación del proyecto, el cual contendrá las partes esenciales de la metodología, guardando la debida proporción al tamaño de los proyectos.

La metodología de evaluación de proyectos está conformada por cuatro partes principales:

- Cuantificación de las necesidades del producto o servicio.
- Estudio técnico o ingeniería del proyecto.
- Análisis económico.
- Evaluación económica y análisis de riesgo. (Planeación financiera de la empresa.)

En este apartado se describirán brevemente los métodos utilizados en cada una de las etapas señaladas.

Cuantificación de las necesidades del producto o servicio, también llamada estudio del mercado

El objetivo de esta parte es demostrar que existe suficiente demanda insatisfecha del producto en estudio, como para que la demanda no sea un impedimento para la instalación de la nueva unidad productiva. El estudio del mercado también pretende mostrar los riesgos que se presentarían para que un nuevo productor pudiera no sólo penetrar, sino permanecer en el mercado durante un tiempo razonable, es decir, por muchos años.

Este apartado se subdivide a su vez, en cuatro partes:

- Cuantificación de la demanda.
- Cuantificación de la oferta.
- Análisis y estrategias de precio.
- Análisis y estrategias de comercialización.

Cuantificación de la demanda

La demanda de un producto se puede definir como la cantidad de producto que el mercado requiere a un precio determinado. Como es una cantidad, la demanda se puede medir, aunque sea de manera imperfecta. Cuando un investigador realiza un estudio de mercado dentro de la evaluación de un proyecto, se enfrenta al problema de medir un fenómeno social: la demanda de un producto, la cual existe porque se consumen productos iguales o similares al mismo tiempo, pero su consumo depende de muchos factores subjetivos, básicamente de los gustos personales del consumidor. La investigación de mercado, además de medir esos gustos, debe pronosticar cómo se van a comportar en el futuro.

Para realizar estas cuantificaciones, el investigador se puede encontrar con dos situaciones: que haya datos disponibles para hacer el estudio o que no los haya. Por ejemplo, si el producto en estudio es muy conocido y se ha vendido durante muchos años en el mercado, entonces es muy probable que algunas entidades de gobierno hayan recabado datos estadísticos de la producción nacional, de las importaciones y exportaciones del producto, por tanto, será relativamente fácil encontrar estadísticas del consumo a través de los años. Si esto es así, se utilizan determinados métodos estadísticos para pronosticar el consumo futuro de ese producto.

Cuando no existen datos disponibles, entonces se utilizan las fuentes primarias de información, llamadas así precisamente porque es la primera vez que se obtendrán datos de esa fuente, que generalmente son los consumidores. El método más utilizado para obtener datos de fuentes primarias son las encuestas directas.

La teoría de investigación de mercados cuenta con varios métodos para aplicarse a las fuentes primarias. Por ejemplo, el método Delfos (Delphi en inglés), diseñado en la década de 1950 en Estados Unidos de América, por la Rand Corporation. El método consiste, primero, en localizar y encuestar a un grupo de expertos sobre el tema a investigar, que en este caso serían expertos en las ventas sobre el producto estudio. Enseguida, se diseña un cuestionario en el que básicamente se pregunta al experto cuál piensa que sería la tendencia de las ventas de determinado producto, expresada esa tendencia como una cantidad (unidades, litros, kilos, etc.). Los expertos deben entrevistarse por separado. Se hace una primera ronda de preguntas, de la cual se obtiene la media y la desviación estándar de las opiniones de los expertos. Se les comunica el resultado obtenido y se hace una segunda ronda de la misma pregunta. Se espera que los expertos que opinaron en los extremos, es decir aquellos que opinaron que el consumo del producto iba a ser muy bajo o muy alto, cambien su opinión al conocer la opinión de otros expertos. Se vuelve a calcular la media y la desviación estándar de la segunda encuesta; sucesivamente se repite el procedimiento hasta que la desviación estándar de la muestra no varíe, lo cual implica que ya no variará la opinión de los expertos.

En la práctica, con la aplicación del método Delfos se obtienen resultados precisos del comportamiento de los mercados de consumo de manera sorprendente. Sin embargo, el método es costoso y presenta un problema: localizar a un número suficientemente grande de expertos como para obtener resultados estadísticamente válidos.¹

Las encuestas son el método más utilizado en la actualidad para obtener datos de fuentes primarias. Para que la entrevista personal sea un instrumento valioso para la cuantificación del consumo de productos, hay dos aspectos básicos que se deben considerar: las preguntas en la entrevista y la estratificación de la muestra.

Existen dos preguntas básicas con las cuales se cuantifica el consumo. Si usted quisiera saber cuánta carne de pollo consume su familia al año, pregunte a quien hace las compras de la familia, generalmente la madre o la esposa, con qué frecuencia compra carne de pollo, cuándo la compra y cuál es la cantidad que compra. Supóngase que la respuesta es que se hacen compras de 2 kg cada semana, entonces el consumo anual sería (2 kg/semana) (52 semanas) = 104 kg. El consumo es aproximado, pues es evidente que no todo el año y todos los años se consume carne de pollo en una cantidad diaria constante. Las pre-

guntas básicas entonces son: ¿qué cantidad se compra?, y ¿con qué frecuencia se compra?

Por otro lado, al hacer una investigación de mercado se espera deducir o inferir cómo se comportará la población respecto al consumo de algún producto, de acuerdo con las observaciones hechas sobre el comportamiento de una parte pequeña de la población llamada muestra. Para que esto se logre, la muestra debe tener algunas características similares al total de la población. Cuando el investigador le otorga algunas de las características de la población a la muestra que será encuestada, se dice que estratifica la muestra.

Por ejemplo, si se quisiera conocer el consumo del perfume Chanel No. 5, la forma más segura sería preguntar a los proveedores del producto cuáles han sido las ventas en los últimos años. Como es poco probable obtener el dato con los proveedores, entonces es posible calcular el consumo aproximado del producto por medio de encuestas. Desde luego que habría que entrevistar sólo a mujeres con determinado poder adquisitivo. Un error sería entrevistar sólo a mujeres de escasos recursos económicos, así como también sería un error encuestar sólo a mujeres de elevados recursos económicos. En el primer caso, los resultados de las encuestas quizás dirían que no hay o casi no hay consumo de ese producto en el país, mientras que en el segundo caso, los resultados probablemente dirían que el consumo de Chanel No. 5 en el país es muy elevado. Desde luego, ambos resultados serían erróneos.

Para estratificar de manera correcta la muestra que se pretende entrevistar en la investigación del consumo del perfume, primero se debe determinar cuál o cuáles son los factores socioeconómicos que más influyen en el consumo de esa marca de perfume. El primero de ellos es la edad, probablemente no hay mujeres menores de 18 años que utilicen ese perfume con cierta frecuencia. Entonces, una primera característica de la muestra sería entrevistar a mujeres entre 18 y 75 años. El segundo factor que más influye en su consumo es el nivel de ingreso familiar. En este punto es necesario consultar estadísticas gubernamentales o privadas confiables, que muestren la distribución del ingreso por familia en todo el país. Supóngase que tales estadísticas señalan que en un país 40% de los hogares tiene un ingreso de 0 a 120 USD² mensuales; 30% de los hogares percibe un ingreso de entre 121 y 900 USD mensuales; 20% percibe entre 901 y 1 400 USD al mes, y que el 10% restante de los hogares tiene un ingreso por arriba de los 1 400 USD al mes.

¹ De acuerdo con el teorema del límite central, el número mínimo debe ser 30, ya que esto garantiza resultados insesgados en el cálculo de la media y la desviación estándar.

² USD: Dólares estadounidenses.

Como sólo se va a encuestar a mujeres entre 18 y 75 años de edad, y se hubiera decidido realizar únicamente 100 encuestas, 40%, es decir, 40 encuestadas deberán tener una familia con ingresos de 0 a 120 USD mensuales, 30% de ellas es decir, 30 mujeres, deberán tener ingresos familiares entre 121 y 900 USD al mes, etcétera. Esta forma de seleccionar a las mujeres que serán encuestadas hace que en la muestra se refleje una o varias características de la población de estudio. Con certeza, los resultados de la encuesta mostrarán que el consumo de Chanel No. 5 es más elevado en las mujeres con familias de ingresos elevados, pero éstas sólo representarían a 10% de la población.

La cuantificación del consumo procede como sigue. Supóngase que los resultados de la encuesta arrojaron que 3% de las mujeres de familias con ingresos elevados consumen en promedio 100 mL al año del mencionado perfume. Se espera que la población se comporte igual que la muestra. Si, por ejemplo, el país tuviera una población de 30 millones de familias y cada familia en promedio tuviera al menos una mujer entre las edades mencionadas, entonces 10% de ellas, es decir 3 millones, pertenecerían a familias con ingresos superiores a 1 400 USD al mes, y de esos 3 millones, 3%, es decir, 90 000 mujeres, consumirían un promedio de 100 mL al año de perfume, por tanto, el consumo anual de perfume, sólo de ese estrato de la población de 3 millones de familias y de mujeres, sería:

$$90\,000 \text{ mujeres} (0.1 \text{ L/mujer/año}) = 9\,000 \text{ (L/año)}$$

De manera similar, también se calcularía el consumo de los otros estratos socioeconómicos de todas las mujeres del país. Así, se suman los consumos y ése es un estimado del consumo anual del producto.

Pero hay otro factor importante en la determinación: ¿a cuántas mujeres hay que encuestar para que los resultados obtenidos sean estadísticamente significativos? En el ejemplo se supuso que se habían encuestado a 100 mujeres. ¿Es esta cantidad representativa de una población de 30 millones de familias? Cuando se afirma que el consumo de perfume es de 9 000 L/año para un estrato de la población, evidentemente es una determinación que lleva cierto error estadístico.

La teoría estadística dice que hay que considerar el porcentaje de confiabilidad y el porcentaje de error que el investigador quiere tener en los resultados.

El nivel de confianza se refiere a una parte de la distribución normal, esa curva estandarizada, tan común en estadística. Cuando se consultan datos de esta curva en tablas que aparecen normalmente en los apéndices de los textos de estadística básica, se observa que cuando $Z = 1.96$ se tiene un nivel de confianza de 95%; la población femenina

de ese país tiene una media de consumo del producto y una desviación estándar, entonces 95% de confiabilidad significa que la media del consumo de perfume que se obtenga en las encuestas, tiene 95% de probabilidad de estar dentro del rango de dos desviaciones estándar del consumo real del producto.

Por otro lado, está el error cometido en las estimaciones, el cual significa el porcentaje que se quiere que la media de consumo determinada en la muestra, esté alejada de la media de consumo real que tiene la población. Si se quisiera que no hubiera error en esta estimación, se tendría que entrevistar a toda la población femenina con las características señaladas para que ambas coincidieran, pero esa situación sería muy costosa, por ello, se determina un error y se entrevista a un número mucho menor de todo el universo de la población (el número de mujeres que pueden ser encuestadas).

Al estudiar fenómenos sociales, como el consumo de productos de cualquier tipo, se ha visto que al realizar alrededor de 500 encuestas, el error promedio que se comete es de entre 20 y 25%, mientras que si el número de entrevistas se eleva a 2 000, el error cometido es de aproximadamente 2 por ciento.

Los métodos señalados se utilizan cuando no se tienen datos disponibles para realizar cuantificaciones del consumo de productos, pero en muchas otras ocasiones el investigador cuenta con datos históricos del comportamiento de producción y venta. Estos datos pueden provenir de empresas o de fuentes gubernamentales o privadas. En cualquier caso, se tiene una serie de datos con respecto al tiempo, por esa razón se les llama series de tiempo. El tratamiento estadístico de estos datos tiene un objetivo muy sencillo: pretende determinar la tendencia de los datos. Por ejemplo, se puede determinar la tendencia de la venta de automóviles nuevos. Para hacer el cálculo, se cuenta con datos reales de las ventas en los últimos años de autos en el país, incluso por marcas. Si se grafican los datos de estas ventas con respecto al tiempo, se puede tener algo parecido a lo que se muestra en la figura 10.1, donde aparecen dos líneas: una de ajuste erróneo y otra de ajuste correcto. El ajuste de puntos se utiliza básicamente para obtener un pronóstico del consumo de automóviles. Los datos pronosticados de la venta de autos aparecen a la derecha como una línea más gruesa. Obsérvese la diferencia entre el pronóstico con la línea de ajuste correcto de aquella con un ajuste incorrecto. La pregunta es: ¿por qué es evidente que la línea punteada es un ajuste incorrecto?

Lo que pretende un ajuste de puntos en una serie de tiempo es hacer pasar la línea ajustada por el centro de gravedad de todos los puntos. Por eso, es evidente en la figura porque una línea está bien ajustada y otra tiene un ajuste erróneo. Para realizar un ajuste estadístico preciso de

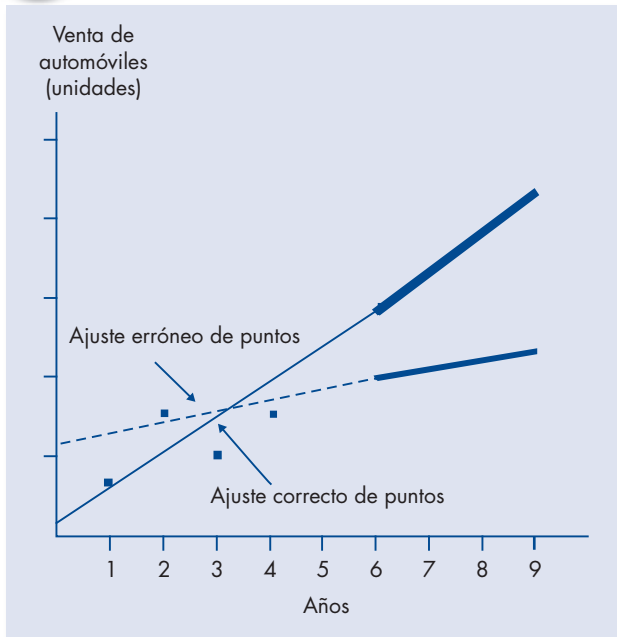


Figura 10.1 Gráfica de una serie de tiempo.

los puntos de una serie de tiempo se utiliza el método de mínimos cuadrados, el cual recibe este nombre porque garantiza que la suma de las desviaciones al cuadrado de la recta ajustada respecto de los puntos es mínima. Obsérvese cómo hay puntos por arriba y por abajo de la recta, es decir, las desviaciones son positivas y negativas, pero al elevar las desviaciones al cuadrado se elimina el problema del signo, y si se logra que la suma de esas desviaciones sea mínima, entonces, automáticamente se estará haciendo pasar la recta ajustada por el centro de gravedad de los puntos.

A la pendiente de la recta obtenida se le llama tendencia, esto significa que si en los últimos años la venta de autos en el país se ha incrementado en 95 000 autos por año, la tendencia esperada es que siga incrementando dicha venta en la misma proporción en los años futuros, tal vez un poco más o un poco menos. Sin embargo, este enfoque es erróneo para calcular la tendencia en la venta de autos, ya que la suposición básica es que la venta de vehículos depende sólo del tiempo, lo cual no es cierto.

En realidad, la venta de autos, así como la de la mayoría de los productos, depende de factores socio-económicos, mucho más que sólo del paso del tiempo. Esto implica que en el análisis se debe incorporar una o algunas variables explicativas del comportamiento de la demanda. Una variable económica que afecta la demanda es la inflación, pues si se eleva mucho el precio de los autos, seguramen-

te disminuirá la demanda. Una variable social que impacta la demanda de autos es el número de habitantes, a mayor cantidad de habitantes, mayor demanda de automóviles, siempre que las condiciones económicas de esa sociedad se mantengan o mejoren. Esto obliga a que, para realizar un mejor ajuste de puntos y, por tanto, un mejor pronóstico de la demanda de autos, se deben considerar, al menos, tres variables, dos independientes: el tiempo y la variable explicativa, y una dependiente: la demanda de autos.

La siguiente pregunta es: ¿cómo saber cuál variable socioeconómica explica mejor el comportamiento de la demanda? La teoría de la estadística proporciona tres indicadores: el coeficiente de correlación, el estadístico Durbin-Watson y la prueba F . El coeficiente de correlación indica cómo se comportará la variable dependiente de acuerdo con el comportamiento de las variables independientes. Por ejemplo, si se hubiera encontrado que la inflación es la variable que más afecta la demanda de autos, entonces evidentemente hacia donde se mueva la inflación, la demanda de autos se moverá en sentido inverso. El coeficiente Durbin-Watson indica si el ajuste de puntos realizado presenta autocorrelación; es obvio que si los datos están autocorrelacionados, el ajuste realizado no tendrá validez estadística. La prueba F consiste en probar si la variable explicativa que se está considerando en el análisis, realmente afecta a la variable dependiente. Por ejemplo, aunque se pensara que la inflación afecta la demanda de autos, si se somete a la prueba F y no la pasa, se tendría que eliminar a la inflación del análisis.³

Con todos estos elementos, el investigador haría un ajuste de puntos con la mayor justificación estadística posible, recordando que el objetivo de hacer el ajuste es obtener una tendencia de ventas para poder pronosticar, con la mayor precisión posible, el comportamiento de la demanda en el futuro, del producto en estudio.

Para la ejecución de estas determinaciones, el ingeniero industrial cuenta con todas las herramientas necesarias. Podría parecer que gran parte de las matemáticas y la estadística que se enseña en los estudios de la licenciatura tiene poca utilidad, pero cuando se observa el tipo de análisis que puede hacer un ingeniero industrial bien capacitado, se justifican todos los estudios. Sobre todo, cuando en pleno ejercicio de su profesión, logra hacer pronósticos confiables gracias al conocimiento y dominio de las técnicas necesarias.

Cuantificación de la oferta

Después de que se han efectuado los análisis y pronósticos respectivos sobre la demanda del producto, se deberán

³ Para una explicación completa del significado de estos índices, se puede consultar cualquier libro de estadística de nivel universitario.

realizar análisis similares sobre los oferentes, es decir, sobre los productores actuales. No se debe olvidar que la demanda de productos nacionales puede aumentar sustancialmente si el producto se exporta, y la oferta podría crecer si el producto se importa. El análisis de los oferentes debe verse con la óptica de determinar las fortalezas y debilidades de los productores actuales; si el líder actual del mercado tiene ciertas fortalezas, entonces la estrategia consiste en tratar de imitar esas fortalezas, mientras que si se detectan algunas debilidades, entonces se deberá aprovecharlas. Las debilidades más comunes de los productores son mala calidad en el producto, plazos muy cortos para pagar las compras a crédito y deficiencias en los tiempos de entrega. Se entendería que si un nuevo productor detecta estas deficiencias, no cometería los mismos errores.

Finalmente, el dato más importante de este análisis es el valor de la demanda potencial insatisfecha. Este valor proporciona una idea del mercado no cubierto por los productores actuales, el cual podría ser aprovechado por uno o más de los nuevos productores para entrar al mercado.

Una vez resueltos estos puntos, se procede a plantear estrategias de precios y mercadeo para intentar una primera incursión exitosa en el mercado. No se debe pensar que si el análisis de la cuantificación del mercado ha mostrado cifras de un amplio mercado insatisfecho y que la mayoría de las personas encuestadas han dicho que sí consumirían el producto, esto sea suficiente para que el producto se venda casi solo. En realidad, la etapa más difícil para cualquier nueva empresa es penetrar y permanecer en el mercado durante el primer año de vida, y para lograrlo se planean estrategias.

Análisis y estrategia de precio

El primer punto que se debe considerar en una estrategia de precio es el costo unitario de producción. Si el costo unitario es muy elevado, entonces queda muy poco margen para plantear estrategias de precio, aunque en esta etapa se debe suponer que los procesos productivos estarán totalmente optimizados, lo cual significa que el precio unitario del producto será también óptimo. Sin embargo, no es el único punto a considerar, pues la reacción de la competencia también es muy importante. Por ejemplo, cuando entra al mercado un nuevo oferente, los actuales tienen una reacción generalmente reflejada en el precio, es decir, se inicia una guerra de precios, esperando que el más débil, que por lo general es el nuevo productor, salga del mercado. Pero si ese nuevo productor tiene un costo unitario de su producto inferior a los productores actuales, entonces también tendrá un buen margen de maniobra para entrar a una guerra de precios y sobrevivir. Otros objetivos de la fijación de un precio competitivo, en caso de

que no se genere una guerra de precios, es que el nuevo productor decida asignar un precio similar al líder del mercado, decida ganar el promedio de ganancia de la industria o prefiera ganar un porcentaje de la inversión realizada en la nueva planta.

Análisis y estrategias de comercialización

Pero, la anterior, no es la única estrategia que se puede plantear. Una nueva empresa puede elaborar el mejor producto, pero si nadie lo conoce, si no se promueve para que los consumidores lo conozcan, entonces, seguramente la venta será muy baja, sobre todo al inicio de operaciones. Por tanto, es necesario plantear una buena estrategia publicitaria, un envase atractivo y una serie de ofertas en la venta del producto, a fin de fomentar que los consumidores lo conozcan y lo consuman. Este tipo de estrategias van desde ofrecer pruebas o dar muestras del producto en los supermercados, hasta ofrecer cierta cantidad de producto adicional gratis, premios dentro de los envases, etcétera.

La primera parte de un estudio de *factibilidad*, incluyendo una planeación estratégica, termina con conclusiones en las que se anotan las cifras finales de las cuantificaciones del mercado realizadas y las estrategias que se han decidido tomar sobre precios, publicidad y mercadeo. El ingeniero industrial tiene todos los elementos necesarios para realizar este tipo de estudios, de hecho, Planeación estratégica es una materia común que se cursa en la mayoría de las universidades donde se imparte esta licenciatura.

Estudio técnico o ingeniería del proyecto

Una vez que se ha determinado que es posible penetrar al mercado, ya sea por que exista suficiente demanda insatisfecha, o debido a las estrategias de publicidad y precio planteados, el siguiente punto es contestar las preguntas clásicas de la ingeniería de proyectos: *qué, dónde, cómo, cuándo*. El *qué* implica determinar con toda precisión el tipo de producto o servicio que se va a elaborar, y para esto se hace una descripción detallada de la composición del producto, además de considerar el estudio del mercado que debió tener en cuenta las preferencias de los consumidores.

El *dónde* implica determinar la localización óptima de la nueva planta productora. Existen básicamente dos métodos de localización de instalaciones: los cuantitativos y los cualitativos. Dentro de los métodos cuantitativos, se pueden mencionar el método de aproximación de Vogel; los criterios minimax, con el uso de la simulación; problemas de asignación; el modelo de localización de instalaciones múltiples, entre otros. Dentro de los cualitativos destacan

básicamente el método de factores y el de puntos ponderados, que es una variante del anterior. También se debe determinar una macro y una microlocalización. En la primera se determina el estado (o departamento) del país. En la segunda se determina la ubicación exacta de la nueva planta, ya sea mencionando el municipio o el parque industrial donde se ubicará.

Para contestar al *cómo*, el ingeniero industrial debe usar su ingenio, es decir, deberá demostrar que en verdad es un ingeniero, ya que se trata no sólo de describir la tecnología que se empleará, sino de diseñar la nueva planta productiva en su totalidad. Diseñar una industria, no sólo físicamente, sino todos sus procesos, requiere ir haciendo análisis y tomando decisiones de manera progresiva. Las decisiones que se toman, aunque no están estrictamente en orden cronológico, son:

- Cantidad de producto a elaborar.
- Turnos de trabajo. No es lo mismo elaborar la misma cantidad de producto en uno, dos o tres turnos.
- Días de descanso. Puede ser sábado y domingo o sólo domingo, o un día entre semana.
- Proceso muy automatizado, semi o básicamente manual. Esta decisión depende en gran parte de la inversión necesaria y del dinero disponible para la nueva planta.
- Cómo demostrar que se optimizó la cantidad de mano de obra directa.
- Cómo demostrar que se optimizó la cantidad de equipo que se ha adquirido.
- Cómo demostrar que la distribución de las instalaciones es óptima.
- Cómo demostrar que cada una de las áreas de la planta calculadas es la óptima.

Además de los puntos anteriores, se debe proponer un sistema para el control estadístico y administrativo de la calidad, así como un programa de mantenimiento para los equipos de producción. Como se podrá observar, el reto es grande, pero el ingeniero industrial cuenta con todas las herramientas para resolver el estudio técnico de manera óptima.

Es necesario aclarar qué se entiende por condición óptima. Se obtiene una condición óptima cuando se logra lo mejor, dentro de las condiciones prevalecientes. Cuando se ha terminado el estudio técnico del proyecto para instalar una nueva planta productiva, no se sabe si lo planteado es verdaderamente óptimo, hasta calcular el costo unitario de producción, y una vez que se instale y la planta esté en

operación, que los rendimientos obtenidos en cada actividad sean iguales, o incluso mejores, de aquellos calculados teóricamente. Esto sólo puede lograrse con experiencia, tanto en la elaboración de estos cálculos, como con experiencia en el proceso productivo en estudio.

El primer punto que se debe determinar es la localización óptima de la planta. Se entiende que el sitio elegido debe contar con todos los requisitos que exige la planta para operar con normalidad; por ejemplo, que cuente con suficiente agua, con infraestructura industrial, con cercanía de mano de obra o del mercado, con suficientes y adecuadas vías de comunicación, etcétera. En general, la localización óptima de la planta es una de las determinaciones más sencillas de todo el estudio.

Luego viene el verdadero estudio de ingeniería. La primera interrogante a resolver es la cantidad que se pretende producir, llamada formalmente capacidad instalada de la planta. Hay varios factores que limitan esa capacidad. El primero, y más obvio, es la demanda insatisfecha del mercado. Teóricamente, a mayor demanda insatisfecha, mayor debería ser la capacidad instalada, sin embargo, esto no funciona así. Supóngase que en el país se determina cierta cantidad de demanda insatisfecha de algún producto y que se tiene el dinero suficiente para instalar una capacidad tal que cubra esa demanda en su totalidad. Proceder así sería un error, ya que implica que el nuevo productor debería localizar en todo el país, hasta el último consumidor, lo cual no es sencillo. Por otro lado, están los resultados del estudio de mercado. Todas las determinaciones estadísticas tienen un porcentaje de error, y el hecho de que ese estudio haya demostrado, con determinado porcentaje de error, que había un mercado insatisfecho muy amplio, no significa que la venta de los productos de la nueva planta esté asegurada.

Por eso se recomienda a las nuevas plantas instalar una capacidad de producción no mayor a 10% del mercado potencial insatisfecho. Pero esa no es la única limitante, también lo es el dinero disponible, ya que aunque se pueden conseguir créditos, la base siempre es el capital que aportan los accionistas.

Otra limitante es la tecnología disponible en el mercado. Aunque existe una gran cantidad de equipos, como tanques de almacenamiento, bandas transportadoras, mesas de trabajo, bombas eléctricas y otros equipos, que se pueden conseguir prácticamente en cualquier capacidad, se podría pensar erróneamente que los proveedores de equipo pueden fabricar elementos con cualquier capacidad que se les solicite; tenga presente que esto no es siempre así.

Una vez resuelto este punto, la siguiente etapa es describir el proceso productivo, primero verbalmente y después por medio de diagramas de flujo. La descripción

verbal debe ser lo más precisa posible, a fin de que también el diagrama descriptivo lo sea. Es conveniente señalar que se han inventado varios tipos de diagramas para representar las actividades que se llevan a cabo en los procesos productivos. Entre éstos, destacan los siguientes:

- Diagrama de flujo de proceso.
- Diagrama sinóptico.
- Cursograma analítico.
- Diagrama de bloques.
- Diagrama de hilos.
- Diagrama hombre-máquina.
- Iconograma.

Tal vez, el diagrama de flujo de proceso sea el más conocido y el de uso más amplio, debido a que los símbolos que utiliza fueron creados a fines del siglo XIX en Estados Unidos de América, por la Sociedad Norteamericana de Ingenieros Mecánicos (ASME, por sus siglas en inglés, American Society of Mechanical Engineering). Desde aquel tiempo hasta nuestros días, la influencia de esta sociedad es muy fuerte en los círculos de ingeniería en todo el mundo, de manera que cuando propuso esos símbolos, se aceptaron como adecuados, por lo que su uso se ha mantenido durante más de 100 años. Tales símbolos son:

- Operación
- Demora
- Inspección
- △ Almacenamiento
- ⇒ Transporte

En la figura 10.2 se presenta un ejemplo de diagrama de flujo de proceso con el empleo de los símbolos de la ASME. En este tipo de diagrama es posible agregar anotaciones a un lado de la descripción de la actividad, como especificar condiciones especiales de la actividad; por ejemplo, si es necesario realizarla a determinada temperatura o presión, incluso se puede anotar el tiempo que toma cada actividad. Obsérvese que todas las actividades están numeradas en orden secuencial, de tal forma que es muy sencillo identificar el orden, sobre todo cuando se insertan nuevas actividades al proceso, pero que se efectúan de manera simultánea.

Por ejemplo, en la figura 10.2 las actividades 1 y 9 pueden iniciarse al mismo tiempo. Este diagrama también permite hacer un resumen de todo el proceso dentro del mismo diagrama, donde se anotará la cantidad total de transportes, de operaciones, de demoras, etcétera.

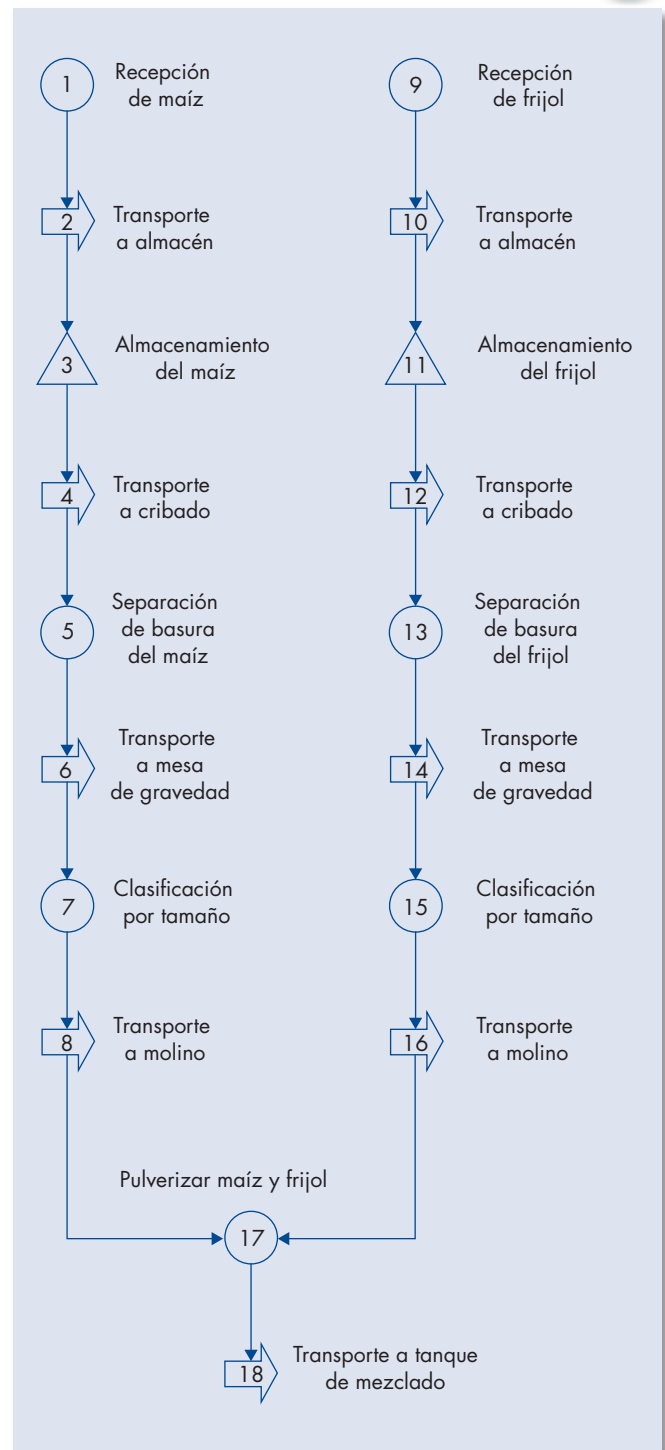


Figura 10.2 Diagrama de flujo de proceso.

Este mismo proceso puede representarse con un diagrama de bloques, el cual se muestra en la figura 10.3. En ésta se puede observar que constituye el mismo proceso, pero sin importar la actividad que se realice, siempre se dibujará un rectángulo que la indique.

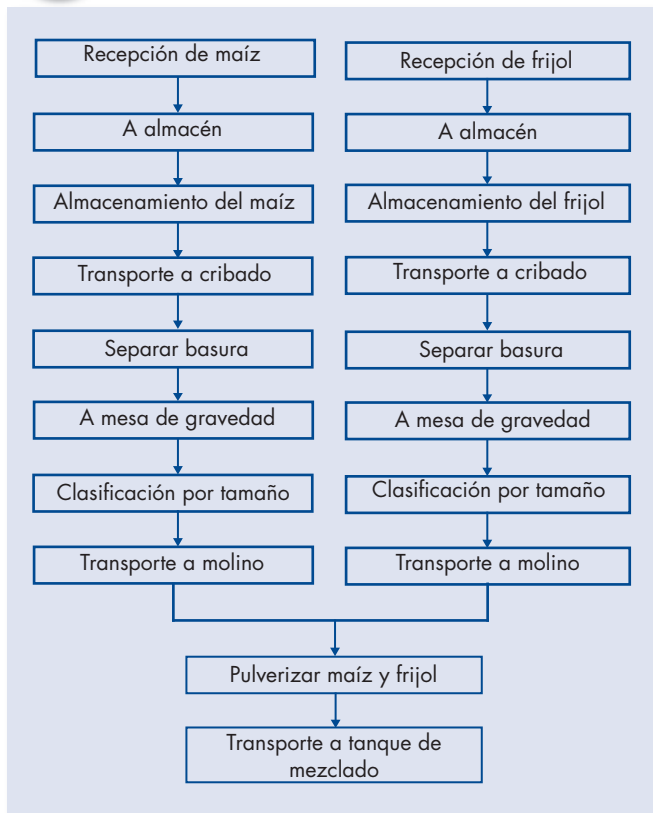


Figura 10.3 Diagrama de bloques.

Obsérvese que un diagrama de bloques tiene más limitaciones para representar con mayor precisión un proceso de producción.

Una tercera forma común y poco complicada para representar procesos productivos es mediante imágenes estilizadas de cada una de las máquinas o equipos que

intervienen en el proceso. En la figura 10.4 se muestra un iconograma. Obsérvese su simplicidad:

Hay que diferenciar el uso de los diferentes diagramas. Por ejemplo, el diagrama de flujo de proceso se puede utilizar para estudios de factibilidad o para el análisis de procesos que ya están funcionando. El diagrama de bloques y el iconograma tienen un uso casi exclusivo para estudios de factibilidad, mientras que el cursograma analítico, no mostrado en el texto, se utiliza más bien para proponer redistribuciones de industrias que ya están funcionando. El diagrama de hilos, también sin representar, muestra el recorrido que efectúa la materia prima y la mano de obra dentro del área de producción; también es útil para empresas que ya están funcionando, en tanto que un diagrama hombre-máquina sirve para realizar estudios de tiempos y movimientos solamente entre estos dos elementos; es decir, entre el hombre y la máquina, por tanto el estudio se efectúa cuando éstos ya están trabajando.

Una vez que se ha descrito el proceso con todo detalle y se ha determinado la cantidad de producto a elaborar, se selecciona el equipo necesario, con base en las premisas dadas. Por ejemplo, si el producto es líquido y se tiene que envasar en recipientes de 1 L, y la producción programada es de 20 000 L/turno, entonces se deberá conseguir una envasadora con una capacidad mínima de: horas efectivas de trabajo por turno = $8(0.8) = 6.4$ h, es decir, 384 min/turno. La capacidad de la envasadora deberá ser de $20\,000 \text{ L/turno} \div 384 \text{ min/turno} = 52 \text{ envases/min}$, esto es prácticamente la capacidad de envasar un litro por segundo.

Pero aquí hay que pensar en otros dos aspectos: la densidad del líquido; si es muy denso o muy viscoso, si hay que envasarlo a determinada temperatura o presión, etc., y considerar si en el mercado existen envasadoras de

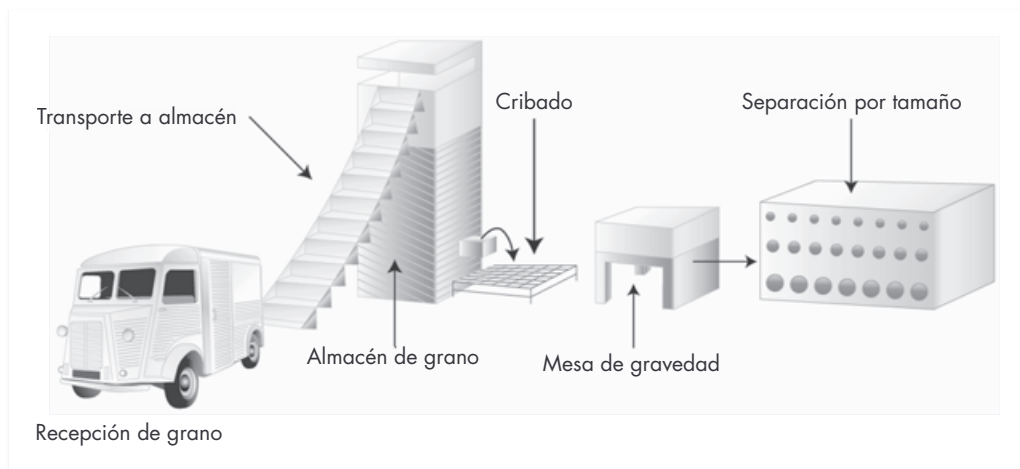


Figura 10.4 Iconograma.

esa capacidad. Supóngase que el producto a envasar tiene tales características físicas que la máxima capacidad disponible en el mercado de envasadoras es de 25 L/min, entonces hay tres opciones: se compran dos envasadoras y se dejan de producir y envasar 2 L/min, que es una cantidad considerable al año, dependiendo los turnos de trabajo programados; se pagan horas extras sólo para envasar el faltante, o se compran tres envasadoras, si es que es la única capacidad disponible.

Como se podrá observar, una cosa es el cálculo teórico de la capacidad de los equipos que se necesitan y otra es tenerlos disponibles en el mercado. Cuando no es posible hacer compatible lo teórico con lo real, se deben tomar decisiones, por lo general basadas en aspectos económicos. Las decisiones tomadas pueden influir fuertemente en la rentabilidad económica del negocio, ya que desde el momento en que se toma la decisión de adquirir ciertas capacidades en los equipos de producción, se puede empezar a trabajar de manera óptima o subutilizar la capacidad instalada.

En este punto hay que considerar el llamado equipo clave, que constituye el o los equipos más costosos de todo el proceso de producción y son los que guían la selección del resto de las capacidades de los equipos. Se venden en capacidades preestablecidas, es decir, no se pueden comprar con la capacidad que la empresa quiera o

necesite. Como es el equipo más costoso, el equipo clave deberá trabajar casi sin descanso. No es conveniente para la empresa dejar ocioso un equipo costoso, pues finalmente repercutirá en su rendimiento económico.

Por ejemplo, un equipo no costoso puede ser un tanque de acero inoxidable, ya que estos tanques se pueden fabricar prácticamente de la forma y en la capacidad que se solicite; pero una máquina de control numérico computarizado no se puede conseguir con las características precisas que se requieren. Por lo general, les falta o están sobrados de la capacidad teórica necesaria para la empresa. Al tomar decisiones sobre la capacidad de los equipos que se adquirirán, principia la optimización del proceso; es claro que los equipos nunca se van a adquirir con la capacidad ideal, sobre todo los equipos clave.

Una vez seleccionado todo el equipo, suponiendo que se tienen suficientes recursos económicos para ello, se calcula la mano de obra necesaria. Este cálculo es muy intuitivo, y el éxito de una buena determinación depende del conocimiento que se tenga del proceso productivo. Para dominar perfectamente la tecnología de producción, se recomienda contar con un experto en el área, quien analizará y propondrá los tiempos de mano de obra que consume cada actividad. Con base en ese propósito, debe construir una tabla similar a la tabla 10.1; ésta es un ejemplo y sólo representa una fracción de un proceso de producción.

Tabla 10.1 Proceso de producción

Actividad	Descripción	Tiempo de operación	Capacidad del equipo	Frecuencia por día	M de O necesaria	Tiempo total/día
1 y 9	Recepción de frijol y maíz	Se reciben 3 ton cada tercer día de cada grano. Tiempo diario 3 h	Báscula de 1.5 ton	1	0.25	2 h
2 y 10	Inspección de calidad de materias primas	Inspección visual de todas las materias primas 2 h	N. N.	1	0.25	2 h
3 y 11	Almacenamiento de las materias primas	Almacenar directamente en silo	Canjilones. 3 ton/h	1	0.5	0.5 h
4 y 12	Pesado y transporte para cribado	Pesar 1 ton/h. 0.5 h/ton	Báscula de 0.5 ton	6	0.7	4.2 h
5 y 13	Separación de basura en mesa de gravedad	Continuo	Separación de 0.5 ton/h	12	1	12 h
8 y 16	Transporte por banda a molino	Continuo en la misma banda	Continua	Continua	N. N.	—
17	Molienda	20 min/ton	1 ton	6	0.4	2.4 h
18	Transporte a mezcladora	Continuo	2 ton/h	3	0.1	0.3 h
TOTAL						23.4 h

En la primera columna a la izquierda de la tabla se muestran todas las actividades que tiene el proceso de producción, enseguida se describe la actividad y, posteriormente se especifica el tiempo estimado para cada actividad. Éste es el dato más importante. Recuérdese que el proceso puede ser muy automatizado, en cuyo caso se hace notar en la tabla, pues este tipo de actividad no consume mano de obra. En caso de que la actividad sea automatizada, se anota el equipo que la efectúa y su capacidad, para garantizar que no surgirán problemas de cuellos de botella. En la siguiente columna, se anota la frecuencia con la que se realiza dicha actividad, por ejemplo, una actividad puede consumir pocos segundos, pero si se repite cientos de veces en un turno de trabajo, entonces consumirá bastante mano de obra, aunque la actividad por sí misma se efectúe rápida y fácilmente.

En la columna de la extrema derecha aparece el total de mano de obra consumida por una actividad a lo largo de todo un turno de trabajo, y al fondo de esa columna está la sumatoria de la mano de obra total que requiere el proceso de producción completo en minutos.

Supóngase que el total de minutos calculado fue de 7 450 min/turno. Si se sabe que un obrero tiene un turno de 8 h, pero que sólo trabaja en forma efectiva 80% de ese tiempo, ya que al llegar a trabajar debe cambiarse de ropa, encender las máquinas, tomar alimentos e ir a los sanitarios tres o más veces durante un turno (además hay que considerar vacaciones y faltas normales por enfermedad), entonces los minutos efectivos de un obrero por turno son:

$$(8 \text{ h})(0.8)[60 (\text{min/h}) \text{ trabajador}] \\ = 384 (\text{min/turno})/\text{trabajador}$$

Dividiendo el total de mano de obra requerida por turno de trabajo entre el número de minutos disponible por trabajador, se obtiene el número de trabajadores necesarios por turno:

$$(7\,450 \text{ min/turno}) \div [384 (\text{min/turno})/\text{trabajador}] \\ = 19.4 \text{ trabajadores.}$$

Desde luego, como no hay fracciones de trabajador, se deberán contratar 20 trabajadores.

Una vez calculada la mano de obra necesaria, habrá que justificar el equipo comprado. Hay que considerar que existen varias formas en las que pueden operar los procesos productivos, una de ellas es por pedido, es decir, se produce sobre especificaciones del cliente y normalmente por única vez, tal es el caso de los trabajos en torno, en fresadoras o en centros de maquinado. Otra forma es la producción continua, en cuyo caso la programación de

la producción es muy sencilla. También se pueden producir artículos por temporada; pero, la forma más compleja de trabajo y, por tanto, la más estudiada, es cuando se trabaja por lotes. Esto significa que se elaboran productos de consumo masivo, utilizando equipos que no trabajan continuamente, ya que hay que cargarlos, descargarlos, limpiarlos, al menos una vez al día; a cada carga se le llama lote de producción.

Para realizar una correcta selección de equipo en la producción por lotes, se deben tener en cuenta varios aspectos importantes. El primero es la capacidad de los equipos disponibles en el mercado. El segundo es realizar el llamado balanceo de línea. Finalmente, el tercero es no trabajar con grandes lotes de producción, ya que no es recomendable.

El primer punto ya se comentó, y tiene que ver con el hecho de que en el mercado no siempre está disponible la capacidad exacta que se requiere en los equipos. El segundo punto, balanceo de línea, se refiere a que se debe diseñar el proceso de manera que cada uno de los equipos que intervienen de manera secuencial en una línea de producción, tenga una capacidad casi similar, si esto se logra, se evitará por un lado los cuellos de botella; o sea, que el proceso se detenga por insuficiente capacidad de uno de los equipos; por otro lado, también se evitará que haya equipos que permanezcan ociosos mucho tiempo, especialmente los equipos clave. Para evitar cuellos de botella, en ocasiones es necesario comprar dos equipos pequeños que puedan absorber sin dificultad el trabajo que envía un equipo de mucha mayor capacidad.

Referente a que no es recomendable diseñar procesos con lotes de producción muy grandes, se debe a que los grandes lotes otorgan poca flexibilidad de adaptación a los procesos productivos, y por otro lado, los tiempos de las actividades se alargan con lotes más grandes. Por ejemplo, supóngase que en el proceso de producción es necesario esterilizar alimentos enlatados. Para la esterilización de alimentos en lata, se requiere de un recipiente que trabaja a presión y a temperaturas elevadas (cerca de 130 °C). Considérese dos esterilizadores, uno con capacidad de 10 000 latas y otro con capacidad de 3 000 latas. Hay que tener en cuenta el tiempo que tarda cada uno en llenarse y en vaciarse; para que se esterilicen las latas, la temperatura máxima debe llegar hasta la lata que está en el centro físico de la esterilizadora, evidentemente tomará más tiempo alcanzar dicha temperatura si la lata que está en el esterilizador es más grande que aquella que está en el recipiente menor; de ahí que tomará menos tiempo llenar y vaciar 3 000 que 10 000 latas.

Para realizar el análisis de justificación del equipo comprado, se utiliza una gráfica como la de la figura 10.5. En ésta se muestra normalmente un turno de trabajo, cuál es

la utilización de cada equipo, si siempre están trabajando, los periodos de ocio y si se justifica la compra de dos o más unidades de un mismo equipo, a fin de evitar los cuellos de botella.

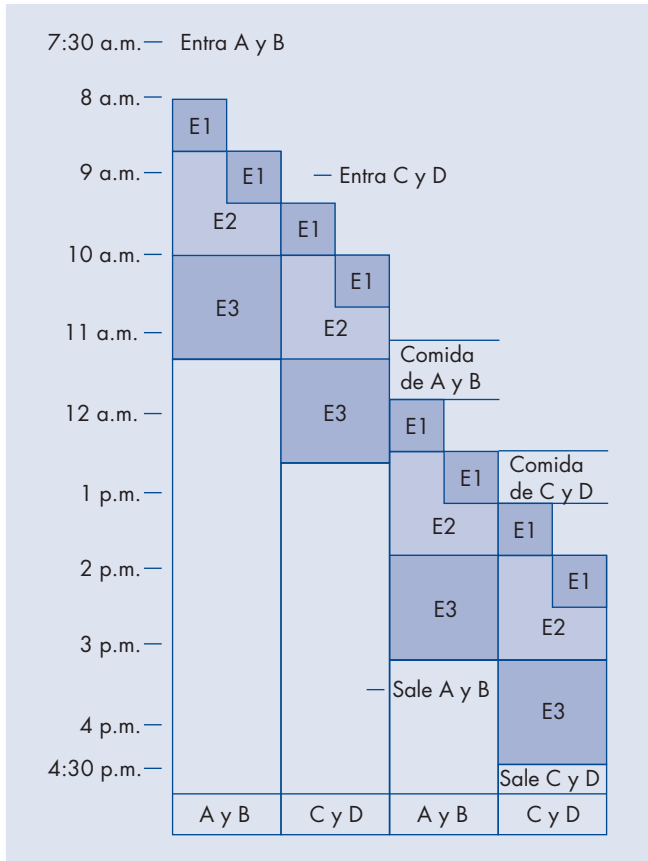


Figura 10.5 Diagrama para planear la utilización de equipo y de mano de obra.

Los trabajadores se denotan por A, B, C y D, los equipos por E1, E2 y E3. Obsérvese que la hora de entrada es 7:30 a.m., pero se considera que 30 min después es cuando realmente empiezan a trabajar A y B. Utilizan el equipo E1, y alrededor de las 8:40 h lo desocupan para empezar a usar el equipo E2, pero una vez desocupado E1, se vuelve a emplear para el siguiente lote de producción hasta las 9:20 h. Se programa que los trabajadores C y D entren a trabajar a las 9:00 h de modo que a las 9:20 estén listos para utilizar el equipo E1.

Mientras tanto, A y B siguen usando E2 hasta las 10:00 h, momento en que C y D ya tienen listo el material proveniente del proceso E1, y ellos toman ahora a E2. Alrededor de las 10:05 h, A y B empiezan a trabajar con el equipo E3, el cual utilizarán hasta las 11:15 h, y así sucesivamente. Obsérvese que el diagrama también permite planear la hora de comida de ambas parejas de trabajadores. Al

final del turno, la diferencia de hora de salida entre A y B y C y D, es la misma diferencia que la hora de entrada. Se puede apreciar en la figura 10.5 que se procesan 8 lotes por turno.

Cuando hay necesidad de adquirir al menos dos unidades de un mismo equipo, entonces en el mismo tipo de gráfica se observaría que mucho antes de que se termine de utilizar un equipo, ya es necesario tener otro disponible, de lo contrario, empieza a existir material que se almacena temporalmente dentro del proceso y eso va restando eficiencia a todo el proceso productivo.

Por ejemplo, en la figura 10.6 se puede apreciar que si los tiempos de uso de los equipos E1, E2 y E3 fueran los mostrados, habría necesidad de comprar dos equipos de cada uno, pues cuando se requiere el equipo nuevamente, el anterior aún no se desocupa.

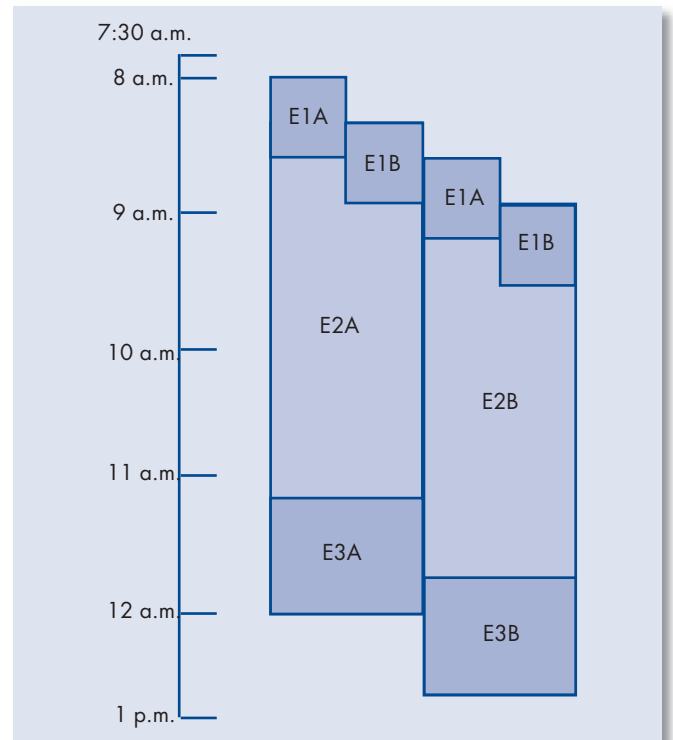


Figura 10.6 Diagrama para planear la utilización de equipo y de mano de obra.

La siguiente determinación es calcular las áreas necesarias para cada uno de los departamentos funcionales que tendrá la futura planta productiva. Para realizar este cálculo, primero se consideran todas las áreas que pueden existir claramente diferenciadas dentro de una empresa, las cuales son:

- Recepción de materia prima y embarque de producto terminado.

- Estacionamientos.
- Almacenes de materia prima, producto en proceso y producto terminado.
- Producción.
- Mantenimiento.
- Control de calidad.
- Cuarto de máquinas.
- Oficinas.
- Sanitarios.
- Áreas verdes.
- Áreas de expansión.

Luego, se deberá analizar la característica especial que tiene cada área, por ejemplo, el área de recepción de materia prima y embarque de producto terminado dependerá del volumen manejado de cada artículo, del estado físico de los materiales y de los medios de transporte de materiales con los que cuente la empresa.

Los almacenes dependerán del volumen manejado de cada materia prima, de su estado físico, de su vida de almacén⁴ y de que la cantidad que se compre haya sido calculada bajo el concepto de lote económico. Este concepto significa que siempre existe una cantidad a comprar, que es la más económica; si se compra más o menos de esa cantidad los costos de adquisición son mayores, pero eso no es tan simple. El cálculo del lote económico puede indicar, por ejemplo, que se debe comprar cierta cantidad de producto, que equivale a 27 días de producción, pero el producto tiene una vida de almacén de tan solo 5 días, entonces desde luego, prevalecerá la vida de almacén sobre el lote económico.

En ingeniería industrial se ha creado una clasificación de materiales llamada clasificación ABC. Esto significa que si un producto está formado de 15 partes, componentes o ingredientes, algunas de esas partes serán más importantes y más caras que otras. Por ejemplo, en la CPU de una computadora (ordenador), las partes más costosas son, sin duda, la memoria central o disco duro, la memoria aleatoria o RAM y el procesador. Todas las demás partes que la forman tienen un valor mínimo, en comparación con las partes principales.

Si una empresa se dedica a armar computadoras, entonces las memorias y el procesador serían clasificados como artículos A, o muy importantes y costosos; los cables y puertos como B, no tan importantes ni tan costosos; y

los tornillos, la cubierta de plástico, etc., serían clasificados como artículos C, o muy baratos y no importantes para el funcionamiento del equipo. Se recomienda aplicar el concepto de lote económico sólo a las compras de artículos clasificados como A. Con base en esta clasificación, se destina en gran parte el área de los almacenes.

Respecto de los almacenes de producto en proceso, no existen fórmulas para su determinación, ya que cada producto que tiene un tiempo de producción de varios días por razones tecnológicas, posee características que son totalmente únicas. Por ejemplo, no es lo mismo armar un automóvil que un refrigerador; o una medicina que debe estar en cuarentena para pruebas, que elaborar vino tinto o tabaco. Todos estos productos tienen en común que se requiere varios días, incluso años en el caso del vino, para estar en condiciones de salir al mercado, pero es imposible tener una fórmula única que determine cuál será el tamaño requerido para almacenar cada uno de ellos como producto en proceso.

Para calcular el área que requiere el almacén de producto terminado, hay que considerar la vida de almacén del producto y básicamente que exista una buena comunicación entre los departamentos de producción y ventas de la empresa. En muchas ocasiones, el área de ventas no puede vender más producto porque no ha sido elaborado, mientras que otras veces el área de producción sigue elaborando producto, a pesar de que las ventas han estado deprimidas.

Para el área de producción, se requiere considerar el tamaño físico de los equipos, las áreas de tránsito de materiales, de acuerdo con la forma de transportar los materiales, y las áreas de seguridad para el mantenimiento de los equipos. El tamaño de las áreas de control de calidad y de mantenimiento (muy ligadas al proceso productivo) dependerá del tipo de mantenimiento y control de calidad que la empresa decida efectuar internamente. Por ejemplo, hay pruebas de calidad y algunos tipos de mantenimiento correctivo que requieren equipos muy costosos, y que muchas veces las empresas no están en posibilidades de adquirirlos; por tanto, esas actividades se ejecutarían fuera de la empresa. Así, vemos que las acciones de control de calidad y de mantenimiento que la empresa decida ejecutar dentro de sus instalaciones determinará el área asignada para tal fin.

Respecto de las demás áreas, como oficinas, sanitarios, comedores, áreas verdes y estacionamientos, existe una reglamentación claramente definida, al menos en

⁴ Se llama vida de almacén al tiempo máximo que un producto terminado puede permanecer almacenado y estar en buenas condiciones para su venta. Por ejemplo, el pan común probablemente tenga una vida máxima de almacén de 36 horas, en tanto que una herramienta, como un desarmador, tiene muchos años de vida de almacén.

México, sobre cuáles son los espacios mínimos para cada una de ellas, por lo que hay pocas decisiones que tomar en su establecimiento, simplemente hay que obedecer la ley local de construcciones.

El área de expansión es un área muy especial, pues no está reglamentada y depende básicamente de los recursos económicos iniciales con los que cuente la empresa. Toda empresa nueva tiene como objetivo crecer en el futuro, y por ello debe prever esta futura expansión; si inicialmente los recursos son muy limitados y llegara a darse la necesidad de expandir el área física para incrementar la producción, se estará en serios problemas de saturación de espacios disponibles, lo que provocaría una disminución en la eficiencia de los procesos productivos, por eso es recomendable, mas no obligatorio, contar con áreas de expansión.

Una vez que se ha calculado con alguna justificación el área que se requiere para cada departamento o actividad que se vaya a realizar dentro de la empresa, el siguiente paso es distribuir esas áreas de manera que se generen beneficios. Ninguna actividad dentro de la compañía deberá efectuarse donde haya quedado lugar para realizarla. Por el contrario, existen técnicas en ingeniería industrial que permiten realizar asignaciones óptimas de los espacios disponibles.

Cuando el transporte de materiales dentro de la empresa no es intenso ni costoso, se utiliza el método de distribución sistemática de las instalaciones de la planta (SLP, por sus siglas en inglés). Cuando el transporte de materiales es intenso pero no costoso, se utiliza el método de carta de recorrido, y cuando el transporte de materiales no es intenso pero sí es costoso, se utiliza el método de carga-distancia. En este apartado sólo se mostrará un breve ejemplo del método SLP.

El método SLP fue inventado por Richard Muther en 1972 y se basa en cinco principios:

- a) *Mínima distancia de recorrido de los materiales.* Cada metro lineal que recorre un material dentro del proceso productivo tiene un costo, por ello, si se desea minimizar los costos, habrá que minimizar la distancia que recorra el material.
- b) *Utilización del espacio cúbico.* Aunque este principio parezca muy obvio, el hecho es que los ingenieros, sobre todo cuando recién inician su desempeño profesional, tienden a pensar sólo en dos dimensiones, desperdiciando todo el espacio disponible que hay hacia arriba.
- c) *Seguridad y bienestar para el trabajador.* Desde la fundación de la *Escuela de relaciones humanas*, por Elton Mayo, en la década de 1930, ya

han pasado 80 años en los cuales los administradores de empresas se han dado cuenta de que mientras el trabajador, ya sea de producción o de oficina, tenga un mejor ambiente de trabajo, con buena iluminación, asientos más cómodos, buena ventilación, poco ruido, temperatura adecuada, entre otros, el rendimiento es mayor que el de aquel trabajador que realiza sus labores con una o varias situaciones incómodas, por ello se recomienda diseñar plantas productivas con todas las comodidades posibles, en la medida en que lo permitan los recursos económicos. Todo esto es independiente de las medidas de seguridad que deben adoptar las empresas, de acuerdo con la reglamentación local vigente sobre seguridad en el trabajo.

- d) *Flexibilidad del proceso.* Este principio se refiere al hecho de que las tecnologías de producción y el mercado son cambiantes, por tanto, la empresa debe estar preparada para afrontar y adaptarse rápidamente a estos cambios. El hecho de que no tenga esta capacidad de rápida adaptación, con seguridad le traerá problemas en el mercado.
- e) *Integración total.* Cuando se diseña una planta, hay que considerar que todas las áreas que la integran tienen algún tipo de relación. El ingeniero industrial no debe enfocarse sólo al área de producción, sino que debe considerar esta interrelación de áreas para que las distribuya físicamente de manera adecuada dentro de los espacios disponibles.

La aplicación de estos principios al momento de diseñar una nueva entidad productiva parece sencilla, pero no es así. No hay forma de saber si la distribución de las áreas de la planta fue óptima, excepto por la experiencia de quien diseña y por los resultados económicos que se obtengan durante la operación.

En la figura 10.7 se muestra el aspecto que puede tener una distribución de planta, representando también el recorrido de los materiales.

Para establecer una distribución de este tipo, de acuerdo con Muther, hay que tener en cuenta el tipo de producto que se va a elaborar, la cantidad a producir, la secuencia de operaciones, la programación de la producción, es decir, en cuántos turnos de trabajo se pretende elaborar todo el producto, y, desde luego, todos los insumos y servicios que se requieren durante el proceso. También hay que considerar el espacio necesario y el disponible. En caso de que el terreno disponible tenga un área menor al espacio requerido habrá que pensar en términos de la tercera

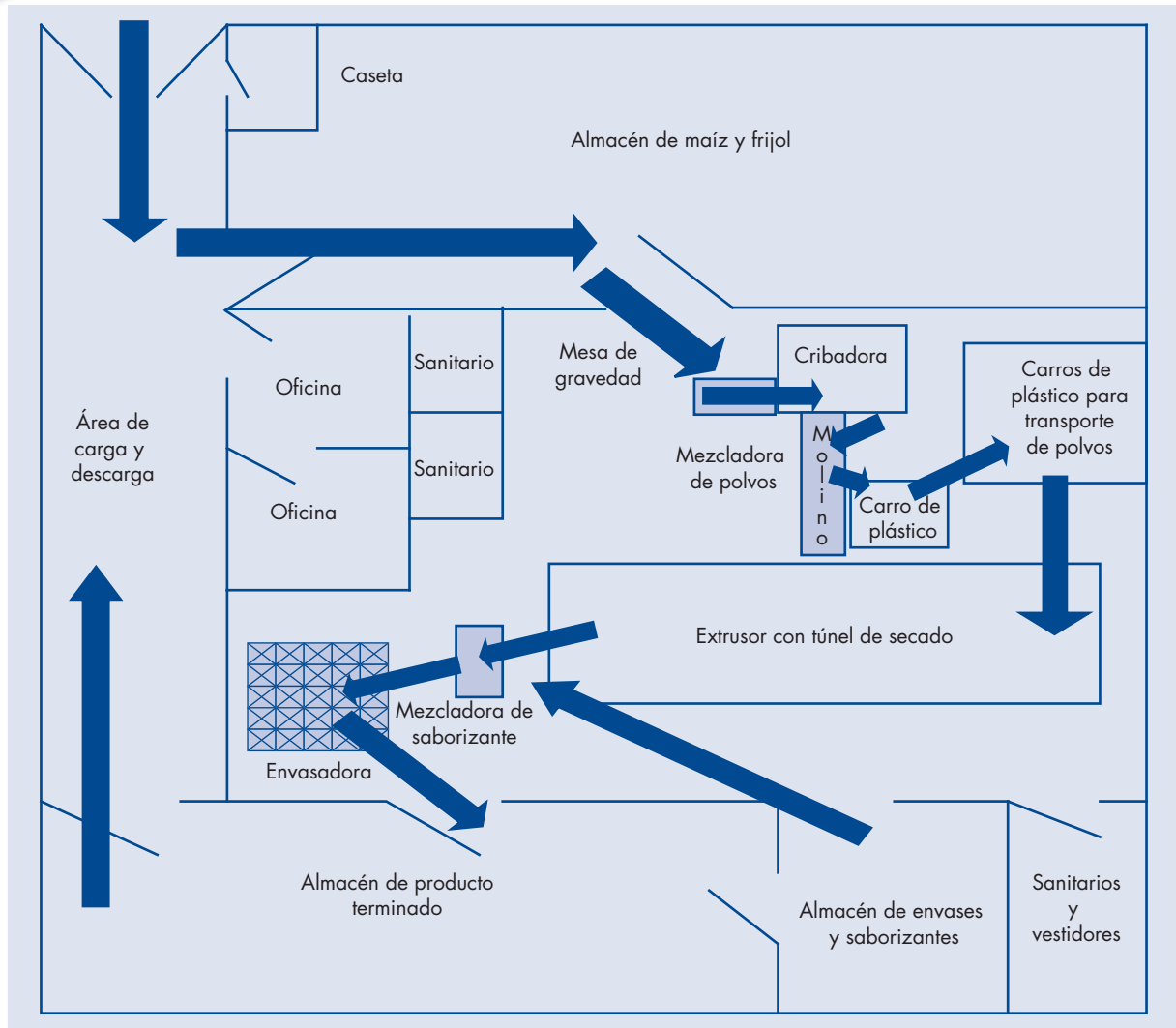


Figura 10.7 Distribución de planta y recorrido de materiales.

dimensión, o sea, aplicar el principio de la utilización del espacio cúbico.

Como se recordará, el SLP se utiliza sólo cuando el transporte de material no es intenso ni costoso. Esto significa que para llegar a la distribución óptima, se debe considerar exclusivamente la conveniencia de que ciertas áreas se ubiquen unas cerca de otras o unas muy alejadas de otras. Las áreas que deben estar, sin excusa, una al lado de otra, se consideran al principio, y al final se destinan aquellas que deban estar alejadas entre sí. Por ejemplo, es indispensable que los almacenes de materia prima estén lo más cerca posible del área productiva, mientras que si se cuenta con recipientes a presión, como calderas y compresores de aire, deberán ubicarse lo más lejos posible de las áreas donde se encuentra el personal laborando. En el diseño, primero se asignan las áreas para almacén de materia prima y producción, y al final se asigna el área para

los recipientes a presión. Como la mayoría de las áreas ya fueron asignadas, automáticamente los recipientes a presión quedarán alejados de cualquier otra área, que es lo que se buscaba. Como en algunas técnicas de ingeniería, la distribución óptima no se logra en el primer intento. Generalmente, se requieren tres y hasta cuatro intentos para llegar al óptimo. Así es la ingeniería.

Una vez que se ha integrado la parte física de las instalaciones, hay que diseñar la parte organizacional. Para esto se requiere, primero, el conocimiento de que la representación de los puestos o cargos que ocupa el personal que labora en una empresa se plasma en un organigrama.

En la actualidad, se han creado múltiples formas para representar un organigrama, los más conocidos son:

- **Jerárquico o militar.** Se utiliza para representar niveles de autoridad. Tiene forma de pirámide; en el

vértice superior se representa el puesto de mayor jerarquía en la empresa, gerente general o director general. Hacia abajo disminuye la jerarquía y aumenta el personal, hasta llegar a la jerarquía más baja que generalmente son los obreros, y que son los más numerosos.

- **Horizontal.** Muestra la cantidad de niveles jerárquicos. Por ejemplo, en una organización puede haber un director general, tres subdirectores, diez gerentes, 20 subgerentes, etcétera.
- **De escalera.** Es justamente una escalera, donde el puesto de mayor jerarquía se ubica en el peldaño superior.
- **De pastel.** Es una serie de círculos concéntricos; en el círculo central aparece el puesto principal y en el exterior los puestos inferiores. Es como un pastel de varios niveles visto desde arriba.
- **De staff.** Pueden existir algunas personas que colaboran en la empresa, pero que no tienen autoridad, aunque su trabajo sea en los niveles jerárquicos superiores, por ejemplo, un abogado que trabaje como asesor jurídico no tiene autoridad dentro de la empresa, aunque trabaje personalmente con el director general.
- **Funcional.** Es una mezcla del militar y el horizontal, en éste se describen las funciones que va a ejecutar cada una de las personas que aparece en el organigrama, lo cual justifica su inclusión en la nómina.

Este último es el organigrama que se recomienda para la presentación de un proyecto de inversión, ya que además de mostrar las jerarquías y los puestos que habrá en la futura empresa, justifica todos los puestos y el personal que aparecerán en la nómina para efecto de pago de sueldos y salarios. En la figura 10.8 se muestra un organigrama de este tipo. Se podrá observar que es una mezcla de varios tipos de organigramas, como el jerárquico y el de staff.

■ Análisis económico

Una vez que se ha optimizado el proceso productivo, el siguiente paso es expresar en términos monetarios todas las determinaciones realizadas en el estudio técnico. Por ello, el análisis económico sólo refleja el trabajo hecho en el estudio técnico; si se cometieron errores en éste,

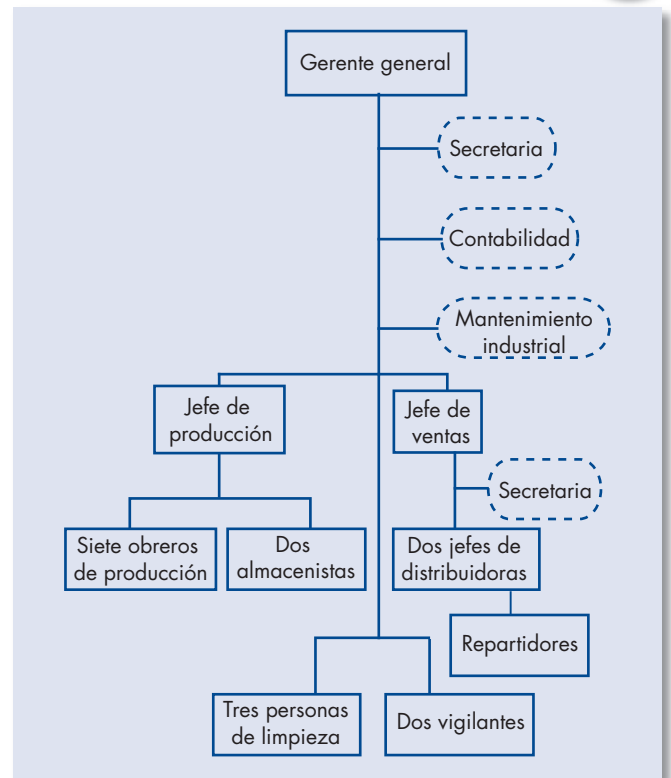


Figura 10.8 Ejemplo de organigrama funcional.

se verán reflejadas en costos mayores durante el proceso de producción, pero esto no se nota a primera vista. Es hasta la obtención del costo unitario del producto, que se podrá empezar a vislumbrar si ese costo es competitivo en el mercado, y es hasta la evaluación económica, que el proyecto arrojará cifras económicas definitivas sobre su conveniencia.

El análisis económico pretende generar las cifras que sirvan de base para el cálculo de la rentabilidad económica. A fin de efectuar este análisis, es necesario que el ingeniero industrial tenga un conocimiento sólido sobre las leyes hacendarias⁵ del país, ya que se tratan temas como los cargos de depreciación de los activos,⁶ definiciones legales de los diferentes tipos de activos y pago de impuestos, entre otros.

El análisis principia definiendo la inversión inicial. Recordemos que la empresa sólo invierte para la adquisición de activos. Es importante considerar aquí las características de los tres tipos de activos, ya que el tratamiento fiscal para cada uno de ellos es distinto.

⁵ Una ley hacendaria se refiere a una ley emitida por la Secretaría o el Ministerio de Hacienda, que es la instancia encargada, entre otras cosas, del cobro de los impuestos a las empresas y a las personas físicas.

⁶ Contablemente activo se define como todos los bienes propiedad de la empresa.

Los tres tipos de activos son el activo circulante, el activo fijo y el activo diferido. La diferencia radica en que para los activos fijo y diferido la inversión que se hace se puede recuperar en su totalidad por medio del mecanismo fiscal conocido como depreciación y amortización, mientras que la inversión hecha en el activo circulante no se puede recuperar por este medio dada la naturaleza líquida de este activo.⁷

Al activo fijo también se le llama activo tangible; es decir, que se puede tocar. Son activos físicos: el terreno, la construcción de la planta, las máquinas, los vehículos, etcétera. El activo diferido se llama activo intangible, o sea, que no se puede tocar, pues no son activos físicos, por ejemplo, la adquisición de una marca comercial, un estudio realizado para mejorar cierto proceso, la compra de patentes, etcétera. En la compra de una patente, aunque se puede tocar el documento donde se describe la patente, eso no es lo valioso, sino el conocimiento que tiene el documento y, sobre todo, los derechos adquiridos para explotar comercialmente la patente. Así pues, lo primero que habrá que hacer es elaborar una lista de todos los activos fijos y diferidos que la empresa se propone adquirir, a fin de determinar la inversión necesaria. En este punto es muy importante consultar las definiciones que hace la ley hacendaria de cada tipo de activo, pues no se trata sólo de formular la lista de activos.

En realidad, la necesidad de ser tan meticulosos en la clasificación de los activos, se debe a que es posible recuperar la inversión hecha en cada activo mediante los cargos de depreciación y amortización, de manera que si la clasificación es incorrecta, puede acarrear retrasos en la recuperación de la inversión, lo cual es perjudicial para la empresa. La misma ley hacendaria establece los porcentajes anuales a los que se recuperará la inversión hecha en cada tipo de activo.

Al momento de recuperar la inversión inicial, los términos depreciación y amortización, tienen el mismo significado, sólo que se aplican a activos distintos. La depreciación sólo se aplica a activos fijos, ya que depreciar significa disminuir de precio o de valor, y esto le sucede a los activos tangibles, básicamente por el paso del tiempo, y por el uso y obsolescencia tecnológica. Es importante señalar que el único activo fijo que no disminuye su valor por cualquiera de las causas señaladas es el terreno. Por otro lado, la amortización se aplica a los activos intangibles, ya que no

se puede decir que un activo diferido, como una marca comercial, disminuya su valor por el paso del tiempo, por obsolescencia tecnológica o por el uso. Como el objetivo de aplicar el concepto de amortización es el mismo que al aplicar el concepto de depreciación en activos fijos, entonces, hacer un cargo de amortización significa ir recuperando o amortizando la inversión inicial con el paso de los años.

Por tanto, la información que hay que generar inmediatamente después de establecer la inversión inicial, son los cargos de depreciación y amortización. Los porcentajes anuales a los cuales se recupera cada uno de los activos fijo y diferido, están declarados en las leyes hacendarias locales.

Falta considerar el tercer tipo de activo, el activo circulante. Mientras los activos fijo y diferido no pueden ser vendidos por la empresa sin dañar los sistemas productivos, administrativos o de ventas, para el caso del activo circulante es lo opuesto. De hecho, tiene ese nombre precisamente porque es un activo que varía en cantidad casi a diario. Está conformado por valores e inversiones, inventarios y cuentas por cobrar.

Supóngase que se ha invertido en la instalación de una nueva empresa, y que ya se tiene todo listo para iniciar la producción en serie, incluyendo pruebas de arranque y puesta en marcha del área productiva. Si se analiza brevemente cuál debe ser el siguiente paso para iniciar la operación de la planta, se verá que se necesita dinero en efectivo, para varias cosas, entre otras para cubrir los gastos cotidianos, como gasolina, sueldo del personal, compra de materia prima, etc., lo cual genera la necesidad de contar con dinero invertido en el banco (valores e inversiones); para elaborar producto, ya que se compra la materia prima, pero hay que transformarla, almacenarla, venderla y entregarla a un distribuidor o al consumidor final, y esto da origen al concepto de inventarios y, por otro lado, las empresas venden sus productos generalmente a crédito, lo cual origina el concepto de cuentas por cobrar, que es el dinero que se ha invertido, dando crédito a los compradores o a los consumidores del producto. Como se puede observar, en los tres conceptos hay dinero invertido que fluctúa en cantidad cada día, dando lugar al concepto de activo circulante.

Sin embargo, así como a la empresa le deben aquéllos a los que les otorga crédito en las ventas, también quienes le venden materia prima y otros insumos, que pueden otorgarle crédito a la empresa. Los pasivos a corto plazo,⁸

⁷ En México, las leyes hacendarias no permiten la recuperación de la inversión hecha en el activo circulante, y esto puede ser distinto en otros países. Cuando se habla de la liquidez del activo circulante, significa que todos los rubros que conforman el activo circulante pueden convertirse en dinero en efectivo con relativa facilidad, a diferencia de los rubros que conforman los activos fijo y diferido.

⁸ Contablemente, pasivo es una obligación o una deuda adquirida por la empresa. Si es de corto plazo, implica que es una deuda que debe ser pagada en un plazo menor de un año.

llamado pasivo circulante, incluyen pago a proveedores o cuentas por pagar, pago de servicios, como energía eléctrica, teléfono, agua, etc., que se pagan cada mes o cada bimestre; sueldos y salarios, que se pagan cada semana o cada quincena, etc., y por supuesto, el pago de impuestos.⁹

Entonces, a la empresa le deben pero también debe. La diferencia entre estos conceptos, activo circulante menos pasivo circulante, origina el llamado capital de trabajo, que es la inversión necesaria para que la empresa pueda iniciar operaciones en forma continua. Hay que destacar que ésta es una inversión adicional a aquélla realizada para la adquisición de los activos fijo y diferido.

La siguiente determinación del análisis económico son los costos totales de operación. Cuando se dice operación se incluyen las tres áreas básicas: producción, administración y ventas. Dentro de los costos de producción se pueden mencionar:

- Materia prima.
- Envases y embalajes.
- Energía eléctrica.
- Agua.
- Combustibles.
- Mano de obra directa e indirecta.
- Control de calidad.
- Mantenimiento.
- Depreciación y amortización.
- Disposición y tratamiento de desechos contaminantes y no contaminantes.

En el área administrativa, en cambio, los costos se pueden clasificar en:

- Sueldos y salarios.
- Gastos de oficina, incluye material de oficina, insumos para computadoras, etcétera.
- Mantenimiento de equipos de oficina, básicamente computadoras.
- Depreciación de equipos.

Los otros costos corresponden al área de ventas. En la planeación de una empresa, se presentan varias alternativas. Sueldos y salarios, gastos de oficina, depreciación y mantenimiento de equipos de cómputo, no son el problema. Éste surge cuando se considera la forma en que se ha

planeado vender los productos. La suposición más sencilla es decir que se entregarán a un distribuidor, y que éste pasará a la empresa a recoger los productos, lo cual es muy poco probable. La segunda suposición es que la empresa entregue el producto a los distribuidores, y aquí siguen las suposiciones y las decisiones.

Una primera suposición es contar con uno o varios medios de transporte pesado para entregar el producto sólo a los distribuidores. En este caso, habrá que determinar cuántos y de qué capacidad serán esos transportes y qué tiempo permanecerán activos diariamente; habrá que asignar sueldos al chofer y a uno o dos ayudantes. La siguiente alternativa es rentar fletes sólo para la entrega del producto a distribuidores.

La siguiente suposición para la forma de vender los productos es la más atractiva, pero la más complicada en la planeación, ya que implica vender el producto directamente a comercios expendedores; puede ser al mayoreo o al menudeo, dependiendo del tipo de producto. En el caso más complicado, el producto se repartiría a pequeños establecimientos de venta al menudeo. Aquí hay que considerar la flotilla de pequeños transportes necesaria para el reparto, así como el porcentaje de comisión para los vendedores sobre las ventas, establecer cuotas de ventas, segmentar el mercado, entre otros. Además, en este caso, también habría que considerar el consumo de gasolina del vehículo, el mantenimiento del mismo y otros costos de ventas que podrían surgir. Como se podrá observar, la planeación se complica.

Sin embargo, existe un concepto muy importante que debe considerarse, cualquiera que sea la forma seleccionada para vender el producto: la publicidad del producto. Nuevamente se puede entrar en otra área propia de especialistas distintos a la ingeniería industrial, lo cual no es el objetivo de un estudio de factibilidad. Por ello, se sugiere asignar un presupuesto para la publicidad del producto. Recuérdese que en este rubro deben aparecer estrategias de comercialización, pues ambas acciones, la publicidad y la estrategia de comercialización, son complementarias y no son sustitutas una de la otra.

Para cada una de las determinaciones de todos los costos mencionados, existe una serie de procedimientos claramente definidos, aunque hay que recordar que la base son las estimaciones realizadas en el estudio técnico; es decir, la determinación de costos es un problema de ingeniería, no un problema de contabilidad.

Existe otro conjunto de costos llamados costos financieros o intereses pagados por deudas. Normalmente, el

⁹ En México, la ley hacendaria obliga a pagar adelantos del impuesto sobre la renta (ISR) cada tres meses y a realizar un ajuste final al término del año fiscal.

grupo de accionistas o propietarios de la futura empresa cuenta con determinado capital para invertir. Este capital disponible puede incrementarse mediante la solicitud de un préstamo o financiamiento a una o varias instituciones financieras. Cada préstamo otorgado a la empresa genera el pago de intereses, lo cual da origen a los costos financieros.

Una de las determinaciones más importantes del análisis económico es la tasa mínima aceptable de rendimiento o TMAR. Supóngase que una persona tiene dinero para invertir; la primera pregunta que se debe plantear es: ¿por qué decidiría invertir en vez de gastar el dinero? Hay muchas opciones de inversión, sobre todo hoy en día con los mercados globalizados.¹⁰ La primera opción es invertir en la deuda que emite cualquier gobierno en forma de títulos de deuda. Por ejemplo, el gobierno de Estados Unidos de América emite billetes del Tesoro o T-bills¹¹ y el gobierno mexicano emite Certificados de la Tesorería. Cuando un gobierno emite deuda, el riesgo de esa inversión es cero, aunque también es la tasa de interés más baja que paga el mercado en ese país. Luego, hay una gran variedad de opciones de inversión; sólo por citar algunas de ellas, se puede invertir en metales (oro, plata, platino, etc.), en monedas fuertes como el dólar, el euro, la libra esterlina, etc., también se puede invertir en bienes raíces o en la compra de acciones en una Bolsa de Valores; las alternativas son muy variadas. Sin embargo, se está suponiendo que el inversionista decide invertir en la creación de una nueva unidad productiva. Cuando invierte en cualquiera de las opciones mencionadas, en algunas puede conocer cuál será el rendimiento anual, en otras es imposible saberlo, pero cuando invierte para la creación de su propia empresa, entonces el inversionista puede fijar la tasa de ganancia que le gustaría obtener por esa inversión, pero basado en el riesgo de la misma.

Por ejemplo, puede decidir fabricar lociones para caballero con una nueva marca de alto prestigio y de alto precio, o instalar una cadena de supermercados. El riesgo de la inversión es muy distinto en ambos proyectos. En el caso de las lociones para caballero, se trata de un producto no necesario, el mercado está saturado y ya existen marcas conocidas y aceptadas por su calidad; tratar de introducirse y competir en ese mercado es verdaderamente riesgoso. En una cadena de supermercados la situación es diferente, casi en cualquier ciudad de más de 500 000 habitantes, y sobre todo en las más pobladas, ya existen cadenas de

supermercados, pero siempre hay compradores, pues se venden productos necesarios, y básicamente comida de todo tipo. Por tanto, la probabilidad de tener éxito con los supermercados es muy alta, es decir, el riesgo es bajo. De acuerdo con este ejemplo, es imposible esperar el mismo rendimiento económico en ambos proyectos; a mayor riesgo la tasa de ganancia debe ser mayor, ya que también el riesgo de fracaso es mayor.

Cuando se invierte en la instalación de una nueva unidad productiva, el inversionista debe medir el riesgo del nuevo negocio y con esa base asignar un valor a la TMAR. Si obtiene al menos esa tasa de ganancia, decidirá invertir, de lo contrario deberá rechazar la inversión.

El siguiente paso en el análisis económico es buscar un financiamiento. La alternativa más simple es acudir a un banco comercial y conseguir el crédito, sin duda ésta es la opción más sencilla, aunque también la peor en términos de las condiciones exigidas y las tasas de interés que, normalmente, cobra un banco por un financiamiento industrial. Existen otras opciones de financiamiento, por ejemplo, conseguir socios aportadores de capital por medio de la emisión de nuevas acciones; otra es emitir títulos de deuda, como papel comercial o bonos empresariales. En fin, el ingeniero industrial debe estar al tanto de todas las alternativas que se tienen para conseguir dinero fresco para una nueva unidad productiva, o incluso para una empresa que ya está en funcionamiento.

Todo el análisis económico en la planeación de una empresa está enfocado principalmente a la determinación del llamado flujo neto de efectivo. Éste es el dinero que se calcula que podrá disponer la empresa, después de cubrir todos los costos, incluyendo los intereses por concepto de deudas, luego de haber pagado impuestos y de haber repartido las utilidades generadas por la empresa, por esta razón lleva el nombre de flujo neto. Se obtiene del estado de resultados proyectado o proforma, el cual se muestra en la tabla 10.2.

En la tabla, se puede observar que el estado de resultados concentra todas las determinaciones monetarias que se efectuaron en el análisis económico. El ISR es el importe del impuesto sobre la renta que se debe pagar al gobierno y el RUT es el reparto de utilidades a los trabajadores, que también es una prestación que la ley establece para beneficio de todo el personal que labora en la empresa.

Asimismo se puede observar que se suma la depreciación a la utilidad después de impuestos. En el apartado

¹⁰ Mercado globalizado significa que con el uso de las grandes redes de información que existen, los negocios del mundo están permanentemente en comunicación y listos para hacer transacciones comerciales.

¹¹ El Tesoro a que se refieren esos títulos de deuda es el Tesoro de Estados Unidos de América, equivalente al ministerio de Hacienda en cualquier otro país.

Tabla 10.2 Estado de resultados proyectado

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
+ Ingresos por venta de productos					
– Costos de producción					
– Costos de administración					
– Costos de venta de productos					
– Intereses pagados por deudas					
= Utilidad gravable o antes de impuestos					
– Pago de ISR y RUT					
= Utilidad después de impuestos					
+ Depreciación					
– Pago del capital recibido en préstamo					
= Flujo neto de efectivo					

correspondiente a depreciación se comentó que éste es un mecanismo de recuperación de la inversión que se hace en cualquier momento de la vida de la empresa. Aquí se observa cómo es que una vez que se ha cargado como un costo deducible de impuestos,¹² de acuerdo con la ley hacendaria, en realidad es un costo que no se paga a ningún acreedor de la empresa, por tanto, ese cargo permanece en la propia empresa. Éste es el mecanismo fiscal que permite recuperar la inversión, razón por la cual se suma, una vez que se han pagado los impuestos al gobierno.

Finalmente, se observa que los intereses pagados por deudas contraídas por la empresa son deducibles de impuestos, pero el pago de capital no lo es, de acuerdo con la ley hacendaria de cualquier país.

Ya se ha comentado que la importancia del estado de resultados proyectado es obtener el flujo neto de efectivo, ya que éste es la base para calcular la rentabilidad económica de la inversión. Es muy importante hacer notar que todas las cifras del estado de resultados proyectado son expectativas; nada garantiza que se obtendrán exactamente esas ganancias en esos años. Los métodos empleados para llegar a esas cifras son lo único que garantiza la precisión y concordancia que se pueda tener en el futuro, entre lo proyectado y la cifra real obtenida. Los métodos principian, precisamente, con las cifras obtenidas en el estudio del mercado y terminan con las determinaciones de la optimización de los procesos efectuadas en el estudio técnico.

Como se puede observar, un ingeniero industrial está capacitado para realizar todas las determinaciones mencionadas con bastante precisión, es decir, de acuerdo con sus determinaciones es muy probable que una vez instalada la unidad productiva, la empresa se comporte económicamente de acuerdo con lo proyectado.

Evaluación económica y análisis de riesgo

Se supone que hasta este momento del proceso de planeación de una nueva entidad productiva, ya se ha detectado un mercado potencial insatisfecho para el producto que se pretende elaborar, se ha determinado que existen los medios para introducirlo al mercado, que se domina la tecnología de producción y que se ha calculado la inversión necesaria y los costos totales en que se incurrirá en su producción masiva. Sin embargo, falta la determinación más importante: el cálculo de la rentabilidad económica.

Hay que tener claro cuál es el concepto de rentabilidad económica. En la sección anterior se mencionó que cualquier inversionista tiene muchas opciones para invertir su dinero. Cualquiera que sea la opción que elija, tiene un riesgo y un rendimiento asociado. A menor riesgo, menor rendimiento, a mayor riesgo mayor rendimiento. Por ello, lo primero que deberá hacer el inversionista es medir el riesgo de la inversión que pretende realizar y asignar una tasa mínima de ganancia llamada TMAR. Luego, deberá calcular el rendimiento económico de la inversión, y si es mayor o

¹² Recuérdese que en los costos de producción, administración y ventas hay un cargo de depreciación, correspondiente a los activos fijo y diferido que poseen esas áreas.

al menos igual a la tasa que él mismo ha fijado como mínima para aceptar, deberá invertir. Concretamente, una inversión presenta rentabilidad económica si obtiene una ganancia tal que esté acorde con el riesgo de la inversión.

Rentabilidad económica no es sólo ganar algo. Por ejemplo, se invierte en un negocio altamente riesgoso y la tasa de ganancia que se obtiene es apenas la que ofrecen los títulos de deuda del gobierno. Si éste fuera el caso, el inversionista preferiría invertir con el gobierno, pues la ganancia es segura, en vez de arriesgar su dinero y obtener el mismo rendimiento. Pero, ¿cómo se mide la rentabilidad económica de una inversión?

Los ingresos netos anuales o flujos netos de efectivo calculados en el estado de resultados proyectado, se obtienen a través de los años, lo cual representa un problema de comparación, ya que como usted sabe, y vimos al inicio de este capítulo, el dinero cambia su valor con el tiempo.

La ingeniería económica es una disciplina que se enseña en la licenciatura de ingeniería industrial; muestra la forma de comparar adecuadamente el dinero que se gana a través de los años. Por ejemplo, podría suponerse que si el flujo neto de efectivo de una empresa se ha calculado que será de \$1.5 millones anuales, durante seis años, entonces la ganancia en el presente es de $1.5(6) = \$9$ millones. Pero, ya se ha dicho que el dinero de un año no tiene el mismo valor o poder adquisitivo de la misma cantidad de dinero en el siguiente año, mucho menos si el periodo es de seis años.

La ingeniería económica habla de valores equivalentes de dinero. Supóngase que ahora se tienen las mismas 100 unidades monetarias de las que hablamos al inicio de este capítulo y con ellas podemos adquirir en este momento 50 kg de carne de res. Luego, supóngase que transcurren tres años, en los cuales en el país se registra un aumento de precios de 10% cada año,¹³ con lo cual, al final del primer año, los 50 kg de carne aumentaron 10% su precio, es decir, aumentaron \$10, por lo que al final del primer año su costo fue de \$110. Para el segundo año, el costo volvió a aumentar 10%, es decir, aumentaron $110(0.1) = \$11$, así al final del segundo año los 50 kg de carne costaban $110 + 11 = \$121$. Haciendo una operación similar para el tercer año, el aumento fue de $121(0.1) = \$12.1$ y el costo al final del tercer año fue de $121 + 12.1 = \$133.1$.

Hablando en términos de valor equivalente del dinero, se puede decir que si la inflación o la tasa de interés del mercado fue de 10% anual, \$100 de hoy en día, serán equivalentes a \$133.1 dentro de tres años, y son equivalentes, en términos del poder adquisitivo del dinero, ya que al inicio del año 1, con \$100 se pudieron comprar

50 kg de carne y se necesitaron \$133.1 al final del año 3 para comprar los mismos 50 kg de carne. Este concepto se llama equivalencia del valor del dinero a través del tiempo, en términos del poder adquisitivo del dinero. Obsérvese en el ejemplo, que esta equivalencia sólo fue posible debido a que la inflación fue de 10% cada año. Si este valor hubiera cambiado, es decir, si la inflación hubiera sido distinta cada año, o que fuera igual pero no de 10%, entonces \$100 de hoy en día ya no serían equivalentes a \$133.1 dentro de tres años.

La ingeniería económica ha puesto en práctica una fórmula básica para realizar estos cálculos:

$$F = P(1 + i)^n \text{ o su inversa } P = \frac{F}{(1 + i)^n}$$

Esta fórmula permite trasladar el dinero a su valor equivalente a cualquier periodo de tiempo. En la fórmula, F es el valor futuro equivalente que adquiere el dinero en cualquier periodo n , P es el valor del dinero en el presente, i es la tasa de interés del mercado y n es el número de periodos que se quiere trasladar el dinero, hacia adelante o hacia atrás en el tiempo. Si se utiliza esta fórmula para el problema planteado de la compra de 50 kg de carne con 100 unidades monetarias, el cálculo es:

$$F = 100(1 + 0.1)^3 = 133.1$$

o si se quiere regresar el dinero del futuro hacia el presente:

$$P = \frac{133.1}{(1 + 0.1)^3} = 100$$

Evidentemente, en el problema $P = 100$, $i = 10\%$ anual y $n = 3$.

Para observar cómo se planea y se decide la inversión en la nueva unidad productiva, la primera pregunta que hay que hacer es: ¿por qué invierte una persona? Cuando alguien tiene un poco de dinero de sobra, puede optar por dos alternativas: gastar el dinero o invertirlo. Si lo gasta, va a tener un consumo y esto le dará una satisfacción. Si decide invertir, entonces el inversionista espera que la cantidad de dinero sea mayor en el futuro de lo que tiene en el presente, si esto es así, en el futuro tendrá mayor consumo y, por tanto, mayor satisfacción de aquella que hubiera tenido por gastar su dinero en el presente. Esta conclusión tan sencilla es la base para tomar la decisión de invertir o rechazar una inversión.

¹³ Si el aumento de precios fue de 10% generalizado, se puede decir que la inflación en la economía fue de 10% anual.

Para tomar una decisión, el inversionista tiene varios elementos de juicio:

1. Determinar, con base en el riesgo del negocio, una tasa mínima aceptable de rendimiento.
2. Calcular, con ciertas bases, la inversión necesaria y la ganancia neta después de impuestos (flujo neto de efectivo), para varios años en el futuro.
3. Saber que para comparar adecuadamente el valor del dinero que se va obteniendo a lo largo de los años, como los flujos netos de efectivo, es necesario comparar esos flujos de efectivo con su valor equivalente en un solo periodo.
4. Conocer la fórmula básica de la ingeniería económica, que le permite trasladar el dinero a su valor equivalente a cualquier periodo.

Si ha fijado una tasa mínima aceptable de rendimiento, entonces, lo que el inversionista necesita hacer es calcular la tasa de rendimiento que tiene la propuesta de inversión y compararla contra la tasa mínima aceptable que él fijó. Desde luego, el inversionista espera que la tasa de ganancia de la inversión sea mayor, o al menos igual, que la tasa mínima que está esperando ganar, para decidir invertir.

Supóngase que después de haber realizado cuidadosamente todos los pasos mostrados de la metodología de un estudio de factibilidad, se llega a las siguientes cifras:

Inversión: \$500

Ganancias anuales:

$FNE_1 = \$183$

$FNE_2 = \$267$

$FNE_3 = \$390$

$FNE_4 = \$456$

$FNE_5 = \$512$

También supóngase que después de haber analizado el tipo de negocio, el inversionista ha decidido fijar una tasa mínima de ganancia de 35%. Para representar esta propuesta de inversión, la ingeniería económica ha desarrollado los diagramas de flujo, que son, simplemente, una representación en el tiempo de cualquier tipo de flujos de efectivo. El diagrama de flujo del problema se muestra en la figura 10.9.

Como se puede observar, en el diagrama de flujo, la línea horizontal representa el tiempo, la flecha hacia abajo la inversión y las flechas hacia arriba las ganancias anuales. Las flechas no necesariamente deben dibujarse a una escala perfecta con relación a la cantidad monetaria que representan.

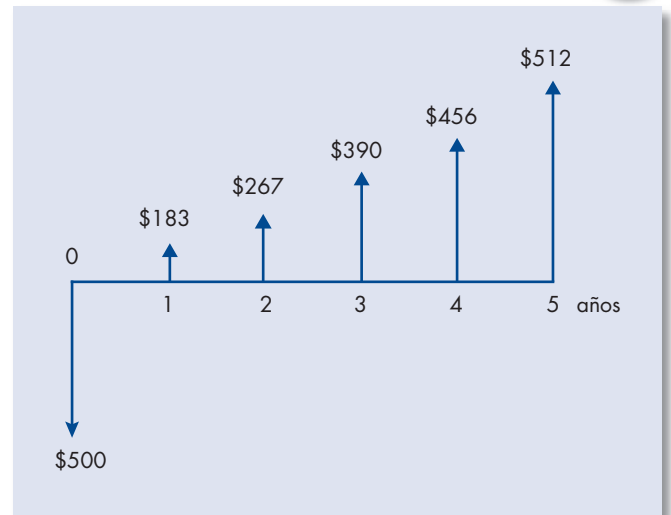


Figura 10.9 Diagrama de flujo de efectivo.

Para calcular la rentabilidad de la inversión, se toman el tercero y cuarto elementos de juicio mencionado; en otras palabras, se debe comparar el dinero en un solo instante del tiempo, haciendo uso de la fórmula básica de ingeniería económica, que permite trasladar el valor del dinero a su valor equivalente a cualquier periodo.

El periodo más comúnmente utilizado para realizar la comparación del dinero es el presente, ya que es el único donde se conoce cuál es el verdadero valor que tiene el dinero, en términos de su poder adquisitivo. Aplicando estas premisas al problema, habrá que trasladar cada uno de los flujos de efectivo anuales a su valor equivalente al presente o tiempo cero. Sin embargo, la inversión no se debe trasladar, puesto que, por definición, la inversión se realiza en el presente. Desde luego, los flujos de efectivo son positivos en el sentido de que son un ingreso para la empresa; y la inversión es negativa, en el sentido que constituye un desembolso para los inversionistas:

$$VPN = -500 + \frac{183}{(1+i)^1} + \frac{267}{(1+i)^2} + \frac{390}{(1+i)^3} + \frac{456}{(1+i)^4} + \frac{512}{(1+i)^5}$$

Las siglas VPN significan el Valor Presente Neto; el nombre *valor presente* se debe a que todos los flujos de efectivo han sido trasladados a su valor equivalente en el presente y el término *neto* se debe a que a la suma de los flujos de efectivo se le ha restado la inversión inicial. Una forma de determinar la rentabilidad de una inversión, es calcular el VPN, y esto se efectúa sustituyendo en la fórmula anterior la TMAR del inversionista que en el problema es 35%:

$$\begin{aligned}
 VPN = & -500 + \frac{183}{(1 + 0.35)^1} + \frac{267}{(1 + 0.35)^2} \\
 & + \frac{390}{(1 + 0.35)^3} + \frac{456}{(1 + 0.35)^4} \\
 & + \frac{512}{(1 + 0.35)^5} = \$192.04
 \end{aligned}$$

El resultado se expresa en dinero y es equivalente a decir que el inversionista invierte \$500 y que gana cada año (durante cinco) una tasa de 35% sobre su inversión, y además recibe en el presente \$192.04. De acuerdo con el criterio mencionado sobre la razón por la que invierte una persona, aquí se observa claramente cómo si el inversionista decidiera gastar su dinero en el presente, sólo gastaría \$500, pero si lo invirtiera, recuperaría los \$500 a lo largo de cinco años (lo cual se observa al restar los \$500 en el cálculo del VPN), y además ganaría \$192.04, es decir, tendría más dinero en el futuro que aquel que tiene en presente, lo cual le permitirá consumir más en el futuro de lo que podría consumir en el presente. Por tanto, si el VPN es positivo, es decir, mayor que cero, el inversionista deberá aceptar la inversión.

Otra forma de expresar la rentabilidad de una inversión es calculando la tasa interna de rendimiento (TIR). Una definición sencilla de TIR es que aquella tasa de interés que hace el $VPN = 0$. Tomando la ecuación del cálculo del VPN e igualando a cero, se tiene:

$$\begin{aligned}
 VPN = 0 = & -500 + \frac{183}{(1 + i)^1} + \frac{267}{(1 + i)^2} + \frac{390}{(1 + i)^3} \\
 & + \frac{456}{(1 + i)^4} + \frac{512}{(1 + i)^5}
 \end{aligned}$$

En la última fórmula se observa que la única incógnita es la i , que en este caso se convierte en la tasa interna de rendimiento. Por prueba y error se determina que la $TIR = 51.5\%$, lo cual confirma el resultado del VPN, en el sentido de que se debe aceptar la inversión. El resultado significa que si el inversionista está pidiendo una tasa mínima de rendimiento de la inversión de 35%, el proyecto en realidad generará un rendimiento de 51.5%; como se está ganando más del mínimo aceptable, hay que invertir.

Se ha presentado una visión muy simplificada de la planeación de una empresa. Hay que recordar que éste es un texto introductorio a la ingeniería industrial; por tanto, la finalidad de éste no es tratar a profundidad la mayoría de los temas, puesto que los lectores son estudiantes que recién han ingresado a esta fascinante licenciatura. La intención principal es mostrar de manera generalizada la forma

en la que se toma este tipo de decisiones. Sin embargo, los conocimientos del ingeniero industrial le permiten ir más allá de la planeación de la empresa en términos del área productiva.

Planeación financiera de la empresa

La formación del ingeniero industrial es interdisciplinaria y multidisciplinaria. Hace unos 40 años, en casi toda Latinoamérica, los estudios de cualquier ingeniería eran muy especializados respecto del nombre que tenía la licenciatura, es decir, no se enseñaban a los ingenieros de ninguna especialidad materias como administración, contabilidad, finanzas, entre otras, simplemente porque se pensaba que no eran útiles para el área de ingeniería.

Cuando nace la ingeniería industrial en Latinoamérica con el enfoque de la multidisciplinaria, estos ingenieros son quienes más fácilmente alcanzan puestos directivos, pues tienen los conocimientos para administrar de manera correcta una empresa, a diferencia de otras especialidades de la ingeniería. Con este enfoque también nace la interdisciplina, que significa no sólo conocer y dominar varias disciplinas, sino saber cómo se interrelacionan éstas para generar nuevos enfoques en la industria y, desde luego, mayor capacidad de análisis y decisión para el ingeniero que ha adquirido esta formación.

Un resultado de este enfoque es el hecho de que el ingeniero industrial también está capacitado para realizar la planeación financiera de una empresa, aunque desde luego no al grado en que lo puede hacer un especialista en finanzas. Siguiendo con el ejemplo de diseñar una nueva empresa, las necesidades de planeación financiera son en varios sentidos: el primero, es buscar fuentes de financiamiento para la nueva entidad productiva; el segundo, es saber administrar adecuadamente el capital de trabajo, lo cual incluye buscar y tomar las mejores alternativas de inversión cuando la empresa tiene excedentes de efectivo.

La ingeniería económica le muestra al ingeniero industrial cómo analizar las propuestas de financiamiento para elegir la mejor, e incluso para negociar la más conveniente para la empresa, justo antes de instalarse; pero, cuando ya está en funcionamiento y necesita dinero, hay varias fuentes de financiamiento, que no son las instituciones bancarias. La primera fuente de dinero obvia es la emisión de nuevas acciones, o sea, conseguir más socios aportadores de dinero. La segunda fuente es la emisión de deuda por parte de la empresa y aquí se pueden presentar necesidades de dinero a corto o a largo plazos.

Cuando se necesita dinero a corto plazo, normalmente una empresa puede emitir papel comercial, con vencimientos a tres, seis y nueve meses. Cuando las necesidades de capital son a largo plazo, entonces se puede

pensar en emitir bonos empresariales. El ingeniero industrial debe conocer todas estas alternativas y seleccionar la más conveniente para la empresa desde el punto de vista económico.

Una situación adicional que se presenta comúnmente es qué hacer con los excedentes de dinero. Cuando la empresa ya está en operación y genera ganancias, hay que analizar todas las alternativas de inversión disponibles en el mercado. El factor determinante aquí también es el plazo de inversión. Si se tiene un excedente pero se sabe que se necesitará de ese dinero en el corto plazo (menos de un año), hay disponibles ciertas alternativas, pero si el excedente no se necesitará por más de un año, entonces las opciones para invertir ese dinero son muy distintas.

Por otro lado, está la administración del capital de trabajo. Uno de sus componentes es el activo circulante, conformado por valores e inversiones, inventarios y cuentas por cobrar. Estos rubros o conceptos contables tienen una teoría para administrar cada uno correctamente. Los

valores e inversiones son inversiones a corto plazo. Sobre los inventarios, a los ingenieros industriales se les enseña la teoría de varios modelos para su correcta administración. Las cuentas por cobrar se administran fijando ciertas normas basadas en estrategias, para otorgar crédito a los compradores de los productos de la empresa.

En este enfoque, hay que tener en cuenta el tamaño de la empresa; si ésta es muy grande, el ingeniero industrial normalmente no determinará la planeación financiera, pues por su tamaño ésta necesitará especialistas, pero si el ingeniero industrial conoce el lenguaje empleado en esta materia, podrá comunicarse sin ningún problema con ellos. Incluso, si la empresa es muy pequeña, y si el propietario es el ingeniero industrial, entonces tendrá la capacidad para que él mismo pueda hacerse cargo de toda la función financiera, dado que una micro o pequeña empresa no tiene los recursos económicos suficientes para contratar a un especialista financiero. Materias como contabilidad, finanzas e ingeniería económica, le otorgan este bagaje.

Palabras clave

Planeación, evaluación de proyectos, factibilidad.

Caso práctico

Caso 1

El siguiente caso muestra la forma en que se puede aplicar la metodología de evaluación de proyectos para contribuir al desarrollo económico de una región. En uno de los estados del norte de México, donde se produce mucho frijol, se inventó una tecnología para aprovechar el frijol que al cosecharse se rompe o quiebra, conocido localmente como frijol quebrado. La tecnología consiste en hacer una mezcla de maíz y frijol, la cual se muele y extruda,¹⁴ para elaborar una botana, que pueda competir con ventaja contra las botanas de empresas trasnacionales como Pepsico y Barcel.

La ventaja de la botana con base en maíz y frijol es que ésta es nutritiva, con un aporte de proteínas similar a la que aporta un huevo en una ración comercial de

42 g, a diferencia de las botanas comerciales, conocidas como alimento chatarra, cuyo aporte proteico es prácticamente de cero. Con ésta, por un lado, se aprovecharían cientos de toneladas de frijol quebrado que se generan cada año en la región y por otro, está la posibilidad real de competir en un mercado dominado por grandes y fuertes empresas, pero teniendo una ventaja competitiva en el producto. ¿Cómo pasar de una investigación de laboratorio a la elaboración industrial de un producto? Para hacer esto se requiere de las herramientas que maneja la evaluación de proyectos, es decir, de un estudio de factibilidad sobre la botana creada experimentalmente en un laboratorio.

Con una buena cantidad de muestras producidas en el laboratorio fue posible realizar más de 2 100 encuestas, en las que se dio a probar el producto a cada

¹⁴ Al producto que se somete a una extrusión se le llama extrudido. La extrusión consiste en hacer pasar el producto en forma de pasta húmeda por un tornillo sinfín, elevando la presión y temperatura del producto, el cual sale por una boquilla que se encuentra al final del tornillo. Dependiendo de la forma de la boquilla, es la forma que adquiere el producto. Al salir, éste se enfría y se expande instantáneamente, adquiriendo una consistencia porosa.

encuestado, para calcular la posibilidad real de penetración al mercado. Ese número de encuestas arrojó un nivel de confiabilidad de 95% y un error de menos de 2% en las estimaciones. Después de analizar los resultados, no hubo duda de la aceptación del producto, con la composición porcentual de ingredientes tal como fue determinada en el laboratorio.

Con esta certeza, el siguiente paso fue hacer un escalamiento de la tecnología, para pasar los mismos procedimientos de elaboración en el laboratorio, pero ahora a escala industrial. El paso más difícil fue optimizar la capacidad por instalar, ya que para esta determinación se analizó el tamaño del mercado potencial, el dinero disponible, el tamaño de los créditos a los cuales se podía tener acceso, la capacidad de los equipos disponibles en el mercado sobre la tecnología adoptada, etcétera.

Después de una serie de intentos, finalmente se llegó a lo que se consideró la capacidad óptima instalada.

La localización de la planta estaba casi determinada, pues se conocía la zona del estado donde había productores de frijol interesados en el proyecto, aunque aquí se presentó un punto de análisis muy interesante. De insta-

lar la planta en el campo, en la zona productora de frijol, los mercados del producto estarían entre 100 y 250 km alejados de la planta, y esto planteaba la necesidad de analizar la conveniencia de instalar una serie de almacenes de distribución en las ciudades con mayor mercado, o bien, distribuir directamente desde la planta, utilizando tráileres que entregaran una gran cantidad de producto cada tres o cuatro días en los principales puntos de venta. Si la decisión era instalar los almacenes de distribución, habría que determinar cuántos almacenes, dónde estarían ubicados y la capacidad de cada uno de ellos.

Resuelto este problema, se determinó la inversión y los costos necesarios para instalar y operar la planta; también se localizó la fuente de financiamiento y se calculó la forma y el monto de los pagos necesarios para liquidar el préstamo en un plazo máximo de siete años, obteniendo todos los datos necesarios para determinar la rentabilidad de la inversión.

Finalmente, se estableció la rentabilidad económica y se obtuvieron índices del valor presente neto (VPN) y tasa interna de rendimiento (TIR) que hicieron tomar una decisión en el sentido de invertir en la producción masiva de botanas extrudidas a base de frijol.

Casos para resolver

Caso 1

En un estado del sur de México, los recursos naturales son abundantes, pero a pesar de eso es considerado uno de los estados del país con menos progreso. La población indígena es elevada, el nivel de escolaridad es bajo y se encuentra en una de las zonas con menor desarrollo económico. La región es productora de una gran variedad de frutas.

Propóngase un plan de desarrollo económico para la región, apoyado en las técnicas de evaluación de proyectos. Mencione en forma secuencial los pasos que deben seguirse, a fin de que en un plazo de 10 años, la zona se empiece a desarrollar económicamente. Considere que el gobierno no va a otorgar subsidios, sino que va a ofrecer préstamos a tasas de interés preferenciales para instalar y operar aquellos proyectos que presenten mayor factibilidad desde todos los puntos de vista.

Para discusión

1. Mencione la diferencia entre planear una empresa de manera idealizada y de manera no idealizada. ¿Cuáles son las herramientas que se utilizan para la planeación en cada caso?
2. Describa las etapas que contiene la evaluación de un proyecto desde el punto de vista técnico, económico y de mercado.
3. ¿Cuáles son las dos fuentes principales de información que se tienen para realizar una investigación de mercado?
4. Mencione la diferencia entre mercadeo y publicidad.
5. ¿Cuáles son las partes principales que conforman el estudio técnico dentro de la evaluación de un proyecto?
6. Mencione todos los factores que se deben tener en cuenta al momento de determinar la capacidad que se debe instalar en una nueva empresa.
7. Mencione tres tipos de diagrama utilizados en ingeniería industrial para representar los procesos de producción en las empresas.

8. Mencione al menos cinco principios utilizados para optimizar la distribución de una planta productiva.
9. ¿Qué importancia tiene un balance de masa en la evaluación de proyectos?
10. ¿Qué importancia tiene el balanceo de línea en la evaluación de proyectos?
11. Explique el concepto de valor presente neto.
12. Explique el concepto de tasa interna de rendimiento.
13. ¿Qué se entiende por equivalencia del valor del dinero a través del tiempo?

Bibliografía

Baca, Gabriel. *Evaluación de proyectos*. 5ª Ed. McGraw-Hill. México. 2006.

———. *Fundamentos de ingeniería económica*. 4ª Ed. McGraw-Hill. México. 2007.

Bunge, Mario. *La ciencia, su método y su filosofía*. Nueva Imagen. Buenos Aires, Argentina. 2003.

Castillo, Jorge Luis. *La vida diaria de los costos*. IMCA. México. 1998.

Cunningham, William. *Mercadeo, un enfoque gerencial*. SF&Co. México. 2002.

Drucker, Peter y Nakachi, Isao. *Tiempos de desafío*. Hermes. México. 2003.

Hicks, Philip. *Ingeniería industrial y administración*. CECSA. México. 2006.

Kerlinger, Fred. *Investigación del comportamiento*. 4ª Ed. McGraw-Hill. México. 2002.

Kimball, Marshall. *Sistemas de información de mercadotecnia*. Thomson. México. 2004.

Ley del Impuesto sobre la Renta de México. ISEF. México. 2006.

O'Connor, Joseph. *Introducción al pensamiento sistémico*. Urano. México. 2000.

Rhoads, John. *Mercado de valores para empresas medianas y pequeñas*. IMEF. México. 2000.

Weston Fred, Copeland Thomas. *Finanzas en administración*. 8ª Ed. McGraw-Hill. México. 2002.



LA EMPRESA VISTA COMO UN CONJUNTO DE SISTEMAS

Gabriel Baca Urbina
M. en C. en Administración.
UPIICSA-IPN

El ingeniero industrial se está convirtiendo en un semidios, pues ha creado y sigue perfeccionando un nuevo ente llamado empresa, al cual hace funcionar a semejanza del funcionamiento del propio hombre.

GBU

Objetivo

- Que el estudiante conozca las características de un sistema y que con esta base, reconozca los sistemas y subsistemas de la empresa.

Introducción

Para poder explicar a la empresa como un conjunto de sistemas y, de hecho, como un sistema productivo en sí mismo, es necesario definir qué se entiende por *sistema*, hablar un poco de sus orígenes y exponer las características que normalmente tiene.

La empresa productiva, es decir, la industria como tal, nació con la Revolución Industrial que se suscitó en Inglaterra en 1765. Hasta antes de que James Watt inventará su máquina de vapor, cuya energía era transformada en fuerza motriz para mover una serie de palancas y dispositivos mecánicos muy sencillos, sustituyendo poco a poco a la fuerza directa del hombre, la industria

no existía. Toda la producción de bienes manufacturados, como vestidos, zapatos, herramientas, armas y otros, se fabricaba en forma artesanal, es decir, una sola persona elaboraba toda la pieza. Con la máquina de vapor de Watt, se inició, aunque de manera lenta, la producción en masa de todos los productos y con ello nacieron, también, las primeras industrias propiamente dichas, aunque primitivas respecto a lo que hoy se conoce.

Entre 1793 y 1860 se crearon y desarrollaron múltiples industrias y una tecnología para la producción de ciertos bienes, pero éstas no eran realmente grandes. Estados Unidos de América ya era una nación independiente, y los colonizadores ingleses y de otras nacionalidades encontraron ahí grandes extensiones de tierra y recursos naturales casi en forma ilimitada. Esta condición, aunada al espíritu de progreso de los colonizadores, propició el surgimiento de grandes empresas, empezando con el ferrocarril, que se extendió a lo largo de miles de kilómetros a través de toda esa nación.

El empresario, el científico y el trabajador tuvieron que inventar la industria con los incipientes conocimientos que se tenían en aquel entonces. Anteriormente, nadie había tenido la responsabilidad de administrar grandes empresas e industrias, es más el término *administrar* no existía, al menos no en el concepto que se tiene hoy del mismo. En aquella época, el hombre empezó a crear y a diseñar una entidad con características únicas, ya que en el mismo espacio convivían máquinas, materias primas, dinero, información y, desde luego, el hombre mismo.

El hombre tal vez no lo sabía, pero había creado un sistema productivo. A partir de entonces se empeñó cada vez más, con mejores herramientas, conocimientos, mucho esfuerzo y creatividad, en mejorar ese sistema, pero ¿para qué?

El concepto de sistema y sus características

En su forma más simple, sistema es un conjunto de elementos relacionados.¹ Desde este punto de vista, como sistema se puede considerar casi cualquier cosa, de hecho, una primera clasificación habla de sistemas vivos y no vivos y aun sistemas conceptuales. Por ejemplo, en los sistemas no vivos se puede mencionar a un automóvil que sería un sistema de locomoción autónomo, a su vez formado por un sistema de frenos, uno de combustión interna, entre otros. Una báscula es un sistema de palancas y resortes. Otro ejemplo es la red de tuberías y bombas que abastece de agua a una ciudad, llamado sistema hidráulico.

Dentro de los sistemas vivos, desde luego, están todos los seres vivos: humanos, plantas y animales; los cuales, se conforman de una serie de sistemas, como el óseo en los animales vertebrados o el nervioso en cualquier tipo de animal, vertebrado o invertebrado. La naturaleza creó a estos seres y después el mismo hombre desarrolló la idea de que eran sistemas.

Entre los sistemas conceptuales se pueden mencionar el sistema métrico decimal, el sistema judicial o el sistema político, donde realmente no hay seres vivos ni no vivos. Son sólo conceptos, pero se les sigue llamando sistemas.

Hay que destacar que un sistema, cualquiera que sea, siempre tiene un *objetivo* en su existencia, ya sea que lo haya creado la naturaleza o el hombre. Esa es la primera y más importante característica de un sistema: el objetivo para el cual fue creado o construido.

En 1954, Ludwig von Bertalanffy creó muchos de los conceptos de sistemas que siguen vigentes en la actualidad. Lo primero que notó Bertalanffy fue que un sistema siempre está formado por subsistemas claramente definidos, y que éste, a su vez, pertenece a otro sistema mayor al que se le puede llamar suprasistema. Si el sistema que interesa estudiar al ingeniero industrial es la empresa productiva, observará que está formada por el subsistema contable, el subsistema de producción, etc., que se pueden considerar sistemas en sí mismos, es decir, no se les llama subsistemas, sino sistema contable, sistema de producción, etc. La empresa, a su vez, es un subsistema de un sistema mayor, que sería el sector productivo al cual pertenece o, en todo caso al sistema productivo nacional, el cual también es parte del sistema productivo mundial.

Una característica de todo sistema es que está formado por diversas partes o elementos. Para ser precisos, en todos los sistemas cada parte puede considerarse, a su vez, como un sistema; desde este punto de vista de rigor científico, el sistema último de que están formados todos los sistemas materiales es el átomo, que es un sistema formado también por partes, pero desde luego al ingeniero industrial, no debe interesarle llegar a estas sutilezas, cuando su interés está en el estudio de la empresa.

Ya que se ha declarado que un sistema está compuesto por partes o elementos, hay que hacer notar que dichas partes están organizadas, lo cual implica que siempre efectúan algún tipo de proceso y, por ende, si hay un proceso, siempre hay *entradas y salidas* de algo. Aquí es donde se hace evidente el objetivo del sistema.

Recapitulando, se puede decir que un sistema es un conjunto de elementos relacionados. Esos elementos o partes forman el sistema. Todos los sistemas están

¹ Van Gigch. *Teoría general de sistemas*.

formados por subsistemas, y a su vez, ese sistema siempre es un subsistema de un sistema mayor al cual pertenece. Las partes están organizadas, por lo que son capaces de realizar algún tipo de proceso, en todos los procesos hay entradas y salidas, por tanto, el sistema siempre tendrá un objetivo que alcanzar, es decir, lograr la salida deseada.

También se ha clasificado a los sistemas en abiertos y cerrados. Un sistema cerrado es aquel que no puede ser violado por el medio o por un sistema externo. Es un sistema que está en equilibrio y que cambia sólo si se modifican las condiciones iniciales que le dieron origen, por ejemplo, una piedra o un metal enterrado a varios metros de profundidad. Sólo los sistemas inanimados son cerrados; todo sistema vivo es un sistema abierto. Un sistema abierto es aquel que puede recibir influencia del medio que lo rodea, así como también puede influenciar al medio ambiente.

Aunque parezca obvio, también hay que decir que al encontrarse en un medio ambiente, un sistema cualquiera que éste sea, recibe influencia del mismo, y a su vez, también puede influir al ambiente, ya sea de manera benéfica o perjudicial. Los sistemas tienen límites físicos, en su actividad y en su influencia. Si no se determinan claramente los límites de un sistema, se puede caer en contradicciones. Por ejemplo, si se dice que el límite de una empresa no es su dimensión física, sino que el ambiente forma parte de la empresa, entonces se podría argumentar que la empresa no está contaminando al ambiente sino a ella misma, lo cual sería una forma de evadir su responsabilidad social.

Todo sistema que no es natural ha sido diseñado por el ser humano, por lo que éste es el responsable del objetivo asignado a cada sistema creado. Una vez creado el sistema, viene una fase de evaluación; si se aprueba esta fase, lo siguiente es su implantación para constatar que funcione en la realidad tal y como se diseñó. Para llegar a un acuerdo en esta etapa, es necesario desarrollar los parámetros contra los cuales se va a comparar el desempeño del sistema en la realidad, para decidir si está funcionando adecuadamente.

¿En qué se debe pensar para diseñar adecuadamente un sistema? No hay duda de que un sistema se diseña para resolver un problema (obsérvese la tabla 11.1).

De la tabla 11.1 se puede deducir que si no se tuviera el sistema adecuado, no se podría resolver determinado problema, o se resolvería en forma incorrecta. Por tanto, el primer punto para desarrollar un sistema es llegar a un acuerdo del problema que se quiere resolver.

Sin embargo, el diseño de un sistema corresponde a uno o varios seres humanos, y cada uno tendrá su propia visión del problema, sus propios supuestos y, sobre todo, sus propios principios éticos y morales. Esto es muy complejo al diseñar sistemas sociales, como uno judicial

Tabla 11.1

Sistema	Problema que resuelve
Báscula (sistema de palancas)	Pesa diferentes materiales.
Sistema judicial	Imparte justicia a partes en conflicto.
Sistema hidráulico	Abastece de agua a una entidad.
Sistema métrico decimal	Es la base para mediciones de distancias.
Sistema contable	Controla la contabilidad de una entidad.
Sistema productivo	Elabora productos utilizando materias primas e insumos.

o uno político. No hay duda de la importancia de los valores morales que deben tener los diseñadores de este tipo de sistemas para que éstos funcionen adecuadamente en bien de la sociedad. El diseño lleva aunado el objetivo del sistema, por lo que es fácil imaginar que si no existe acuerdo sobre la visión o perspectiva desde la cual se debe definir el problema, será mucho más difícil llegar a un acuerdo sobre el objetivo que debe tener el sistema y la forma en que debe ser diseñado.

Para tener la certeza de que el sistema está generando los resultados que se esperaban, en el diseño también es necesario llegar a un acuerdo básico sobre el tipo de método que se empleará para medir los resultados. Para ello, los sistemas se han clasificado en sistemas duros y blandos. Los sistemas duros son los sistemas físicos cuyo desempeño siempre se puede medir con facilidad, por ejemplo, un automóvil. Su eficiencia se puede medir por su rendimiento en los kilómetros recorridos por litro de gasolina consumida. También se puede medir fácilmente la resistencia a la torsión de diferentes metales y aleaciones de metales. Los sistemas blandos, por su parte, son los sistemas sociales; éstos presentan serias dificultades para medir su desempeño, ya que lo que se pretende medir es cierto grado de satisfacción (o insatisfacción) de las personas pertenecientes a esa sociedad por los resultados obtenidos del sistema. La satisfacción por el desempeño de un partido político, por el desempeño del sistema de justicia vigente, por trabajar bajo la autoridad de determinada persona, etc., siempre serán mediciones sujetas a controversia, pues normalmente la satisfacción dependerá de intereses personales y no del desempeño del propio sistema. En la empresa conviven sistemas duros y blandos; en algunos sistemas empresariales es relativamente fácil medir su desempeño, por ejemplo, la eficiencia de las máquinas, pero como interviene el hombre en todos esos

sistemas, todo se complica, desde definir el problema, el diseño y el objetivo hasta los métodos de medición de resultados.

Por su parte, definir el problema que resolverá el sistema no es tan sencillo. Si el sistema va a producir algo, significa que alguien va a recibir el producto, por lo que el primer punto es detectar las necesidades de los receptores de los productos del sistema y medir la magnitud de esas necesidades. Por ejemplo, casi todas las personas que desempeñan un trabajo y los estudiantes necesitan, al menos, de un bolígrafo (pluma) para escribir, pero se pueden producir bolígrafos muy baratos, con un precio equivalente a unos 35 centavos de USD;² o bolígrafos Mont Blanc, cuyo precio equivale a 150 USD, el más barato. Quienes decidieron instalar una planta y producir ambos tipos de bolígrafos definieron un problema y una necesidad (la necesidad de contar con un instrumento para escribir), y midieron la magnitud de la necesidad. Es evidente que la visión del problema y la detección de la necesidad fueron totalmente opuestas en ambos bolígrafos, por tanto, la forma de proponer la solución del problema también fue opuesta por completo una de la otra. A pesar de esto, ambos bolígrafos están disponibles en el mercado.

¿Por qué siendo tan opuesta la visión del problema y la propuesta de solución, ambas soluciones se implantaron? Porque una premisa básica para proponer objetivos del sistema es entender no sólo las necesidades sino también las expectativas de los receptores de los productos, es decir, de los consumidores de los productos.

La teoría de los sistemas entra a otro punto de discusión al que se le suele llamar: valores morales del sistema. En un mundo con cientos de millones de habitantes que viven en la miseria extrema y muchos de ellos casi muriendo de hambre, ¿es moral satisfacer una necesidad gastando 150 USD, cuando la misma necesidad puede ser satisfecha gastando sólo 0.35 USD?; recuérdese que la necesidad es contar con un bolígrafo para escribir. El lector podrá sentirse decepcionado diciendo que nadie ha contestado satisfactoriamente a esta pregunta, y aunque para algunos sea inmoral gastar 150 USD en un bolígrafo, el hecho es que los bolígrafos Mont Blanc se siguen produciendo y vendiendo.

Aunque este ejemplo pueda parecer trivial, hay otros que no lo son. Por ejemplo, hay sistemas productivos de armas de destrucción masiva y sistemas de producción y distribución de drogas. El primero, es legal, aunque inmoral, mientras que el segundo es ilegal e inmoral. A pesar de esto, ambos siguen vigentes y con mucha fuerza hoy en día. El verdadero problema en el diseño de sistemas

es, entonces, la moralidad y los intereses de los diseñadores, no las necesidades del consumidor o sus expectativas. Recuérdese que, seguramente, el lector es un estudiante de ingeniería industrial que en algún momento de su vida profesional deberá diseñar sistemas productivos o de otro tipo.

Como ya se ha señalado, el siguiente punto que plantea la teoría de sistemas es que una vez definido el producto que se va a diseñar, es necesario medir los resultados. Con frecuencia hay que definir en el producto atributos que puedan medirse, o en el peor de los casos, los efectos que generan los productos. Como siempre, medir los resultados de los sistemas blandos es más difícil. Por ejemplo, un sistema de medicina preventiva implantado por el gobierno puede tener entre sus objetivos luchar contra el alcoholismo. ¿Cómo se miden los resultados de este sistema? Es posible medir el nivel de alcohol en la sangre de una persona con bastante precisión, pero no se puede decir que la disminución de dicho nivel sea efecto del buen desempeño del sistema. La medición de resultados del sistema se debería medir por los efectos del alcoholismo en la sociedad: un aumento del número de hogares disueltos porque alguno de los cónyuges es alcohólico sería un mal resultado; la disminución de la tasa de mortalidad por cirrosis hepática sería un buen resultado del sistema. Por otro lado, la definición de atributos en los sistemas duros y, por tanto su medición, es mucho más sencilla.

Un atributo es una cualidad o característica que tiene un objeto o una entidad. Los atributos pueden ser de calidad o de cantidad. Por ejemplo, un alimento tiene el atributo del sabor, que se considera un atributo de calidad. Se puede decir que el alimento es sabroso, pero esto no se puede medir en una escala, también se puede decir que es amargo, pero esto tampoco se puede medir. Además, la percepción de sabor y amargor, varía, dependiendo de la persona que emita el juicio. Entonces, lo que se podría decir del alimento es que es más o menos sabroso, incluso desagradable; y también se podría decir que es muy amargo, poco amargo, o no es amargo, pero se insiste en que la opinión dependerá de la persona.

Para medir este tipo de atributos se utiliza una escala, llamada escala ordinal. En el caso del citado alimento, se preguntaría: "En una escala de 1 a 5, ¿cómo consideraría el sabor del alimento? Asigne un valor de 1 si considera que el alimento es muy sabroso; asigne un valor de 5 si le disgusta el sabor del alimento". Preguntando a determinada cantidad de personas, se puede llegar a un consenso sobre el sabor del alimento. Obsérvese que así se habría hecho la medición de la calidad del atributo sabor.

² USD. Dólares estadounidenses (United States Dollar).

Se puede desear medir el éxito (o fracaso) de un producto en el mercado, esto es, se puede desear medir la preferencia del producto por parte de los consumidores. La opinión dependerá de la persona a quien se le pregunte. Supóngase que se está tratando de medir la preferencia en el consumo de pasta dentífrica. En este caso, el tipo de pregunta sería: "De las siguientes marcas de pasta dental, asigne 1 a la que más prefiera y 5 a la que menos prefiera". Se anotan las marcas sobre las cuales se hace la investigación, y preguntando a determinado número de personas se puede llegar a un consenso de la preferencia de esas marcas. En este caso, para la medición se utilizaron nombres, por lo que a esta escala se le llama escala nominal.

Finalmente, también se emplea la escala de relación, que incluye a todas las unidades de medición conocidas, como metros para medir distancia, kilogramos para medir peso, etcétera. Parece claro que las escalas ordinal y nominal se utilizan preferentemente en sistemas blandos y la escala de relación en sistemas duros.

Con todos estos elementos, el estudioso de los sistemas se dedicó luego a la *optimización* de su funcionamiento. No le bastó definirlo, fijar sus objetivos, determinar sus partes, definir sus atributos, la moralidad del sistema, etc., también consideró necesario optimizar el sistema, y para ello creó una serie de métodos. No es tan difícil calcular si los sistemas duros están optimizados para este fin; se han creado diferentes métodos, como el mini-max, el método simplex en investigación de operaciones, la programación por objetivos, entre otros, aunque la mayoría de estos métodos tiene una aplicación muy limitada.

Por ejemplo, en la crianza de cerdos, los estudios científicos veterinarios recomiendan la ingesta de determinada cantidad de proteínas, grasas y carbohidratos en la dieta diaria de estos animales. Por otro lado, se cuenta con cuatro alimentos que deben mezclarse para darles de comer y cada uno tiene cierto contenido de proteínas, grasas y carbohidratos. Se pretende optimizar la cantidad de alimento que se da a los cerdos, pues no se quiere dar más proteínas, grasas y carbohidratos del mínimo necesario, ya que se considera un desperdicio; es decir, si el cerdo come más proteína de la mínima necesaria no la aprovecha para subir de peso de manera óptima y, como consecuencia, disminuye el rendimiento económico de la granja criadora de cerdos. Se debe encontrar, entonces, la mezcla óptima de alimentos.

Para realizar esta determinación, se utiliza el método *simplex* (álgebra lineal), imponiendo como restricciones la ingesta mínima de proteínas, grasas y carbohidratos, con la función objetivo de minimizar el consumo de la mezcla de los cuatro alimentos. Desde luego, ya existe un software que resuelve este problema en fracciones de segundo. Como ya se dijo, la optimización en sistemas duros

no es problema. El verdadero problema surge cuando los sistemas involucran en su desempeño a personas; de hecho, todos los sistemas empresariales e industriales tienen esta cualidad. Como se ha visto a lo largo del texto, cada sistema o subsistema de la empresa ha creado sus propios métodos de optimización y ahora se está tratando de optimizar la cadena de suministros, es decir, absolutamente todas las actividades que tiene y en las que está involucrada la empresa, incluyendo aquellas ubicadas fuera de sus límites físicos.

La empresa como un sistema diseñado por el hombre

En 1954, Von Bertalanffy desarrolló su teoría de sistemas; y un poco antes, en 1947, Norman Wiener propuso el concepto de cibernética, a la que definió como el estudio de los mecanismos que utilizan las células para enviar mensajes. Y desde entonces el concepto de empresa o industria empezó a cambiar. Wiener construyó las primeras calculadoras, aquellas que utilizaban bulbos y posteriormente transistores, con base en la observación de cómo se transmite la información a través de las células para que el cerebro se comunique con todo el cuerpo. El concepto de empresa cambió porque el hombre empezó a diseñar la empresa a semejanza del cuerpo humano, es decir, formada por sistemas. El hombre todavía no sabía a cuál sistema industrial correspondía un determinado sistema del cuerpo humano, pero pronto emergió su creatividad y su ingenio.

Otro estadounidense, Richard Muther, fue el primero en proponer una correspondencia entre ciertos sistemas corporales y los sistemas de la empresa. Y más allá de la exactitud lograda en esta correspondencia, su aportación más importante fue que desarrolló métodos para diseñar ciertos sistemas en la industria. Por ejemplo, hizo corresponder al sistema óseo con la estructura física del edificio de la industria, creando el método de la Planeación Sistemática de la Distribución de Instalaciones (SLP, Systematic Layout Planning, por sus siglas en inglés). También hizo corresponder al sistema muscular con el manejo de materiales, y desarrolló el Análisis Sistemático del Manejo de Materiales (SHA, Systematic Handling Analysis, por sus siglas en inglés); ambos métodos muy conocidos y utilizados por los ingenieros industriales en el diseño de plantas industriales. Muther también propuso otros tres métodos con analogía al cuerpo humano, pero no han sido tan exitosos y aún se siguen perfeccionando. Con el paso del tiempo, los conocimientos avanzaron y las empresas se volvieron cada vez más eficientes. Así, el hombre reflexionó en que había creado un organismo llamado empresa que es similar en muchos sentidos a un ser humano, ya

que está formado por una serie de sistemas o subsistemas, a través de los cuales circula información.

Al igual que en el cuerpo humano, en la empresa también existe un cerebro o unidad central de información, que necesita estar informado de lo que hacen todos los subsistemas que lo constituyen. El cerebro recibe esa información, controla las actividades de los subsistemas y toma decisiones que le ayudan a realizar las funciones que caracterizan la vida de un ser humano, que son crecer, reproducirse, etcétera. Si se observa, la industria también puede tener las mismas funciones, es decir, nacer o fundarse, crecer, reproducirse, esto es, puede llegar a tener sucursales y, finalmente, morir o desaparecer en un momento dado. En la empresa también hay un cerebro o tomador de decisiones, representado por el puesto de máxima jerarquía, y las decisiones son tan importantes que son las que harán que la empresa sobreviva y que finalmente cumpla todas las funciones que son similares a las de un ciclo de vida humano.

En el cuerpo humano todos los sistemas, además de tener y realizar su función propia, están conectados entre sí, y conectados directamente con el cerebro. Por ejemplo, el sistema respiratorio, además de cumplir con su función de hacer que el cuerpo respire, está conectado con los demás sistemas corporales y con el cerebro.

La información es vital para que el cuerpo humano funcione adecuadamente. En la empresa el funcionamiento es similar, al grado que en la actualidad se dice que los activos más valiosos de la empresa son el activo humano y la información, siempre que el activo humano esté capacitado y que la información inicial, que son sólo datos, a la larga se conviertan en verdadera información y finalmente en conocimiento con ayuda del hombre. Es decir, los datos se convierten en información cuando son procesados.

Imagínese a la empresa de hace cien años, desde el punto de vista de los sistemas. Todo era muy rudimentario; desde luego, había un sistema de información, pero sólo lo conocía y manejaba el propietario. Los ingenieros y los obreros no tenían acceso a esta información. La función de los ingenieros era que las máquinas no pararan y fueran más eficientes; la función de los obreros era sólo trabajar. Las áreas estaban totalmente desconectadas en cuanto a información, pues ésta fluía en un solo sentido, de arriba hacia abajo, como se comentó en el capítulo 1. El flujo de datos de la empresa de hace cien años se podría representar como se muestra en la figura 11.1.

En aquel tiempo, en realidad el empresario y el estudioso de la industria ni siquiera estaban conscientes de que aquellas entidades productivas fueran sistemas. Los sistemas primitivos estaban mezclados sin mucho orden en una sola área: producción. La información fluía únicamente del área directiva hacia abajo, pero nunca en sentido inver-

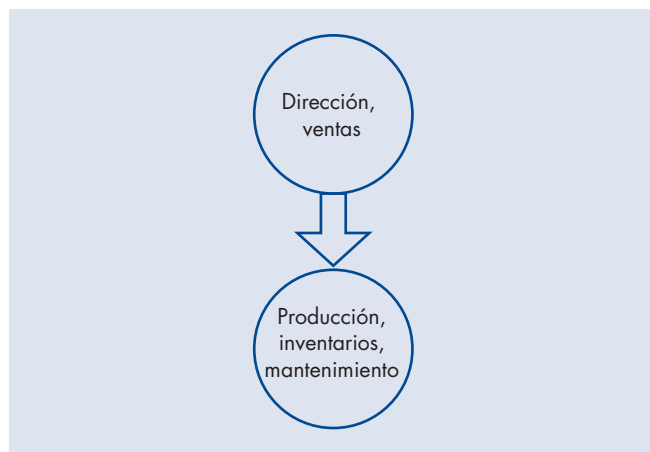


Figura 11.1 Representación de la empresa hace cien años.

so, excepto para quejas. Recuérdese que la administración como tal no existía. Todo iniciaba apenas.

Con el paso del tiempo, y para cuando se generó la teoría de sistemas y se empezó a aplicar en la industria, alrededor de 1960, ya existían más áreas o sistemas claramente establecidos dentro de la empresa, pero todavía trabajando de manera separada. En la década de 1980, en el mercado ya había un software de uso industrial y se empezaron a crear sistemas para cada área de forma independiente; por ejemplo, se establecieron sistemas de información para contabilidad, producción, inventarios, administración de proyectos, etcétera. La comunicación entre los sistemas ya era muy intensa, pero todavía se utilizaba mucho el papel; es decir, la comunicación y la transmisión de datos entre áreas era impresa u oral. Esta situación se muestra en la figura 11.2.

Con la invención de las computadoras de alta capacidad y velocidad, los científicos de las ciencias de la información y de la computación establecieron lo que ahora se conoce como sistemas de planeación de los recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés), que han hecho que la empresa se parezca cada vez más en su diseño al cuerpo humano; y aunque es evidente que el hombre nunca logrará crear una entidad tan perfecta como su propio cuerpo, cada vez tiende más a hacerlo, si no de igual forma, sí imitando sus principios de funcionamiento.

A pesar de la limitante que se tiene para representar la conexión entre los sistemas corporales, obsérvese en la figura 11.3 que hay zonas donde los sistemas se conectan entre sí, además de estar conectados con el cerebro. En el cuerpo humano, todos los sistemas y el cerebro tienen una conexión estrecha y permanente (en caso de que se hable del cuerpo de una persona sana en términos generales). El sistema que conecta a los demás sistemas con el cerebro es el sistema nervioso que funciona a base de impulsos

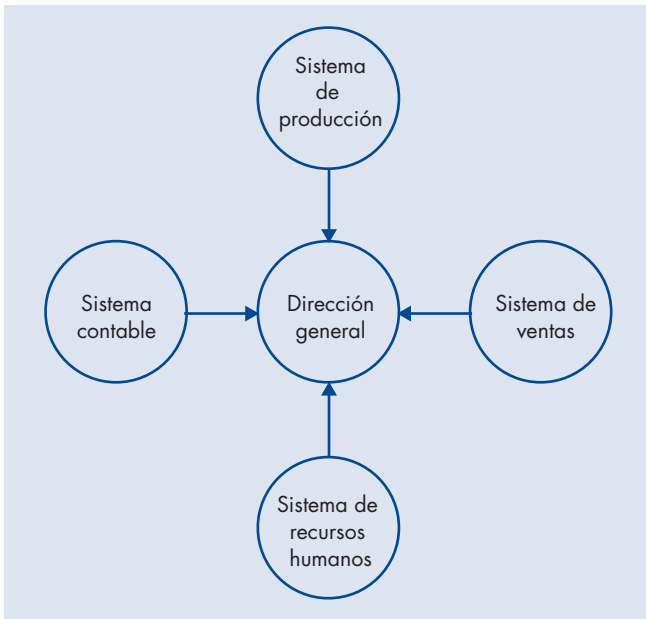


Figura 11.2 Representación de los sistemas de la empresa antes de los sistemas de ERP.

eléctricos, que es exactamente la forma en que las computadoras transmiten la información, a base de pulsos eléctricos. En la figura 11.3 hace falta representar al sistema nervioso como el encargado de unir a todos los demás sistemas corporales y que está controlado por el cerebro.

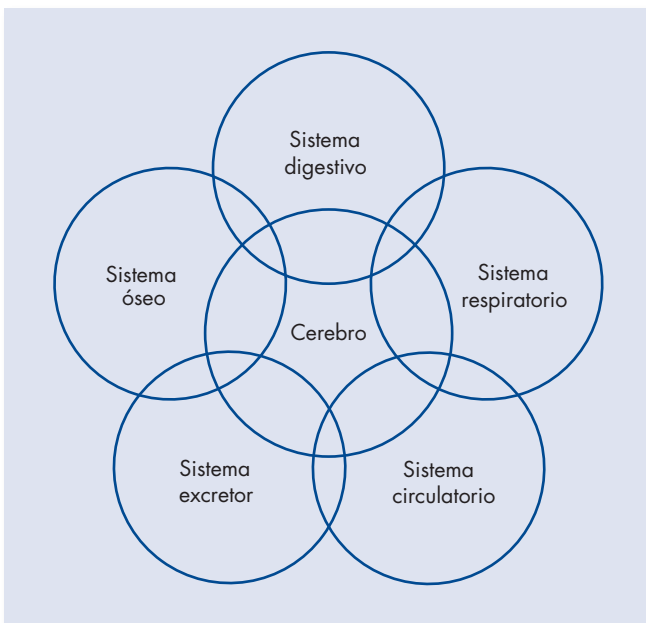


Figura 11.3 Representación en diagrama simplista de la conexión entre el cerebro y algunos sistemas del cuerpo humano.

Es con esta idea que se han diseñado los sistemas ERP. Un sistema informático o de información, equivalente al sistema nervioso del cuerpo, que une a todos los sistemas de la empresa y que proporciona directamente información al cerebro, representado por el director o gerente general de la empresa. Sin embargo, hay una diferencia fundamental entre el funcionamiento de un sistema de información empresarial y uno de información del cuerpo humano: cada sistema del cuerpo humano está constituido por células especializadas, que en cierta forma podría semejarse a la especialización que debe tener cada uno de los trabajadores en las diferentes áreas de la empresa. En ésta, cada célula o trabajador es un ser humano que generalmente tiene intereses ajenos a los de la empresa, a quien le puede faltar capacitación para que realice un trabajo especializado, como lo hace cualquier célula del cuerpo diseñada para realizar un trabajo muy especializado; el comportamiento de un trabajador dentro del sistema empresarial puede variar de un día para otro e incluso puede ausentarse uno o varios días de su trabajo, situación que no sucede con las células. El trabajador tiene este comportamiento porque no se siente parte de la empresa, de hecho, si la empresa llegara a estar en bancarota y verse forzada a cerrar, esto no sería la muerte para el trabajador, en cambio, en el cuerpo humano las células mueren cuando fallece el cuerpo. Además, a la larga, todos los trabajadores de la empresa cambian de empresa, situación que tampoco sucede con las células corporales. Esto significa que es mucho más difícil obtener un diseño de sistemas industriales que funcione casi a la perfección, pues a diferencia del cuerpo humano, en la empresa trabajan máquinas (seres inanimados) y personas, y esto hace una gran diferencia.

En la administración de una empresa, se puede hablar del trabajador ideal que es aquel que, teniendo alta capacitación, puede desempeñar su trabajo a la perfección, que difícilmente variará su comportamiento dentro de la empresa si está equilibrado emocionalmente y no faltará a sus labores, salvo verdaderas excepciones; pero, sobre todo, es aquel trabajador que se siente parte de la empresa y que defiende los intereses de la misma en cualquier circunstancia. Sin embargo, lo importante no es tener el perfil del trabajador ideal, sino analizar la posibilidad de formar al trabajador ideal.

Éste es un punto muy importante en el diseño de sistemas industriales. No importa si el diseño de un sistema, cualquiera que éste sea, es perfecto o parece perfecto, siempre será operado o controlado por personas, de manera que a pesar de su perfección puede fallar, si el operador quiere que falle; por tanto, el diseño de los sistemas empresariales e industriales debe incluir una buena dosis de la forma en que se pueden tener trabajadores

ideales, y un requisito indispensable de éstos es que se sientan parte de la empresa, y para ello se requiere primero que la empresa haga sentir al trabajador que es parte importante de ella.

Este requisito ha llevado a la elaboración de una serie de programas de capacitación, de incentivos y de prestaciones, entre otros, con lo cual la empresa quiere demostrar al trabajador que no lo está considerando un objeto dentro de la organización, sino que le está dando el valor y respeto humano que realmente merece. Hay que observar que las empresas más exitosas en el mundo son las que ofrecen mejores prestaciones a sus trabajadores. La explotación de los obreros, o de cualquier trabajador, siempre ha llevado a la insatisfacción personal y a que los sistemas empresariales fallen, a pesar de lo bien diseñados que estén. Hay una parte humana que el futuro ingeniero industrial no debe omitir o despreciar, en el desempeño exitoso de los sistemas industriales: el factor humano.

Características de los sistemas industriales

La teoría de sistemas declara que un sistema tiene las siguientes características:

- a) Es un conjunto de elementos.
- b) Está formado por subsistemas y, a su vez, forma parte de un sistema mayor.
- c) Está formado por partes o elementos organizados.
- d) Tiene entradas y salidas.
- e) Tiene un objetivo.
- f) La industria es un sistema creado por el ser humano, quien le ha asignado su objetivo.
- g) Siempre hay forma de evaluar su desempeño.
- h) Siempre hay forma de optimizar su desempeño.

Ahora, véase si al considerar a la empresa o industria como un sistema, cumple con todas esas características.

En su forma más simple, la empresa o industria, desde luego, es un conjunto de elementos. De manera genérica, está formada por subsistemas como producción, inventarios y ventas, entre otros, y a su vez, cualquier empresa forma parte de un sistema mayor llamado sector empresarial.

Respecto al inciso c), que afirma que la empresa está formada por partes organizadas, da lugar al planteamiento de algunas preguntas: ¿Qué significa que una empresa esté organizada?, quiere decir que tiene áreas o subsiste-

mas bien definidos, al menos como se podría mostrar en un organigrama. Pero, una empresa podría estar trabajando de manera muy desorganizada desde el punto de vista del control aplicado en cada área y seguiría considerándose como sistema. Haciendo una similitud con un cuerpo humano enfermo, no se puede decir que ese cuerpo ha dejado de ser un sistema, lo que seguramente sucede es que alguno o algunos de sus subsistemas están funcionando de manera deficiente, es decir, el sistema no funciona de forma óptima. Lo mismo sucede en una empresa desorganizada, es un sistema que no está trabajando de manera óptima.

Por tanto, lo que se quiere indicar al decir que una empresa es un sistema constituido por partes organizadas, es que cada una de esas partes o subsistemas han sido diseñados para cumplir con una función específica y el hecho de que no cumplan con esa función adecuadamente es otro problema.

Otra característica de un sistema es que tiene entradas y salidas, inciso d). Las tres figuras del capítulo 1 muestran, de manera breve algunas entradas y salidas de los sistemas (o subsistemas) empresariales. Por ejemplo, las entradas al sistema de producción son los insumos en general, como información, materias primas, energía eléctrica, probablemente energía calorífica y, desde luego, la mano de obra directa. La salida o salidas son productos, subproductos y contaminantes.

De la misma forma pueden describirse las entradas y salidas de cada uno de los subsistemas que conforman una empresa o industria. El punto importante es que como sistema no natural, ha sido creado por el hombre, y es el mismo hombre quien lo ha diseñado y le ha asignado la consecución de ciertos objetivos. Al finalizar la introducción de este capítulo se formuló la siguiente pregunta: ¿Para qué el hombre ha diseñado y creado la empresa? La respuesta obvia para los científicos es que una empresa se crea para producir los satisfactores que necesita la sociedad, mientras que para el dueño de la empresa es que se ha diseñado para ganar dinero. La respuesta de un economista, además de las dos anteriores, es que la empresa se diseña y crea para generar fuentes de empleo, mientras que para el gobierno, sería para generar impuestos, además de las anteriores.

Analicemos las respuestas anteriores: parece ser que inicialmente, es decir, cuando aparecieron las primeras empresas como tales, quizá algunos años después de la Revolución Industrial en Inglaterra, el objetivo era elaborar artículos en masa para satisfacer ciertas necesidades de la comunidad, y seguramente ese sigue siendo el principal objetivo en la actualidad. Referente a diseñar empresas para ganar dinero y acumular capital, realmente éste no era un objetivo inicial, ya que desde hace miles de años,

el hombre ha gustado de acumular capital, pues eso le proporciona poder, aunque no acumulaba capital (dinero) como tal, sino en forma de oro, ganado, tierras, armas, etcétera. Por tanto, las industrias no se diseñan para ganar dinero como tal, sino que el ganar dinero debe ser una consecuencia de poseer y operar adecuadamente una industria.

Pasado el tiempo, y cuando la población mundial había crecido sustancialmente, los economistas aseguraron que uno de los objetivos del diseño, implantación y operación de empresas debería ser la creación de empleo. Aunque, esto parece no ser cierto. La evaluación social de las empresas, que tuvo su auge en la década de 1980, hacía mucho énfasis en la cantidad de puestos de trabajo que se creaban con una nueva empresa. La evaluación social entró en desuso con la llegada de los robots a la industria.

Los robots incrementaron de manera sustancial la eficiencia de las empresas, pues como lo afirman los apolo-gistas de la robótica, las máquinas no se cansan ni hacen huelgas. Evidentemente, el uso de los robots fomenta el desempleo al sustituir la mano de obra. A pesar de que en todo el mundo, incluyendo Europa y Estados Unidos de América, los robots han generado mucho desempleo, las grandes industrias siguen utilizándolos como una forma de eficientar la productividad y las ganancias de la empresa, por tanto, ésta no se diseña con el objetivo de crear empleos, esto sólo es una consecuencia.

Finalmente, las empresas generan muchos impuestos para el gobierno, pero no están diseñadas para ello, sino que ese pago es una consecuencia de la operación de la empresa. Es sabido que muchas empresas evitan o evaden impuestos, analizando y aprovechando las lagunas o fallas que tienen las leyes fiscales, y así el dinero que logren ahorrar en impuestos representa una ganancia directa para la empresa. Pero, evadir impuestos es un delito, ya que implica no declarar al gobierno las ganancias reales de la empresa, sino una cantidad menor, a fin de pagar menos impuestos.

No se confunda el futuro ingeniero industrial pensando que las empresas se diseñan para ganar dinero. Lo que hace parecer que esto es cierto es la voracidad del hombre mismo. Cuando el empresario observa que ser propietario de una empresa le puede retribuir muy buenas ganancias, decide tener dos o más empresas, para ganar más y tener más poder. También se da cuenta de que si es capaz de hacer ir a la bancarrota a sus competidores en el mercado, él podrá tomar ese mercado y sus ganancias aumentarán, pero una empresa no se diseña para eso, sino para ser operada de manera eficiente en todos los sentidos.

Se puede concluir, entonces, que el ingeniero industrial, como diseñador del sistema llamado empresa o industria, debe tener como único objetivo durante el diseño,

identificar perfectamente a los subsistemas de la empresa, y en el diseño de esos subsistemas definir el objetivo correspondiente, asignar las entradas y salidas, medir el desempeño de cada subsistema e implantar los métodos de optimización de cada uno de ellos. Para hacerlo, deberá tener en cuenta no sólo al subsistema en sí mismo, sino especialmente sus relaciones con todos los demás subsistemas.

En las tres figuras del capítulo 1, se observa que a través de los sistemas descritos circula información, materiales y dinero. Asimismo, en el capítulo 1 se abordaron las áreas a través de sus procesos, ahora se describirán éstas considerando el enfoque de sistemas. Por tanto, de cada área o subsistema, se explicará el objetivo, las entradas, las salidas, los índices de desempeño y los métodos de optimización de desempeño. Se espera que con la descripción de cada área de la empresa, se pueda mejorar el diseño de éstas. Conociendo las entradas y salidas de cada área, a la cual se le llamará subsistema de la empresa, el futuro ingeniero industrial adquirirá la idea de por qué se han propuesto determinados métodos para medir el desempeño de esa actividad y, lo que es más importante, en un futuro podrá proponer métodos nuevos de optimización de actividades.

A continuación se describen las diferentes áreas de una empresa bajo el enfoque de sistemas.

Ventas

Es el final de la cadena de suministros y actualmente se considera la razón de ser de la empresa. Una industria tendrá ventas aceptables si entrega un producto con calidad, de acuerdo con determinados estándares, en el momento oportuno, en el sitio adecuado y a un precio competitivo. Si logra este objetivo, sus probabilidades de sobrevivencia y crecimiento son mayores, pero para lograrlo, todas las actividades internas de la empresa y algunas externas, deberán desempeñarse con eficacia.

Objetivos. Dar a conocer el producto, mediante técnicas publicitarias, y promover su venta a través de técnicas de mercadeo.

Conseguir el mayor número de compradores del producto.

Entradas y salidas. Son las que se muestran en la figura 11.4, y donde se observa que el subsistema de ventas recibe y procesa básicamente información; desde luego, recibe recursos económicos y recursos humanos especializados, pero sus salidas son exclusivamente información en forma de reportes o planeación de alguna actividad.

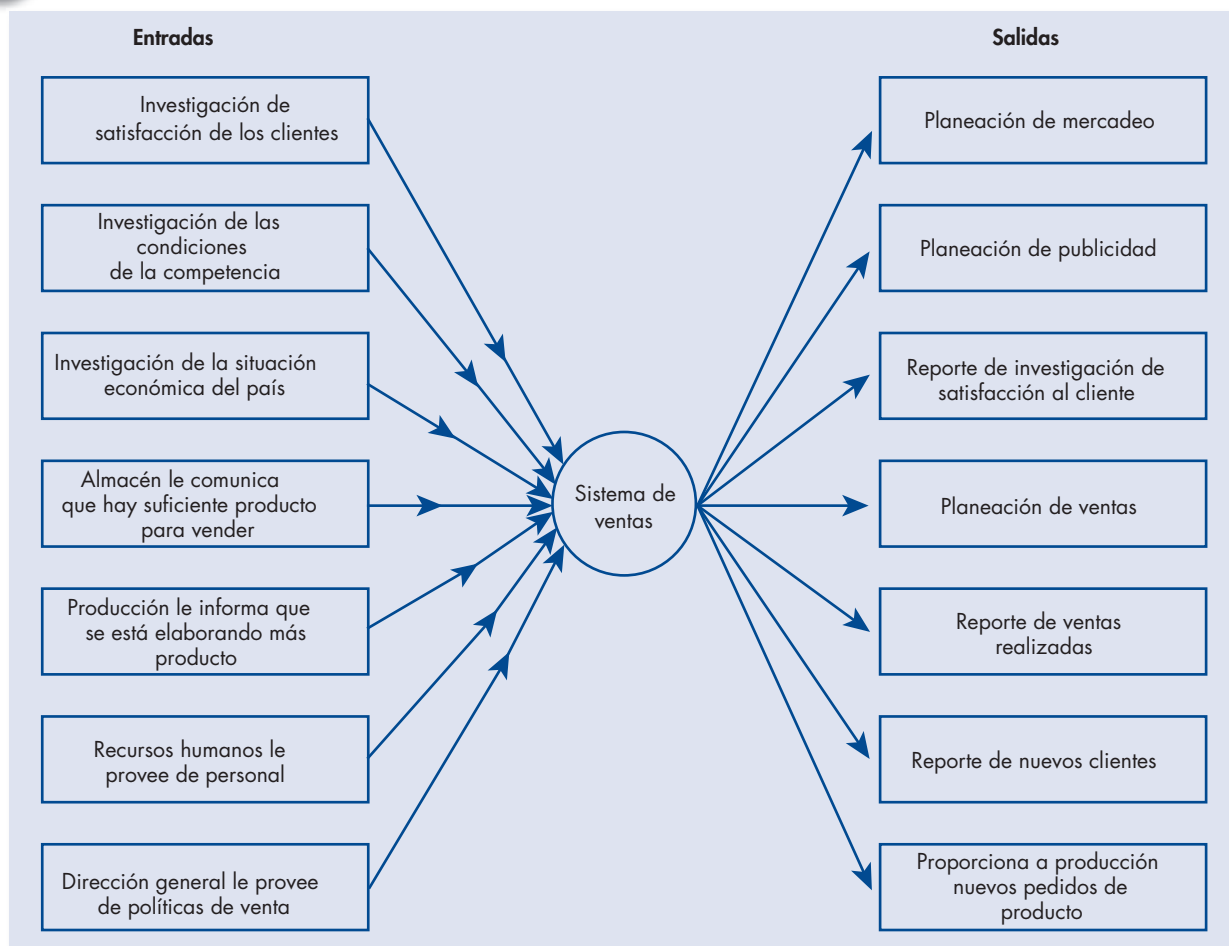


Figura 11.4 Principales entradas y salidas del subsistema de ventas.

Medición de su desempeño. Se hace a través del nivel de ventas, siempre comparado con periodos anteriores, aunque el nivel puede resultar engañoso. Las ventas de una empresa pueden disminuir porque la economía del país está o ha entrado en crisis, por una mala calidad del producto, por una política inadecuada de crédito o por una distribución ineficiente de los productos, pero todos estos factores no pueden ser atribuidos a un desempeño deficiente del departamento de ventas.

Optimización del proceso. Mejorar las técnicas publicitarias y de mercadeo.

Distribución

Es el área cuyas actividades hacen llegar el producto desde su origen hasta el consumidor final. Como se podrá observar, la distribución no sólo depende de la empresa, también intervienen los intermediarios. Por ejemplo, una empresa elabora juguetes, pero es imposible que venda

toda la producción directamente al consumidor final, por tanto, la empresa sólo distribuye a grandes tiendas, como los supermercados, y ese intermediario es el que hace llegar el producto al consumidor final.

Objetivo. Entregar el producto en el lugar adecuado, en tiempo oportuno y en buen estado, ya sea a un intermediario o al consumidor final.

Entradas y salidas. En la figura 11.5 se observa que este subsistema vincula a la empresa directamente con el consumidor o los distribuidores, por tanto, además de recibir producto, debe contar con los recursos económicos y materiales indispensables, básicamente transportes en buen estado, para cumplir con su objetivo. Sus salidas consisten en el intercambio de información a las diferentes áreas, esencialmente a finanzas en forma de documentos o facturas por cobrar. También tiene un componente de análisis, pues este subsistema propone métodos de optimización de las rutas de distribución, que por lo general derivan en una optimización de costos.

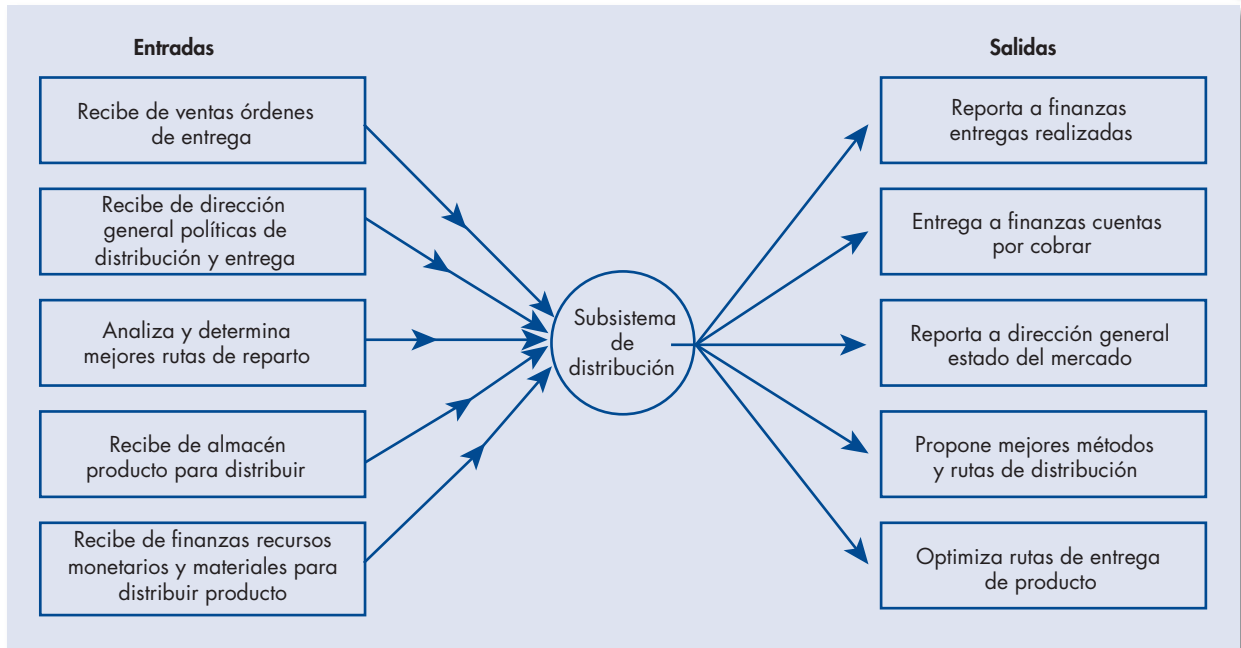


Figura 11.5 Principales entradas y salidas del subsistema de distribución.

Medición de desempeño. Sus índices de desempeño se basan en la entrega del producto en perfectas condiciones, en el lugar y a la hora solicitada por el comprador, aunque esto puede ser engañoso, ya que si producción no entrega producto a tiempo, o el almacén lo entrega en mal estado, será imposible cumplir las condiciones de entrega pactadas.

Optimización del sistema. Las actividades del departamento de distribución se optimizan analizando la cadena de suministros y aplicando técnicas de investigación de operaciones.

Almacenes

Los almacenes pueden ubicarse dentro o fuera de la empresa. Su función es resguardar temporalmente cualquiera de los artículos mencionados, aunque las industrias japonesas crearon el concepto de justo a tiempo, que significa cero inventarios cuando el proveedor es capaz de entregar la materia prima aproximadamente 30 minutos antes de iniciar la producción o un lote de producción. La inversión en los inventarios de los almacenes puede ser muy elevada, si no se saben manejar en forma adecuada.

Objetivo. Resguardar en perfectas condiciones la materia prima y el producto en proceso o terminado, con la condición deseable de que sea al mínimo costo y que nunca se detenga la producción debido a la falta de materias primas.

Entradas y salidas. En la figura 11.6 se muestran las entradas y salidas del área de almacenes. Ahí se observa que las entradas de este subsistema es información, dinero y materiales. Estos componentes los procesa la gerencia o jefatura del almacén, generando salidas en forma de materiales diversos, y no sólo como materias primas o producto terminado. También genera mucha información a diferentes subsistemas. El reto de la gerencia de almacén es manejar costos mínimos sin faltantes de material.

Medidas de desempeño. Son básicamente pérdida cero y obsolescencia cero en cualquier tipo de materia prima o producto almacenado; además de cero paros de producción por falta de materia prima. Sin embargo, esto resulta engañoso cuando el proveedor se niega a entregar materia prima por falta de pago. Otra medida de desempeño es que el costo total del inventario siempre debe ser menor, o al menos igual, al costo obtenido en el periodo anterior.

Optimización del inventario. Se han creado muchos modelos de inventario: probabilísticos y no probabilísticos; pero, todos los modelos tienen la intención de mantener una cantidad mínima y, por tanto, un costo mínimo en los inventarios.

Producción

Es el subsistema encargado de agregar valor a la materia prima por medio de su transformación, aplicando procesos

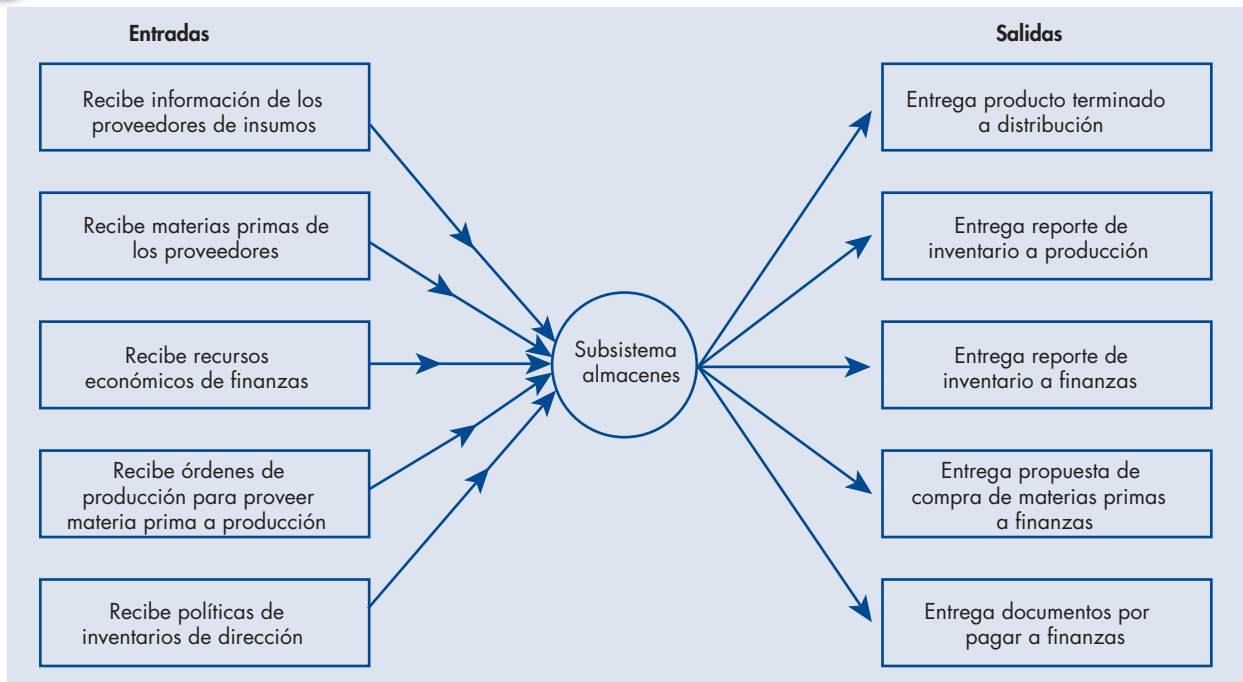


Figura 11.6 Principales entradas y salidas del subsistema almacenes.

y operaciones unitarias. Para dicha transformación, se utiliza una tecnología que puede ser automatizada o poco automatizada, lo cual implica el uso de la mano de obra en mayor o en menor proporción.

Objetivo. Elaborar productos terminados en la calidad, la cantidad y el tiempo, que se ajuste a las especificaciones del cliente, mediante el uso de determinada tecnología.

Entradas y salidas. En la figura 11.7 se observa que éste es el subsistema que recibe más diversidad de entradas, pues recibe materias primas, información, recursos económicos, recursos humanos, tecnología y servicios como mantenimiento, por tanto, en la optimización de sus actividades requiere más creatividad e ingenio, es decir, es uno de los campos más fértiles para el ingeniero industrial.

Las salidas son productos y algunos subproductos deseables y no deseables, algunos de los cuales son contaminantes.

Las grandes empresas tienen un área o subsistema llamado investigación y desarrollo, encargado de generar nuevas tecnologías y productos, exclusivamente para la empresa, lo cual evidencia la necesidad de ser creativo si se trabaja en o para el subsistema de producción.

Medidas de desempeño. Éstas se basan en el cumplimiento de las órdenes de producción, en los cuales se especifican las características deseadas por el cliente con

relación a parámetros de calidad, cantidad y tiempos de entrega.

Optimización de las funciones de producción. Se han diseñado múltiples técnicas de programación de la producción, pero para optimizar todo el proceso también se han ideado estudios de tiempos y movimientos de las actividades, así como robots, métodos de optimización del uso de la mano de obra y una adecuada conservación de los equipos de producción (mantenimiento), ya que si fallara algún equipo o maquinaria, la producción se detendría. Hay otros factores que influyen en el proceso, por ejemplo, que la materia prima ingrese a producción en el tiempo requerido y con la calidad adecuada, es decir que todos los insumos necesarios se tengan en el momento preciso. La optimización de las funciones de producción es, tal vez, el aspecto más estudiado por los ingenieros industriales y aún así, con más de cien años de evolución de la ingeniería industrial, los procesos productivos se siguen optimizando y continúan surgiendo nuevas técnicas de optimización en algún aspecto de este sorprendente subsistema de la empresa.

Mantenimiento

El subsistema de mantenimiento se refiere a las actividades involucradas a fin de que los equipos operen de la manera para la cual fueron diseñados, sin perder eficiencia en su

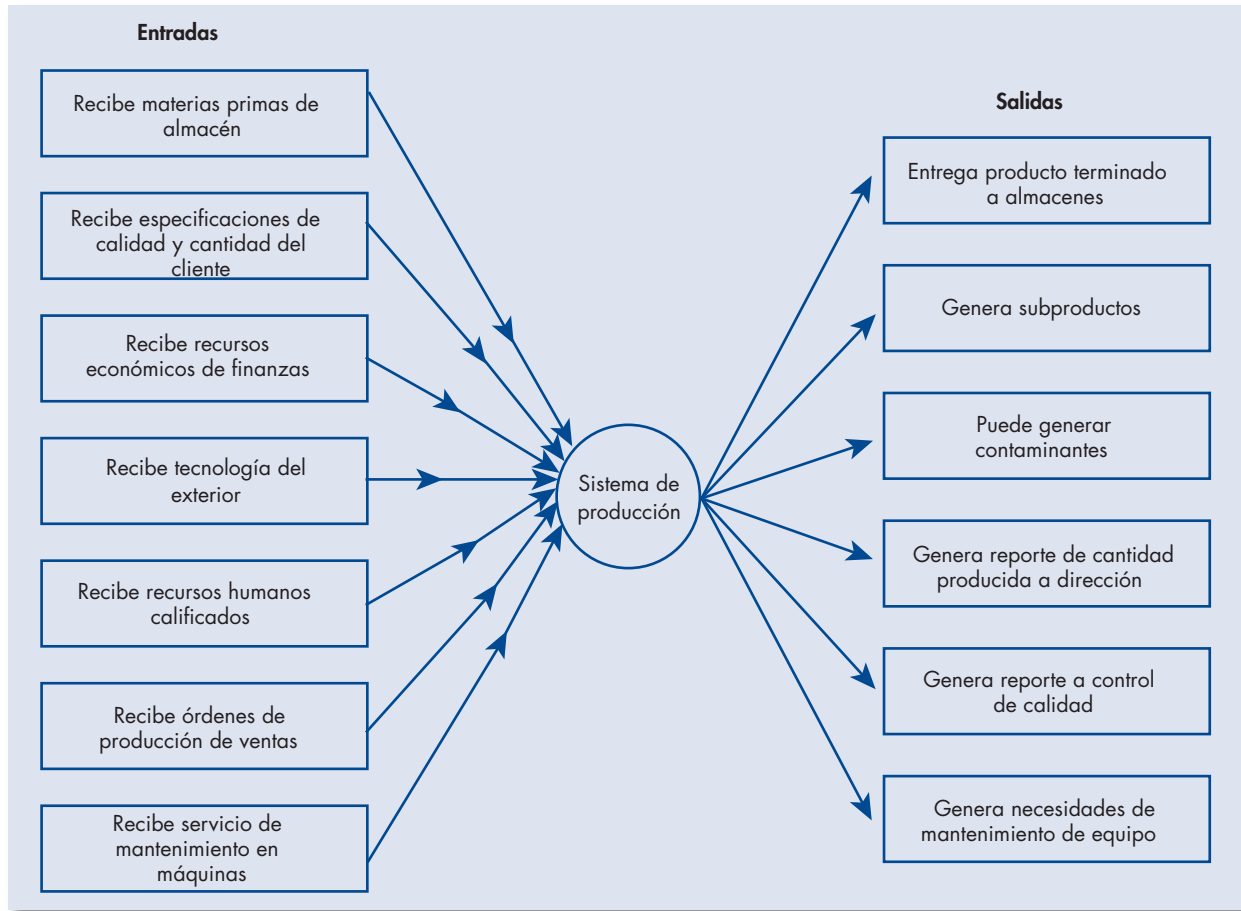


Figura 11.7 Principales entradas y salidas del subsistema de producción.

operación. Eficiencia significa trabajar en forma continua, sin elevar el costo de conservación de las máquinas.

Objetivo. Conservar en adecuado funcionamiento los equipos directos y auxiliares de producción, a un costo menor o al menos igual al periodo anterior.

Entradas y salidas. Como se observa en la figura 11.8, este subsistema tiene como entradas recursos materiales, humanos, económicos e información. Al proporcionar un servicio, sus salidas son exclusivamente información a diversas áreas.

Medidas de desempeño. Su indicativo es el número de fallas (paros) de la máquina respecto del tiempo. Desde luego, a menor número de fallas, mejor mantenimiento, siempre que el costo sea menor, o al menos igual, al periodo anterior.

Optimización de las actividades. Las actividades de conservación se han clasificado en mantenimiento preventivo, correctivo y de reemplazo de equipo. La elaboración

de programas de mantenimiento preventivo y correctivo adecuados alargan el periodo de reemplazo de los equipos. La decisión de reemplazo de equipos es una de las funciones más importantes de este subsistema. Los encargados de esta área deberán decidir, mediante análisis de costos, cuál es el momento oportuno para cambiar los equipos. Las actividades de conservación no deben incorporar sólo programas de mantenimiento preventivo y correctivo, sino decisiones importantes de reemplazo, ya que un equipo no necesariamente se sustituye por cuestiones de costos, sino también por obsolescencia tecnológica, haciendo recaer en estos aspectos la optimización del subsistema.

Control de calidad

En el capítulo 5 se hizo mención de que la calidad incluye las actividades de control estadístico y gestión o administración de la calidad. Pero, hablar de cualquiera de los dos aspectos por separado implica tener una visión corta de la calidad. Se ha visto que ésta no depende exclusivamente del subsistema de producción, por tanto, hay que

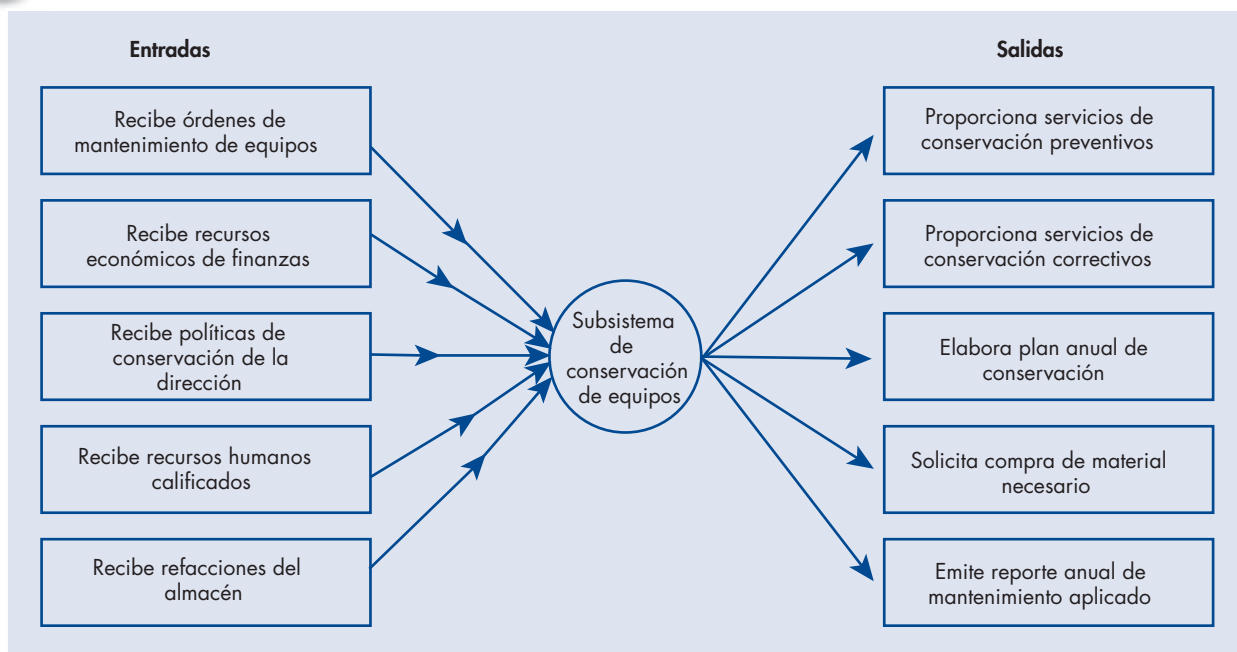


Figura 11.8 Principales entradas y salidas del subsistema de mantenimiento.

administrarla en toda la cadena de suministros. La idea de la calidad, desde su surgimiento, tiene que ver con la satisfacción de una necesidad o expectativa del cliente o consumidor. Los clientes son la base de cualquier empresa privada y la razón de ser de las mismas, ya que sin ellos las ventas y, por tanto, las ganancias de sus productos y/o servicios serían nulas.

Objetivo. Implantar sistemas de mejora continua en las organizaciones teniendo en cuenta a los directivos, los recursos de la empresa y la elaboración del producto, con el propósito de satisfacer las necesidades, expectativas y los requisitos de los clientes.

Entradas y salidas. Son las mostradas en la figura 11.9. En ésta se observa que este subsistema sólo maneja información como entradas y salidas. Desde luego, el control estadístico lleva a un control físico de la calidad del producto, por lo que son necesarios equipos de análisis (recursos materiales) de los atributos que se quieran controlar del producto. Las salidas son exclusivamente información en forma de reportes o propuestas de mejora.

Medición del desempeño. Sin duda, la medición del desempeño del subsistema de calidad es que el número de productos rechazados sea tan bajo como uno en un millón de piezas producidas o aún menos. Este número o porcentaje de rechazos ya se ha alcanzado en varias empresas líderes en el mundo. Se insiste en que estos logros

no se obtienen directamente del subsistema de producción, sino con la colaboración de toda la empresa.

Optimización de las actividades. Como la gestión de la calidad es más bien un proceso administrativo, la clave de la optimización es la correcta administración y el compromiso de todos los trabajadores de la empresa, iniciando por el director general y terminando con el trabajador de sueldo más bajo en la organización. Pero, compromiso no significa que sólo los trabajadores den su máximo esfuerzo, sino que los propietarios compartan de manera justa las utilidades, lo cual implica administrar correctamente la organización para optimizar los procesos.

Finanzas

En este punto es importante destacar que no hay que confundir las finanzas con la contabilidad. La actividad contable es sólo una parte de la actividad financiera, la cual incluye invertir correctamente los excedentes de efectivo en la empresa y contratar el mejor crédito cuando la empresa necesite financiamiento a corto o a largo plazos, contratar coberturas financieras para los riesgos que pudiera enfrentar la empresa, planear en forma financiera las actividades, entre otros. Desde luego, que finanzas es un sistema que maneja en forma exclusiva dinero e información, y esto reviste gran importancia para los propietarios, pues son las bases que ellos, por lo general, tienen para tomar decisiones.

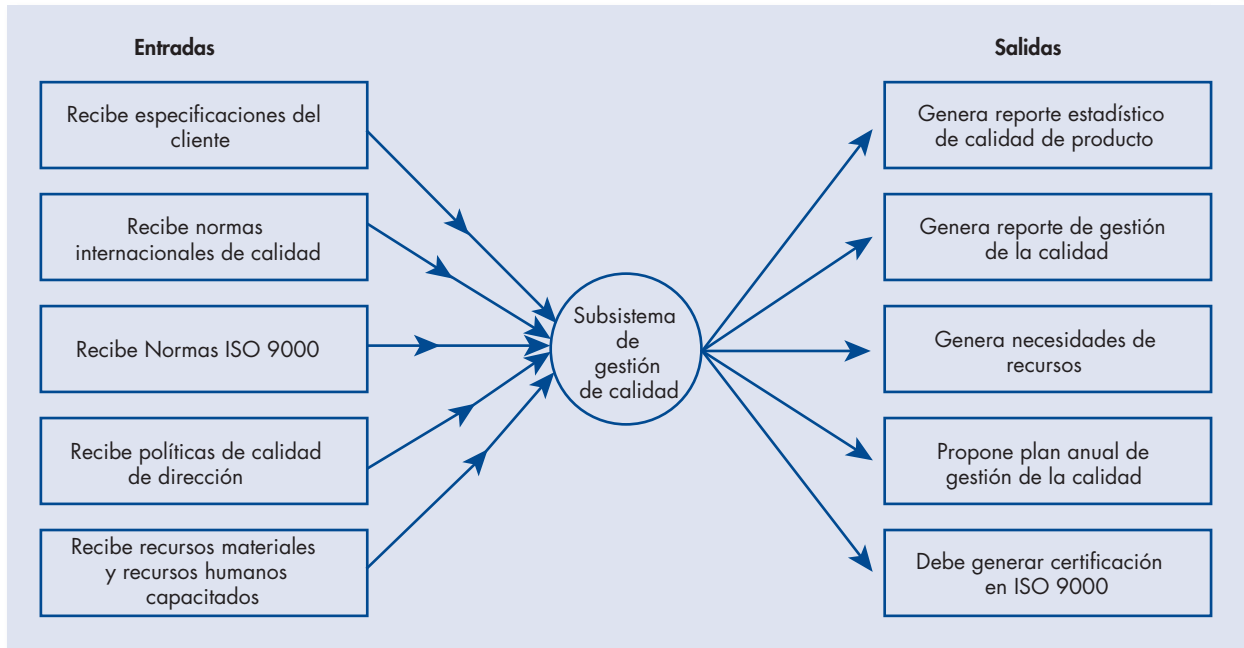


Figura 11.9 Principales entradas y salidas del subsistema de calidad.

Objetivo. Recibir, controlar, administrar y planear adecuadamente la empresa desde el punto de vista financiero.

Entradas y salidas. En la figura 11.10 se observa que las entradas y las salidas de este subsistema son siempre dinero e información. La actividad básica de la gerencia es recibir información y dinero de diferentes entidades, y si no tiene lo suficiente, entonces finanzas debe buscar la fuente de esos recursos. También, procesa toda esa información y planea la forma de distribuir el dinero de manera adecuada. Las cuatro entidades básicas que reciben dinero de la empresa son los propietarios, los trabajadores, los proveedores y el gobierno, en forma de impuestos. Si aún sobra dinero, se busca el mejor camino para invertirlo a diferentes plazos, de acuerdo con las necesidades de la organización.

Medidas de desempeño. Son varias las medidas de desempeño de este subsistema. Sin embargo, elevar la rentabilidad de la empresa no es una medida, pues la rentabilidad dependerá de todas las demás áreas, excepto de finanzas. Sus medidas son la eficiencia en el control del efectivo y la planeación financiera. La entrega correcta de las

declaraciones financieras anualmente, el pago de impuestos a tiempo, evitar el déficit de efectivo para continuar con las operaciones, el que no se ignoren o pierdan oportunidades de buenas inversiones cuando hay excedentes de efectivo, adecuadas políticas de crédito y de pago a proveedores, por citar algunas, son sólo algunas medidas del desempeño de este subsistema. Sin embargo, los estudiosos de las finanzas han demostrado que una empresa que maneja adecuadamente sus excedentes de efectivo puede elevar hasta 30% la tasa de rentabilidad de la empresa, sobre la obtenida por las operaciones normales de la empresa, por tanto, este subsistema reviste gran importancia en las organizaciones lucrativas.

Optimización de actividades. Una de las últimas disciplinas o áreas de conocimiento que se ha diseñado para las finanzas es la llamada ingeniería financiera.³ La consecuencia que ha tenido esta nueva disciplina es la creación de los conocidos instrumentos derivados que se negocian en muchas bolsas de valores del mundo.⁴ La ingeniería financiera ha puesto a disposición de las empresas una enorme variedad de nuevos instrumentos o alternativas de inversión y les ha permitido cubrir los riesgos financieros

³ La ingeniería financiera surge a principio de las década de 1980 en Inglaterra, inicialmente como un departamento de administración de riesgos financieros en las empresas. Se le define como la solución innovadora a problemas financieros cotidianos.

⁴ Los instrumentos derivados más conocidos son los futuros, los swaps y las opciones; otros de menor importancia son los warrants y una serie de instrumentos llamados sintéticos, conocidos así porque son mezclas de otros instrumentos derivados conocidos.

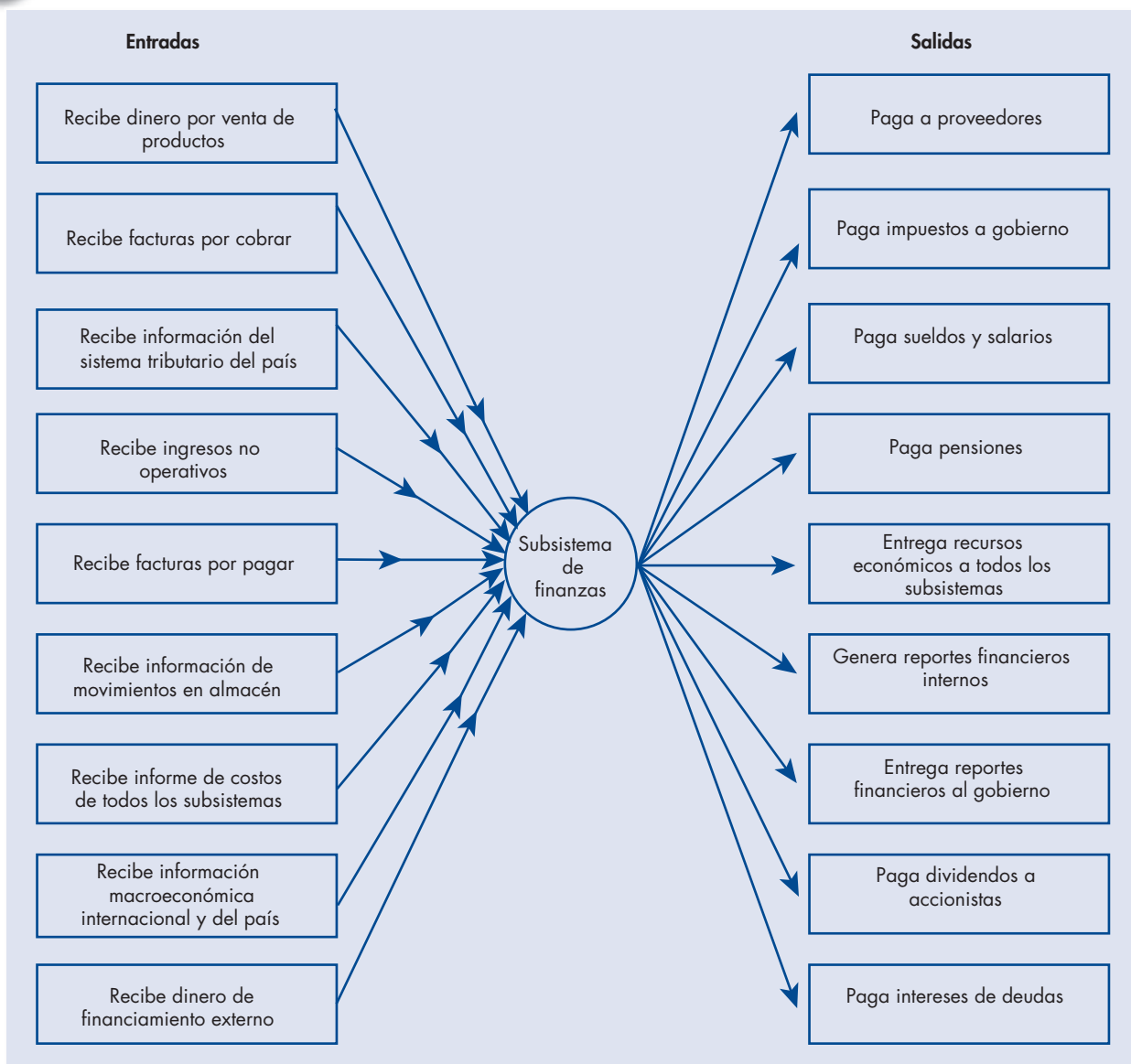


Figura 11.10 Principales entradas y salidas del subsistema de finanzas.

más comunes en las empresas, como el aumento de las tasas de interés en el mercado o el desplazamiento de la paridad de la moneda, a un precio relativamente bajo, pero sobre todo, permitiendo realizar una planeación financiera mucho más certera, al hacer prácticamente cero el riesgo de cualquier variación en los presupuestos anuales, y de esta forma optimizar las actividades financieras.

Recursos humanos

Es evidente que los recursos humanos son el principal activo de toda organización, pues son quienes mueven materia prima, productos, información y dinero, por tanto, la adecuada selección y capacitación de éstos es vital para el

buen desempeño de cualquier empresa. Con el avance de los métodos de estudio de la psicología, clima organizacional, cultura organizacional, políticas para el personal, etc., el subsistema de recursos humanos ha evolucionado hasta ser una parte muy importante en el sistema general llamado empresa. En la actualidad, éste ha dejado de ser un simple contratador de personas, para pasar a preocuparse por el desarrollo del ser humano, no sólo desde el punto de vista laboral, es decir, no se ocupa en forma exclusiva de capacitarlo para que desempeñe mejor su trabajo, sino también se preocupa por el desarrollo integral del trabajador, sobre todo de aquellos que han ido ascendiendo de puesto y que representan un enorme potencial humano para la empresa.

Objetivo. Localizar, contratar, desarrollar, evaluar, mantener y conservar el número y tipo adecuado de trabajadores, es decir, suministrar a las organizaciones una fuerza laboral efectiva.

Entradas y salidas. Son las que se muestran en la figura 11.11. Éste es un subsistema especial, pues en realidad sus únicas entradas son información de diferentes tipos. No se puede decir concretamente que una entrada es el personal que solicita empleo, ya que sólo transfiere a ese personal a determinado subsistema, con base en la información que aquellos solicitantes han proporcionado. El subsistema de recursos humanos es un tomador de decisiones (aceptación o rechazo de solicitantes), y un formador de trabajadores, a través de la capacitación que proporciona; ambas actividades las desempeña sólo con información y los recursos humanos necesarios en la capacitación, que son los instructores de los cursos.

Medidas de desempeño. Hay dos medidas básicas de desempeño, una es una baja rotación de personal, lo cual indica que, en general, los trabajadores se sienten satis-

fechos de laborar en la empresa, y otra es el desarrollo interno del personal, es decir, en la medida en que más capacitación se otorgue, más trabajadores ascenderán puestos en la empresa; y esto es un indicativo de que la organización realmente está desarrollando al trabajador hacia un progreso personal y de la empresa.

Optimización de actividades. Los subsistemas que se han mencionado anteriormente tienen métodos cuantitativos para optimizar sus actividades, sin embargo, cuando se habla de las relaciones humanas, el terreno se vuelve poco sólido, pues es difícil proponer nuevas formas de optimizar el desempeño de las personas. En este sentido, la sociología y la psicología han avanzado, proponiendo nuevos tests para ser aplicados a los solicitantes de empleo y nuevos enfoques para la capacitación de personal: se imparten cursos de liderazgo, de solución de conflictos en la empresa, se estudia cada día más el clima y la cultura dentro de las organizaciones, etcétera. Éstas y otras técnicas son las que utiliza el subsistema de recursos humanos para optimizar su funcionamiento y alcanzar su objetivo.

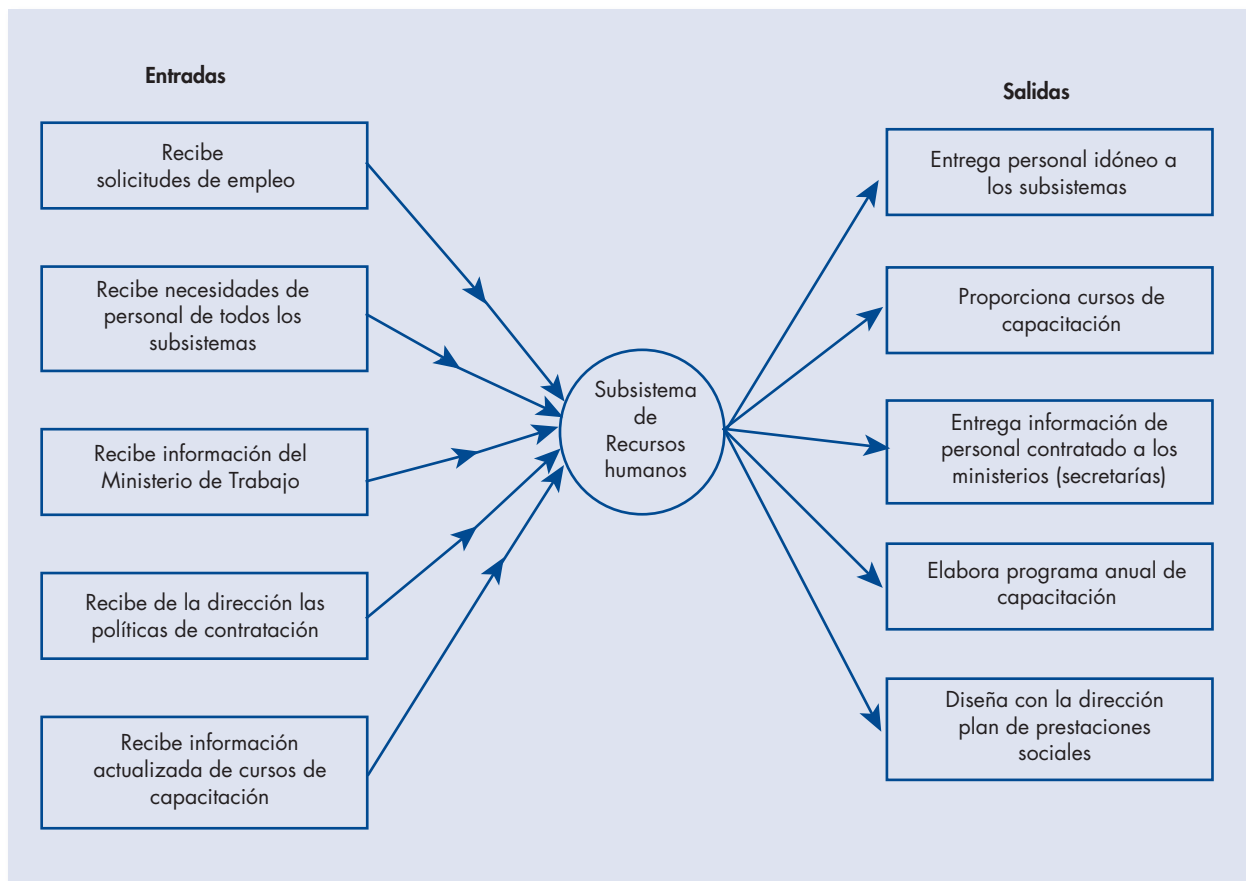


Figura 11.11 Principales entradas y salidas del subsistema de recursos humanos.

Dirección general

Se está hablando del puesto de mayor jerarquía dentro de una empresa, puede no haber un director general, sino un gerente general, y para ambos se aplican los mismos conceptos de este apartado. La dirección de una empresa, como su nombre lo indica, es la que debe dirigir el rumbo de la organización, y esto no es tan sencillo, ya que para ser un director empresarial exitoso se debe tener un pensamiento estratégico y un adecuado sentido de la planeación. Un director no es un simple administrador; administrar la empresa es sólo una de sus tareas y seguramente no es la más importante. Un director es, en esencia, un estratega de los negocios y un tomador de decisiones; las

decisiones las tomará acertadamente en la medida en que sea hábil y cuente con información suficiente. El ser un buen estratega depende no tanto de su preparación, sino de una habilidad natural, aunque este punto ha sido muy discutido en la teoría de dirección de empresas.

Objetivo. Tomar las decisiones que conduzcan a la empresa a un sano desarrollo y a un crecimiento en el corto y largo plazo.

Entradas y salidas. Son las que se muestran en la figura 11.12. Éste también es un subsistema con características especiales, ya que sus entradas son únicamente información, y sus salidas son información, y por supuesto,

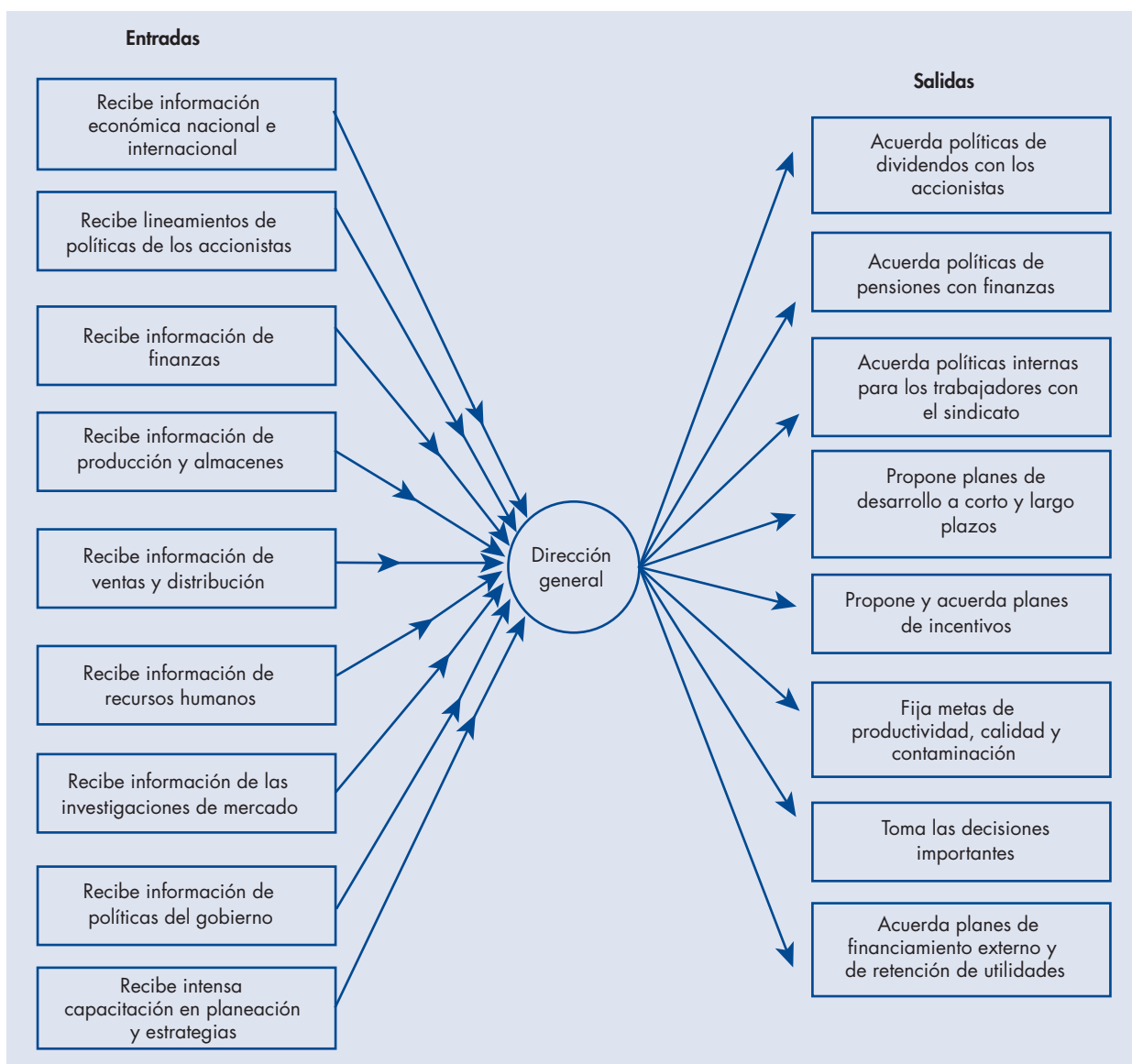


Figura 11.12 Principales entradas y salidas del subsistema dirección general.

decisiones. Todas las políticas internas de organización deben ser aprobadas por la dirección general. Recuérdese que la dirección general es similar al cerebro de un ser humano; su única función es recibir y procesar información a fin de tomar decisiones que permitan la sobrevivencia y el desarrollo del sistema completo, ya sea el ser humano o la empresa. Desde luego, el director de una empresa busca mucho apoyo, en forma de consejos y directrices, de los propietarios, pero él es el responsable directo de los destinos de la organización.

Medidas de desempeño. La medida del desempeño de la dirección general es la mejora de todos los índices significativos de la empresa. En capítulos anteriores se dijo que para que tengan éxito aspectos como la gestión de la calidad, la productividad, el combate a la contaminación, etc., éstos deben tener el apoyo incondicional de la dirección. Cuando éstos y otros aspectos mejoran, seguro que aumentará la rentabilidad económica de la empresa, las ventas se incrementarán, se elevará la moral de los trabajadores, etcétera. En conclusión, no hay una medida única del desempeño de la dirección, la estabilidad y el crecimiento a largo plazo de la organización son las mediciones más representativas.

Optimización de actividades. Al igual que en recursos humanos, la optimización de las actividades del director general es un tema poco cuantitativo. El subsistema de recursos humanos puede proporcionar al director general los mejores cursos de actualización disponibles, de liderazgo, visión estratégica, planeación, etc., pero será la capacidad, la personalidad y las habilidades naturales del director lo que marcará la diferencia entre un director empresarial muy capacitado y un director general exitoso.

La complejidad del sistema llamado empresa

En el capítulo 1 se presentaron los principales procesos y flujos que tienen lugar dentro de una empresa, recordando que los flujos principales son información, materiales y dinero. Imagínese esos tres flujos fluyendo continuamente y con intensidad dentro de una organización industrial; ahora agregue los conceptos vertidos en este capítulo sobre las entradas, salidas y actividades que se realizan al interior de cada subsistema.

No hay duda de la complejidad de la empresa, incluso hasta para representarla por medio de figuras. Para entenderla cada vez más, se han creado todas las disciplinas y materias que se imparten a los ingenieros industriales. Esta rama del conocimiento, auxiliada por muchas otras, ha

estudiado y propuesto métodos de medición del desempeño casi de cada actividad, además de que también ha propuesto la forma de optimizar, prácticamente cada una de las entradas y salidas de todos los subsistemas presentados. Como se lee en el título de cada figura relacionadas con el tema, en este capítulo, éstas son sólo las principales entradas y salidas de cada subsistema, lo que significa que aún faltan algunas consideraciones.

La figura 11.13, por su parte, intenta representar vagamente esta complejidad. En ésta se observa que hay zonas donde se intersecan hasta tres áreas, pero en la realidad, la intersección de áreas o subsistemas es tridimensional, y evidentemente se intersecan varias a la vez, tal como puede ser deducido de las figuras presentadas en el capítulo 1. Una representación imposible de lograr, pero más cercana a la realidad, sería agregar a la figura 11.13 todas las entradas y salidas descritas en las representaciones diagramáticas de cada subsistema y unir cada entrada o salida con el correspondiente subsistema con el cual mantiene un flujo, ya sea de información, de dinero o de materiales. Aunque la representación fuera tridimensional, hay tantos flujos que entran y salen de cada subsistema, que la figura sería bastante complicada. Por esta y otras razones, a la empresa se le debe estudiar por partes, mientras más pequeña sea la parte que se estudia, tanto mejor, pues hay más claridad en la representación, aunque posteriormente el problema será tratar de unir de forma congruente cada parte con sus correspondientes flujos, en un todo integrado llamado **empresa**.

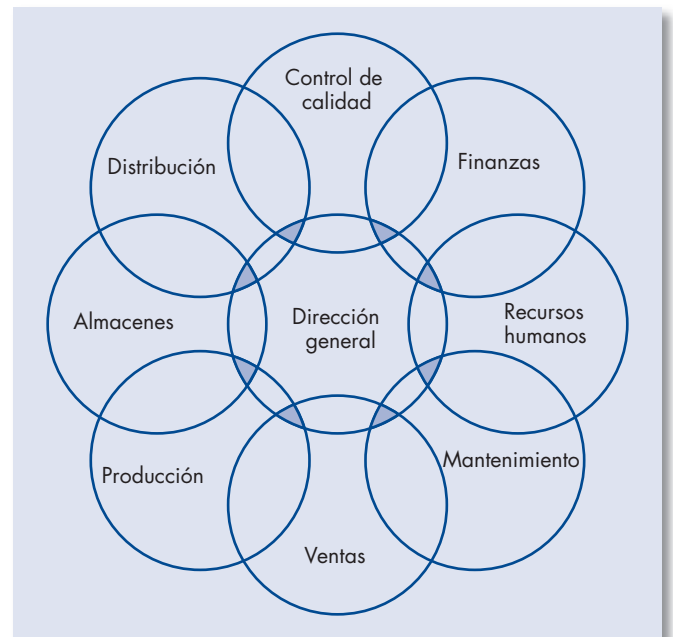


Figura 11.13 Representación de la interacción de los subsistemas que coexisten en una empresa.

Al igual que en un ser humano enfermo se presentan los síntomas de un padecimiento y se puede saber cuál es su enfermedad, en la empresa enferma (la que funciona de manera deficiente) también se presentan síntomas y se puede saber cuál es el origen del mal funcionamiento. Por los parámetros fisicoquímicos que presenta un ser humano, también se puede saber si está totalmente sano. En la empresa, asimismo, se ha diseñado una serie de índices para demostrar que la empresa está sana en todos los sentidos.

Obsérvese la similitud en muchos sentidos entre el cuerpo humano visto como un sistema, formado por otros sistemas que funcionan de manera armónica, y la empresa vista como sistema, formada por varios subsistemas que funcionan de manera armónica. El último rasgo del que han dotado los científicos a la empresa, es de un enorme y complejo sistema de información, a base de redes informativas y de computadoras personales, que se compara con el sistema nervioso. La intención de estos sistemas llamados planeadores de los recursos de empresa, es que la organización reaccione casi instantáneamente a las cambiantes condiciones del medio ambiente, a diferencia del pasado.

A finales del siglo xx, si una empresa de cualquier tamaño quería conocer los resultados económicos obtenidos en un año, debía esperar a que se realizara un balance general y un estado de resultados anual; esperar dos o hasta tres meses a que los contadores estuvieran seguros de las cifras, y hasta entonces se conocía el resultado. Si la empresa iba mal, se veían síntomas de ello, pero nadie estaba totalmente seguro ni se sabía dónde estaba el origen del mal funcionamiento. Cuando se tomaba una decisión con cifras reales, pero tres meses después de haber sucedido los hechos, ya era demasiado tarde para muchas empresas. Los nuevos sistemas de información que conectan toda la información que se genera a diario en la empresa y la envían al instante a la dirección general, permiten tomar decisiones con información precisa y oportuna. Que el director tome la decisión adecuada es otra cosa, pero la falta de información ya no es pretexto.

Éste es un ejemplo simple de cómo el científico diseñó día a día a la empresa a semejanza del funcionamiento de su propio cuerpo. ¿Hasta dónde va a llegar o puede llegar la empresa semejando el funcionamiento casi perfecto del ser humano? Es imposible saberlo, todo depende de la creatividad y la intervención de los ingenieros industriales cada vez mejor preparados.

Palabras clave

Sistema, objetivo, entradas, salidas, optimización.

Caso práctico

Caso 1

La contaminación es un problema mundial y su origen está claramente determinado. Las principales fuentes de contaminación son las industrias y los automóviles. En la década de 1980, la Ciudad de México era una de las más contaminadas del mundo, pues contaba con más de 20 000 industrias instaladas dentro de la ciudad y las zonas conurbadas. Además, en sus calles circulaban diariamente cerca de tres millones de autos, transportes de pasajeros y de carga. Para finales de esa década, y después de haber rebasado varias veces los límites máximos permitidos de contaminantes en el aire, el gobierno de la ciudad creó la Secretaría del Medio Ambiente y Ecología, con el objeto de controlar y disminuir la contaminación de la ciudad en el mediano plazo, básicamente la contaminación del aire. Aunque nunca

fue declarado de manera oficial como un sistema para el control de la contaminación, poseía todas las características de un sistema. Tenía un objetivo, que sigue vigente hasta la fecha, que es reducir los contaminantes en el aire de la ciudad, por debajo del límite máximo permisible.

También está formado por una serie de elementos, partes o subsistemas, cada uno con entradas y salidas. Los principales subsistemas del sistema principal son: jurídico, normativo, administrativo, de supervisión de empresas, de supervisión de automotores y de monitoreo atmosférico, consistente en 20 estaciones de análisis fisicoquímicos de la atmósfera en tiempo real, ubicados en diferentes lugares de la ciudad.

Estos subsistemas tienen sus métodos de evaluación de desempeño. Los más conocidos son el ya mencionado sistema de monitoreo ambiental, el sistema

de verificación del funcionamiento de automóviles y el sistema de verificación de diferentes contaminantes industriales, cada uno con parámetros bien definidos y cuantificables. Para los otros subsistemas, por ser sistemas blandos, es más difícil describir sus parámetros de desempeño y métodos de optimización.

Finalmente, en cada uno se han tomado medidas para reducir la contaminación atmosférica, que han surtido efecto, al grado de que en la última década del siglo pasado y lo que va de éste, ya no se han presentado contingencias ambientales, a pesar de que ha aumen-

tado considerablemente el número de automotores en circulación.

Asimismo, se han tomado medidas para optimizar los resultados del sistema, tales como mejorar la calidad de las gasolinas para uso automotriz y se ha prohibido la instalación de nuevas industrias contaminantes dentro de la ciudad. Otra de las acciones importantes, es que en 2006 se inició la construcción de libramientos para evitar que miles de vehículos circulen por la ciudad, si es que sólo van de paso.

Casos para resolver

En la localidad o país donde usted vive, existe un sistema educativo.

- a) Describa el objetivo de ese sistema e investigue si existe una declaración oficial concreta del objetivo.
- b) Describa las partes o subsistemas que lo componen.
- c) Describa las entradas y salidas de cada subsistema.
- d) Describa las medidas de desempeño que se han implantado para evaluar las actividades de cada subsistema y del sistema educativo en general.
- e) Proponga métodos para optimizar las actividades de cada uno de los subsistemas del sistema educativo.

Para discusión

1. Mencione una definición de sistema.
2. Describa las características de un sistema.
3. Describa un subsistema y el suprasistema del sistema político de la localidad donde vive.
4. ¿Cuáles fueron las aportaciones de Ludwig von Bertalanffy a la teoría de sistemas?
5. Mencione cuáles han sido las aportaciones de Richard Muther a la ingeniería industrial.
6. Si al área de producción de una empresa se le considera como un sistema, describa los subsistemas que lo forman.
7. Mencione las entradas y salidas de los subsistemas que haya descrito en la pregunta seis.
8. Mencione tres sistemas del cuerpo humano y encuentre similitudes de cada uno con algún sistema industrial.
9. ¿Qué es un atributo en un sistema?
10. Mencione tres tipos de escalas utilizadas para medir los atributos de un sistema.

Bibliografía

Baca, Gabriel. *Formulación y evaluación de proyectos informáticos*. McGraw-Hill Interamericana. México. 2005.

Kerlinger, Fred. *Investigación del comportamiento, Métodos de Investigación en Ciencias Sociales*. McGraw-Hill Interamericana. 4ª ed. México. 2002.

Laudon, Kenneth. *Management Information Systems*. Pearson Prentice-Hall. 9th ed. Colombia. 2004.

O'Connor, Joseph. *Introducción al pensamiento sistémico*. Urano. México. 1998.

Van Gigch, John. *Teoría general de sistemas*. Trillas. 4ª ed. México. 1994.



LA CONTAMINACIÓN Y GESTIÓN DE LA CONTAMINACIÓN PROVENIENTE DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES

Margarita Cruz Valderrama
Maestría en Educación Superior. UNAM

Siguieron barriendo las calles después de haber barrido las casas y luego las carreteras y los caminos vecinales, de manera que los montones de basura eran llevados y traídos de una provincia a la otra sin saber qué hacer con ellos...

Gabriel García Márquez. *El otoño del patriarca*

Objetivo

- Presentar los conceptos relevantes de la contaminación industrial y la forma en que se pueden administrar los procesos contaminantes, a fin de mejorar el ambiente.

Introducción

Las reuniones internacionales de corte ecologista que se han celebrado en distintas ciudades, a lo largo de los años, han demostrado que los países más contaminantes son los más desarrollados, pues poseer tecnología y capital les ha permitido tener industrias en todo el mundo y sólo acúan un solo interés: proteger los intereses que ellos mismos han creado.

Reuniones cumbre, como la de Río de Janeiro en 1992, dejaron de manifiesto que el modo de vida de los países industriales, básicamente de Estados Unidos de América, no estaba

sujeto a negociación y afirmaron, por medio de sus representantes, que su interés fundamental seguía siendo el crecimiento de la producción y el consumo.

Sin embargo, si algo ha dejado ese tipo de reuniones es una conciencia ecológica o ambientalista, es decir, una globalización de la ecología. Los problemas globales, como el efecto invernadero, la destrucción de la capa de ozono, la desaparición de las selvas, la extinción de especies, la escasez cada vez mayor del agua, etc., revivió esa conciencia que había permanecido dormida durante siglos debido a que la *contaminación* no se presentaba como un problema generalizado.

A los estudiantes de ingeniería del mundo industrializado se les enseña a administrar tecnología que es abundante en capital, es decir, la tecnología más moderna. El problema surge cuando esa tecnología se exporta a los países de economías emergentes y son los mismos estudiantes, ahora ya ingenieros, dueños o representantes de sus industrias en otros países, quienes implantan y operan dicha tecnología, lo cual resulta contaminante. Sin embargo, el problema de la contaminación no se queda en el país donde se instala la planta, sino que se dispersa a lo largo de todo el planeta, aunque evidentemente aquella localidad donde opera la planta productora es la más perjudicada al recibir directamente la contaminación que emiten esas industrias.

Afortunadamente, los científicos que siguen creando nuevas tecnologías en los países avanzados, han dirigido sus esfuerzos a reducir la contaminación generada por los procesos industriales. Pero, hay que resaltar aquí que es difícil sustituir la tecnología que ya está en uso por nuevas tecnologías no contaminantes, pues la inversión que esto requerirá está lejos de las posibilidades de cualquier nación; además de que el daño al planeta ya está hecho.

En muestras tomadas en cualquiera de los océanos del planeta se han encontrado evidencias de los 20 000 millones de toneladas de desperdicios humanos que anualmente se vierten en el mar. Una quinta parte de la población mundial, que es la que vive en las grandes ciudades, respira aire más contaminado de lo permitido por los estándares internacionales.¹ Y hay más evidencia del daño ocasionado, que en muchos casos parece irreversible, aunque todavía hay muchos escépticos que consideran que los resultados de las investigaciones no son concluyentes.

Por ejemplo, 1990 fue el año más caluroso en más de un siglo de registros, y de 1978 a 1990 hubo siete años muy calurosos, en promedio 1°F por encima del promedio.² Algunos piensan que los cambios de temperatura en

la Tierra se deben a la aparición de manchas solares, que tienen ciclos de 11 años. Otra prueba irrefutable del daño al planeta es la destrucción de la capa de ozono, lo cual fue detectado por primera vez en 1985, en la Antártida. Es tan grave este agujero en la capa de ozono, que puede amenazar la producción de vegetales y aumentar significativamente los casos de cáncer en la piel de los seres humanos. Si hubiera daño a la producción de vegetales, al mismo tiempo se causaría la extinción de muchas especies, tanto animales como vegetales.

Por otro lado, el suelo también sufre una severa contaminación en cualquier hábitat. El desmesurado crecimiento de la población ha hecho que se invadan tierras que antes eran bosques, selvas o tierra cultivable. Al construir en esos sitios, se acaba con la vegetación existente y se generan desechos humanos y animales, como excremento y basura, que contaminan directamente el suelo y el agua. Una práctica común es instalar industrias en zonas alejadas de los centros urbanos, con la consecuente limpieza de terrenos y eliminación de vegetación. El problema se agrava cuando esas industrias también arrojan una serie de contaminantes al agua, al suelo y a la atmósfera.

Una solución para este problema es frenar la tasa de natalidad; esto ya ha empezado a suceder en las naciones industrializadas, pero en países en vías de desarrollo es casi imposible en las comunidades más pobres, aun cuando podría suponerse lo contrario, dada la incapacidad económica de las personas de escasos recursos económicos para mantener a un mayor número de hijos. Cuando una población se siente amenazada por la extinción, su reacción genética es reproducirse más. Se puede deducir que los altos índices de natalidad en esas comunidades se deben a que se sienten amenazadas por la extinción, y este fenómeno ocurre tanto en América Latina como en África o en Asia, lugares donde además se generan los más altos índices de degradación de bosques y selvas. Lo anterior se suma a la explotación irracional, por parte de los países poderosos, de los recursos naturales de los países de economías emergentes.

El ingeniero industrial de cualquier país tiene un papel que puede ser vital en el problema de la contaminación. Al controlar la mayoría de los procesos industriales, tanto en el sector primario como en el secundario, tiene en sus manos el control de la contaminación generada por esos procesos, aunque esto no es tan sencillo como parece.

Para controlar efectivamente la contaminación de las industrias, hacen falta tres cosas: conciencia del problema, la cual se supone que adquiere el ingeniero industrial en

¹ Robert Constanza *et al.* (1999).

² AGENDA 21. 1992. United Nations Environment Program. Nueva York. USA.

sus estudios universitarios; tecnología, cada vez más disponible y accesible en la mayoría de los países; y el factor clave, el capital, ya que por mucho que se quiera y exista la tecnología para combatir la contaminación, si no hay suficiente dinero para adquirirla, todos los esfuerzos resultarán en vano.

Al inicio de este capítulo se mencionó la posición de las grandes economías del mundo, esencialmente la de Estados Unidos de América, que suponen que se debe producir más para alimentar a la creciente población mundial; es decir, al parecer están dispuestos a invertir, pero sólo en el área productiva y a desarrollar tecnologías sólo para incrementar la eficiencia de los procesos productivos, pero no para combatir la contaminación que generan dichos procesos.

Como quiera que se vea esta situación, de forma optimista o pesimista, el ingeniero industrial debe, inicialmente, adquirir esa conciencia ambiental, tan necesaria para iniciar la solución a largo plazo del problema. Luego, junto con otros especialistas de la ingeniería, será el encargado de desarrollar tecnologías más eficientes y baratas para combatir la contaminación generada por las industrias y, por último, tendrá la tarea de convencer o de negociar con los propietarios del capital para que, lentamente, se hagan inversiones tendientes a mejorar el medio ambiente.

La contaminación del agua y métodos de prevención y biorremediación

Existen muchos tipos de contaminación y de contaminantes, pero cualquiera que éste sea, todos contaminan al agua, al aire o al suelo y, por tanto, afectan la salud del humano. Un *ambiente* contaminado en cualquiera de estos hábitat,³ afectará la salud de las personas de manera muy diversa.

Mucho se ha discutido acerca de que la naturaleza misma genera contaminantes, por ejemplo, las erupciones volcánicas ocurridas en tierra firme o en el mar expulsan gran cantidad de cenizas y compuestos derivados del azufre y del nitrógeno que, sin duda, contaminan todo lo que encuentran a su paso. Pero, la naturaleza es tan sabia que durante millones de años han ocurrido erupciones volcánicas y sólo contaminaron el ambiente o periodos cortos durante la erupción; pero al suelo, por el contrario, en vez

de contaminarlo, lo beneficiaron. Es sabido que el suelo que circunda a los volcanes que hacen erupción, al cabo de algunas décadas, se vuelve mucho más fértil de lo que era antes de la erupción.

En este apartado se estudian los principales contaminantes del agua, los cuales tienen dos orígenes muy claros: los hogares y las industrias.

Para que el agua se considere potable, es decir, que se pueda beber sin problemas para la salud, debe estar libre de microorganismos patógenos, debe ser libre o tener un contenido mínimo de compuestos tóxicos o con efectos a largo plazo sobre la salud. El agua debe ser incolora e insípida, o sea, debe estar libre de compuestos o sustancias químicas que den origen a colores o sabores desagradables.

Las industrias generan un sinnúmero de contaminantes biológicos y microbiológicos. Los primeros son materia orgánica simple, generada por las industrias de alimentos, del papel, los hospitales, etc., mientras que los contaminantes microbiológicos son aquellos que aportan microorganismos patógenos dañinos al ser humano. Las aguas provenientes de los hogares, cines, parques, hospitales, etc., llamadas aguas de albañal,⁴ contienen los dos tipos de contaminantes; biológicos y microbiológicos.

Composición

La composición de las aguas residuales se analiza a través de mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido de sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), la demanda química de oxígeno (DQO) y el pH, además de la investigación de microorganismos.

Los sólidos totales comprenden a los sólidos disueltos, que son los que pasan a través de un papel filtro, y a los sólidos suspendidos, que son los que no pueden hacerlo. Los sólidos en suspensión se dividen, a su vez, en sedimentables y no sedimentables, dependiendo de los miligramos de sólido que se depositan a partir de un litro de agua residual en una hora. Estos sólidos se dividen en volátiles y fijos; los volátiles, por lo general, son productos orgánicos y los fijos son materia inorgánica o mineral.

La concentración de materia orgánica se mide con los análisis DBO₅ y DQO. La DBO₅ es la cantidad de oxígeno empleada por los microorganismos, a lo largo de un periodo de cinco días, para descomponer la materia orgánica

³ Hábitat: Espacio físico donde confluyen un conjunto de condiciones geofísicas, que permiten que ese espacio sea habitado por diversas especies animales, vegetales o ambas.

⁴ Albañal, se le llama a la tubería por donde sale de los hogares el agua sucia que se ha generado dentro de ellos y va directamente al Sistema de drenaje.

de las aguas residuales a una temperatura de 20 °C. De modo similar, la DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica, por medio de dicromato, en una solución ácida y convertirlo en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO₅, porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. La DBO₅ suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables, sin tratar y tratadas. La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos. El pH mide la acidez o alcalinidad de una muestra de aguas residuales. Los valores típicos para los residuos sólidos presentes en el agua y la DBO₅ del agua residual doméstica aparecen en la tabla 12.1. El contenido típico en materia orgánica de estas aguas es 50% de carbohidratos, 40% de proteínas y 10% de grasas; el pH puede variar entre 6.5 y 8.0.

No es fácil caracterizar la composición de los residuos industriales con arreglo a un rango típico de valores, dada la diversidad de procesos de fabricación. La concentración de un residuo industrial se expresa enunciando el número de personas, o equivalente de población (EP), necesario para producir la misma cantidad de dicho residuo. Este valor se acostumbra expresar en términos de DBO₅. Para la determinación del EP se considera un valor medio de 0.077 kg, en cinco días, a 20 °C, de DBO por persona y día. Por ejemplo, el equivalente de población de un rastro de reses, oscilará entre 5 y 25 EP por animal.

La composición de las infiltraciones depende de la naturaleza de las aguas subterráneas que penetran en la canalización. El agua de lluvia residual contiene concentraciones significativas de bacterias, elementos traza, petróleo y productos químicos orgánicos.

Los principales contaminantes biológicos de las industrias están constituidos sólo por materia orgánica del más diverso tipo. La industria del papel contamina, básicamente,

con derivados de la lignina, componente básico de la madera; las industrias de alimentos, por su parte, contaminan con sangre de los animales sacrificados, huesos, restos de cáscaras de frutas, suero de leche o con fruta o vegetales en estado de descomposición; en tanto, las aguas provenientes de los hogares, tienen además de materia orgánica, las llamadas bacterias fecales, es decir, bacterias provenientes de las heces del ser humano. La contaminación bacteriana proveniente de las industrias de alimentos consiste en bacterias típicas de los procesos de descomposición orgánica, y las bacterias que provienen de las aguas de desecho de un hospital pueden ser de la más diversa índole.

Por otro lado, están los contaminantes químicos del agua, que son básicamente iones de metales o de halógenos y resultantes de la disociación sales metálicas halogenadas. Entre los iones, se puede mencionar al arsénico, cadmio, cromo, plomo, mercurio, selenio, aluminio, hierro, manganeso, zinc, y a iones no metálicos, como el yoduro, bromuro, cloruro, etcétera. Dentro de las sales, destacan los cianuros, yoduros, fluoruros, cloruros, sulfatos, sulfuros, nitratos, nitritos, etcétera.

Entre los contaminantes orgánicos tenemos a los plásticos, alcoholes de más de dos átomos de carbono y todos los derivados de compuestos aromáticos, como el benceno, tolueno, xileno, etcétera, y los compuestos derivados de ellos.

A esta clase de compuestos pertenecen el cloroformo, bromoformo, bromodiclorometano, dicloroetano, tricloroetano, dicloropropano, cloruro de metileno, etilbenceno, acetona, cloruro de vinilo, clorobenceno, metilcetona, tetracloroetano, etc., sólo por citar a los más conocidos. Luego, se encuentran los detergentes (industriales y caseiros), colorantes, plaguicidas y derivados del petróleo, aunque la mayoría de ellos no se disuelve en el agua, pero al mezclarse con materia orgánica, la contaminan. Son tantos los contaminantes y las fuentes de contaminación que al inicio del siglo xxi, los ríos, lagunas, lagos y el propio mar, ya se encuentran contaminados o muy contamina-

Tabla 12.1 Valores típicos en aguas residuales domésticas

Tipo de sólido	Sólidos mg/L			DBO5 mg/L	DQO mg/L
	Fijos	Volátiles	Total		
Suspendidos	70	175	245	110	108
Sedimentables	45	100	145	50	42
No sedimentables	25	75	100	60	66
Disueltos	210	210	420	30	42
TOTAL	280	385	665	140	150

Fuente: Comisión de Aguas de la Ciudad de México. 2000.

dos con varios de los agentes mencionados. Los principales contaminantes del agua y su origen se muestran en la tabla 12.2.

Como se puede observar, muchos contaminantes del agua son contaminantes del suelo o del aire, que cuando alcanzan una corriente de agua subterránea, un río, un lago o el mar, lo contaminan.

Uso de sistemas integrales de tratamiento

Para potabilizar el agua en su fase final, tanto para usos domésticos como industriales, se han puesto en práctica sistemas integrales a base de filtros de carbón activado, combinados con otra serie de filtros de grava y arena, y complementados con exposición a luz ultravioleta. El carbón activado tiene la propiedad de absorber colorantes y olores del agua y de ser reutilizable después de un lavado. Por tanto, un sistema de este tipo puede potabilizar aguas turbias o poco contaminadas, sometiénolo a una serie de filtraciones y tratamientos especiales. Su único problema es la baja capacidad de potabilización, lo cual limita su uso a hogares o industrias, pero nunca para potabilizar agua para ciudades. La figura 12.1 muestra un diagrama de un sistema integral de tratamiento:

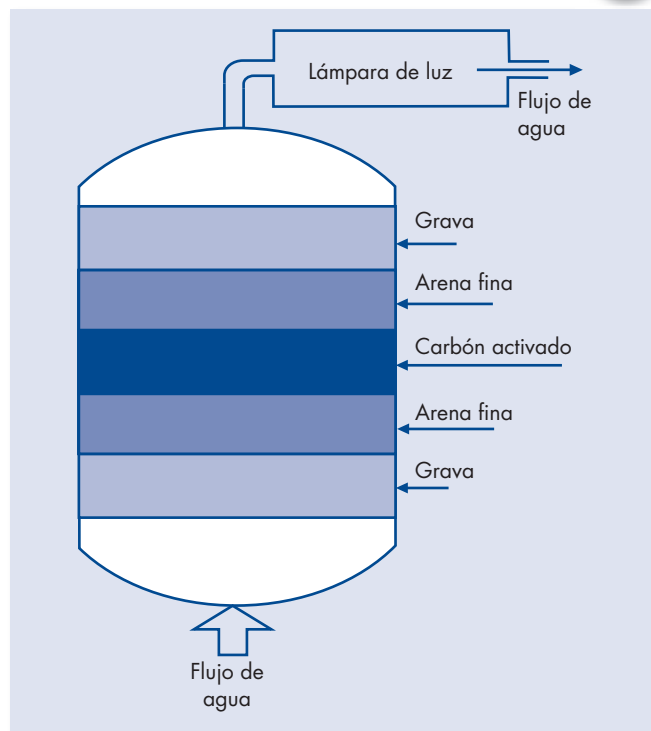


Figura 12.1 Sistema integral de tratamiento para potabilizar agua.

Tabla 12.2 Principales contaminantes del agua y su origen

Contaminante	Origen
Fosfatos	Aguas residuales, agricultura, detergentes
Nitratos y nitritos	Aguas residuales, quema de combustibles fósiles, abonos nitrogenados para el campo
Sulfanatos alquílicos	Detergentes de aguas residuales y desechos industriales
Plaguicidas derivados del cloro	Sanitización del campo e industria. Desechos industriales, como en la fabricación de plaguicidas, manufactura de lana y alfombras
Asbesto	Actividad minera, industria del asbesto, industria del cemento
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Vapores de motores de combustión interna y diesel, desechos de fábricas de gas, refinerías e industrias químicas
Petróleo	Extracción de petróleo, refinación, industria petrolera
Materia orgánica degradable	Aguas residuales, basura, desechos industriales y agrícolas
Bacterias patógenas	Excreciones humanas y animales
Dióxido de carbono	Quema de carbón y gas para la generación de energía eléctrica
Anhídrido sulfuroso	Quema de combustibles que contienen azufre
Fluoruros	Producción de aluminio, acero, abonos fosfatados y fabricación de ladrillos
Mercurio	Procesos de minería, refinación, laboratorios médicos, galvanoplastia
Plomo	Motores de combustión interna, fundición de plomo, industria química, elaboración de pinturas, plaguicidas, barnices y esmaltes
Cadmio	Minería, metalurgia, industria química, elaboración de pinturas y plásticos

El grado al cual se eliminan los constituyentes microbiológicos de las aguas residuales, mediante procesos especiales de tratamiento, se expresa en unidades logarítmicas.

Cuando un agua contaminada se quiere utilizar para riego en forma adecuada, se debe reducir la contaminación bacteriana en cuatro unidades logarítmicas y eliminar la contaminación por helmintos⁵ en tres unidades logarítmicas; esto bastará para proteger a los agricultores de infecciones causadas por este tipo de parásito, pero aún así, los agricultores deben utilizar protección especial para manejar esta agua.

Los procesos convencionales de descontaminación, como la sedimentación simple, la producción de lodos activados, el uso de filtros, las lagunas de aireación o zanjas de oxidación, con frecuencia, no son suficientes para cumplir la norma de generar agua para riego con menos de 1 000 colonias de coliformes fecales por 100 mL de agua, lo que hace necesario procesos de desinfección adicionales con algún compuesto químico. Estos procesos tampoco son eficaces para eliminar helmintos ni contaminantes químicos en las aguas residuales.

Existen tres tratamientos de aguas residuales llamados colectivamente tratamientos primario, secundario y terciario. El tratamiento primario comprende la sedimentación, la clarificación y la flotación. Dentro del secundario, se incluyen la neutralización, los tratamientos químicos de óxido-reducción, el intercambio iónico, las lagunas de oxidación y los tratamientos biológicos; y, finalmente, en el tratamiento terciario están la adsorción y la filtración. Por otro lado, también existen métodos para desechar contaminantes sin tratamiento previo: la incineración, la inyección de agua en pozos profundos, las torres de enfriamiento y la desalinización.

Como su nombre lo indica, los métodos se clasifican por orden de aplicación, es decir, el primario se aplica primero para eliminar los contaminantes que son más sencillos de eliminar y el tratamiento terciario se aplica, como un último recurso, para eliminar los contaminantes que persisten después de los dos primeros tratamientos.

Algunas veces, el tratamiento terciario se emplea para mejorar los efluentes del tratamiento biológico secundario y utilizarlos en agricultura y acuicultura. Se ha utilizado con éxito la filtración rápida en arena para eliminar mejor los sólidos suspendidos, y reducir la demanda bioquímica de oxígeno, pero el filtro de arena no elimina los microorganismos patógenos. De hecho, cualquiera de los tratamientos puede llegar a eliminar por completo a los huevecillos de helmintos y nematodos, pero ninguno elimina con éxito

las bacterias patógenas, ya que para eso es necesario el uso de bactericidas, como hipoclorito de sodio o dióxido de cloro.

Una mejor posibilidad de tratamiento terciario consiste en agregar uno o más estanques en serie a una planta de tratamiento convencional. Incluir estos estanques de depuración es una forma apropiada de mejorar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales, de modo que ésta pueda generar efluentes sin riesgo, para su uso en la agricultura, la acuicultura o para riego de zonas verdes.

Tratamiento primario

■ Depuradora y trituradora

Las aguas residuales que entran en una depuradora contienen materiales voluminosos que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Estos materiales se eliminan por medio de enrejados o barras verticales y se queman o entierran después de recogerse manual o mecánicamente. A continuación, el agua residual pasa a través de una trituradora, donde las hojas y otros materiales orgánicos son triturados para facilitar su posterior procesamiento y eliminación.

■ Cámara de arena

En el pasado, se usaban tanques de deposición, largos y estrechos, en forma de canales, para eliminar materia inorgánica o mineral, como arena, sedimentos y grava. Estas cámaras estaban diseñadas de modo que permitieran que las partículas inorgánicas de 0.2 mm o más se depositaran en el fondo, mientras que las partículas más pequeñas y la mayoría de los sólidos orgánicos que permanecen en suspensión continuaban su recorrido. Hoy en día, las más usadas son las cámaras aireadas de flujo en espiral con fondo en tolva, o clarificadores, provistos de brazos mecánicos encargados de raspar. Con ellas se elimina el residuo mineral y se vierte en vertederos sanitarios. La acumulación de estos residuos puede ir de los 0.08 a los 0.23 m³ por cada 3.8 millones de litros de aguas residuales.

■ Sedimentadores

Una vez eliminada la fracción mineral sólida, el agua pasa a un depósito de sedimentación, donde se depositan los materiales orgánicos, que son retirados para su eliminación. El proceso de sedimentación puede reducir de 20 a 40% la DBO₅ y de 40 a 60% los sólidos en suspensión. La tasa de sedimentación se incrementa en algunas plantas

⁵ Helminto: Gusano que habita como parásito en el intestino humano.

de tratamiento industrial incorporando al tanque de sedimentación procesos llamados coagulación y floculación químicas. La coagulación es un proceso que consiste en añadir productos químicos como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico o polielectrolitos a las aguas residuales; esto altera las características superficiales de los sólidos en suspensión de modo que se adhieren los unos a los otros y precipitan. La floculación provoca la aglutinación de los sólidos en suspensión. Ambos procesos eliminan más de 80% de los sólidos en suspensión.

■ Flotación

Una alternativa a la sedimentación, utilizada en el tratamiento de algunas aguas residuales, es la flotación, en la que se fuerza la entrada de aire en las mismas, a presiones de entre 1.75 y 3.5 kg/cm². El agua supersaturada de aire se descarga a continuación en un depósito abierto. En él, la ascensión de las burbujas de aire hace que los sólidos en suspensión suban a la superficie, de donde son retirados. La flotación puede eliminar más de 75% de los sólidos en suspensión.

■ Digestión

La digestión es un proceso microbiológico que convierte el lodo, complejo orgánico, en metano, dióxido de carbono y un material inofensivo similar al humus. Las reacciones se producen en un tanque cerrado o digestor y son anaerobias, es decir, se producen en ausencia de oxígeno. La conversión se produce mediante una serie de reacciones: En primer lugar, la materia en suspensión se hace soluble por la acción de enzimas. La mezcla resultante fermenta por la acción de un grupo de bacterias productoras de ácidos, que la convierten en ácidos orgánicos sencillos, como el ácido acético. Luego, las bacterias convierten a los ácidos orgánicos en metano y dióxido de carbono. Se añade lodo espesado y calentado al digestor, tan frecuentemente como sea posible, en donde permanece entre 10 y 30 días, hasta que se descompone. La digestión reduce el contenido de materia orgánica entre 45 y 60 por ciento.

■ Desección

El lodo digerido se extiende sobre lechos de arena para que se seque al aire. La absorción por la arena y la evaporación son los principales procesos responsables de la desecación. El secado al aire requiere un clima seco y relativamente cálido, para que su eficacia sea óptima, y algunas depuradoras tienen una estructura tipo invernadero para proteger los lechos de arena. El lodo desecado se usa sobre todo como acondicionador del suelo; en ocasiones, se emplea como fertilizante, debido a que contiene 2% de nitrógeno y 1% de fósforo.

Tratamiento secundario

Después de eliminarse de 40 a 60% de los sólidos en suspensión y reducirse de 20 a 40% la DBO₅, por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Por lo general, los procesos microbianos empleados son aeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto. El tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos. La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y ésta debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor. Hay diversos procesos alternativos para el tratamiento secundario, incluyendo el filtro de goteo, el lodo activado y las lagunas de aireación.

■ Filtro de goteo

En este proceso, una corriente de aguas residuales se distribuye intermitentemente sobre un lecho o columna de algún medio poroso, revestido con una película gelatinosa de microorganismos que actúan como agentes degradadores. La materia orgánica de la corriente de agua residual es absorbida por la película microbiana y transformada en dióxido de carbono y agua. El proceso de goteo, cuando va precedido de sedimentación, puede reducir cerca de 85% de la DBO₅.

■ Fango o lodo activado

Se trata de un proceso aeróbico en el que partículas gelatinosas de lodo se mantienen en suspensión en un tanque de aireación y reciben oxígeno. Las partículas de lodo activado, llamadas *floc*, están compuestas por millones de bacterias en crecimiento activo, aglutinadas por una sustancia gelatinosa. El *floc* absorbe la materia orgánica y la convierte en dióxido de carbono y agua. La reducción de la DBO₅ fluctúa entre 60 y 85%. Un importante acompañante en toda planta que use lodo activado o un filtro de goteo, es el clarificador secundario, que elimina las bacterias del agua antes de su descarga.

■ Estanque de estabilización o laguna

Otra forma de tratamiento biológico es el estanque de estabilización o laguna, que requiere una extensión de terreno considerable y, por tanto, suele construirse en zonas rurales. Las lagunas opcionales, que funcionan en condiciones mixtas, son las más comunes, con una profundidad de 0.6 a 1.5 m y una extensión superior a una hectárea. En el fondo, donde se descomponen los sólidos, las condiciones son anaerobias; la zona próxima a la superficie es aeróbica,

permitiendo la oxidación de la materia orgánica disuelta y coloidal. Puede lograrse una reducción de la DBO_5 de 75 a 85 por ciento.

Tratamiento terciario

Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente se reutilizará, es necesario un tratamiento terciario avanzado de las aguas residuales. A menudo, se usa el término tratamiento terciario como sinónimo de tratamiento avanzado, pero no son exactamente lo mismo. El tratamiento terciario, o de tercera fase, suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos para la eliminación de otros materiales recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO_5 en similar medida. Los sólidos disueltos se eliminan por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono, es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema. Es probable que en el futuro se generalice el uso de éstos y otros métodos de tratamiento del agua residual, a la vista de los esfuerzos que se están haciendo para recuperar el agua y reutilizarla.

■ *Vertido del líquido*

El vertido final del agua tratada se realiza de varias formas. La más habitual es vertido directo a un río o lago receptor. En aquellos sitios que se enfrentan a una creciente escasez de agua, tanto de uso doméstico como industrial, las autoridades empiezan a recurrir a la reutilización de las aguas tratadas para rellenar los acuíferos, regar cultivos no comestibles, procesos industriales, recreo y otros usos. El proceso de tratamiento comprende los tratamientos convencionales primario y secundario, seguidos de una limpieza con cal para eliminar los compuestos orgánicos en suspensión. Durante este proceso, se crea un medio alcalino (pH elevado) para potenciar el proceso. En el paso siguiente, se emplea la recarbonatación para volver a un pH neutro. A continuación, se filtra el agua a través de múltiples capas de arena y carbón vegetal, y el amoníaco es eliminado por ionización. Los pesticidas y demás compuestos orgánicos, aún en suspensión, son absorbidos por un filtro granular de carbón activado. Los virus y las bacterias se eliminan por ozonización. En esta fase, el agua debería estar libre de todo contaminante pero, para mayor seguridad, se emplean la segunda fase de absorción sobre carbón y la ósmosis inversa y, finalmente, se añade dióxido de cloro para obtener un agua de calidad máxima.

La gran ventaja de los estanques de estabilización es que necesitan poca supervisión una vez que se han alcanzado las condiciones de funcionamiento, mientras que los tratamientos primario, secundario y terciario, si se aplican por separado, requieren de mayor supervisión, pues hay que vigilar tres procesos en vez de uno.

En los países en vías de desarrollo, el tratamiento de aguas residuales todavía no se ha difundido de manera tan amplia ni es tan eficiente, como lo es en países desarrollados. Esto ha provocado que se utilicen aguas residuales sin tratamiento, básicamente en agricultura. Los contaminantes, pero sobre todo los parásitos, como los helmintos, invaden las frutas y legumbres, al ser regados con esa agua que al ser consumidas por el ser humano, llevan un gran riesgo de infectarlo o contaminarlo por no haber sido desinfectadas adecuadamente antes de su venta en mercados públicos. Sin duda, las enfermedades gastrointestinales de la población en general, y en especial de los agricultores, son mucho más agudas en países en vías de desarrollo por esta causa.

■ *Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales*

El lodo es un subproducto de la mayoría de los tratamientos de aguas residuales, cuya evacuación se realiza vertiendo el lodo a la tierra, o mediante el entierro, incineración o descarga al mar. El lodo proveniente del tratamiento de aguas negras es valioso como fuente de nutrientes y como acondicionador del suelo, y puede usarse como fertilizante en agricultura o en estanques empleados en acuicultura, siempre que se tomen las debidas precauciones para su uso.

Los lodos tienen la desventaja de aglutinar los huevecillos de los helmintos y mantenerlos viables hasta por un año, además de reunir todas las bacterias patógenas que contenían las aguas. Para eliminar los huevecillos de helmintos, se puede dejar secar el lodo a cielo abierto, entre seis y 12 meses en climas cálidos, y, de preferencia, en zonas desérticas de difícil acceso. La radiación solar y la falta de agua los eliminará con el tiempo. Otro método más rápido y eficiente, pero más costoso, es calentar el lodo en estufas especiales de gran tamaño, para que por efecto de la temperatura, los huevecillos sean destruidos.

Hay que considerar que el contenido del lodo es de casi 90% de agua, y se necesita una temperatura mínima de 55 °C para eliminar los huevecillos con seguridad. Esto hace suponer que este tratamiento es bastante costoso. Para disminuir un poco el costo, se utiliza el efecto exotérmico que tienen las bacterias al reproducirse en el lodo, es decir, se deja a temperatura ambiente, y el lodo se empieza a calentar por sí mismo, debido a la reproducción de las bacterias que contiene. Para acelerar la reproducción bacteriana, se le agregan sustratos orgánicos que sirvan de

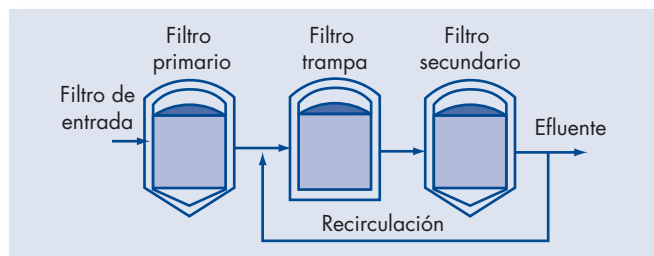


Figura 12.2 Esquema de flujo para filtros trampa, con un enfoque relativamente simple de digestión anaeróbica.

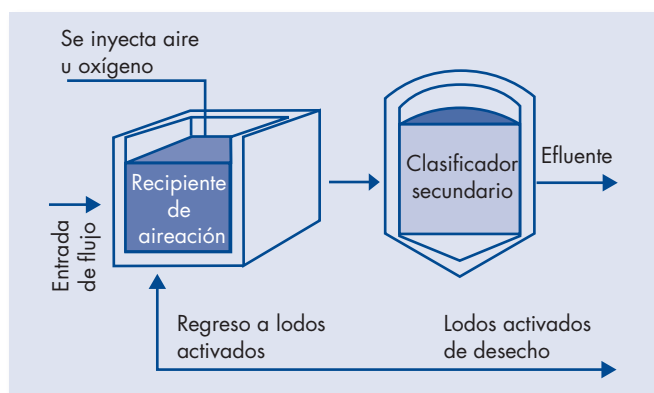


Figura 12.3 Sistema típico de lodos activados, donde un proceso continuo proporciona una mezcla bacteriana en la presencia de sustrato oxigenado.

nutriente a las bacterias. La basura orgánica municipal es un buen sustrato para este fin, aunque el aspecto negativo de este proceso es el olor que despiden los lodos con el sustrato, lo cual también atrae a miles de moscas.

El proceso de descomposición genera calor sólo si puede mantenerse en un medio con suficiente aire; para producir esta situación es necesario girar con cierta frecuencia todo el lodo. Esto conlleva el riesgo de contaminar los lodos al entrar en contacto con la parte exterior y más fría de la mezcla. Existe otro método que es la aireación forzada, donde se emplea un ventilador para introducir aire a la mezcla por medio de un tubo que se encuentra en el centro y por debajo de la misma.

Así como el tratamiento de aguas residuales genera agua limpia que puede ser reutilizada para ciertos fines, así también el lodo, proveniente de los tratamientos, puede reutilizarse si se le trata adecuadamente, para evitar que su uso transmita enfermedades de las bacterias o gusanos que contiene. Pero, hay que tener cuidado con el contenido de algunos metales de las aguas tratadas, pues poseen

altos contenidos de cianuro, bario y otros metales que no se eliminan con los tratamientos, los cuales pueden ser perjudiciales para las plantas, frutas o vegetales y, finalmente, ser absorbidos por el hombre, en caso de ingerir legumbres contaminadas con tales metales y a cierta concentración.

■ Sedimentación

Para la sedimentación se aprovecha la acción que ejerce la fuerza de gravedad sobre las partículas más pesadas que el agua, que descienden depositándose en el fondo. Las aguas superficiales contienen diferentes cantidades de materia en suspensión, y este método se utiliza para clarificar el agua cruda, ya sea por sedimentación simple o mediante la adición de coagulantes químicos. Los recipientes donde se lleva a cabo este proceso se llaman tanques de sedimentación.

La flotación por medio del aire es muy eficaz para separar sólidos floculentos, que sedimentan con mucha lentitud o que tienden a flotar. El aire se inyecta a presión en el líquido que se encuentra en un recipiente cerrado, e inmediatamente antes de descargar la mezcla al depósito receptor, se alivia la presión. Al subir el aire disperso de modo fino, hace flotar los sólidos hacia la superficie, donde forman una espuma que puede separarse. Este método permite eliminar de manera efectiva muchos sólidos a un costo relativamente bajo.

El líquido mezclado y tratado es bombeado a la sección de clarificación. Esta cámara se llena y el exceso se derrama por un vertedero de regreso a la sección de aireación. La transferencia se detiene quedando aislado el clarificador. La sedimentación de sólidos ocurre bajo condiciones óptimas para el proceso.

■ Colado y filtrado

Los coladores y filtros pueden utilizarse cuando sea necesario eliminar sólidos suspendidos flotantes en el agua, ya sea como paso adicional, después de la sedimentación, o cuando el espacio disponible no permite la instalación de depósitos de sedimentación.

Existen varios coladores de uso comercial, los más comunes son los de tela, los de malla metálica, tambor giratorio y disco giratorio. Los filtros de tela y malla metálica se utilizan cuando los materiales suspendidos son relativamente finos y están en concentraciones bajas.

Para el manejo de agua caliente, fuertemente ácida o alcalina, por lo general se utiliza como medio filtrante la antracita triturada de baja solubilidad. También se usa con frecuencia tierra de diatomeas⁶ para filtrar. Esta tierra se coloca

⁶ Diatomea. Alga unicelular de caparazón silíceo, formado por dos valvas de tamaño desigual, de manera que la más pequeña encaja en la mayor.

sobre un soporte de piedra porosa o de malla de alambre y se eliminan los sedimentos con un flujo a contracorriente. Cuando el agua tiene algún color por la contaminación sufrida, la filtración no eliminará el color del agua, esto sólo puede lograrse dispersando un coagulante apropiado en el agua antes de la filtración.

■ *Neutralización*

Cuando la cantidad de agua que debe tratarse es pequeña, se utilizan filtros de calcita, que son recipientes a presión llenos de mármol pulverizado. El carbonato de calcio neutraliza el ácido carbónico y el agua se estabiliza al mismo tiempo. La estabilización significa que el pH del agua se ajusta en forma automática para producir un agua que no sea corrosiva y que no forme depósitos. Al tratar aguas residuales, se pueden encontrar tanto alcalinas como ácidas, y antes de descargarlas a una corriente, deben neutralizarse los ácidos y álcalis libres.

■ *Oxidación y reducción*

Las aguas superficiales y subterráneas pueden contener sustancias que producen olores y sabores que impiden su uso en algunos procesos industriales y como agua potable. Si estas sustancias son orgánicas se pueden eliminar por oxidación. Los estanques de aspersión sirven para este propósito. Por medio de boquillas, el agua se rocía en el aire como gotas muy finas que caen sobre el estanque. El contacto íntimo que se establece entre el agua y el aire conduce a la oxidación deseada y, por lo general, se liberan al mismo tiempo gases disueltos. En lugar del tanque de aspersión, también se puede utilizar una torre de desgasificación con circulación forzada que funciona con una eficiencia similar. Asimismo, puede llevarse a cabo una oxidación con cloro, dióxido de cloro y ozono, para convertir la materia orgánica objetable en compuestos inocuos.

■ *Intercambio iónico*

Un contaminante común de las aguas residuales es la presencia de sales disueltas, incluso algunas aguas naturales provenientes de lechos calcáreos contienen una alta concentración de sales disueltas. Para purificar este tipo de agua, es necesario eliminar los aniones y cationes disueltos. La separación de cationes por precipitación no tiene efecto sobre los aniones presentes, por lo que se requiere de otros métodos para eliminarlos.

Ciertas sustancias insolubles poseen la capacidad de intercambiar los iones enlazados en su estructura molecular con otros iones presentes en el agua. Generalmente,

estas sustancias están adheridas a resinas. El agua con exceso de sales disueltas, llamada agua dura, se hace pasar a través de una cama de resina, lo cual tiene la capacidad de atrapar los aniones o cationes de las sales disueltas en el agua, "ablandando" el agua contaminada. La mayoría de las resinas de intercambio iónico pueden regenerar su poder de intercambio con un simple lavado con iones de carga contraria a los que ha intercambiado. De esta forma, el método de tratamiento de intercambio iónico se puede concebir como un filtro de moléculas indeseables.

■ *Tratamiento biológico*

La purificación biológica se utiliza comúnmente para tratar aguas de desecho que contienen materia orgánica disuelta. Las bacterias desdoblan los compuestos complejos en otros más sencillos y estables: en forma general los productos finales son dióxido de carbono, nitratos y sulfatos. Por lo regular, los procesos se llevan a cabo en presencia de un exceso de oxígeno disuelto, y en estas condiciones se tratará de descomposición aeróbica. En la actualidad, la mayoría de los tratamientos biológicos son aeróbicos.

■ *Adsorción y absorción*

Aunque los términos son parecidos, en la adsorción, la sustancia adsorbente atrae y retiene ciertas moléculas o iones en su superficie, mientras que en la absorción, la sustancia absorbente atrae y retiene entre sus moléculas a partículas de otra sustancia. Por tanto, la absorción tiene un efecto químico más profundo, y la adsorción es más superficial; esta propiedad de algunos compuestos, los hace útiles para eliminar sabores y olores indeseables presentes en aguas residuales. El carbón activado es muy conocido por adsorber olores y sabores del agua. El gel de sílice es excelente para absorber compuestos férricos y de manganeso, formando flóculos, que permiten reducir las altas concentraciones de estos compuestos en el agua. Como el carbón activado adsorbe los olores de manera superficial, con un lavado a contracorriente es suficiente para que el carbón recupere su actividad adsorbente.

Contaminación del suelo y procesos para el tratamiento de los contaminantes

Se calcula que 35% del suelo cultivable ya está contaminado desde principios del tercer milenio,⁷ y hay que recordar que 97% de los alimentos que consume la humanidad provienen del suelo. El problema reside, entre otros

⁷ D. Pimentel (1987).

motivos, en que el crecimiento poblacional ha provocado la invasión de selvas y bosques, por asentamientos humanos. La selva tropical ha sido destruida en 55%, lo que, en forma conservadora, se calcula que ha llevado a la extinción de aproximadamente 5 000 000 de especies. Así, la tasa de extinción se sitúa en el orden de 150 000 especies por año.⁸

Resolver este problema no es tarea del ingeniero industrial, pero sí lo es tratar la basura que se genera en los grandes centros urbanos de acuerdo con el tipo de desechos y contaminantes que tiene la basura. En la tabla 12.3 se muestra la composición aproximada de la basura doméstica generada en una de la ciudades más grandes del mundo: la ciudad de México, que se calcula tiene poco más de 20 millones de habitantes, si se suman los habitantes de la ciudad con los de su zona conurbada. El problema es qué hacer con todos los desechos.

En el rubro "otros" se incluye trapo, tela, material de construcción, fibras, hule espuma, cualquier cosa que se use en el hogar y que no esté incluida en la tabla. De toda la basura de la ciudad de México, 67% es basura doméstica, 24% es de residuos industriales y 9% es de residuos sólidos que se tiran en la vía pública. Los residuos se pueden caracterizar por su tamaño, es decir, hay basura muy pequeña, y hay basura consistente de piezas muy grandes; otra característica es que los materiales que la componen sean biodegradables. Toda la materia orgánica es biodegradable, pero los metales, materiales de construcción, plásticos, etcétera, no lo son.

Tabla 12.3 Composición de la basura doméstica en la ciudad de México

Materia orgánica	49.5%
Papel	15.3%
Cartón	4.2%
Latas metálicas	2.8%
Envases tetrapak	1.2%
Cuero	1.0%
Papel de estaño	0.1%
Madera	0.8%
Vidrio	8.2%
Plástico	3.7%
Metales	0.3%
Otros	12.9%

Fuente: Departamento para el tratamiento de desechos sólidos del Gobierno del D.F., 2002.

Aunado al problema de los residuos, están los desechos industriales. Dependiendo del tipo de industria, es el tipo de desechos que arrojan y con los que contaminan el suelo. La tabla 12.4, sin ser exhaustiva, muestra los principales contaminantes industriales del suelo y su origen.

Tabla 12.4 Principales contaminantes del suelo y su origen

Contaminante	Origen
Nitratos y nitritos	Aguas residuales, abonos nitrogenados
Plaguicidas	Actividades agrícolas, floricultura, fruticultura, manufactura de lana y alfombras
Petróleo	Actividades de extracción de petróleo, accidentes de derrame de petróleo
Materia orgánica biodegradable	Basura urbana, doméstica e industrial. Desechos industriales y agrícolas
Desechos sólidos	Actividades domésticas, municipales, comerciales, industriales y agrícolas
Bacterias patógenas	Excretas humanas y animales
Fluoruros	Producción de acero, aluminio, abonos fosfatados, fabricación de ladrillos
Mercurio	Procesos de minería y refinación
Plomo	Industria de la fundición, industria metalmecánica, pinturas, barnices y esmaltes
Cadmio	Minería, metalurgia, plásticos

⁸ R. Goodland. (1991).

Tratamientos para contaminantes del suelo

Relleno sanitario

Durante décadas, el relleno sanitario fue la forma más fácil y barata de disponer de los desechos domésticos y de algunos desechos industriales. En éstos, los residuos sólidos se pueden compactar o moler; se hacen excavaciones profundas en sitios alejados de los centros urbanos, los desechos se vierten en la excavación y se vuelve a tapar con una gruesa capa de tierra, de 20 a 30 cm de espesor. Aunque parece una operación sencilla, está sujeta a ciertos lineamientos legales y sanitarios, ya que la basura al ser enterrada, genera un proceso de putrefacción que debe ser controlado.

El relleno sanitario tiene la ventaja de que la inversión que se requiere es baja, comparada con otros métodos. Incluso, si el terreno pertenece al municipio, tiene un costo prácticamente nulo. Después de haber practicado el relleno sanitario sobre ese terreno, puede tener otros usos, como áreas deportivas o jardines, ya que no deja residuos si se hace en forma correcta. También tiene la ventaja que puede recibir todo tipo de desechos provenientes de los hogares y de algunas industrias.

Si se utilizan residuos empacados para el relleno, se tiene la desventaja de que una vez cubierta con tierra, puede haber asentamientos con el paso del tiempo, mientras que si se utilizan residuos molidos, entre más molida esté, el terreno quedará más firme en poco tiempo. Se considera que los residuos se han reducido a un tamaño mínimo cuando los materiales que la conforman tienen un diámetro no mayor a 4 centímetros.

Sin embargo, una de las desventajas del relleno sanitario es que la basura sufre una serie de procesos de descomposición, tanto químicos como biológicos, que deben ser atendidos en forma adecuada para no causar molestias a las poblaciones cercanas. La basura sufre básicamente de oxidaciones químicas, generación de gases y lixiviados.⁹ Como contiene una buena cantidad de materia orgánica, también ocurren procesos de descomposición aerobia y anaeróbica, con producción de gas metano, hidrógeno, oxígeno, dióxido de carbono y otros gases como amoníaco y derivados del azufre. Las soluciones provenientes del lixiviado penetran el suelo y lo contaminan con las más diversas sustancias, aunque esto no es muy importante, pues las áreas de terreno en que se construyen rellenos sanitarios ya no tienen más uso como tierras de agricultura.

La ventaja de los procesos de descomposición es que, por ejemplo, la celulosa del papel se convierte en glucosa,

y ésta a su vez se convierte en etanol, con desprendimiento de calor; si se combina el etanol con dióxido de carbono puede derivar en ácido acético y metano, todo mediante un proceso natural (no inducido), debido a la presencia de bacterias anaerobias en la basura.

Uno de los grandes problemas de los residuos es el plástico en sus diferentes modalidades, básicamente el polietileno, el cloruro de polivinilo (PVC, por sus siglas en inglés), el poliestireno y el tereftalato de polietileno (PET, por sus siglas en inglés), que es el material más utilizado para envasar bebidas, como agua embotellada, refrescos o cualquier otro tipo de bebidas no alcohólicas. Aunque, tal vez, el problema mayor provenga de los neumáticos (llantas) de desecho de todos los transportes. Normalmente, los plásticos pueden quemarse o reutilizarse mediante ciertos procesos químicos, pero hasta ahora no se ha encontrado un uso satisfactorio para los neumáticos de desecho. En la actualidad, se han empezado a utilizar como relleno y recubrimiento superficial para carreteras, pero el proceso aún es muy costoso para un uso intensivo en este sentido.

Incineración

Desde tiempo inmemorial, los residuos se quemaban, pues es un método que elimina los microorganismos, los olores, evita la putrefacción y reduce el tamaño y peso de los residuos (una reducción de más de 70% del peso y tamaño originales). Éste si se efectúa en instalaciones adecuadas, es decir, no al aire libre, puede aprovecharse la energía proveniente de la combustión, además de que es un proceso higiénico y es relativamente fácil disponer en forma adecuada de las cenizas que genera el proceso, uno de estos usos es nuevamente como relleno sanitario, pero sin las desventajas que presenta el relleno sanitario con residuos frescos.

Por otro lado, la instalación adecuada de una planta para incinerar residuos requiere de una inversión considerable y un alto gasto para el mantenimiento y limpieza de las instalaciones. Una instalación adecuada es aquella que no causa ninguna molestia al ambiente, como malos olores, dispersión de cenizas al aire y equipo para disponer adecuadamente de los desechos del proceso; además, debe contar con dispositivos para revolver los residuos durante el proceso de incineración, pues de no ser así, los residuos que se encuentra en el fondo, por la falta de oxígeno, tenderían a una incineración incompleta. La inversión inicial se eleva enormemente si se desea que en el proceso de incineración haya dispositivos para aprovechar la energía que genera el proceso de combustión. También influye mucho

⁹ Lixiviado: Se le llama así al proceso de disolución de materiales orgánicos e inorgánicos de la basura, por efecto del agua.

en la inversión, si se construye una planta que en el espacio de incineración tenga paredes refractarias y aislantes térmicos, que evitarían dispersar hacia el ambiente las elevadas temperaturas que se generan y que cuente también con un sistema de recuperación de gases.

La temperatura promedio en el techo de un horno de incineración fluctúa entre los 1 300 a 1 700 °C, por lo que si no hay recuperación de energía, hay que esperar a que el horno se enfríe; esto se logra forzando aire del ambiente a través de la cámara de combustión. Pero, si el horno cuenta con dispositivos para recuperar la energía, entonces los gases dentro del horno disminuyen sensiblemente su temperatura, baja hasta unos 400 °C, pues el resto de la energía calorífica generada ya fue aprovechada en otros usos.

Hay que distinguir entre la incineración de la basura en general, de aquella que se incinera y que previamente ha sido seleccionada. Mientras que la incineración de basura sin discriminación de materiales puede considerar eventualmente el aprovechamiento de la energía calorífica generada, la incineración de basura seleccionada, siempre tendrá como objetivo el aprovechamiento de la energía generada, lo cual lleva a otros objetivos sobre el aprovechamiento de esa energía. La selección de la basura debe ser tal, que se evite la incineración de materiales que puedan desprender gases nocivos, principalmente aquellos derivados del cloro. Cuando se incinera basura sin seleccionar, la mezcla de materiales incinerados hace que se diluyan los efectos de los gases generados, aunque sean tóxicos.

En primer lugar, esa energía puede servir para generar vapor en plantas termoeléctricas, reduciendo considerablemente el consumo de cualquier tipo de combustible que se utilice en esas plantas, y también la reducción del consumo de energía en la propia planta de incineración de basura. Instalada en países de climas fríos, el calor generado puede utilizarse para la calefacción de hogares, ya sea de casas aisladas o de condominios, o para el calentamiento del aire de invernaderos o donde se crían aves de corral.

Recuperación de materiales para reciclar

Se mencionó que el relleno sanitario es el método de tratamiento de basura más sencillo y barato de cuantos existen; en tanto que la incineración eleva los costos por las instalaciones necesarias y el combustible utilizado. Una alternativa para el tratamiento de la basura, tanto urbana como industrial, es la selección de materiales. El objetivo es seleccionar aquellos materiales que pueden reciclarse.

A principios del siglo *xxi*, el reciclaje empezó a tener influencia en la población. El aluminio, proveniente de los envases de bebidas alcohólicas y no alcohólicas, se recicla para convertirse en aluminio para puertas y ventanas, previo tratamiento por galvanoplastia. El PET se puede reci-

clar para convertirse nuevamente en material para envasar alimentos, aunque quizá no con la calidad original, por lo que se le debe agregar algún colorante. La mayoría de los plásticos reciclados se convierten en material de limpieza como cubetas, escobas o juguetes para niños. El papel periódico o el proveniente de oficinas, se recicla cada día más para convertirse en cartón, muy utilizado como material de empaque, e incluso las nuevas tecnologías ya logran convertir hojas blancas de papel para oficinas, nuevamente en papel, aunque quizá ya no tan blanco como el original, pero aún se puede utilizar en cualquier oficina. La madera se recicla para producir madera prensada, la cual se emplea en la producción de muebles. También se han inventado tecnologías para reciclar metales ferrosos y no ferrosos, principalmente provenientes de autos abandonados o inservibles, así como para reciclar vidrio, hule, textiles y otros.

El problema de la recuperación de materiales a partir de la basura es que sólo se puede hacer manualmente y esto tiene un costo elevado. El precio del material recuperado debe ser tal, que las industrias que reciclan estos materiales deben pagar un precio menor a aquel que pagan por materia prima no reciclada, ya que la calidad de los productos provenientes de material reciclado es menor, lo que implica también un precio menor de venta y, por tanto, un precio menor pagado por las materias primas (material recuperado por la basura).

Quizá, en los países de economías emergentes —debido a las altas tasa de desempleo y a la pobreza de ciertas zonas—, no sea muy difícil encontrar a personas que recuperen materiales de la basura, pero en países avanzados, el problema de encontrar mano de obra para esta actividad se agudiza. Todos los países desarrollados ofrecen seguros de desempleo para la población económicamente activa, lo que significa que una persona, aunque no tenga empleo formal, siempre tendrá un ingreso proporcionado por el gobierno, que normalmente es suficiente para subsistir, aunque sea con muchas limitaciones, mientras que en el resto de los países, al no existir tal seguro para desempleados, la gente más pobre debe encontrar alguna forma de subsistencia, por más precaria e insalubre que ésta sea. La industria ha ideado algunos mecanismos de separación automática de basura, pero con alcances muy limitados. Por ejemplo, se puede realizar una separación magnética de materiales, colocando imanes en las bandas donde se transporta la basura, también se puede separar por tamaños, colocando mallas, etc., pero no mucho más que esto.

El problema del reciclamiento de materiales no reside solamente en la selección de los mismos, sino en la pureza con la que sean recuperados. Por ejemplo, si a los envases de agua elaborados con PET se les agregan pinturas, disolventes, materiales tóxicos, colorantes, etc., tendrán

poca probabilidad de ser reutilizados. Otro problema es la entrega a las industrias recicladoras, ya que la recuperación de materiales se efectúa en pequeñas cantidades en diferentes sitios, alejados unos de otros, por lo que deben encontrarse mecanismos convenientes de recolección, desde el punto de vista económico.

Este problema se ha logrado paliar un poco instalando centros de recolección de determinados materiales e invitando a la población a que desde el hogar se haga la separación de materiales. Como se podrá observar, diseñar y calcular las rutas de recolección óptimas y diseñar el tamaño de las instalaciones, dotarlas de flexibilidad para que pueda haber una expansión de la capacidad instalada de acuerdo con la demanda, son trabajos que puede realizar fácilmente un ingeniero industrial.

Elaboración de composta

La composta se define como el material proveniente de la degradación química y biológica de materia orgánica, que es bioquímicamente inactivo. La idea original provino de observar el proceso natural de regeneración de los suelos en los bosques, donde caen al piso hojas, flores, troncos, etc., y mediante un proceso natural de descomposición, todo ese material de desecho natural se vuelve a convertir en abono para el suelo, propiciando que la tierra se fertilice a sí misma. Así la composta es un material obtenido por medio de procesos químicos y bacteriológicos, pero teniendo como base la imitación de procesos naturales. De hecho, la composta sirve precisamente como abono o fertilizante orgánico para cualquier tipo de tierra, desde aquella que se utiliza en las macetas o plantas para el hogar, hasta las usadas en jardines públicos, e incluso para algunas tierras de cultivo, ya que contiene aproximadamente 1% de nitrógeno, 0.25% de fósforo y 0.25% de potasio, por lo que es un sustituto ideal de los fertilizantes que, en forma normal, se utilizan en tierras agrícolas. Además, la composta tiene la ventaja de evitar la erosión y el deslave de la tierra. Utilizada en tierras de cultivo, la composta la hace más porosa, facilitando los trabajos de arado, lo que a su vez facilita que el suelo tenga más aireación y, por ende, un mejor crecimiento de las raíces.

Es claro que la mejor composta se obtiene al seleccionar la basura, de tal modo que sólo sea sometida a este proceso la basura que contenga materia orgánica, lo cual convierte a este proceso en ideal para procesar la basura proveniente de plantas de alimentos de cualquier tipo: industrias cárnicas, las que procesan vegetales, fruta, las industrias que elaboran productos lácteos.

Precisamente, este requerimiento puede limitar la instalación de una planta de composteo, ya que se trabajarán procesos biológicos de descomposición aeróbica o anaeró-

bica, lo que produce olores desagradables, de forma que si la planta se instala cerca de centros urbanos, deberá instalar sistemas de recuperación de olores. Esto a su vez, hace que se eleve la inversión inicial y el costo de operación. La ubicación de la planta debe estar preferentemente cercana a plantas o zonas donde haya varias fábricas elaboradoras de productos alimenticios, para aprovechar sus desechos, reduciendo los costos de transporte de la basura.

La elaboración de composta es un proceso para el tratamiento de basura que requiere de una tecnología especializada, pues consiste en una estabilización inicial del proceso de putrefacción de la materia orgánica, una posterior eliminación o destrucción de bacterias patógenas, y básicamente evitar la pérdida de nitrógeno, fósforo y potasio en el producto final. También es un requisito que tenga un porcentaje de humedad relativamente bajo, entre 15 y 20 por ciento.

Como una planta de composteo elabora un producto de características definidas, un ingeniero industrial podría realizar en esta industria todas las determinaciones normales que se hacen a cualquier otro tipo de industria; por ejemplo, es necesario determinar su ubicación, programar la producción, determinar el número de turnos y de horas de trabajo por semana, revisar la materia prima (basura), pues no toda es susceptible de convertirse en composta y, finalmente, el producto final debe tener ciertos parámetros de calidad que deben ser controlados. Una planta típica de composteo puede tratar entre 40 y 60 toneladas de basura orgánica por día.

Principales contaminantes del aire y su tratamiento

El aire, al igual que el agua, es un elemento esencial para la vida. Sin embargo, la composición fisicoquímica del aire puede variar con cierta amplitud, dependiendo del hábitat, por ejemplo, el aire que se respira en La Paz, Bolivia, ciudad que está a 4 200 m de altitud sobre el nivel del mar, es muy distinto al de una zona costera. Incluso, no es el mismo aire el que se respira en una costa de Alaska, que en una isla del Caribe o en el desierto del Sahara. A pesar de las enormes diferencias en temperatura y humedad del aire, el hombre se ha acostumbrado a vivir en esos hábitat.

De hecho, la mayoría de los contaminantes del aire son sustancias que se encuentran o se producen naturalmente en el ambiente; como siempre, la contaminación proviene del exceso de esas sustancias, aunque, claro está, también hay otros contaminantes que se encuentran en el aire por efecto de las actividades cotidianas e industriales.

El ser humano requiere energía para que funcione todo lo que requiere para vivir. Así, necesita energía para

transportarse (por cualquier medio), energía eléctrica para que marche su hogar, energía de varios tipos para que trabajen las fábricas de donde obtiene la mayoría de los satisfactores de la vida moderna, entre otros tipos de energía. Esa energía se puede obtener de varias formas: del viento (energía eólica), del Sol (energía solar), de la corriente o caídas de agua (energía hidráulica), del átomo (energía atómica), etcétera, aunque más de 90% de la energía que actualmente obtiene y utiliza el hombre proviene de la quema de combustibles fósiles, ya sean derivados del petróleo o del carbón.

La quema de combustibles hace que todos los componentes de su estructura molecular se volatilicen al momento de ser quemados, y al volatilizarse pasan directamente a la atmósfera. Las partículas suspendidas, el plomo, el monóxido y dióxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, etc., provienen de la quema de combustibles. Si a esto se agrega que una enorme cantidad de actividades fabriles, sobre todo de la industria química y de los plásticos, emite sus propios contaminantes a la atmósfera, entonces se

podrá entender el problema de la contaminación del aire, esencialmente en las grandes ciudades de todo el mundo. La tabla 12.5 muestra los principales contaminantes encontrados en el aire y su origen.

La contaminación del aire se clasifica en dos categorías principales: el particulado y los gases. En la categoría de particulado se identifican el humo, el polvo, los vapores y la neblina. El particulado, a su vez, se divide en químico y biológico. Por su parte, dentro de los gases se encuentran los óxidos de azufre, de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos y todos los vapores que emiten las sustancias químicas líquidas.

Particulado

El particulado existe como cuerpos diminutos y separados suspendidos en el aire, ya sea sólido o líquido. Estos cuerpos pueden ser orgánicos o inorgánicos. Su tamaño varía de 100 micras¹⁰ ($m\mu$) a menos de 0.01 $m\mu$. Si su

Tabla 12.5 Principales contaminantes del aire y su origen

Contaminante	Origen
Dióxido de carbono	Quema de combustibles con alto contenido de carbono para la generación de energía eléctrica.
Monóxido de carbono	Combustión incompleta de materiales de alto contenido de carbono y procesos industriales.
Anhídrido sulfuroso	Quema de combustibles que contienen azufre para la generación de energía eléctrica.
Partículas aerotransportadas	Quema de combustibles, procesos industriales, incineración de desechos sólidos, incendios agrícolas y forestales.
Óxidos de nitrógeno	Oxidación de nitrógeno atmosférico en automotores de combustión interna, hornos e incendios.
Gases oxidantes, incluido el ozono	Escapes de vehículos automotores. Reacciones fotoquímicas de óxidos de nitrógeno.
Contaminantes que afectan el olor del aire	Procesos de elaboración industrial, eliminación inadecuada de desechos líquidos y sólidos.
Hidrocarburos alifáticos y aromáticos	Industria química, industrias de adhesivos, fábricas de gas doméstico, refinerías.
Plaguicidas	Campañas de eliminación de plagas como el dengue, insecticidas agrícolas y domésticos.
Plomo y cadmio	Elaboración de pinturas y barnices, minería y metalurgia.
Asbesto	Producción de cemento, actividades mineras, industria del asbesto.

¹⁰ Micra, su longitud es de 0.000001 m.

tamaño es menor, se comportan como un gas y entonces se conocen como aerosoles.

Las principales actividades humanas que causan el particulado en la atmósfera son: transporte terrestre y aéreo, procesos industriales, construcción de edificios y carreteras, y excavaciones y extracción de minerales. Un aumento del particulado en el medio hace que las personas aspiren más sólidos y padezcan más enfermedades de las vías respiratorias, como bronquitis, enfisema y enfermedades cardiovasculares. También afecta la vista causando conjuntivitis crónica. La única forma de protegerse del particulado es evitar acudir a sitios contaminados o usar mascarillas con filtros e incluso inhalar oxígeno de tanques portátiles.

Gases

Óxidos de azufre

Son contaminantes generados por el uso de combustibles, ya sean sólidos, como el carbón, o líquidos, como el petróleo. Los óxidos de azufre son una mezcla de dióxido de azufre, trióxido de azufre, ácido sulfuroso y ácido sulfúrico. La medición del atributo óxidos de azufre se hace en función del dióxido de azufre que es el compuesto dominante. El dióxido de azufre es un gas no inflamable, no explosivo, transparente, de olor irritante. La concentración de este gas en el aire se mide en miligramos por litro o partes por millón (mg/L o ppm).¹¹

La actividad humana que más genera este contaminante es la operación de hornos de carbón o de petróleo y los motores que utilizan diesel. Los efectos que causa a la salud del hombre son: incremento de la mortalidad, aumento de bronquitis, enfermedades respiratorias y deterioro general de la salud. En los vegetales causa deterioro crónico y mayor desfloración (caída de las hojas). Se ha encontrado que si se combina en el medio con particulado, a una concentración de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y 0.04 ppm de dióxido de azufre, se incrementan sustancialmente los casos de bronquitis y cáncer pulmonar. Si hay cierta concentración de dióxido de azufre en la atmósfera y llueve, se produce la llamada "lluvia ácida".

Hidrocarburos

Son compuestos formados por carbono e hidrógeno. Se emiten principalmente por la combustión de petróleo o derivados de él. Más de la mitad de los hidrocarburos presentes en la atmósfera proviene del uso de vehículos automotores, mientras que la otra mitad procede de materia orgánica en putrefacción, de pantanos, de fuentes geotér-

micas, o de carbón, gas natural, campos petroleros e incendios forestales. Su composición incluye metano, etano, propano y derivados alifáticos y aromáticos. También se generan altas concentraciones de hidrocarburos en el aire, en áreas con vegetación natural boscosa.

Los hidrocarburos son peligrosos en la atmósfera, pues propician la formación de oxidantes fotoquímicos y de smog (palabra que deriva de *smoke*: humo y *fog*: niebla). El efecto de los hidrocarburos sobre la salud se incrementa cuando se alcanza una concentración de 1 000 ppm, pues empieza a interferir con la respiración, causando lagrimeo, tos, gripas, dolor de cabeza, laringitis, faringitis y bronquitis. Estos efectos se agudizan al combinarse con óxidos de nitrógeno.

El impacto de los hidrocarburos en el medio se mide por el grado en que su concentración afecta la intensidad del smog. A bajas concentraciones, los hidrocarburos en el aire son inofensivos. Se considera una alta calidad del aire a concentraciones de 0 a 0.18 ppm; calidad moderada de 0.19 a 0.26 ppm, y mala calidad del aire por arriba de 0.26 ppm de hidrocarburos, expresado como concentración anual promedio de lecturas diarias de tres horas.

El daño de los hidrocarburos presentes en el aire sobre el ser humano, se origina cuando éste se expone a altas concentraciones en las horas pico (de las 18 a las 21 horas). Fuera de este horario, la concentración varía mucho; las medidas que se han implementado para evitar altas concentraciones de hidrocarburos son: control de las emisiones de los vehículos, control de emisiones estacionarias como incineración a cielo abierto, aconsejar a la gente para que no acuda a sitios muy contaminados y crear ambientes controlados con purificadores de aire.

Óxidos de nitrógeno

Los óxidos más comunes en ambientes urbanos son el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂). Éstos se originan en combustiones de alta temperatura y tiempo prolongado, pues ahí se dan las condiciones para que el nitrógeno y el oxígeno de la atmósfera se combinen. Combustiones de este tipo ocurren en la industria, en la operación de vehículos automotores, en combustiones estacionarias, como la combustión de gas natural, etc., aunque muchos óxidos también se generan de forma natural por la actividad bacteriana en bosques y pantanos.

No hay muchos estudios que muestren el efecto sobre la salud de los óxidos de nitrógeno a concentraciones provocadas en forma natural. Posiblemente, el efecto es nulo o poco significativo, pues la naturaleza produce muy

¹¹ ppm son las iniciales de partes por millón.

pocos venenos; el problema, como siempre, es el exceso. Si se sobrepasan los límites naturales, se produce smog en forma sinérgica con otros compuestos y se daña la salud. Se ha demostrado que altas concentraciones de óxido de nitrógeno en la atmósfera pueden corroer edificios y estructuras metálicas.

Concentraciones de dióxido de nitrógeno por abajo de 0.05 ppm de concentración promedio anual no son dañinas a la salud, pero por arriba de este nivel, el dióxido de nitrógeno actúa como agente tóxico y propicia problemas respiratorios agudos. Como todos los demás atributos del aire, la concentración de dióxido de nitrógeno varía con el tiempo y el lugar de la medición. Las medidas de prevención son similares a las que se toman para los hidrocarburos.

Monóxido de carbono

Es uno de los contaminantes más comunes en el aire. Se produce principalmente por la combustión incompleta de materiales carbónicos; también se origina por explosiones, disparo de armas de fuego y en forma natural. Los vegetales no lo pueden absorber en el proceso de la fotosíntesis.

Los efectos sobre el ser humano son muy peligrosos, sobre todo a concentraciones elevadas: de 12 a 17 mg/m³, se han observado malestares en las personas como mareos, estrés psicológico; reacciona con la sangre, formando carboxihemoglobina (sustancia que disminuye la capacidad de aprender y la destreza manual si hay exposición a esos niveles por al menos ocho horas). Si la concentración en las personas está por arriba de las 30 ppm, aumenta la probabilidad de que presenten un infarto al miocardio. El nivel promedio en la atmósfera del planeta no ha variado mucho en los últimos 20 años. Pero, si la concentración es inferior a 10 ppm es inofensivo a la salud

Oxidantes fotoquímicos

Son productos de reacciones atmosféricas entre hidrocarburos y óxidos de nitrógeno iniciadas o catalizadas por la luz solar. El ozono es el oxidante fotoquímico más comúnmente encontrado en el aire; otros, en menor cantidad, son el nitrato de peroxiacetilo y la acroleína. Mientras haya luz solar, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno en el aire, habrá oxidantes fotoquímicos.

No está claramente determinado su efecto sobre seres humanos y animales, pero una manifestación de que son nocivos es el daño causado a las hojas de los vegetales con exposiciones de cuatro horas a concentraciones de 100 µg/m³. En concentraciones bajas, no causa efecto sobre la salud humana, pero si las condiciones ambientales

se deterioran y existe suficiente cantidad de hidrocarburos, se genera smog en el aire.

Elementos y sustancias tóxicas

Hay sustancias tóxicas que se encuentran en el aire, como arsénico, bario, plomo, níquel, cromo, asbesto, fenoles, etcétera. En las personas, las concentraciones elevadas de cualquiera de ellas puede causar graves daños a la salud. Por ejemplo, el plomo y el mercurio, que al aspirarse, se depositan en la sangre y en los huesos, causando dolor y agotamiento excesivo. El plomo proviene en su mayor parte de un compuesto llamado tetraetilo de plomo que se adiciona a las gasolinas.

Las actividades humanas que causan este tipo de contaminación son la operación de industrias, como la química, la de plásticos, la del cemento, aluminio, aislantes, pinturas, recubrimientos, adhesivos, cromadoras, etc., que emiten cantidades incluso visibles de esos contaminantes en forma de vapor.

Lo peligroso de esos contaminantes es que se depositan en el cuerpo causando enfermedades crónicas; por ejemplo, la continua aspiración de asbesto causa cáncer en los bronquios, pulmones, intestino y abdomen. Esta sustancia puede permanecer en el cuerpo hasta por 30 años sin manifestar su efecto, pero producir cáncer en edad avanzada. En cambio, si se inhala berilio puede causar la muerte en pocas semanas o inducir cáncer.

Olores

En general, el mal olor no es dañino para la salud, pero es incómodo y puede causar dolor de cabeza, insomnio y pérdida de apetito. Los olores en el aire se deben, sobre todo, a compuestos orgánicos y sulfurados. Hay una serie de olores característicos generalmente aceptados como: olor afrutado, a vinagre, limpiador de uñas, ajo, moho u olor a encerrado, a quemado, huevo podrido, olor a gas, a yodo o a medicina, rancio, etc. Se originan en las industrias químicas y de alimentos.

Existe un grave problema para medir la concentración de olores en el aire, pudiéndose expresar como ppm de olor por volumen de aire. El problema es detectar y cuantificar cada uno de los distintos olores. Por ello, se ha diseñado un método que intenta determinar la intensidad del olor utilizando un panel de ocho personas, quienes perciben los olores expresando la sensación en una escala que va de cero cuando no se detecta olor, hasta el nivel cuatro cuando el olor es fuertemente percibido en una área entre 1.5 y 2 kilómetros cuadrados.

Aunque en la actualidad se piensa que los olores no dañan la salud, deben considerarse contaminantes, en la

medida en que afectan el sueño, el apetito, provocan dolor de cabeza y náuseas. Si se acepta que el medio ambiente no son sólo los hábitat y ecosistemas sino que incluye también aspectos estéticos y culturales, entonces los olores definitivamente pueden contaminar o alterar el medio ambiente.

■ Procesos para tratar los contaminantes del aire

En realidad se ha desarrollado poca tecnología para tratar los contaminantes del aire. Los llamados ciclones, que recolectan partículas generadas por procesos, como la producción de cemento o de la cal, el envasado de gramíneas, etc., han paliado un poco la emisión de este tipo de polvos a la atmósfera. Para el caso de los vehículos automotores, cada día se usan gasolinas con un menor contenido de plomo y óxidos de azufre y de nitrógeno. En las industrias de disolventes y pinturas, se utilizan filtros de aire que absorben todos los gases contaminados que se generan en los procesos. Pero, para los procesos de minería o de generación de energía eléctrica por medio de la quema de combustibles, no ha sido posible eliminar o disminuir la contaminación.

Lo que hace falta es el uso de otras fuentes de energía que no contaminen. La energía eólica se utiliza cada día más, pero sólo en algunos países avanzados; la energía solar todavía tiene un alto costo de inversión como para poder utilizarse como fuente de energía para vehículos de transporte personal, menos aún para vehículos de transporte pesado. La energía nuclear se ha utilizado durante varias décadas en la mayoría de los países avanzados, pero tiene dos desventajas, la primera son los residuos de materiales radiactivos que se generan, los cuales a su vez son otro problema de contaminación, y la segunda es la probabilidad de accidentes debido a escapes radiactivos en las plantas generadoras de electricidad que utilizan esta tecnología. Los accidentes que han ocurrido tanto en Chernobyl, antigua URSS, como en Three Miles Island, en Estados Unidos de América, no sólo provocaron muertes en el momento del accidente, sino que las partículas radiactivas contaminaron el aire, y éste, a su vez, por las corrientes naturales, dejó terrenos contaminados hasta varios cientos de kilómetros de distancia. Las personas que trabajaban o vivían cerca de esas instalaciones absorbieron la radiactividad que se escapó al momento del accidente, y los casos de cáncer en esos habitantes se elevó mucho algunos años después de la catástrofe. Aunque actualmente la probabilidad de un accidente nuclear en este tipo de plantas es baja, habría que evaluar el costo de un accidente nuclear contra los beneficios que se obtienen al operar este tipo de plantas generadoras de energía eléctrica. De hecho, en

México, desde 1990 funciona una nucleoelectricidad en Laguna Verde, Veracruz.

Como se podrá deducir, el ingeniero industrial puede atacar muchos puntos de la contaminación con sus conocimientos, básicamente mediante la optimización de procesos y de rutas de recolección y entrega de materiales. Sin embargo, falta todavía un punto muy importante en el combate a la contaminación y es la administración o gestión de los procesos industriales que contaminan.

La gestión de la contaminación en los procesos industriales

Ya se comentó y explicó en el capítulo 5 todo lo referente a un sistema de gestión de la calidad; en ese capítulo se mostraron los aspectos relevantes de las normas ISO 9000, se mencionó su historia, el porqué de sus siglas y se enfatizó el hecho de que la aplicación de tales normas por parte de las empresas de cualquier país no es obligatoria; ahora, hay que destacar que también existe otra serie de las mismas normas, la serie 14000, que funciona de manera similar a la serie 9000, pero que mientras ésta se enfoca a la gestión de la calidad de servicios y productos, la serie 14000 se enfoca exclusivamente a la gestión de los sistemas contaminantes industriales, gestión llamada también sistema de administración ambiental.

El significado de gestión o administración ambiental es llevar un control escrito (documentado) de todas las actividades relacionadas con los sistemas que contaminan dentro de una industria. Se espera que este registro escrito, aunado a otras actividades y compromisos de los directivos y trabajadores de una empresa, contribuya, en el mediano plazo, al abatimiento de la contaminación que genera la empresa.

La familia de normas ISO 14000 aparece como consecuencia de dos acontecimientos: la Ronda de Uruguay, en la que se firmó el GATT (Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio, por sus siglas en inglés), que buscaba eliminar barreras arancelarias para incrementar el comercio internacional; y la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro, Brasil, en 1992, que buscaba resolver los crecientes problemas de deterioro ambiental. De ahí nació la idea de crear unas normas de calidad ambiental similares a las normas ISO 9000 que elevaran la calidad de los productos comerciales, estas normas fueron las ISO 14000.

En noviembre de 1996, el Instituto Mexicano de Normalización y Certificación publicó el proyecto de norma mexicana NMX-SAA-001, equivalente a la ISO 14001, denominada *Sistema de Administración Ambiental. Especificación con guía para su uso*, única certificable, y una norma guía NMX-SAA-002, equivalente a la ISO 14004,

como normas voluntarias para México, que pretenden dar a las empresas mexicanas los elementos necesarios para implantar un sistema de administración ambiental, que les ayude a alcanzar sus metas ambientales, formulando políticas y objetivos ambientales y teniendo en cuenta el impacto al ambiente que están provocando con sus procesos productivos. Se aplica a aquellos aspectos ambientales que la empresa puede controlar o sobre los que puede influir parcialmente. El contenido temático de la norma 14001 es el siguiente:

1. Alcance
2. Normas de referencia
3. Definiciones
4. Requerimientos del sistema de administración ambiental
 - 4.1. Requisitos generales
 - 4.2. Política ambiental
 - 4.3. Planeación
 - 4.3.1. Aspectos ambientales
 - 4.3.2. Requisitos legales y otros
 - 4.3.3. Objetivos y metas
 - 4.3.4. Programas de administración ambiental
 - 4.4. Implantación y operación
 - 4.4.1. Estructura y responsabilidad
 - 4.4.2. Capacitación, concientización y competencia
 - 4.4.3. Comunicación
 - 4.4.4. Documentación del sistema de administración ambiental
 - 4.4.5. Control de documentos
 - 4.4.6. Control de operaciones
 - 4.4.7. Preparación y respuestas a emergencias
 - 4.5. Verificación y acción correctiva
 - 4.5.1. Supervisión y medición
 - 4.5.2. No conformidad y acción correctiva y preventiva
 - 4.5.3. Registros
 - 4.5.4. Auditoría del sistema de administración ambiental
 - 4.6. Revisión de la administración

Como se puede observar, esta norma contiene los elementos que deben ser satisfechos por una organización que busque registro (certificación) de la norma. Los ele-

mentos que menciona deben ser puestos en práctica y documentados, de tal forma que un observador o verificador independiente y externo a la empresa, pueda dar fe de que la misma ha puesto en práctica, de manera honesta, voluntaria y adecuada, un sistema de administración ambiental.

Tal vez la pregunta que se hace el lector es: ¿Por qué desearía una industria certificarse en la norma ISO 14000? Para empezar, certificarse significa que un organismo externo a la empresa y, desde luego, facultado para otorgar una certificación, declara ante organismos rectores con reconocimiento internacional, que aquella empresa que ha sido certificada en ISO 14000, presenta evidencia documentada y fehaciente de sus esfuerzos por combatir la contaminación que generan sus procesos productivos, es decir, está teniendo un desempeño ambiental aceptable.

El desempeño ambiental se define como: "resultados cuantificables del sistema de administración ambiental, relativo al control de los aspectos ambientales de una industria, basados en su política ambiental, sus objetivos y sus metas" (sección 3.8). Los indicadores del desempeño pueden incluir desde la capacitación hasta el cumplimiento de normas ambientales. Por ejemplo, si una industria está fuera de la ley en cuanto a emisión de contaminantes al aire, su meta cuantificable sería reducir sus emisiones contaminantes hasta quedar dentro de los límites reglamentarios. Otra meta puede ser el ahorro de energía eléctrica y combustibles en determinado porcentaje.

La norma ISO 14001 ha sido diseñada para que pueda ser aplicada a cualquier tipo de industria u organización, de cualquier tamaño y condición sociocultural, ya que no especifica la tecnología que se deberá emplear. Si así fuera, las industrias pequeñas de los países en vías de desarrollo estarían en desventaja en la aplicación de la norma.

La norma es clara al decir que la obligación de la industria es "considerar opciones para la prevención de la contaminación, diseñando nuevos productos o sistemas". En ésta, la prevención de la contaminación se define como "el uso de procesos, prácticas, materiales o productos que eviten, reduzcan o controlen la contaminación, incluyendo al reciclado, uso eficiente de recursos o sustitución de materiales" (sección 3.13).

La ISO 14001 no obliga ni impone la consecución de ciertas metas cuantificables, sino que se restringe al compromiso formal de la empresa, declarado en forma de política, del cumplimiento de implantación de un sistema de administración ambiental, bajo los lineamientos de la propia norma, y a que la empresa mejore continuamente su propio desempeño en términos relativos a sus propios parámetros. Por ejemplo, el objetivo es bajar las emisiones a la atmósfera para estar dentro del reglamento, pero esto no se logrará en un día, tal vez ni en un año; las metas de la empresa pueden ser reducir cada año 20% la emisión

de contaminantes, con relación a la emisión que se cuantificó a principios de ese año; así, su mejora será continua y con relación sólo a sus propios parámetros. La ISO 14001 exige seriedad en la proposición y en el cumplimiento de las metas y los objetivos ambientales que establezca la propia industria.

La sección 3.5 de la norma específica: "La parte del sistema de administración general incluye estructura, planificación, procesos y recursos de una organización para desarrollar, poner en práctica, alcanzar, revisar y mantener una política ambiental". Esto significa un gran compromiso por parte de los propietarios de la empresa, pues implica un desembolso inicial que puede ser considerable para proporcionar la estructura y los recursos necesarios a fin de combatir la contaminación. Además, también deberá proporcionar los recursos para capacitar al personal que ya trabaja en las instalaciones de la empresa, y, seguramente, contratar personal que se haga cargo del sistema de control ambiental.

Todas las normas ISO son voluntarias para la empresa privada, ya que la Organización Internacional para la Estandarización no tiene autoridad legal en ningún país para imponer el uso de las normas ISO; sin embargo, así como aquellas empresas que no cumplen con las normas ISO 9000 han tenido serios problemas para que sus productos sean aceptados en el comercio nacional e internacional, así también se espera que aquellas industrias que no cumplan con las normas ISO 14000, en el futuro cercano, tengan cada vez más restricciones para comercializar sus productos, nacional o internacionalmente. Más de 50 países colaboraron en la elaboración de las normas ISO 14000, lo cual se logró en el año 2002.

Las normas ISO 14000 establecen herramientas y sistemas de administración ambiental que implican numerosas obligaciones ambientales sin prescribir metas que deba alcanzar la organización. Se espera que con la aplicación de estas normas, se eleve la calidad ambiental del planeta en pocos años. Sin embargo, el sistema de normas ISO 14000 no evalúa el desempeño ambiental de una organización, sólo se limita a exigir el cumplimiento de la normatividad local que cada país ha desarrollado, identificando las diferencias de una legislación a otra, según el país. Téngase en cuenta que cada país tiene su propio avance económico y tecnológico y su propia situación ambiental; por tanto, la reacción de los gobiernos y empresas ante el problema ambiental varía, dependiendo del país.

Las normas ISO 14000 se dividen en dos grandes áreas: la evaluación de la organización y la evaluación del producto. A su vez, la evaluación de la organización se subdivide en tres áreas:

- Evaluación del desempeño ambiental (ISO 14031).
- Sistema de administración ambiental (ISO 14001).

- Auditoría ambiental (ISO 14010, 14011 y 14012).

La evaluación del producto se subdivide en:

- Aspectos ambientales en las normas de productos (ISO 14060).
- Clasificación ambiental (ISO 14020, 14021, 14022, 14023 y 14024).
- Clasificación del ciclo de vida (ISO 14040, 14041, 14042 y 14043).

Así como para las normas ISO 9000 se ha desarrollado el concepto de auditorías de calidad, así también se ha hecho para la serie 14000. De acuerdo con la norma 14010, una auditoría ambiental "es un proceso de verificación sistemático y documentado para obtener y evaluar objetivamente pruebas que determinen si las actividades ambientales especificadas, acontecimientos, condiciones, sistemas administrativos o la información acerca de estas cuestiones, se ajustan a los criterios de auditoría y de comunicación de los resultados de este proceso al cliente" (sección 3.9). El cliente es la entidad que solicita la auditoría y como ésta la ejecuta una persona ajena a la industria, se asegura la objetividad de la misma, entonces el cliente puede ser la misma industria, una entidad gubernamental o la sociedad, representada por algún grupo ecologista; cualquiera de ellos puede solicitar que se audite ambientalmente a una industria contaminante.

La auditoría, en la forma en que la declara la norma 14010, tiene un tema claramente especificado sobre el cual versará la auditoría, esto le quita libertad al auditor de hacer su trabajo sobre "lo que él quiera". Sólo puede auditar los aspectos específicamente declarados en la norma. La auditoría supervisa el adecuado y continuo funcionamiento del proceso administrativo de control de la contaminación, es decir, la auditoría no evalúa la efectividad del sistema anticontaminante, sino la efectividad del sistema administrativo de control. ¿Cómo lo hace? Examinando documentos, observando actividades, realizando entrevistas, etcétera. Para realizar tal tarea, es evidente que debe contar con la aprobación de la dirección general de la empresa, por eso se afirma que la implantación de las normas ISO 14000 empieza por los niveles superiores de las industrias. La auditoría ambiental puede describir tres actividades principales:

- Auditoría de cumplimiento o de desempeño, que se utiliza para verificar que la empresa ha cumplido con las normas y leyes que la afectan.
- Auditoría para establecer un informe ambiental con objeto de conocer la situación actual de una

empresa. Este tipo de auditoría se aplica exclusivamente a empresas que ya están operando.

- Auditoría de un Sistema de Administración Ambiental (SAA), para supervisar la implantación del sistema.

Una auditoría tiene cuatro pasos claramente definidos: planeación, ejecución, información sobre las observaciones hechas en la auditoría y planeación de acciones de seguimiento para corregir las anomalías detectadas en la auditoría. Una auditoría ambiental tiene por objetivo verificar que se estén llevando a cabo correctamente los procesos inherentes al sistema de administración ambiental y detectar las áreas y procesos productivos problemáticos, a fin de poder implementar acciones encaminadas a corregir tales problemas de contaminación.

Una auditoría ambiental se planea para determinar sistemáticamente las áreas que deben ser auditadas con mayor frecuencia, el objetivo y el alcance de cada proceso auditado. La planeación de la auditoría debe realizarla un auditor externo y el responsable del control ambiental dentro de la empresa. Generalmente, la planeación se efectúa de acuerdo con un programa anual, llamado plan maestro de auditorías, donde se resalta:

- Puntos a ser auditados (lista de verificación).
- Tipo de auditoría.
- Área que será auditada.
- Frecuencia.
- Fechas tentativas de cada auditoría.
- Número de personas, externas e internas, que intervendrán en la auditoría, llamado grupo auditor.
- Documentos de referencia para el desarrollo de la auditoría.

Para que la ejecución de la auditoría tenga éxito, debe existir una adhesión completa al plan de la auditoría y a la lista de verificación. Para llevar a cabo la ejecución, el protocolo indica que debe haber una reunión de apertura donde se establecen las reglas, se conocen todos los miembros del grupo auditor y se da por iniciada formalmente la auditoría. Luego, se recolectan las pruebas, esto es el proceso básico de la auditoría. Posteriormente, se reúne el grupo auditor para revisar los hallazgos, los clasifica y también anota las inconformidades con los hallazgos. Después de esta revisión, se elabora el informe de la auditoría con el consenso de todo el equipo auditor; el informe debe ser lo más detallado posible y dirigirse al director general, con copia a las áreas involucradas con algún tipo de responsabilidad. Finalmente, el mismo grupo auditor elabora un sistema

de seguimiento de las anomalías detectadas para que se corrijan a la brevedad.

Después de las auditorías, se hace una evaluación del desempeño ambiental, definido en la norma ISO 14031 como "los resultados de la administración de una industria sobre los aspectos ambientales de sus actividades de producción que generan contaminación". Estos resultados se presentan como indicadores cuantificables, es decir, son mediciones analíticas de los contaminantes arrojados por los procesos de producción de la industria. Si los resultados de la administración del ambiente son buenos, entonces la emisión de los contaminantes será cada día menor, lo cual se podrá constatar con análisis fisicoquímicos. La norma no especifica los valores que deberán obtenerse en los análisis de los contaminantes, simplemente pide que cada vez que se realice una nueva auditoría y una nueva medición, los contaminantes arrojados al ambiente sean menores en cantidades absolutas a los valores que se obtuvieron en la última medición. Si se observa esta tendencia con una gráfica de series de tiempo, no habrá duda de que la industria en cuestión se está preocupando por el medio ambiente, y que con el paso del tiempo, llegará a convertirse en una "industria limpia".

En párrafos anteriores se preguntó por qué una industria estaría interesada en certificarse en las normas ISO 14000. La respuesta puede encontrarse en las normas ISO 14020 y 14021, que declaran que el industrial tiene la facultad de etiquetar sus productos con leyendas alusivas a los atributos ambientales que pudiera tener su producto. Una etiqueta clásica en este sentido es: "Este envase (como el vidrio) está elaborado con material 100% reciclable". La industria que decide grabar esta declaración en sus productos tiene varias ventajas y desventajas al hacerlo. La primera ventaja es que su producto es más competitivo en el mercado, sobre todo en países con alto sentido ecologista, o en comunidades donde los grupos de defensa del ambiente tienen una presencia importante. Sin embargo, el etiquetado no es una garantía de que el producto es mejor. Una desventaja es que si el etiquetado es falso, la empresa en cuestión puede tener problemas legales. Decidir imprimir una etiqueta de este tipo le da el derecho a los consumidores o a alguna otra empresa que sea consumidora del producto a solicitar una auditoría ambiental, sólo para probar la veracidad de la etiqueta. Por otro lado, la etiqueta puede ser engañosa, pues aunque sea cierto que el envase sea 100% reciclable, podría transportar un producto altamente peligroso para el ambiente, como sería el caso de envases de vidrio que contengan limpiadores domésticos o industriales con arsénico fuera de los límites reglamentarios, en cuyo caso la industria en cuestión podría estar resaltando un atributo benéfico al ambiente, pero ocultando otro que anula el beneficio, o incluso es

más perjudicial al ambiente que si no tuviera un envase reciclable.

Se debe entender, en lo general, que un producto etiquetado con leyendas de este tipo es superior ambientalmente hablando que sus competidores, y que, por tanto, debe ser más consumido, pues es benéfico para la sociedad desde el punto de vista ecológico. Hasta 1997, esta norma aún era objeto de fuertes discusiones para su aprobación en todas sus secciones, pues no todos los productos que se consumen son susceptibles de ser etiquetados bajo las directrices de esta norma.

Dados los problemas que se han presentado con el etiquetado sobre atributos ambientales de los productos, los elaboradores de las normas ISO 14000 están tratando de implantar otro criterio que refleje con más realismo el impacto ambiental que a largo plazo genere el consumo de ciertos productos. El análisis del ciclo de vida de los productos se *basa en* "determinar, desde el origen de los materiales utilizados en la elaboración de los productos, hasta su disposición final, incluyendo los procesos de elaboración y los usos del mismo". Por ejemplo, para construir una puerta de madera es necesario destruir al menos un árbol de ciertas características, y esto es un atentado real al ambiente, sin embargo, una puerta de madera puede durar en uso cientos de años si se le conserva adecuadamente. La puerta se considera reciclable si se vuelve a pintar o barnizar, para seguir utilizándose como

puerta, o incluso como trozos de madera por separado; es un recurso renovable y además biodegradable. Su contraparte es el plástico, cuya elaboración no daña al ambiente (extracción de petróleo), puede reciclarse las veces que se quiera, pero en cada reciclado el producto obtenido baja su calidad. El problema es que es un recurso no renovable y no biodegradable. Desde el punto de vista de impacto ambiental, ¿cuál de los dos productos produce un daño o beneficio mayor al ambiente?

Los factores que se tienen en cuenta para un dictamen del impacto ambiental, desde el punto de vista del ciclo de vida, son que el producto pueda ser reciclado, que no sea tóxico, que sea biodegradable y el daño que realmente cause al ambiente con su producción o su disposición final. El comité encargado de analizar esta parte de las normas aún no llega a un consenso, pues supone que éste debe tener bases consistentes, científicas y confiables, lo cual aún no se logra tener. Una adecuada clasificación de productos con base en el análisis del ciclo de vida podría apoyar la publicidad y la comercialización de un producto, otorgándole una ventaja de mercado.

Se puede constatar, una vez más, que el ingeniero industrial también puede hacerse cargo de un sistema de gestión ambiental en cualquier tipo de industria, trabajando junto con otros especialistas, como químicos, biólogos, ingenieros ambientalistas, etcétera.

Palabras clave

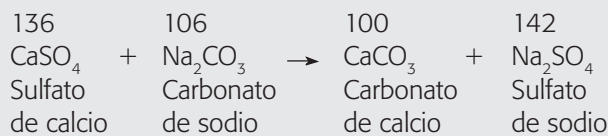
Contaminación, ambiente, tratamientos anticontaminantes.

Caso práctico

El agua es un insumo de vital importancia en las empresas manufactureras. Para utilizar el agua en los procesos de producción es necesario realizar pruebas de calidad y determinar ciertos parámetros; si éstos no resultan ser los apropiados, el recurso líquido debe ser sometido a tratamientos para modificar sus características.

Una fábrica recibe un afluente de 250 m³/min (1.02 kg/L) y al efectuar los análisis resulta que se trata de agua dura debido a que contiene 375 mg/L de sulfato de calcio, lo que la hace no apta para el proceso, pues puede causar obstrucción de las tuberías y de las calderas, y si es parte de la formulación del producto,

como en la elaboración de cerveza o refrescos, daría al producto características de calidad no deseables. Uno de los métodos empleados para resolver este problema es el ablandamiento del agua, el cual consiste en eliminar el sulfato de calcio, haciéndolo reaccionar con carbonato de sodio, como se muestra en la siguiente reacción, representada por su ecuación:



El carbonato de calcio formado se precipita en forma de un sólido blanco y se separa arrastrando 1.0% de agua que ingresó al tanque de ablandamiento.

Finalmente, el carbonato de calcio se envía a un secador. Al término de esta operación, el sólido descargado debe tener la siguiente composición: 2% de humedad y 98% de carbonato de calcio.

Con base en la información presentada, calcule en kg:

- Cantidad de carbonato de sodio requerido para el ablandamiento.
- Masa total y composición porcentual de la corriente que se alimenta al secador.
- Masa total de la descarga del secador.

Respuestas:

Para resolver los incisos *a* y *b* se requiere de cálculos estequiométricos a través del siguiente procedimiento:

Técnica utilizada peso-peso

- Balancear la ecuación.
- Calcular los pesos moleculares tanto de reactivos como de productos. En este caso, se ejemplifica cómo obtener el peso molecular de sólo una de las sustancias:

Símbolo del elemento	Peso atómico	Número de átomos del elemento en la molécula	Masa parcial del elemento en la molécula
Ca	40	1	40
S	32	1	32
O	16	4	64
			PM = 136

- Comprobar la ley de la conservación de la materia sumando los pesos moleculares de los reactivos, que deben ser iguales a la suma de los pesos de los productos.

$$136 + 102 \rightarrow 100 + 142$$

$$= 238 \quad \quad = 242$$

- Identificar en qué sustancia se ubica la base de cálculo y colocar el dato numérico conocido, que debe expresarse en unidades de masa.

- Calcular la cantidad de miligramos necesarios de sulfato de calcio.

$$250 \text{ m}^3 \frac{1\,000}{1\text{m}^3} = 250\,000 \text{ L de agua}$$

$$1 \text{ L} \text{ ----- } 375 \text{ mg de sulfato de calcio}$$

$$250\,000 \text{ ----- } \times 93\,750\,000 \text{ mg de sulfato de calcio}$$

Como los cálculos se solicitan en kg, se realiza la conversión de unidades, la equivalencia seleccionada es:

$$1 \text{ kg} = 1\,000\,000 \text{ mg}$$

Por tanto:

$$93\,750\,000 \text{ mg} \frac{1 \text{ kg}}{1\,000\,000 \text{ mg}} = 93.75 \text{ kg de sulfato de calcio}$$

- Establecer las relaciones estequiométricas y efectuar cálculos.

$$136 \text{ kg CaSO}_4 \text{ ----- } 102 \text{ kg Na}_2\text{CO}_3$$

$$93.75 \text{ kg CaSO}_4 \text{ ----- } x = 70.312 \text{ kg de carbonato de sodio}$$

Para calcular cuánto carbonato de calcio se forma y responder el inciso *b*):

$$136 \text{ kg} \text{ ----- } 100 \text{ kg}$$

$$93.75 \text{ kg} \text{ ----- } x = 68.934 \text{ kg de carbonato de calcio}$$

Si se considera que el afluente de agua alimentada sólo contiene esa sal (carbonato de calcio), se transforma el volumen del afluente a unidades de masa:

Primero, se homogeneizan las unidades:

$$\text{Equivalencia } 1 \text{ m}^3 = 1\,000 \text{ L}$$

$$250 \text{ m}^3 = 250\,000 \text{ L}$$

A partir de la fórmula de la densidad, despejar la masa, por tanto:

$$M = V \cdot \rho \text{ sustituyendo valores}$$

$$M = 250\,000 \text{ L} \cdot 1.02 \text{ kg/L} = 255\,000 \text{ kg de agua a tratar}$$

Como el agua contiene 93.75 kg de sales, se restan del componente agua y por tanto:

$$255\,000 \text{ kg} - 93.75 \text{ kg} = 254\,906.25 \text{ kg de la masa total corresponden al componente agua.}$$

Si el carbonato de calcio al separarse arrastra 1.0% de agua:

$$\text{Masa de agua arrastrada} = \frac{254\,906.25 \text{ kg} * 1\%}{100\%}$$

= 2 549.063 kg de agua separada junto con el carbonato de calcio, masa total que entra al secador = 2 549.063 kg + 68.93 kg = 2 617.993 kg

composición porcentual de la corriente

$$= \frac{2\,549.063 \text{ kg} * 100}{2\,617.993 \text{ kg}\%} = 97.367\% \text{ de agua}$$

$$= \frac{2\,549.063 \text{ kg} * 100}{2\,617.993 \text{ kg}\%} = 2.633\% \text{ de carbonato de calcio}$$

Cálculos para el inciso c:

Base de cálculo = 2 617.993 kg que se alimentan al secador

Masa de agua que acompaña al sólido seco:

$$\frac{68.93 \text{ kg} * 2\%}{98\%} = 1.407 \text{ kg de agua}$$

masa total a la salida del secador = 68.93 kg de carbonato de calcio + 1.047 kg de agua = 69.997 kg de sólido seco

Casos para resolver

Caso 1

El siguiente problema es una situación matemática nueva que enfrenta el estudiante y, por tanto, no tiene una solución previa. Para encontrar el camino que conduzca a una respuesta correcta es necesario:

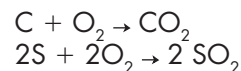
- Analizar el enunciado que contiene la información.
- Establecer semejanzas y diferencias en la presentación de los datos.
- Establecer relaciones con operaciones conocidas.
- Verificar si la solución encontrada responde a las preguntas planteadas.

Caso 2

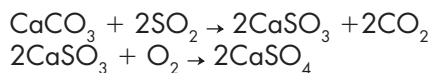
Como fuente de energía, una central termoeléctrica emplea carbón en su proceso. Esta materia prima contiene 9% en peso de impurezas constituidas por azufre. Al quemar el carbón y efectuar el proceso de combustión, el azufre también reacciona con el oxígeno y forma gases de dióxido de azufre, que es una sustancia altamente contaminante. Los gases emitidos pueden someterse a *tratamientos anticontaminantes* a través de una reacción con carbonato de calcio (en forma de sólido húmedo),

que forma CaSO_3 , el cual se hace reaccionar posteriormente con oxígeno para generar sulfato de calcio; esta sustancia, en algunos países se somete a una operación unitaria de secado y se vende como yeso. Se alimentan a la planta 20 t/d.

Las reacciones que ocurren durante la combustión son:



Las reacciones químicas para el tratamiento son:



Calcular en kg:

- a) Cantidad de carbonato de calcio requerido para eliminar el dióxido de azufre.
- b) Cantidad de dióxido de carbono que se arroja a la atmósfera.
- c) Cantidad total de oxígeno requerido en todas las reacciones donde éste participa.
- d) Ganancia obtenida por la venta del yeso, si el kg se oferta a \$ 2.00.

Para discusión

1. Mencione cinco situaciones actuales que muestren que el medio ambiente está contaminado en cualquier sentido.
2. Mencione cinco contaminantes del agua y cuál es su origen.

3. Describa en qué consisten los tratamientos primario, secundario y terciario que se aplican al agua para purificarla.
4. Mencione los elementos constituyentes de un sistema integral de tratamiento para potabilizar agua.
5. Mencione cinco elementos constituyentes de la basura urbana e industrial.
6. Explique tres diferentes tipos de tratamientos que se pueden aplicar a la basura y en qué consiste cada uno de ellos.
7. ¿Qué se entiende por composteo?
8. Mencione cinco contaminantes del aire y cuál es su origen.
9. ¿Qué es y en qué consiste un sistema de gestión ambiental?
10. Describa las similitudes entre las normas ISO 9000 e ISO 14000.
11. ¿Qué es y en qué consiste una auditoría ambiental?

Bibliografía

Baird, Colin. *Química ambiental*. Reverté. 2001.
 Cascio, Joseph. *Guía ISO 14000*. McGraw-Hill. 2000.
 Constanza, R. *Una introducción a la economía ecológica*. CECSA. 1999.
 Field, B. *Environmental Economics, An Introduction*. McGraw-Hill. Singapore. 2002.
 Goodland, R. *Tropical deforestation: solutions, ethics and religion*. The World Bank. 1991.
 Harrison, R. & Perry R. *Handbook of Air Pollution Analysis*. Chapman & Hall. 4th Edition. London. 2001.
 Jain, R. K. & Urban, L. *Environmental assessment*. McGraw-Hill. EUA. 2001.
 Kras, Eva. *El desarrollo sustentable y las empresas*. Grupo Editorial Iberoamericano. México. 2002.

Lacy, Rodolfo. *La calidad del aire en el Valle de México*. El Colegio de México. Centro de estudios demográficos y de desarrollo urbano. México. 2001.
Ley del equilibrio ecológico. Porrúa. México. 2000.
 Pimentel, D. *World agriculture and soil erosion*. Bioscience 37. 1987.
 Quadri, Gabriel. *La Ciudad de México y la contaminación atmosférica*. Limusa. 1992.
 Raul, J. & Wootten, D. *Environmental Impact Analysis Handbook*. McGraw-Hill. EUA. NY. 2003.
 Schulz, Christopher. *Tratamiento de aguas superficiales*. Limusa. 1999.
 Wark, K. & Warner, C. *Contaminación del aire, Origen y control*. Limusa. México. 2003.



13

ERGONOMÍA

María Guadalupe Obregón Sánchez

Maestra de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería, Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA)
Instituto Politécnico Nacional

*El trabajo realizado es imagen y semejanza de quien lo realiza,
pero hay que brindar seguridad y bienestar en el espacio de trabajo.*

MGOS

Objetivos

- Introducir al alumno al campo de la ergonomía, con el fin de que tenga un panorama general de la importancia que tiene esta disciplina y su interrelación con otras áreas, a través de una presentación general de la evolución de la ergonomía, desde su génesis hasta su estado actual.
- Presentar los principios que rigen a la ergonomía. Entender que se puede lograr el bienestar en el ambiente laboral con la aplicación de los principios ergonómicos y con su interrelación con otras disciplinas.

Introducción

Es verdad que en los últimos años se habla cada vez más de ergonomía, tanto en ambientes técnicos como científicos, e incluso en niveles comerciales. Sin embargo, también es cierto que todavía no se conoce, en muchos casos, a qué se refiere en realidad la palabra ergonomía. La industrialización ha creado un nuevo ambiente de trabajo para el hombre, el cual ha incidido en su desarrollo y productividad; así, en la medida en que se tome en cuenta la esencia del

hombre, desde el punto de vista de su esfuerzo físico y productivo, el proceso de formación de dicho ambiente responderá mejor a la naturaleza humana y a las necesidades de la sociedad.

La ergonomía surge del concepto de que la actividad laboral no es el individuo o la máquina solos, o el individuo manipulando la máquina, o bien el individuo en su entorno, sino más bien la investigación mancomunada para encontrar la concordancia entre las posibilidades físicas de la máquina y las propiedades físicas, psicológicas y fisiológicas del individuo en su entorno laboral, cualquiera que éste sea. La ergonomía se ha formado por la confluencia de una serie de disciplinas, cuyo fin, sin lugar a dudas, es examinar al individuo en el trabajo desde diferentes puntos de vista, como su comportamiento, su resistencia física a cargas de trabajo, las condiciones de su medio ambiente y la adecuación para que él se sienta confortable y seguro en su lugar de trabajo.

La ergonomía consta de dos elementos principales:

1. Una **parte técnica** que se refiere a los aspectos prácticos de optimización de puestos de trabajo, máquinas y herramientas; ésta también es llamada *ergonomía aplicada*.
2. Una **parte humana**, relacionada con la descripción y el conocimiento de las características físicas y fisiológicas del hombre, en términos de medidas, reacciones, necesidades, capacidades y limitaciones.

Los estudios ergonómicos no se limitan exclusivamente al problema hombre-ambiente laboral, sino que van más allá, aplicando sus criterios y esquemas a cualquier actividad humana, tanto en la producción como en la vida cotidiana. El trabajo ergonómico corresponde a la categoría de investigaciones aplicadas que aseguran la integración de la ciencia en la producción de bienes y servicios y que ofrecen medidas encaminadas a elevar la eficiencia y calidad en el desempeño del trabajo.

La aplicación de los principios ergonómicos en la industria, los transportes, la construcción, los espacios de trabajo, la distribución en una planta industrial, el manejo de materiales, los tiempos y movimientos, entre otros, eleva el rendimiento y mejora la calidad del producto o servicio que se esté procesando. El elemento humano es el factor que se encarga de llevar a cabo la conversión en los sistemas productivos, con características propias y distintas, para aumentar la eficiencia y la eficacia en todas las actividades. La ergonomía hace hincapié en lograr que el trabajo del hombre no sólo sea más productivo, sino también creativo y, a su vez, de manera reiterada, se sienta seguro y lo más cómodo posible.

Los estudiosos de la ergonomía no se han puesto de acuerdo si ésta es una ciencia, una disciplina, una tecnología o una técnica, ya que cada uno de ellos la define según su criterio. La palabra **ergonomía** proviene del griego *Ergos*, que significa trabajo, y *Nomos*, que significa leyes naturales. Por tanto, ergonomía son las leyes naturales del trabajo (Osborne, 1987).

Con base en las diferentes definiciones formales de ergonomía, la Asociación Española de Ergonomía (AEE), miembro de la International Ergonomics Association, plantea una definición que se puede considerar integradora de las diferentes tendencias de la ergonomía y la ingeniería de los factores humanos:

La Asociación Española de Ergonomía entiende por ergonomía: "La ciencia aplicada de carácter multidisciplinar que tiene como finalidad la adecuación de los productos, sistemas y entornos artificiales a las características, limitaciones y necesidades de sus usuarios, para optimizar su eficacia, seguridad y confort." (Fundación MAPFRE, 1995.)

Maurice de Montmollin, otro estudioso de la ergonomía, la define como: *"La tecnología de las comunicaciones y los sistemas hombre-máquina."* (Montmollin, 1996.)

Por su parte, Ernest J. McCormick la define como: *"El foco central de los factores humanos y se refiere a la consideración de los seres humanos en el diseño de los objetos obra del hombre, de los medios de trabajo y de los entornos producidos por el mismo hombre que se vienen usando en las diferentes actividades vitales."* (McCormick, 1976, 15.)

Por consiguiente, aquí definiremos a la *"ergonomía como la disciplina que mediante estudios e investigaciones del espacio de trabajo, las máquinas y los equipos los adapta al ser humano, para que su desempeño sea eficiente y que el trabajador se sienta cómodo y seguro en su puesto de trabajo"*.

Quando se dice que se adapta al ser humano se toma en consideración también el entorno social en el cual el trabajador se desempeñará, ya que es un punto importante de las relaciones laborales que se desarrollan en el centro de trabajo.

En la actualidad, la ergonomía cuenta con dos grandes áreas, la **ergonomía preventiva** y la **ergonomía correctiva**. La primera se basa en el hecho de que hay que planear todos los detalles relacionados con el plano de trabajo, el acondicionamiento óptimo de la distribución en planta, dando los espacios adecuados al manejo de materiales, previendo una iluminación y ventilación adecuadas, entre otros aspectos. La segunda se relaciona con el hecho

de intentar corregir las instalaciones, los espacios, la ventilación, el ruido y demás aspectos que no se tomaron en consideración al momento del inicio de sus labores, dado que algunas de las industrias instaladas en nuestro país han sido establecidas en edificios y locales que no fueron diseñadas para éstas.

Otro aspecto importante que esta clasificación toma en consideración son los factores fisiológicos, psicológicos, higiénicos y de seguridad, integrándolos adecuadamente para optimizar el sistema hombre-máquina.

Es de gran importancia la interrelación que tiene la ergonomía con otras disciplinas que le apoyan, proporcionándole datos concretos para llevar a cabo la planeación correcta de la integración del sistema hombre-máquina-entorno. Si tomamos en consideración la personalidad, el carácter, el temperamento y las actitudes del trabajador, la *psicología* entra en acción para proporcionar datos que nos ayuden a colocar al ser humano en el lugar adecuado. Si se trata de relacionarlo con su grupo laboral, la *sociología* nos aporta información acerca del comportamiento de los grupos sociales; y si queremos conocer sobre el funcionamiento de cada uno de los órganos componentes del cuerpo humano, la *biología* da razón de pesos y medidas de sus componentes; la *fisiología*, por su parte, proporciona información acerca del funcionamiento de cada uno de los órganos que componen el cuerpo humano, para conocer cuáles serían los puntos débiles, fisiológicamente hablando, que puedan provocar alguna enfermedad ocupacional.

La economía, la higiene, la psicología industrial, el estudio de tiempos y movimientos, los métodos de trabajo, el comportamiento organizacional, las relaciones humanas, la teoría general de sistemas, el desarrollo organizacional, la investigación de operaciones, entre otras más, apoyan a la ergonomía para satisfacer plenamente los requerimientos del puesto de trabajo en donde algún ser humano pasará parte de su vida trabajando. *"Por tanto, la función de la ergonomía consiste en crear las condiciones más adecuadas para los trabajadores en lo que se refiere a iluminación, ruido, ventilación, vibraciones, reducción de carga física de trabajo, mejorar las posturas de trabajo y reducir los esfuerzos de ciertos movimientos, aliviar las funciones psicosensores en la lectura de los dispositivos de señalización, facilitar la manipulación de palancas y mandos de las máquinas, aprovechar mejor los reflejos espontáneos y evitar la fatiga."* (OIT, 2005.)

Antecedentes históricos de la ergonomía

Desde tiempos inmemoriales el hombre ha tratado de ajustar herramientas, utensilios, flechas, lanzas, etc., a sus

dimensiones corporales. Adecuó sus cuevas y cavernas para refugiarse, a fin de sentirse seguro de las inclemencias del medio ambiente. La arqueología ha dado testimonio de las dimensiones de los arreos que utilizaba el hombre primitivo; buscó la facilidad para poder cazar, pescar y recolectar los frutos, sin saber que se estaba gestando, desde entonces, una disciplina que hoy en día es muy importante en todos los espacios de nuestro entorno.

En el desarrollo y la evolución de la ergonomía ha habido periodos que la han marcado decisivamente, como la Revolución Industrial, en el siglo XIX. Con el descubrimiento de la máquina de vapor de James Watt, el auge industrial se presentó en las grandes ciudades europeas, principalmente en Inglaterra, provocando el éxodo de las personas de las áreas rurales a las ciudades industriales, en donde consideraban que el futuro era más prometedor. Dadas las condiciones de la industria en ese entonces, los obreros trabajaban bajo condiciones inhumanas o infrahumanas, ya que estaban obligados a cumplir jornadas laborales bastante largas y pesadas, sus espacios de trabajo eran insalubres y las condiciones no apoyaban en mucho para que el trabajo se diera en condiciones de seguridad, confort y bienestar. Pese a que en ese entonces las sociedades científicas investigaban y trabajaban para crear y desarrollar mejores condiciones de trabajo; durante esta época el trabajo se desarrollaba conforme a la experiencia.

El término ergonomía fue propuesto en 1857 por el estudioso naturalista Wojciech Yastembowski, quien, basándose en sus estudios de las leyes objetivas de la ciencia sobre la naturaleza, propuso un modelo de actividad humana. Alrededor de 1857, *Frederick Winslow Taylor*, con su obra *Organización Científica del Trabajo*, aplicó experimentos elementales de trabajo también con instrumentos elementales, tales como la utilización de palas de diferentes tamaños para observar la fatiga que tenían los trabajadores con estatura alta utilizando una pala pequeña al verter el carbón en las carretillas; y a hombres de baja estatura utilizando palas grandes vaciando carbón también. Observó la fatiga que había en ellos, dado que las herramientas que utilizaban no eran acordes con sus relaciones dimensionales, es decir, con la antropometría de su cuerpo. (Ramírez Cavassa, 1991.)

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, Alemania, Estados Unidos de América, Inglaterra y Francia organizaron seminarios sobre la influencia que ejerce el proceso laboral y el entorno industrial sobre el organismo humano. Hacia 1920, se desarrolló con gran intensidad la higiene del trabajo, la psicología y la fisiología, aspectos que se pusieron en práctica en los sistemas productivos. La sociología se desarrolló con Elton Mayo, quien consideró que los aspectos económicos no son los primordiales, sino que los aspectos morales y psicológicos del trabajador son

los de primer orden a estudiar, surgiendo así la corriente de humanización de la actividad laboral.

En Inglaterra, durante la Primera Guerra Mundial, se unieron grupos de estudiosos, entre los que destacaban ingenieros, psicólogos, sociólogos y médicos, para estudiar las posturas laborales y la música ambiental en las áreas de trabajo, ya que las jornadas laborales eran largas y muy arduas, debido a que se trabajaba en la producción de armamento para proveer de balas a las tropas. Las condiciones laborales eran infrahumanas e insalubres, aunque se trataba de no cansar a los obreros en sus puestos de trabajo para que siguieran produciendo sin fatigarse.

Durante la Segunda Guerra Mundial, también en Inglaterra, específicamente el 12 de julio de 1949, surge la ergonomía como una disciplina ya establecida, fecha en la que se creó la Sociedad de Investigación Ergonómica. En Japón también se formaron sociedades científicas. El estudioso T. Tanaka publicó su libro *Ingeniería humana*, cuya preocupación era el desempeño del trabajador en la producción de bienes y el confort en su espacio de trabajo.

En 1961 se fundó la Asociación Ergonómica Internacional, con la participación de 30 países miembros. Hoy en día, hay más de 175 países integrados a la Asociación.

Si analizamos la ergonomía desde la óptica del enfoque de sistemas, es preciso considerar, en primer lugar, que cada sistema tiene algún objetivo o propósito. Para que un sistema cumpla su objetivo, deben realizarse las funciones operacionales; cada una de las cuales precisa ser realizada por un individuo o por un componente físico. El sistema hombre-máquina-entorno cumple con las características de los sistemas en el sentido de que tiene entradas, secuencia o conversión, fronteras, salidas y retroalimentación. A éste también se debe integrar el subsistema selector de insumos y el subsistema selector de productos, para que los insumos sean seleccionados y se cumpla con la calidad establecida en los sistemas mencionados.

Un sistema se define como un conjunto de elementos que se relacionan e interactúan unos con otros para lograr un objetivo en común. Partiendo de esta definición, se puede concluir que el sistema hombre-máquina-entorno busca un fin en común, que es establecer diseños de máquinas y equipos, espacios de trabajo, diagramas de flujo, sistemas de producción adecuados, diseño de instalaciones y relaciones interpersonales que arrojen como resultado el bienestar, el confort, la seguridad, la productividad y la realización personal de cada trabajador en su centro laboral.

Hoy en día, para establecer un proyecto de vida conjunta se debe considerar al centro de trabajo, es decir el ambiente externo a la empresa en el que se encuentra cotidianamente el trabajador y la empresa misma, en la cual el trabajador encuentre proyecciones futuras y haga carre-

ra y estancia permanente en la organización o empresa. Para lograr el entendimiento completo de la interacción del sistema hombre-máquina-entorno, es necesario estudiar y analizar cada uno de los sistemas.

Sistema hombre

Para diseñar y construir herramientas, máquinas y lugares de trabajo que se adapten al trabajador, se requiere del conocimiento de las medidas y de los movimientos de las partes del cuerpo que son decisivas para la realización de un trabajo en particular. Si se requiere adaptar al trabajador a su puesto, debemos considerar las variaciones existentes de una raza a otra, ya que las máquinas, los equipos y las herramientas que se producen se diseñan de acuerdo con las dimensiones de la población usuaria del país donde se diseñan y se fabrican, por lo que cuando otra persona de una sociedad diferente las utilice, las máquinas deberán adaptarse al trabajador usuario, ya que no están fabricadas de acuerdo con las relaciones dimensionales de esa población.

La edad, el sexo, la cultura, la complexión entre un hombre y una mujer y la ocupación son variables determinantes para diseñar productos que vayan a usar ambos.

La persona, dentro de su sistema laboral, va a aportar sus conocimientos para llevar a cabo tareas u operaciones bien definidas, las cuales deberá hacer con la calidad que se establezca. No podemos separar a la ergonomía de la calidad y de la productividad, ya que el hombre es quien elabora los productos con calidad y provoca la productividad y, a su vez, se vuelve consumidor de lo que él mismo fabrica. El trabajador también es quien aporta sus capacidades intelectuales y físicas para llevar a cabo actividades finas, según lo requiera el trabajo. Las habilidades y la experiencia es otra aportación que hace el ser humano a la ergonomía; la cual, a su vez, intenta que las condiciones laborales estén a su favor para obtener satisfacción y autorrealización.

El ser humano ha buscado, en muchas ocasiones, ajustarse a su ambiente laboral modificando los sistemas o procesos. Pero, esto no está bien, ya que lo que se debe ajustar es el medio de trabajo al hombre, no al revés.

El hombre es el capital intelectual más importante en la empresa, por lo que no se debe menospreciar su talento, creatividad y capacidad de crear y modificar los sistemas que sean los adecuados para llevar a buen fin su trabajo. Así que apoyados de la ergonomía y su interrelación con otras ciencias y disciplinas, podemos desarrollar máquinas, equipos, herramientas, espacios de trabajo y relaciones sociales adecuadas entre los trabajadores para el buen desempeño de las tareas u operaciones en los centros de trabajo.

De esta forma, queda establecido que la ergonomía debe actuar de manera sistémica, donde el aspecto físico, el social y el mental deben interactuar de tal manera que el subsistema hombre-espacio se adecúe, a fin de que su desempeño sea bueno. Los espacios físicos y sociales repercuten bastante en la actuación y desempeño del ser humano; así, un espacio diseñado acorde a las necesidades corporales y sociales hará que el trabajador se sienta mejor y sea productivo.

La ergonomía hace uso de la *antropometría* para conocer, de manera correcta, las dimensiones corporales del ser humano y poder adaptar éstas a las máquinas, los espacios de trabajo, la distribución de las máquinas y los equipos. La antropometría proviene del término griego *átropos* (humano) y *métricos* (medida), es decir, las medidas del ser humano.

Hoy en día, existen dos clasificaciones de la antropometría: la **antropometría dinámica**, que estudia al ser humano en movimiento, es decir, cuando el hombre está parado, con los brazos extendidos, con las piernas, tórax, manos y dedos en movimiento, y la **antropometría estática**, que estudia al hombre en condiciones de reposo, es decir, sentado sin mucho movimiento, sólo con los ángulos necesarios para llevar a cabo una tarea en un lugar de trabajo, por ejemplo: una persona trabajando en un escritorio. El plano de trabajo que requiere cada trabajador es el necesario que permita el desplazamiento adecuado de sus piernas, sus brazos, o bien de todo su cuerpo en condiciones de reposo. Las medidas, tanto estáticas como dinámicas, las debe tomar un antropólogo físico profesional, ya que esta labor no es nada fácil. En la actualidad se trabaja en la estandarización de las partes del cuerpo que deben medirse y los dispositivos más adecuados para hacerlo; recordemos que las dimensiones antropométricas cambian de una población a otra y de una cultura a otra.

En la planeación de espacios de trabajo y en la fabricación de máquinas, equipos, distribuciones, etc., se deben considerar las diferentes dimensiones que se obtengan de una población de usuarios, a fin de diseñar correctamente, tomando como base la población media, *"aunque hay que analizar previamente la naturaleza de las variables, ya que el diseño espacial suele ocurrir, como en el caso de los alcances, que el favorecer a los que tienen medidas más cortas no perjudica apenas a los más altos"* (Fundación MAPFRE, 1995).

Otro aspecto muy importante que debemos de tomar en consideración cuando llevamos a cabo el dimensionamiento antropométrico es el sexo, es decir las diferencias entre las medidas de hombres y mujeres. El hombre es más ancho de espalda, de tórax, sus manos son más grandes y sus dedos más largos, la circunferencia de su muñeca es más grande, sus piernas son más largas; el hombre,

por lo regular, es más alto que la mujer, según la media poblacional de estudio. Por el contrario, la circunferencia de la cadera de una mujer es mayor que la del hombre, la muñeca de su mano es menor que la de un hombre y sus dedos son más cortos; asimismo, el tamaño de su mano es menor y la circunferencia de su tórax es mayor por los senos. Como ya se comentó, el área geográfica y la cultura son decisivas en la antropometría de hombres y mujeres. Por tanto, las exigencias de la tarea y el espacio disponible deben ajustarse a las capacidades humanas. *"Por eso, el diseño del puesto de trabajo debe realizarse según los datos obtenidos en las investigaciones realizadas sobre el propio hombre como parte del sistema de trabajo o, lo que es lo mismo, sobre el hombre en pleno proceso, con todo lo que esto implica."* (Fundación MAPFRE, 1995.)

Un buen diseño ergonómico debe tomar en consideración los movimientos, las posturas y la visibilidad del trabajador. Explicaremos en qué consiste cada uno de estos aspectos.

■ Movimientos

Debemos conocer bien la actividad u operación que se lleva a cabo, para que el trabajador haga los movimientos justos y necesarios que requiere en el desempeño de sus tareas, a fin de evitar movimientos innecesarios que hagan cansada su labor, provocando que termine fatigado su jornada laboral. En este aspecto se deben tomar en consideración los movimientos e inclinación o rotación que debe hacer el trabajador en su plano de trabajo.

■ Posturas

Si la tarea del trabajador requiere estar de pie, sentado o tirado en el piso, como los mecánicos al momento de arreglar un coche, es lógico que los movimientos de cada una de las posturas serán diferentes, por tanto hay que tener en cuenta las posiciones y los ángulos que se requieren para llevar a cabo movimientos con los brazos, con las piernas, con la cabeza, o bien la rotación de todo el cuerpo.

■ Visibilidad

En su plano laboral, el trabajador debe ubicar visualmente tanto los tableros como los controles que tenga que revisar o accionar para desarrollar sus tareas. Si se trata de un supervisor, por medio de los tableros también puede hacer el seguimiento del proceso de producción y saber en qué lugar se está desarrollando mal una operación y poder controlarla con prontitud.

También es importante que los tableros y los controles cuenten con la iluminación adecuada para que las lecturas, tanto digitales como analógicas se hagan correctamente.

La introducción de la mecánica de movimientos al estudio del trabajo industrial añadió la disciplina de la biomecánica ocupacional como un nuevo concepto al caudal de conocimiento para el entendimiento de la interrelación compleja entre el trabajador y su medio ambiente laboral.

Un aspecto que se considera muy importante es la proxémica en los espacios de trabajo, en donde los seres humanos comparten tareas, relaciones laborales y pasan juntos gran parte del día y de su vida. La mayoría de los estudiosos de la ergonomía prestan relativa atención a este punto, ya que se toma en cuenta a la sociología que es la que estudia la actuación y el desarrollo del ser humano en grupo o sociedad. La proxémica es un apartado de la antropología que estudia al individuo con relación a su espacio y cercanía con las demás personas con quienes comparte el territorio laboral.

El antropólogo Edward T. Hall es el que presenta el término de proxémica para referirse a las teorías que relacionan al hombre con el espacio que lo rodea (Hall, 1995).

La palabra proxémica proviene del latín *proximus*, de *prope*, que significa cerca, y *ximus*, que significa máximo. De esta forma, aquí se entiende como cerca y máximo contacto físico que se da en el interactuar cotidiano con nuestros compañeros de trabajo, los amigos, los conocidos y la gente pública que nos rodea día a día.

La proxémica estudia las relaciones de proximidad y de alejamiento entre las personas y los objetos durante la interacción, las posturas adoptadas y las reacciones del individuo ante estas situaciones. No se ha comprobado en las diferentes culturas que éste sea un aspecto determinante para la productividad laboral, lo que sí se sabe es que las personas que no conocemos y están bastante cerca de nosotros no las aceptamos prontamente y nos causan inquietud y perturbación. Por el contrario, el acercamiento en el espacio de trabajo con las personas que sí conocemos y a quienes les tenemos confianza va a ser aceptado más rápido. Los estudios relacionados con la proximidad de las personas nos proporcionan información sobre las relaciones sociales entre los trabajadores, es cierto que un lugar de trabajo no es un club en donde se reúnen los amigos o las amistades, pero, como es sabido, los trabajadores pasan gran tiempo de su vida compartiendo los espacios y lugares de trabajo, por lo que se espera que la gente se sienta bien y se lleve bien con sus compañeros. Mantener relaciones sociales proxémicas adecuadas le dará a los trabajadores la confianza de que será respetado su territorio. La territorialidad es el espacio en donde se desenvuelve y trabaja el individuo y existe la garantía de que los demás no entrarán en él.

En una empresa, el trabajador no es propietario de su puesto de trabajo, pero la mayoría de las personas de-

sarrollamos un sentimiento de pertenencia. Existen territorios primarios, secundarios y públicos. El primario, es el espacio inmediato que rodea al trabajador; el secundario, es aquel donde un grupo de trabajo homogéneo comparte las áreas circundantes; y el espacio público son los lugares de uso general y a los que todas las personas tienen acceso; por ejemplo, un recibidor.

El hacinamiento y el aislamiento son factores importantes para que el trabajador se sienta confortable y seguro o incómodo e inseguro. Cuando hay hacinamiento, lo primero que se pierde es la distancia personal y la territorialidad. Por otro lado, cuando se cuenta con bastante espacio, pero se aísla a los trabajadores, puede existir un agravio para quienes necesitan relaciones humanas más cercanas. Por esta razón, se debe ser muy cuidadoso cuando se diseñen y establezcan los espacios de trabajo, tomando en consideración la superficie ocupada por el mobiliario y los equipos, que en la mayoría de los casos no son contemplados. Al respecto, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) señala algunas de las condiciones necesarias a considerarse en la planeación de los centros del trabajo.

“La Organización Internacional del Trabajo (OIT), en lo referente a la disposición del lugar de trabajo, dispone lo siguiente: deberá hacerse hincapié en la necesidad de aislar las operaciones que supongan peligro o molestias graves. De ser posible, los locales de trabajo deberían construirse sobre el nivel del suelo y estar dotados de ventanas con una superficie total que no sea inferior al 17 por ciento de la superficie del piso. Los techos no deberían estar a menos de 3 metros de altura, y cada trabajador debería disponer, como mínimo, de 10 metros cúbicos de aire (y más si las temperaturas y el nivel de contaminación atmosférica son elevados).

Para prevenirse contra los accidentes, cada trabajador debería disponer de un mínimo suficiente de superficie libre, y en todo caso de 2 metros cuadrados.

Las paredes y los techos deberían tener un acabado que impida la acumulación de suciedad, evite la absorción de humedad y, de ser necesario, reduzca la transmisión y generación de ruido; el pavimento debería ser del tipo no resbaladizo, que no suelte polvo y sea fácil de limpiar; en caso necesario debería poseer buenas características de aislamiento térmico y eléctrico.” (OIT, pp. 53-54.)

En una oficina con problemas de espacio, es posible que lo que principalmente exista sean problemas de

distribución del espacio disponible entre las distintas personas con estatus diferentes.” (MAPFRE, p. 223.)

El status es el rango social o cargo que tiene una persona dentro de un grupo social o laboral; por lo general, a quien está en los niveles más altos del rango social no le gusta que su espacio sea igual al de los de menor rango.

En este punto intentaremos comprender la fatiga física y mental del trabajador, ya que existen diferencias importantes.

La fatiga física se da cuando la tarea es repetitiva y el trabajador se confía debido al dominio de la misma, o bien a trabajos monótonos de vigilancia y control en los cuales se pasa largos periodos en inactividad, que conducen al tedio y a la falta de interés y esto, a su vez, puede generar un accidente, ya que el trabajador muestra desinterés en su trabajo.

La falta de interés en la tarea por lo general está correlacionada con la infracarga, es decir, cuando las tareas están por debajo de la capacidad física e intelectual de los trabajadores, cuyas consecuencias se agravan a menudo por el hecho de que el trabajador domina la situación laboral (Gardell, 1976). Lo cual provoca síntomas semejantes a los de la sobrecarga, que es cuando las tareas exceden las capacidades físicas e intelectuales de los trabajadores y los somete a tensiones excesivas, añadiendo la tendencia a la depresión.

La carga mental se debe a la enorme cantidad de información que un trabajador debe tener, sobre todo para la toma de decisiones. No basta con tener la información, hay que decodificarla y hacer los análisis consistentes para interpretarla y poder medir y aproximar la efectividad a las respuestas que tendremos ante alguna situación laboral riesgosa.

La fatiga física y mental se termina de dos maneras, la primera consiste en retirar al individuo de la actividad laboral que desempeña y la segunda en brindar el descanso necesario, que motive al ser humano a continuar en su trabajo con un desempeño efectivo.

Con base en lo expuesto antes, es posible darse cuenta de que el ser humano es la persona más importante en un proceso laboral, ya que debe estar en condiciones adecuadas para desarrollar una o varias operaciones en la generación de un bien o un servicio. Por lo que se debe cuidarlo y mantenerlo en puestos de trabajo a los que se adapte bien, para prolongar su estancia y salud en su trabajo.

Los administradores y gerentes de las organizaciones y empresas deben tomar en consideración los factores ergonómicos que se han expresado anteriormente; aunque es posible que al principio piensen que es un gasto inútil, con el paso del tiempo descubrirán sus bondades y aportaciones al proceso productivo. La ergonomía sería aplicada más por los empresarios, si supieran que a través del tiem-

po la inversión que hagan en un principio se verá redituada con el desempeño y la productividad de los trabajadores. Y otro punto importante es que el trabajador estará a gusto en la empresa en la que se desempeña.

A continuación estudiaremos la interrelación que existe entre el sistema hombre y el sistema máquina. Para este efecto, se toman en consideración los cambios vertiginosos y radicales que las máquinas y los equipos tienen actualmente. En épocas pasadas, no representaba ningún conflicto operar alguna máquina, ya que no se tomaba en cuenta al ser humano. A éste sólo se le consideraba como un productor al servicio del utilitarismo. Al paso del tiempo, el trabajador fue ganando terreno hasta ser considerado como el hacedor de bienes y servicios que da valor agregado a lo que produce, respetando su bienestar y seguridad. A esa concepción que se tiene del trabajador debemos que hoy en día la ergonomía se aplique a las máquinas, los equipos, los tableros y los controles y se tome en consideración al ser humano.

Sistema máquina

La comunicación es muy importante entre los seres humanos, ya que por medio de ésta expresamos nuestras ideas, sentimientos, indicaciones y todo lo que un ser humano quiera manifestar. Pudiéramos pensar que la comunicación entre los seres humanos ya es de por sí difícil, como para que además los seres humanos tengamos que comunicarnos con las máquinas, los equipos y los dispositivos que apoyarán nuestra tarea en el ámbito laboral. No es ficción, el trabajador puede comunicarse con las máquinas a través del lenguaje que proporciona la semiología.

La comunicación que establecen los humanos con las máquinas es a través de tableros. Ése es el único medio que existe para que el hombre se comunique con la máquina. Un hombre puede enviar un mensaje a otro miembro de su especie y éste, a su vez, a una máquina y por medio de la misma máquina enviar información a otro ser humano o a otra máquina y así tener retroalimentación entre ellos por periodos prolongados.

La comunicación, esencial para cualquier proceso, es en su forma básica la transmisión de la información y de instrucciones de un humano a otro. Sin embargo, una vez que se han dado las instrucciones iniciales al operador de una máquina, *“la mayoría de la información que recibe subsiguientemente no provendrá de otro ser humano, a quien tal vez podría preguntársele algo en caso de no haber entendido; tampoco podrá volver a tener la información escrita que podría leer varias veces, hasta asegurarse de que se entendió, sino que dependerá de instrumentos solos o compuestos que presentan información acerca del estado de la máquina”* (Mondelo, 2004).

No obstante que comercialmente están disponibles muchos tipos de tableros, a menudo la selección se reduce a sólo unas cuantas tareas o situaciones particulares. Por tanto, queda al ergónomo o especialista escoger el tablero más apropiado, considerando los requerimientos de la situación y los diversos usos que se dará a la información producida en el tablero.

Dado que la comunicación es un acto que requiere que el receptor interprete correctamente el mensaje enviado por el transmisor, estos criterios también se aplican tanto al desempeño del operario como de la máquina. Por eso, se deben explicar las necesidades del hombre y de la tarea asignada. Así pues, la **velocidad**, la **precisión** y la **sensibilidad** son los criterios primarios mediante los cuales debe juzgarse el valor y la eficiencia de un tablero. Un tablero en el cual no se pueda leer con rapidez la información, no tendrá valor si sus lecturas, ya sea las que se pueden hacer directamente o las que quedan registradas, son imprecisas; un tablero que comunica cambios leves en el estado de la máquina y los equipos, no tendrá valor si requiere mucho tiempo para poder leerlo. Por ello, cabe destacar, una vez más, que se deben considerar cuidadosamente tanto los requerimientos del trabajador como los de la máquina antes de seleccionar el tablero apropiado. Un tablero se define como el medio de comunicación que existe entre el hombre y la máquina para poder intercambiar información.

Cuando se lleva a cabo la búsqueda de máquinas y equipos para un proceso de producción, es momento de considerar los tableros y controles que lo conforman. Éstos deben ser lo más amigable posible con el ser humano, para que pueda interpretar la información que le envíe la máquina. En este momento es cuando es necesario definir si lo recomendable son los tableros analógicos o digitales y el tipo de controles necesarios.

Los tableros pueden ser **analógicos** o **digitales**, por lo que es necesario conocer bien los diferentes tipos de máquinas, para seleccionar cuál es el que más nos conviene. Los tableros **analógicos** son los más apropiados para lecturas que deban ser precisas y que el trabajador u operario pueda leer bien, es decir tenga la capacidad cognoscitiva para leer y descifrar acertadamente la información que le está enviando la máquina. Por cognoscitivo entendemos aquí la capacidad que tienen los seres humanos para interpretar y descifrar la información que posee la humanidad y que produce el conocimiento. También existe la palabra cognitivo que proviene del término cognición, que significa conocimiento, que es la acción y efecto de conocer algo.

Para conocer e interpretar la información entre el sistema hombre-máquina, la semiótica apoya al hombre para comunicarse a través de signos y señales con la máquina. La semiótica también es llamada Teoría General de los

Signos: “La semiótica es la ciencia que estudia los modos de producción, de funcionamiento y recepción de los diferentes sistemas de signos de comunicación entre los individuos o colectividades.” (Larousse, 2009.)

Los tableros **digitales** se utilizan para llevar a cabo lecturas cambiantes lentamente. Éstos se clasifican de acuerdo con el tipo de lectura que se vaya a realizar; así, existen tableros visuales, auditivos, gráficos, de posición y seguimiento y los de advertencia. Los tableros **visuales** pueden ser los más adecuados cuando tenemos ambientes de trabajo contaminados por ruido, o bien porque el sistema auditivo está sobrecargado y no se aprecia la información, ya que enmascara nuestras señales, entre éstas el habla, ya que se interactúa con los demás operarios que están participando en el proceso. Los tableros **auditivos** se utilizan cuando se requiere una respuesta de lectura inmediata y cuando hay un sistema visual sobrecargado o una visión limitada. Los tableros **gráficos** sirven para proporcionar imágenes realistas, que se parezcan lo más posible a las situaciones de la vida real o a lo que está aconteciendo dentro del proceso de producción y que la máquina está reportando. Los tableros **para posición y seguimiento** nos proporcionan el lugar exacto y la ubicación de un objeto en tiempo y espacio y se sigue haciendo la lectura para no salirse de los parámetros establecidos. Los tableros **de advertencia** transmiten información como encendido o apagado, seguro o inseguro y su estado se puede indicar por la ausencia o presencia de sonido. También indican en color rojo algún peligro que se puede presentar e informan acerca de que se está presentando algo malo en el sistema.

En los tableros podemos llevar a cabo **lecturas cuantitativas** y **cualitativas**. Las primeras son cuando la información que la máquina proporciona es con base en números; por ejemplo, nos indica los grados Celsius que debe tener la máquina para empezar a trabajar o bien la temperatura máxima que alcanza para indicar un peligro de calentamiento. Las lecturas cualitativas son aquellas cuando la máquina proporciona por medio de colores el estado que guarda a cada momento; por ejemplo, el color verde expresa que la máquina está trabajando bien; el color ámbar nos está dando la señal de advertencia y el rojo de peligro. Éstos son los colores básicos que se utilizan, pero no son los únicos.

La codificación de los colores en los tableros será la siguiente:

Rojo	-----	Peligro
Anaranjado	-----	Peligro posible
Amarillo	-----	Precaución
Verde	-----	Seguridad
Azul	-----	Precaución o frío

Es importante que el trabajador se familiarice con los tableros y controles que está manipulando, ya que a cada operación corresponde uno. Descifrar el proceso de producción por medio de los tableros de control no es nada fácil, por el contrario, es cansado y el operario debe estar alerta a las diferentes señales auditivas, por medio de colores que son visuales, o combinadas, ya que esto satura al trabajador y puede provocar la sobrecarga mental y laboral. Es por eso que tanto los tableros y controles deben tener un diseño apropiado, en el cual su lectura, manipulación y control sea fácil para quien está a cargo de la actividad. Los parámetros que intervienen en las respuestas de las personas son la visibilidad, la compatibilidad, la legibilidad y el grado de fatiga.

En la visibilidad interviene el brillo y el contraste de la luz, en la legibilidad la claridad y el tipo de fuente luminosa. En el grado de fatiga, la luminosidad, el color y el parpadeo y, por último, la compatibilidad, que es el grado de adecuación del sistema (Mondelo, p. 34).

Por otro lado, hay que tomar en consideración el tipo de control que necesitamos para accionar las máquinas y los equipos, ya que éste es un factor importante en la relación del sistema máquina. El control es un eslabón entre el trabajador y la máquina.

Los controles, por lo general, se clasifican en dos grupos, dependiendo de la función que realizan. En primer lugar, se tienen los controles que se usan para alterar discretamente el estado de la máquina, como es la activación del encendido-apagado, la entrada de datos (tablero para introducir un código) y el ajuste para hacer cambios específicos. En segundo término, están los controles que se usan para hacer ajustes continuos, como los cuantitativos, que sirven para ajustar un valor particular a lo largo de un continuo y los controles continuos para mantener cierto nivel de actividad (Oborne, 2004).

Existen diversos tipos de controles para llevar a cabo cualquier tarea, pero algunos son más apropiados para algunos fines que para otros. Mientras más sencillo sea un control y menor su presión, menor será la probabilidad de error, siempre y cuando el control seleccionado satisfaga totalmente los requerimientos previstos. Por tanto, la complejidad solamente se justifica cuando no es posible utilizar un dispositivo más sencillo.

Los tipos básicos de controles son los siguientes:

- **Botones pulsadores de mano.** Son controles simples, su función consiste en ordenar sí o no, prender o apagar, frío o caliente. No requieren de fuerza considerable para ser activados y responden rápidamente a una ligera presión de un dedo o de la mano. Se pueden utilizar para encender y apagar o para activar alarmas de emergencia. Su ubicación debe ser cuidadosa debido a la fácil activación, ya que en ciertos casos puede ser causa de un accidente.
- **Botones pulsadores de pie.** Se utilizan cuando las manos están sobrecargadas de actividades o cuando el esfuerzo a realizar es considerable. Su accionamiento es más lento, porque la masa muscular involucrada en los movimientos es mayor al de la activación con las extremidades superiores. Se puede aplicar en mandos de seguridad, porque permiten actuar bajo el acto reflejo de asistir con las manos en caso de un accidente.
- **Interruptor de palanca.** Son rápidos y prácticos. Se pueden utilizar para dos o tres órdenes en operación.
- **Perillas o botones rotativos.** Pueden ser de valores discretos o continuos, se emplean en casos que se requiera hacer crecer una variable en múltiples valores.
- **Selectores rotativos.** Pueden ser de valores discretos y continuos; su tiempo de reacción es menor.
- **Volantes de mano y manivelas.** El diámetro de los volantes de mano dependerá de la proporción que se requiera.
- **Volantes de brazos.** Se utilizan para abrir y cerrar válvulas de gran tamaño. En éstos es importante considerar el diámetro y el ángulo de inclinación de los mismos.
- **Palancas.** Pueden ser simples o de mando, la diferencia es que las primeras operan en una dimensión y las segundas en dos dimensiones.
- **Pedales.** A pesar de que muchos especialistas consideran que el uso de pedales puede afectar la salud, éste es prácticamente imprescindible en la maquinaria industrial. El pie es una extremidad muy sensible para seleccionar posiciones y mantenerlas por tiempos determinados.
- **Teclados.** Se clasifican en dos tipos: los de alta velocidad y frecuencia de uso y gran número de teclas; y los de baja velocidad y frecuencia de uso y pocas teclas.
- **Ratón y joystick.** Poseen una o más teclas que constituyen un sistema que es desplazado de acuerdo con las necesidades del usuario en todas direcciones.
- **Mandos a distancia.** Son útiles en actividades donde los operarios no deben acceder o acercarse al lugar de trabajo por cuestiones de seguridad.

Un control mal diseñado puede producir deficiencias en el sistema hombre-máquina; se puede aseverar que las funciones básicas de los controles son las siguientes: activar o desactivar el sistema o parte de él, impartir órdenes al sistema con valores discretos, dictar órdenes al sistema con valores continuos; dar órdenes al sistema ininterrumpidamente; introducir datos en el sistema (Mondelo, 2001).

Para llevar a cabo estas funciones existen diferentes tipos de controles que, inclusive, pueden combinarse entre sí para obtener dispositivos más prácticos. Pedro Mondelo, estudioso en ergonomía, menciona las reglas de ubicación y selección de los controles, a las que llama lógica de controles y que consiste en lo siguiente: cualquier sistema debe proyectarse para que se pueda controlar, garantizando la fiabilidad de su funcionamiento dentro de los límites previstos, y así ejercer el control del sistema, por lo que el usuario debe tener la información necesaria y conocer su funcionamiento. *En un sistema hombre-máquina, los controles deben ser compatibles con la capacidad de percepción y procesamiento de la información del operario, con sus tipos de reacción, con su capacidad de movimiento, de fuerza y con las condiciones ambientales existentes (Mondelo, 2001).*

Otro aspecto importante que debemos considerar al adaptar los tableros y controles a las máquinas es la compatibilidad que debe haber entre ambos. *“La compatibilidad es la armonía que se debe establecer entre los elementos de un sistema, con el fin de obtener una respuesta adecuada a las expectativas de la mayoría de los usuarios” (Mondelo, p. 53).*

A la hora de diseñar diferentes sistemas de captación visual de información es preciso considerar las diferencias individuales como: edad, tiempo de reacción, adaptación, acomodación y agudeza visual, cromatismo, fatiga y entrenamiento.

El problema a la hora de presentar la información visual estriba en que no sólo depende de la calidad intrínseca de percepción del usuario, sino también de las condiciones ambientales del área de trabajo, las cuales influyen en el proceso de información visual.

Es evidente que el grado de complejidad de la información está en proporción directa con la posibilidad de cometer errores en cualquiera de los canales de comunicación de que se trate; en la selección del tipo de dispositivo informativo, la sencillez y la eficiencia serán factores determinantes. Estos mismos factores tienen elementos específicos como el nivel de iluminación, la distancia de lectura, el tipo, el tamaño, el grosor y la separación de las letras, números y caracteres, deslumbramientos, grado de difusión de la luz, colores, agudeza visual, tiempos de permanencia de la información y de la percepción, carga

visual, carga mental, posiciones y movimientos de la persona, así como los destellos.

Los aspectos para el diseño de tableros han sido objeto de investigación desde los primeros estudios de ergonomía, que datan de 1964, hasta a la fecha. Diferentes normas a nivel internacional dictan los parámetros a considerar al momento de diseñar los tableros. Hay elementos y parámetros que cualquier país debe acatar cuando diseña o ajusta los tableros a las máquinas y a los operarios. Así, debemos tomar en consideración el principio de secuencia de uso que sugiere que si el tablero y los controles normalmente funcionan con alguna secuencia, se deberán poner de manera secuencial. La secuencia de tiempo de uso y la secuencia funcional son factores para el desarrollo de controles:

- **Secuencia de tiempo de uso.** Este principio sugiere que si los controles y los tableros normalmente funcionan en algún tipo de secuencia, como encender un torno, y luego subir las revoluciones de la máquina, éstos deberán estar ordenados en la secuencia que tengan.
- **Secuencia funcional.** Los componentes del panel se ordenan de acuerdo con su secuencia temporal, aunque también es posible ordenarlos en términos de su función, ya sea dentro de la secuencia temporal para una sola operación o en términos de secuencia temporal de diferentes funciones.

Los tableros y los controles deben ordenarse en función de la frecuencia con que los usará el operario.

Otro aspecto que debe considerarse es la importancia de los controles. Con tal afirmación, no se pretende menospreciar a ningún control, pero es importante destacar que algunos tienen mayor importancia, debido al tipo de orden o instrucción que transmiten a la máquina. La relación de posicionamiento entre tableros y controles se refiere a la posición de un control respecto de otro control o el de un tablero respecto de otro tablero; a esta característica también se le puede llamar espaciamiento, que es la cantidad de espacio permitida entre los tableros, ya que si hay demasiado espacio se provocaría que el operario moviera sus extremidades sin necesidad; por otro lado, si hay poco espacio, puede activarse el control equivocado de manera accidental y se puede dar una operación accidental cuando el control incorrecto puede activarse si se cuenta con poco espacio entre los controles adyacentes, o si los controles no están localizados en sus posiciones óptimas. Hay técnicas para prevenir estos accidentes, como aplicar mayor resistencia a los controles, que es lo más usual. El espacio que se requiere entre cada control está determinado, en

gran medida, por el tipo de control que se hará funcionar y por la presencia o ausencia de ropa protectora.

La posición de los controles en la consola debe analizarse, aun si los controles han sido ordenados con un espacio ideal entre ellos, de una manera que se ha procurado evitar el funcionamiento accidental. Los controles se deben ubicar en la consola, de tal modo que el operador logre su alcance y ejecución óptimos.

La posición de un tablero respecto de otro tablero, también es un aspecto digno de consideración en la ergonomía. Cuando se colocan o instalan los tableros en la consola del operario, el principal aspecto que se debe considerar es la relación física entre el tablero y su control asociado, sin embargo, deben examinarse dos aspectos específicos de la ubicación de los tableros, que son la visibilidad del tablero y la forma en cómo los indicadores están alineados cuando se usan grupos de tableros análogos para medir la verificación de la lectura. Los requerimientos de visibilidad de un tablero visual dependen de la percepción del operario, por lo que en el diseño del panel es muy importante asegurarse de que los tableros queden en línea con su visión; pero, relacionados con este aspecto, se presentan dos problemas, el primero es que su visibilidad pueda disminuir debido a que el tablero queda oscurecido por otro componente de la consola, y el segundo es que la respuesta de un tablero puede disminuir, debido a que, aun cuando el campo visual del operario es amplio, su velocidad (bajo estrés) de precisión depende de la posición del campo visual en que ocurren los estímulos.

Los tableros también deben agruparse de acuerdo con las actividades y las lecturas primarias y secundarias durante el proceso de producción o de la operación que se esté realizando; de ahí que debemos conocer perfectamente bien cuáles son las lecturas primarias y las secundarias para seguir la lógica de controles. Este tipo de tablero puede servir para lecturas de verificación, no solamente para hacer lecturas cuantitativas, sino también para hacer verificaciones simples del estado de la máquina dentro de ciertos límites de seguridad.

Los tableros, a menudo, pueden agruparse para proporcionar al usuario un modelo de trabajo o un diagrama de flujo del proceso productivo, o de cada máquina, ya que muestra de forma gráfica las partes del sistema de trabajo y de qué operación está dando la información.

También existe la posición de un control respecto de otro control o bien de un tablero respecto de otro tablero. En la compatibilidad control-tablero se puede decir que éstos son compatibles si uno sugiere la forma en que debe usarse el otro, lo cual se refiere a la compatibilidad espacial y a la compatibilidad de movimiento. En la compatibilidad de movimiento del control, lo que sugiere es la forma en que un tablero asociado se mueva. Por ejemplo, si se hace

girar una manivela en sentido de las manecillas del reloj, el operario esperaría que su tablero asociado indicara una lectura con incrementos.

La selección de controles debe basarse en que éstos sean fácilmente identificables normalizando su ubicación. Todos los controles críticos o de emergencia deben identificarse visualmente y de manera táctil. La identificación no debe dificultar la manipulación del control ni provocar una activación accidental, pero deben estar relacionados funcionalmente para facilitar las operaciones que se lleven a cabo de manera simultánea o en secuencia, o para economizar espacio en el panel de mando.

Hay factores importantes que deben considerarse para el diseño de controles, como la retroalimentación, el tamaño, el peso, la textura y la codificación. *"La retroalimentación se refiere a la información que recibe el operario tanto del ambiente como de su propio cuerpo, y lo ayuda a precisar la posición espacial tanto de él mismo como de las partes de su cuerpo"* (Osborne, 2004).

La parte más importante en la retroalimentación es la resistencia que presenta el control al movimiento, debido a que por una parte permite bloquear o evitar la activación accidental, pero si la resistencia del control es demasiada puede reducir el desempeño y la eficiencia del operario, al provocar su fatiga. El tamaño es otro factor a considerar en el diseño de los controles, el cual obviamente debe estar en función de las medidas antropométricas de las partes del cuerpo de quien los utiliza, como las manos y los pies, pero además se debe tener en cuenta las condiciones de ejecución del operario para la manipulación adecuada; tomando en consideración la ropa o las herramientas que deba usar el operario en el desempeño de su trabajo.

En el diseño de controles, el peso se vuelve un factor importante solamente en los casos en que el dispositivo de control tenga una posición tal que pueda provocarse una resistencia muy grande debido al peso del mismo, como en el caso de las manivelas. Esto se debe a que, por lo general, el peso del dispositivo de control está soportado por la misma máquina.

La textura del control se toma en consideración debido a que las extremidades del operario están en contacto directo con éste. Este contacto se debe mantener el tiempo necesario y de la manera adecuada para tener la calidad de acción deseada. Esta tarea es complicada debido a que en ocasiones la textura no debe ser muy suave, como cuando se trata de controles sostenidos por la mano, ni tampoco muy áspera, como en el caso de los controles que deben asirse con la mano y pueden llegar a tener contacto con el cuerpo.

El último factor a considerar en el diseño de los controles es la codificación, la cual se refiere a su identificación adecuada. Para esto se puede recurrir a diversos métodos,

como la codificación por forma, la codificación por textura, la codificación por tamaño y la codificación por color.

La codificación por forma es útil cuando el operario no emplea guantes en su puesto de trabajo, porque éstos absorberían el efecto de las protuberancias en la superficie del control. El mismo problema se presenta en la codificación por textura, donde los guantes impiden detectar la textura del control, pero además se tiene el problema de que la suciedad o los residuos se van acumulando en el control y pueden llegar a dañarlo.

Es fundamental que el operador tenga ubicados los controles y los tableros con los que tiene relación en su trabajo, ya que son los que le proporcionan la información del estado de las máquinas que se emplean en el proceso u operación que a él compete. Tomando en consideración que la velocidad de respuesta del trabajador puede ser crítica, debemos considerar los aspectos humanos para el diseño de las máquinas, pensar en el tipo de sentido que se utiliza (vista, tacto, oído), emplear mandos que resulten fáciles de descodificar por el operario y revisar la carga de trabajo que implique cada operación y la frecuencia en que la señal se hace presente.

La selección y el diseño de tableros y controles están relacionados con el tipo de tarea, el tipo de operario y la clase de ropa que use, así como el entorno físico en el que se encuentre inmersa la tarea, como la iluminación, el ruido, la temperatura, las vibraciones, la presión y sobre todo el entorno vital.

El sistema máquina no debería ser complicado si el trabajador siguiera las indicaciones de operación del mismo, pero en la mayoría de los casos el operador aprende a manejar la máquina a través del tiempo, conforme la va conociendo, se puede decir que es con base en la experiencia que le da el ensayo, acierto y error. Es común que al tener una máquina, un equipo o un aparato electrónico, el usuario no lea el manual para conocer las especificaciones de operación básicas para su buen funcionamiento. Una recomendación muy importante es que se lea adecuadamente el manual para conocer los detalles y pormenores de las máquinas, lo cual, a su vez, alarga la vida útil de cualquier sistema.

Cuando se han estudiado, comprendido y evaluado los componentes del sistema, sólo hasta entonces, se podrá transmitir la información de la máquina al hombre y viceversa, sin obstáculos.

Hasta aquí se ha estudiado el sistema hombre y el sistema máquina y hemos podido darnos cuenta de la importancia que existe entre estos sistemas. La actuación del trabajador se complica más cuando entra en contacto con su medio ambiente, ya que éste considera la carga de trabajo, la fatiga física, la fatiga mental y cuando tiene que soportar las condiciones físicas que se presenten en su ambiente de trabajo.

Sistema entorno

Los factores físicos que intervienen en el entorno son la iluminación, el ruido, la temperatura, las vibraciones y la presión atmosférica. Todos estos factores juntos y en valores anormales, pueden generar un ambiente laboral adverso a la salud del trabajador.

A continuación se estudia, de manera breve y concisa, cada uno de los factores físicos que se dan en los centros de trabajo, así como algunas consecuencias por la exposición a estos factores cuando se presentan en valores fuera de lo normal.

Iluminación

La iluminación es la cantidad y calidad de la luz que incide sobre una superficie. Para iluminar adecuadamente un lugar hay que tener en cuenta la tarea que se va a desarrollar, las particularidades del usuario, como defectos visuales y edad, así como las características del local.

Es importante tener un alumbrado bien proyectado en las oficinas, ya que este aspecto aumenta la eficacia y la eficiencia, mediante la reducción de errores, haciendo posible una mayor velocidad en el proceso de trabajo, manteniendo condiciones satisfactorias.

El objetivo de la iluminación, desde el punto de vista de la ergonomía, es favorecer la comunicación visual en el sistema hombre-máquina y el confort visual en su ámbito laboral. La perspectiva ergonómica toma en consideración todos los aspectos que integran un sistema de trabajo, los cuales se pueden agrupar de la siguiente manera, de acuerdo con las características del trabajador: edad, adaptación visual, limitaciones oftálmicas y percepción de colores. De acuerdo con los atributos de la tarea, se toma en consideración la distancia, el contraste, las características de la superficie y el color. De acuerdo con las características de iluminación, los niveles de iluminación o iluminancia, valoración de la luminancia, contenido espectral, deslumbramiento y parpadeo y, por último, las variables del espacio de trabajo en el que se debe establecer y reconocer las limitaciones sobre el campo visual, las limitaciones de las posturas y los requisitos de seguridad, ya que el deslumbramiento, el reflejo de un brillo intenso o las sombras puedan ser un factor de riesgo, que pueden provocar accidentes como un tropezón o una caída en escaleras, pasillos, salidas de emergencia, entre otros.

Los parámetros que definen el estímulo de la luz son la intensidad y la longitud de onda. El estudio de estos dos parámetros permite elegir la fuente de luz y el sistema de iluminación, evitando diferencias por un lado y la acción segadora por el otro. *El grado de iluminación responde al tipo de trabajo que se ejecuta y se mide en función del*

índice de encegamiento, el índice de incomodidad y el coeficiente de pulsación de la iluminación (Cavassa, 2003).

Además de incrementar la capacidad del trabajo, la iluminación también cumple funciones psicológicas y estéticas, las cuales deben ser tomadas en cuenta por el diseñador, el ergónomo y el luminotécnico, determinando la mejor solución a través de procedimientos de simulación o con estudios prácticos en el lugar del trabajo.

Para su protección contra accidentes, durante la ejecución de su trabajo diario, el individuo normal deposita su confianza en su vista, más que en cualquiera de los otros sentidos. Sin embargo, el ojo puede enviar al cerebro únicamente aquellas impresiones que le llegan por medio de ondas luminosas, y si éstas son insuficientes, debido a una escasa iluminación, el efecto que producen en una persona normal es semejante al de una condición de ceguera parcial. La buena iluminación ha sido reconocida desde hace mucho tiempo como uno de los factores más importantes en la prevención de accidentes industriales, de aquí el avance que ha tenido la ingeniería de iluminación a lo largo de los últimos años.

La finalidad de una iluminación adecuada en una empresa es que ésta ayude a proporcionar un medio circundante seguro para el trabajo, trayendo como resultado menos accidentes, una percepción más rápida y la mayor claridad de la visión. Una iluminación adecuada hace posible el reconocimiento inmediato de los riesgos de accidente y da mayor posibilidad de evitarlos. Se ha comprobado que con una buena iluminación, disminuye la posibilidad de cometer errores y los defectos se descubren con mayor rapidez, lo que a su vez mejora la calidad de la producción. Además, ni el operario ni el supervisor deben forzar la vista para determinar pequeños detalles en el desarrollo de los productos, ya que se reduce la cantidad de tiempo y el gasto de energía que se necesita para hacer el trabajo. La iluminación da como resultado menos esfuerzo de la vista, disminución de la tensión nerviosa y un medio ambiente confortable que tiende a hacer más productivos a los trabajadores, es decir, aumenta la autoestima de los trabajadores.

A continuación se dan algunos consejos útiles respecto a la iluminación, para los puestos de trabajo y las áreas que se encuentran dentro de las organizaciones o empresas.

1. No utilice superficies reflejantes en el área de visión del trabajador, ya que el reflejo provoca distracción, incomodidad y fatiga visual.
2. La iluminación que proporcionan las ventanas no debe provocar reflejos sobre las pantallas de los equipos de cómputo; no es conveniente que el usuario trabaje de frente a la ventana ni de tal forma que la luz provoque reflejos sobre el monitor o

su espacio de trabajo. En caso de no tener el mobiliario adecuado con respecto a la ubicación de la ventana, ésta debe contar con cortinas o persianas que permitan pasar la luz necesaria, pero eviten los deslumbramientos.

3. Es importante verificar que el alumbrado en las áreas de trabajo no incida directamente en los ojos del usuario, o que esté a sus espaldas de tal forma que éste mismo provoque sombra sobre el área de trabajo. También es conveniente cuidar que la luz natural de las ventanas no provoque reflejos ni incida sobre los ojos de los usuarios, en estos casos es cuando hay que utilizar algún tipo de cortinas que proporcione la cantidad de luz adecuada.
4. Para lugares donde se realizan tareas finas, delicadas o con piezas muy pequeñas, es conveniente utilizar dos tipos de iluminación: una para el alumbrado general y una específicamente para el área de trabajo.
5. Un aspecto importante a cuidar es que la iluminación para el área de trabajo no deslumbre o moleste al trabajador, por lo que debe contar con pantallas y permitir el ajuste de su altura para adecuarse a las características de cada usuario.

La iluminación suficiente mejora el confort y desempeño de los trabajadores, además de reducir la posibilidad de errores y el riesgo de accidentes.

Es preciso aclarar aquí que existen dos tipos de iluminación: la natural y la artificial. La luz natural es la que proporcionan los rayos del Sol. Las características de la artificial es que la naturaleza de la luz empleada ha de ser tal que permita una percepción de colores e imágenes lo más aproximada a la que brinda la luz natural; ésta, a su vez, puede ser general o combinada. La iluminación general se divide en uniforme y localizada. La iluminación uniforme es cuando se distribuye la luz por igual sobre el área de trabajo sin tener en cuenta la distribución y la ubicación de la maquinaria, los equipos y los espacios de trabajo para cada uno de los trabajadores. Y la iluminación localizada es cuando se distribuye la luz tomando en consideración la localización de la maquinaria y de los equipos de trabajo para que las operaciones que se realicen no carezcan de la iluminación necesaria y el trabajador pueda realizarlas sin ningún problema. Hay operaciones que deben ser tan precisas que el tipo de iluminación debe ser de este tipo. El nivel de iluminación depende de la actividad que se realice y el tiempo para observar los objetos; debe haber un mayor nivel de iluminación cuando la actividad sea minuciosa o deba realizarse en forma muy rápida.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999, existen niveles de iluminación necesarios para las tareas visuales en los puestos de trabajo como las mencionadas en la tabla 13.1.

- **Agudeza visual:** Es el poder de resolución del ojo, es decir, la aptitud para percibir los detalles más pequeños de los objetos, la posibilidad de ver los puntos muy próximos y de apreciar los contornos y las formas. Aumenta con el nivel de iluminación, más exactamente con la luminancia del objeto observado y con el contraste.

- **Velocidad de percepción:** Es el tiempo transcurrido desde que un objeto entra a nuestro campo visual hasta que es percibido por el cerebro.

- **Sensibilidad a los contrastes:** Es la capacidad de percibir pequeñas diferencias de luminancias; es muy importante para la percepción de las formas, los contornos y los relieves.

Otro factor importante es la **adaptación** que es el proceso en el cual se ajusta la luminancia del campo visual, ya que se adapta rápidamente el ojo cuando no hay cambios

Tabla 13.1 Niveles mínimos de iluminación

Tarea visual del puesto de trabajo	Área de trabajo	Niveles mínimos de iluminación (lux)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Áreas generales exteriores: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Áreas generales interiores: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Áreas de servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia y cuartos de compresores.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble e inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies, y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas y acabado con pulidos finos.	Áreas de proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulido fino.	1 000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Áreas de proceso de gran exactitud.	2 000

repentinos en el nivel de iluminación. Por otro lado, si se producen cambios repentinos de iluminación se dará el deslumbramiento, que se manifiesta con problemas de visión.

A continuación se mencionan algunas de las directrices que establece la Norma Oficial Mexicana con respecto a la iluminación en los centros de trabajo.

NORMA OFICIAL MEXICANA

La Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999, relativa a las condiciones de iluminación en los centros de trabajo, establece algunos puntos importantes como los siguientes:

Objetivo: Establecer las características de iluminación en los centros de trabajo, de tal forma que no sea un factor de riesgo para la salud de los trabajadores al realizar sus actividades.

Obligaciones del patrón:

- Mostrar a la autoridad del trabajo, cuando así lo solicite, los documentos que la presente Norma le obligue a elaborar.
- Efectuar y registrar el reconocimiento, evaluación y control de los niveles de iluminación en todo el centro de trabajo.
- Informar a todos los trabajadores, por escrito, sobre los riesgos que puede provocar el deslumbramiento o un deficiente nivel de iluminación.
- Elaborar el programa de mantenimiento de las luminarias, incluyendo los sistemas de iluminación de emergencia.
- Instalar sistemas de iluminación eléctrica de emergencia, en aquellas áreas del centro de trabajo donde la interrupción de la fuente de luz artificial represente un riesgo.

Obligaciones de los trabajadores:

- Informar al patrón de las condiciones no seguras, derivadas de la iluminación en su área de trabajo.
- Utilizar los sistemas de iluminación, de acuerdo a las instrucciones del patrón.
- Colaborar en las evaluaciones y observar las medidas de control.

La información que debe recabarse y registrarse es la siguiente:

- a) plano de distribución de áreas, luminarias, maquinaria y equipo;

- b) descripción del proceso de trabajo;
- c) descripción de los puestos de trabajo;
- d) número de trabajadores por área de trabajo.

Como se puede apreciar, la iluminación es un factor muy importante de seguridad en el medio ambiente de trabajo que rodea al individuo. Muchos estudiosos de la materia han determinado que la relación existente entre el trabajo y la luminosidad ha demostrado que una iluminación suficiente y adecuada al tipo de tarea que se realiza permite aumentar la productividad y reducir la ineficiencia, contribuyendo así a reducir indiscutiblemente el número de accidentes.

En la medida en que los accidentes obedecen a la fatiga, la iluminación adecuada constituye una medida preventiva, y a lo largo de los años la relación entre la mala iluminación y las altas tasas de accidentes ha quedado demostrada en una serie de publicaciones.

Hoy en día una buena iluminación es muy importante para la prevención de accidentes; donde existan riesgos de tropezones o caídas, hay muchas maneras de prevenir accidentes con una buena iluminación en los centros de trabajo. Con una buena iluminación en nuestro entorno se facilita la operación de nuestras actividades con la finalidad de incrementar nuestra productividad y ayuda a tener un confort en nuestro espacio laboral.

Ruido

El ruido es uno de los aspectos físicos más incómodos que se pueda tener en un centro de trabajo. Se define como un sonido no deseado o un sonido desagradable o molesto, pero es tan subjetivo que lo que es ruido para algunos, para otros no.

“Las ondas de sonido se originan por la vibración de algún objeto, que a su vez establece una sucesión de ondas de compresión y expansión a través del medio que las transporta, como aire, agua, entre otros. Así, el sonido no sólo se puede transmitir por aire y los líquidos, también a través de los sólidos, como son las estructuras de las máquinas.” (Niebel, 2001.)

Durante las últimas décadas, el efecto del ruido sobre la audición ha sido estudiado con creciente interés. El ruido constituye una de las más importantes amenazas a las células sensitivas del oído interno y, por tanto, a la audición.

La importancia que tiene la audición en el hombre se produce por la relación que se establece con el ambiente, la cual disminuye cuando se produce la sordera.

La audición es el sentido básico de detección, alerta y contacto, que nos permite estar en permanente relación con el medio, por lo que desempeña un papel fundamental en la comunicación e interacción humana.

Cuando un ruido se vuelve intenso, al poco tiempo se comienza a afectar la audición; al cabo de un par de horas, si éste continúa siendo intenso, puede ensordecir temporalmente; por ende, si se repite a lo largo del tiempo, el resultado es una disminución definitiva de la audición, provocando sordera.

El ruido es parte de la contaminación ambiental, por lo que afecta seriamente la capacidad auditiva de quienes lo sufren, a la vez que ejerce una influencia negativa, propiciando otros trastornos al organismo.

El ruido puede ser molesto y perjudicar la capacidad de trabajar al ocasionar tensión y perturbar la concentración. El ruido puede ocasionar accidentes al dificultar las comunicaciones y la identificación de señales de alarma; puede provocar problemas de salud crónicos y, además, hacer que se pierda el sentido del oído. Uno de los objetivos fundamentales de la ergonomía con respecto al ruido, es disminuirlo, para preservar el ambiente de trabajo.

El estudio de la acústica en los espacios cerrados está orientado a la disminución del ruido y al reparto uniforme de la energía sonora. El punto de partida es el control del ruido en su origen y, en etapas sucesivas, aislar el mismo mediante elementos entre la fuente y el lugar de trabajo, abasteciendo de equipo individual de protección y modificando la disposición de plantas en donde se genere ruido. *"Es más fácil el control de ruidos diferenciados, intermitentes o de diferentes intensidades que aquellos que son constantes, idénticos y demasiado cercanos"* (Ramírez, C., 1998).

La palabra ruido proviene del latín *rigitus*, que significa conjunto de sonidos diversos sin ninguna armonía.

El ruido se define frecuente y convenientemente como *"el sonido no deseado"*, *"definición que en su holgura permite que una fuente de sonido sea considerada como 'ruido' o 'no ruido' sólo con base en la reacción del que la escucha"* (Ramírez, C., 1998).

El sonido es toda aquella variación de presión (en el aire, agua u otro medio) que el sistema auditivo es capaz de detectar. Sin embargo, no todos los sonidos resultan agradables al oído. Éste es el caso del ruido, el cual se define como todo aquel sonido que resulta molesto e indeseable, principalmente por sus características irregulares.

En el medio ambiente se define como ruido a todo sonido no deseado. En el ambiente humano se considera como ruido todo sonido con una intensidad alta, puesto que siempre habrá alguien que no lo desee.

En muchos casos, sonidos significativos como la música pueden convertirse en "ruidos" por sobrepasar un nivel saludable para la audición, pero el daño del ruido no se limita solamente al oído, una excesiva exposición puede desencadenar diversos trastornos sobre el sistema cardiovascular, provocando alteraciones del ritmo cardíaco, riesgo coronario, hipertensión arterial y excitabilidad

vascular por efectos de carácter neurovegetativo. Sobre las glándulas endocrinas puede originar alteraciones hipofisarias y aumento de la secreción de adrenalina. En el aparato digestivo puede generar un incremento de la secreción ácida del estómago y de la secreción de hormonas suprarrenales, típico de las reacciones de alarma y del estrés agudo" (Ergoprojects.com).

El que un sonido resulte aceptable o no depende de tres cualidades: **intensidad, tono y timbre**. La **intensidad** se relaciona con la energía liberada por la fuente emisora y la distancia a la que se le detecta, de tal manera que el sonido puede ser fuerte, débil o moderado, dependiendo también del nivel auditivo individual, es decir, cada uno de los seres humanos tenemos un umbral del dolor, en el cual algunos tienen mayor capacidad que otros de soportar el ruido.

El **tono** de un sonido se halla determinado por su frecuencia. Si ésta es elevada, el sonido será agudo, pero si es baja, el sonido es grave. La frecuencia se mide en ciclos sobre segundos (hertz). El oído humano detecta ondas sonoras que vibran con una frecuencia entre 20 y 20 mil hertz, aunque solamente los niños son capaces de escuchar todo este rango de frecuencias, ya que esta capacidad disminuye notablemente con la edad. El ruido también puede acelerar este proceso de pérdida del oído, así como producir sordera temporal.

El ruido ambiental se refiere al cúmulo de niveles sonoros producidos por las fuentes emisoras de una comunidad, entre las que figuran la transportación terrestre y aérea, el ruido emitido al exterior por plantas industriales, el producido por la maquinaria de la industria de la construcción, el de los aparatos electrodomésticos, el emitido en centros de diversión, etcétera.

El ruido en el lugar de trabajo se puede controlar y combatir:

■ En su fuente

Combatir el ruido en su fuente es la mejor manera de controlar el ruido y, a menudo, resulta ser más barato que cualquier otro método. Para aplicar este método, puede ser necesario sustituir alguna máquina que genere ruido. El fabricante puede combatir el ruido en la fuente, haciendo que los aparatos sean menos ruidosos. Hoy día, muchas máquinas deben ajustarse a las normas vigentes sobre ruidos, por lo que antes de adquirir nuevas máquinas, por ejemplo, prensas o perforadoras, se debe comprobar si cumplen las normas sobre ruido. Es mejor dotar de un silenciador a la máquina que poner protectores de los oídos a los trabajadores.

■ Barreras

Si no se puede controlar el ruido en la fuente, puede ser necesario aislar la máquina, es decir, alzar barreras que

disminuyan el sonido entre la fuente y el trabajador o aumentar la distancia entre el trabajador y la fuente.

■ En el propio trabajador

El control del ruido en el propio trabajador, utilizando protección de los oídos, es, desafortunadamente, la forma más habitual, pero la menos eficaz, de controlar y combatir el ruido. Obligar al trabajador a adaptarse al lugar de trabajo es siempre la forma menos conveniente de protección frente a cualquier riesgo. Por lo general, hay dos tipos de protección de los oídos: tapones de oídos y orejeras, y ambos tienen por objeto evitar que un ruido excesivo llegue al oído interno.

Lo ideal sería controlar los ruidos de las máquinas desde su origen, lo que puede lograrse mediante la adecuada elección del equipo, sin embargo no siempre se puede aislar en su totalidad. Otra medida que puede servir en la determinación del puesto de trabajo es tomar como punto de partida que los responsables de la lucha contra el ruido tomen en cuenta los siguientes puntos: planificar una organización adecuada que permita aislar hasta donde sea posible los ruidos y concebir estructuras que impidan su propagación.

Existen reglamentaciones que establecen un control de ruido al interior de los locales de las empresas, a fin de proteger a los trabajadores en su exposición a los ruidos extremos.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-011-STPS-2001, CONDICIONES DE SEGURIDAD E HIGIENE EN LOS CENTROS DE TRABAJO DONDE SE GENERE RUIDO

Objetivo: Establecer las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido que, por sus características, niveles y tiempo de acción, sea capaz de alterar la salud de los trabajadores; los niveles máximos y los tiempos máximos permisibles de exposición por jornada de trabajo, su correlación y la implementación de un programa de conservación de la audición.

Campo de aplicación: Esta Norma rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo en los que exista exposición del trabajador a ruido.

Referencias: Para la correcta interpretación de esta Norma, deben consultarse las siguientes normas oficiales mexicanas vigentes:

NOM-017-STPS-1993, relativa al equipo de protección personal para los trabajadores en los centros de trabajo.

Obligaciones del patrón:

Mostrar a la autoridad del trabajo, cuando ésta así se lo solicite, la documentación que la presente Norma le obligue a elaborar o poseer. Contar con el reconocimiento y evaluación de todas las áreas del centro de trabajo donde haya trabajadores y cuyo Nivel Sonoro Auditivo sea igual o superior a 80 dB(A),¹ incluyendo sus características y componentes de frecuencia. Verificar que ningún trabajador se exponga a niveles de ruido mayor a los límites máximos permisibles de exposición a ruido establecidos en la Norma. En ningún caso debe haber exposición sin equipo de protección personal auditiva a más de 105 dB(A).

Límites máximos permisibles de exposición	
Nivel de Exposición al Ruido (NER)	Tiempo Máximo Permissible de Exposición (TMPE)
90 dB(A)	8 Horas
93 dB (A)	4 Horas
96 dB (A)	2 Horas
99 dB (A)	1 Hora
102 dB (A)	30 Minutos
105 dB (A)	15 Minutos

Proporcionar el equipo de protección personal auditiva, de acuerdo con lo establecido en la NOM-017-STPS-1993, a todos los trabajadores expuestos.

El programa de conservación de la audición aplica en las áreas del centro de trabajo donde se encuentren trabajadores expuestos a niveles de 85 dB(A) y mayores.

Implantar, conservar y mantener actualizado el programa de conservación de la audición, necesario para el control y prevención de las condiciones laborales aceptables.

Informar a los trabajadores y a la comisión de seguridad e higiene del centro de trabajo, de las posibles alteraciones a la salud por la exposición a ruido, y orientarlos sobre la forma de evitarlas o atenuarlas.

¹ El decibel es la medida que nos proporciona el nivel de ruido, y el número de decibeles que generan las máquinas en un centro de trabajo.

Obligaciones del trabajador:

Someterse a los exámenes médicos necesarios de acuerdo con el Programa de Conservación de la Audición.

Utilizar el equipo de protección personal auditiva proporcionado por el patrón, de acuerdo con las instrucciones para su uso, mantenimiento, limpieza, cuidado, reemplazo y limitaciones.

Evaluación: Emplear los métodos de evaluación e instrumentos de medición establecidos en la Norma Oficial Mexicana. Determinar los Niveles de Exposición al Ruido, aplicando cualquiera de los métodos establecidos en la Norma. Asentar los resultados en la documentación del programa de conservación de la audición.

Cuando las exposiciones al ruido igualen o excedan el nivel de exposición al ruido de 80 dB(A), el reconocimiento y evaluación se repetirá cada dos años o dentro de los noventa días posteriores a un cambio de producción, procesos, equipos, controles u otros cambios, que puedan ocasionar variaciones en los resultados del estudio anterior.

Control: Cuando el nivel de exposición al ruido supere los límites máximos permisibles de exposición establecidos, se deben aplicar una o varias de las medidas de control siguientes, para mantener la exposición dentro de lo permisible.

Las medidas técnicas de control, consistentes en: efectuar labores de mantenimiento preventivo y correctivo de las fuentes generadoras de ruido, sustitución o modificación de equipos o procesos, reducción de las fuerzas generadoras del ruido, modificar los componentes de frecuencia con mayor posibilidad de daño a la salud de los trabajadores, distribución planificada y adecuada del equipo en la planta, acondicionamiento acústico de las superficies interiores de los recintos, instalación de cabinas, envolventes o barreras totales o parciales, interpuestas entre las fuentes sonoras y los receptores.

De lo expuesto sobre las características y los aspectos relativos al ruido, se tiene que para que el ser humano pueda llevar a cabo de buena manera sus tareas dentro de su entorno laboral es necesario considerar el cuidado de su cuerpo, enfocándose muy particularmente en sus sentidos.

El oído es uno de los sentidos que con mayor frecuencia sufre daños irreversibles en el trabajador, y esto se origina tanto por causas directas como indirectas, por lo cual, dentro del rol que juega el trabajador, es importante

que éste se interese y preocupe sobre la prevención de daños.

Por último, cabe hacer mención que el decibelímetro es el aparato que sirve para hacer la medición precisa de la cantidad de ruido que se tiene en el puesto de trabajo, o en los centros de trabajo como oficinas, locales comerciales, escuelas, naves industriales, etcétera.

Temperatura

El desempeño de los operadores en un espacio de trabajo puede deteriorarse por diferentes razones ambientales, como, por ejemplo, las temperaturas ambientales muy bajas o elevadas, así como también los elevados niveles de humedad pueden disminuir la capacidad de trabajo de los operadores. Es por ello que, con la ayuda de la ergonomía, se busca disminuir los problemas y el riesgo a los trabajadores a través, también, del diseño y la selección de equipo de protección personal de acuerdo con la especialidad del trabajo que se desempeña. Obviamente, en dicha selección y diseño deben intervenir el análisis de las características antropométricas del trabajador, así como sus limitaciones y sus capacidades físicas, además de su interacción con los factores ambientales que lo rodean.

Para el funcionamiento, conservación y para evitar riesgos a los trabajadores, los edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo deben diseñarse y adaptarse a las condiciones requeridas respecto de la seguridad industrial y las especificaciones ergonómicas.

Existen algunas actividades y lugares de trabajo en los que los trabajadores reciben la generación de energía de un proceso a elevadas temperaturas; por ejemplo, reciben aire caliente procedente del interior de hornos o deben mantenerse cerca de hornos para monitorear el proceso. Todas estas situaciones, entre otras, repercuten en la salud y el bienestar de las personas expuestas a estas condiciones. Generalmente, en estas situaciones la solución posible es alejar a las personas de las zonas con altas temperaturas o llevar los puestos de control a cabinas aisladas o lugares alejados donde la temperatura sea menor; o bien, es posible hacer que las bandas transportadoras o rodillos sobre los que se deslizan los productos procedentes de los hornos lleven un recorrido más largo para permitir el enfriamiento de las piezas hasta que las recoge el trabajador, e incluso hacer que estos transportadores se diseñen de tal manera que los trabajadores no se expongan directamente al flujo de aire procedente de la salida de los hornos.

Por lo anterior, la participación de los ergónomos en el estudio del ambiente térmico, entre otras actividades, se enfoca a: *encontrar las condiciones que faciliten la regulación térmica del cuerpo, la evaluación y el diseño de la vestimenta y equipo de seguridad personal adecuados*

para las condiciones climáticas donde se realiza el trabajo. Determinación de la carga de trabajo y su duración con base en las condiciones ambientales" (Ergoprojects.com).

En los estudios que se han realizado en esta área, la ergonomía ha contemplado el riesgo que representa en la salud y la incomodidad asociada con el trabajo en diversas condiciones climáticas extremas, así como el cambio intermitente de temperaturas ambientales.

Con base en lo anterior, a continuación se mostrarán algunos conceptos básicos y aspectos relacionados con el factor temperatura que deberán considerarse para el diseño y acondicionamiento de los espacios de trabajo, con la finalidad de brindar seguridad y confort al trabajador.

Temperatura se define "como la magnitud que permite expresar la cantidad de energía en forma de calor que contiene un cuerpo, misma que depende del grado de agitación térmica de sus átomos y moléculas" (Ergoprojects.com).

Para el ser humano es de gran importancia mantener y regular la temperatura interna de su cuerpo, ya que igual que toda materia en general, tiende a igualar su temperatura con el ambiente que lo rodea. La regulación o compensación térmica del cuerpo necesita un adecuado balance entre el calor que se produce por metabolismo, la cantidad que se produce por las actividades musculares y la cantidad de calor que pierde hacia el ambiente con la finalidad de mantener su temperatura interna entre 36 y 37 °C. Para ello, es necesario tener un ambiente que permita establecer dicho balance o equilibrio y evitar así el estrés térmico.

El estrés por calor es la carga corporal a la que el cuerpo debe adaptarse y es generado externamente por la temperatura ambiental e internamente por el metabolismo del cuerpo. Un aumento en la temperatura ambiente puede causar un incremento en la frecuencia cardíaca, efecto contrario a cuando disminuye la temperatura. Por tanto, para un trabajo determinado, el estrés metabólico puede ser influido por el calor ambiental.

El estrés por frío, en cambio, es la exposición del cuerpo a temperaturas bajas. Los síntomas sistémicos que el trabajador puede presentar cuando se expone al frío incluyen estremecimiento, pérdida de la conciencia, dolor agudo, pupilas dilatadas y fibrilación ventricular. El frío puede reducir la fuerza de agarre con los dedos y la pérdida de la coordinación.

El calor excesivo puede causar un estado de choque, lo cual puede poner en peligro la vida del trabajador, provocando un daño irreversible a su salud. Una condición menos seria asociada con el calor excesivo incluye fatiga, calambres y alteraciones relacionadas por golpe de calor, por ejemplo, deshidratación, desequilibrio hidroelectrolítico, pérdida de la capacidad física y mental durante el trabajo.

El intercambio térmico entre el hombre y el ambiente, ya sea en forma de calor radiante, por convección o por evaporación, depende de cuatro parámetros que son:

- **Temperatura radiante media.** Influye sobre el intercambio por radiación entre el hombre y el medio ambiente.
- **Temperatura del aire de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo.** Influyen en el intercambio térmico por convección.
- **Humedad ambiente** (expresada en absoluta o relativa). Influye sobre la evaporación de intercambio de calor por convección y por evaporación.

"Condición térmica elevada es la situación ambiental capaz de transmitir calor al cuerpo humano o evitar que el cuerpo humano transmita calor hacia el medio en tal magnitud que pueda romper el equilibrio térmico del trabajador, y tienda a incrementar su temperatura corporal central."

El personal ocupacionalmente expuesto (POE) son los trabajadores expuestos a una condición térmica extrema durante el desarrollo de sus actividades laborales." (NOM-15-STPS-2001.)

La **percepción térmica** es la sensación que experimenta una persona cuando se expone a un ambiente con una cierta temperatura. Por encima de un cierto valor de temperatura, la mayoría de las personas experimenta una sensación de calor, cuando las temperaturas son muy altas, y lo mismo ocurre si el ambiente es demasiado frío.

La **sensación térmica** es la temperatura que el hombre siente realmente en su cuerpo, e indica el poder de enfriamiento del aire sobre las partes anatómicas expuestas.

R.G. Stedman (EUA, 1979) desarrolló el parámetro sensación térmica como efecto combinado del calor y la humedad, a partir de estudios sobre la fisiología humana y sobre la transferencia de calor entre el cuerpo, la vestimenta y el entorno. El problema térmico en las áreas de trabajo se clasifica en: calor seco, calor húmedo y frío.

El calor seco se presenta en las industrias como la de fabricación del vidrio, fundiciones, laminación, etc., y en las cuales la carga térmica que influye en los trabajadores se ve incrementada por el calor que escapa de los medios y etapas de los procesos. Pero, al mismo tiempo, estas industrias tienen la ventaja de que al carecer de humedad el ambiente, la capacidad de refrigeración por evaporación del hombre no se

ve afectada, es decir, el balance térmico de estos trabajadores está regido por la evaporación de la transpiración. En industrias con procesos de fabricación que generan calor húmedo, como las de vulcanización del caucho, planchado en tintorerías, minas profundas, etc., la humedad ambiente hace que la evaporación se reduzca y, por tanto, el trabajador no puede disipar el calor excedente que es producido por su metabolismo y por el incremento en el calor radiante del ambiente.

En industrias con procesos de fabricación que generan frío, como frigoríficos, industria del pescado, fabricación de hielo, helados, etc., el problema es contrario a los dos anteriores. No es necesario disipar el calor del metabolismo, sino que requiere suministrar calor para compensar las pérdidas del trabajador.

La temperatura ideal para realizar una tarea en particular siempre dependerá del trabajador que la lleve a cabo, de su estado físico, su aclimatación y sus costumbres. El procedimiento para mantener las condiciones atmosféricas en buen estado de confort es el del aire, el cual permite establecer las condiciones del ambiente óptimas en los lugares de trabajo, ya sea mediante la regulación automática de la temperatura y su grado de humedad, o bien por la renovación y purificación del aire a través del intercambio con la atmósfera exterior.

Existen otros factores que afectan o influyen en la percepción térmica, como los que se mencionan a continuación:

■ Sexo

En algunos estudios se ha concluido que las mujeres tienen menor capacidad para la adaptación al ambiente térmico que los hombres, esto se debe, por un lado, a que tienen una menor capacidad cardiovascular además de que la temperatura de su piel, la capacidad de evaporación y su metabolismo son ligeramente inferiores a los del hombre.

■ Edad

Generalmente se piensa que no existe diferencia en la preferencia de temperatura entre personas jóvenes y adultas. Sin embargo, con la edad se reduce el metabolismo de las personas mayores, teniendo como consecuencia la reducción en la producción de calor, lo que se compensa con la reducción en la sudoración, es decir, en la capacidad de perder calor por evaporación.

■ Constitución corporal

La producción de calor es proporcional al volumen del cuerpo y la disipación es proporcional a la superficie. Así, mientras más corpulenta sea una persona, la relación

superficie-volumen será menor junto con su capacidad de disipar calor al ambiente; al contrario de una persona delgada, que al tener una mayor superficie expuesta con relación a su volumen, la capacidad de disipación que tiene es mayor. En otras palabras, dos individuos, uno corpulento y otro delgado, en un ambiente cálido, sufren diferentes reacciones; por ejemplo, la persona corpulenta la pasará peor por perder menos calor en relación con la que produce, al contrario que en un ambiente frío, en tanto que el individuo delgado perderá más calor proporcionalmente y pasará más frío en ambientes con baja temperatura.

■ Tasa de metabolismo

El metabolismo basal son las reacciones químicas necesarias para mantener la actividad fisiológica básica que, a su vez, mantiene las funciones vitales del organismo. El metabolismo basal varía esencialmente dependiendo de la edad, el sexo y la complexión física.

■ Vestimenta

La vestimenta tiene un efecto aislante frente a las condiciones ambientales y evita la pérdida de calor del cuerpo, dependiendo de las condiciones ambientales. En un clima frío es deseado el efecto aislante de la ropa, para evitar las pérdidas de calor hacia el ambiente, este efecto se produce al crearse una cámara de aire entre el cuerpo y el vestido, que actúa como aislante, además de evitar el contacto con el aire en movimiento del ambiente. En un clima cálido seco, la vestimenta evita la incidencia solar directa en el cuerpo y reduce la tasa de evaporación del sudor hacia el ambiente, ya que sin esta protección la evaporación del sudor sería muy alta debido a la sequedad del aire.

■ Historial térmico

Por historial térmico se entiende la estancia espacial y temporal en distintos ambientes térmicos, la cual influye en la percepción actual del ambiente térmico, debido a que en parte nuestros sentidos funcionan por comparación o contraste. En la escala inmediata esto se da cuando, por ejemplo, entramos en un sitio climatizado a 25 °C y posteriormente salimos al exterior que se encuentra a una temperatura de 30 °C o más; en el primer momento, los 25 °C nos causan una sensación de frío, cuando después de unos minutos la misma temperatura la percibimos como confortable. En una escala mediata, podemos pensar en los cambios ambientales estacionales; ya que es claro que el organismo se va aclimatando conforme el tiempo cambia, lo que hace que toleremos más el frío o el calor.

■ Tiempo de permanencia

El tiempo de permanencia afecta a la percepción del ambiente en el sentido de que el organismo, al exponerse a

condiciones de calor o de frío, tiene que realizar una labor para obtener un equilibrio térmico, ya sea para disipar calor o para evitar la pérdida de éste. Esto implica un desgaste físico que el cuerpo no puede mantener indefinidamente. Y si la cantidad de calor perdida o ganada es inferior a la que puede producir o disipar el cuerpo, la masa de éste se incrementará o disminuirá su temperatura. Mientras más extremas sean las condiciones, más rápido se llegará a este límite, llamado estrés térmico. Pero no sólo las condiciones extremas causan el estrés térmico, también un tiempo de permanencia prolongado puede llevar a situaciones semejantes.

El termómetro² es un instrumento que mide la temperatura de un sistema. Una forma usual de hacerlo es utilizando una sustancia que tenga una propiedad que cambie de manera regular con la temperatura, como el mercurio (Hg) dentro de un tubo de vidrio, que al calentarse se expande y al enfriarse se contrae, lo que se visualiza en una graduación del vidrio.

Respecto de la temperatura, también existe una reglamentación que debe ser respetada en los centros de trabajo:

NORMA OFICIAL MEXICANA REFERENTE A TEMPERATURA

Norma Oficial Mexicana NOM-015-STPS-2001, Condiciones Térmicas Elevadas o Abatidas en los centros de trabajo.

Objetivo: Establecer las condiciones de seguridad, los niveles y tiempos máximos permisibles de exposición a condiciones térmicas extremas, que por sus características, tipo de actividades, nivel, tiempo y frecuencia de exposición, sean capaces de alterar la salud de los trabajadores.

Campo de aplicación: Esta Norma aplica en todos los centros de trabajo del territorio nacional en los que exista exposición de los trabajadores a condiciones térmicas, provocadas por fuentes que generen que la temperatura corporal de los trabajadores sea inferior a 36 °C o superior a 38 °C.

Obligaciones del patrón:

1. Mostrar a la autoridad del trabajo, cuando ésta así lo solicite, los documentos que la presente Norma le obligue a elaborar o poseer.
2. Informar a los trabajadores de los riesgos de trabajo por exposición a temperaturas extremas y mos-

trar a la autoridad del trabajo evidencias, como pueden ser las constancias de habilidades, circulares, folletos, carteles, o a través de opiniones de los trabajadores, que acrediten que han sido informados de los riesgos.

3. Realizar el reconocimiento, evaluación y control, según lo establecido en el Capítulo 7 de la Norma.
4. Elaborar por escrito y mantener actualizado un informe que contenga el registro del reconocimiento, evaluación y control de las áreas, de acuerdo con lo establecido en el Capítulo 11 de la Norma.
5. Aplicar el método para determinar el tiempo de exposición de los trabajadores, considerando el tipo de condición térmica extrema a la que se expongan, de conformidad con lo que establece la norma, según sea el caso.
6. Proporcionar al POE el equipo de protección personal, según se establece en la NOM-017-STPS-1993.
7. Señalar y restringir el acceso a las áreas de exposición a condiciones térmicas extremas, según lo establecido en la NOM-026-STPS-1998.
8. Proporcionar capacitación y adiestramiento al POE en materia de seguridad e higiene, donde se incluyan los niveles máximos permisibles y las medidas de control establecidas de acuerdo con la actividad que desempeñen, a fin de evitar daños a la salud, derivados de la exposición a condiciones térmicas extremas.
9. Llevar a cabo la vigilancia a la salud del POE, según lo que establezcan las Normas Oficiales Mexicanas que al respecto emita la Secretaría de Salud. En caso de no existir normatividad de dicha Secretaría, el médico de la empresa determinará el contenido de los exámenes médicos y la vigilancia a la salud, según lo establecido.
10. En los centros de trabajo en que las condiciones climáticas pueden provocar que la temperatura corporal del trabajador sea inferior a 36 °C o superior a 38 °C, cumplir únicamente con lo establecido en los Apartados 1, 2, 6 y 9.

Obligaciones del personal ocupacionalmente expuesto:

1. Colaborar en las actividades derivadas del reconocimiento, evaluación y control que se requieran.

² El termómetro es un instrumento que sirve para medir la temperatura. El más usual se compone de un bulbo de vidrio que en su tubo capilar contiene mercurio.

2. Participar en las actividades de capacitación y adiestramiento en materia de seguridad e higiene, establecidas por el patrón.
3. Someterse a los exámenes médicos para valorar los riesgos a su salud, con motivo de la exposición a condiciones térmicas extremas y proporcionar verazmente la información que le solicite el médico que realice dicho examen.
4. En caso de tener síntomas de aumento o decremento de su temperatura corporal, notificarlo al patrón.

Vibraciones

La razón principal para analizar y diagnosticar el estado de un operador es determinar las medidas necesarias para corregir la conducción de vibración y reducir el nivel de las fuerzas vibratorias no deseadas y no necesarias. De manera que, al estudiar los datos, el interés principal deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes de la vibración, la determinación de las causas y la corrección del problema que éstas representan.

"En su forma más sencilla, la vibración es todo movimiento que experimenta un cuerpo cualesquiera a partir de un punto o posición fija. Es un movimiento intermitente, pues su característica principal es que después de moverse el cuerpo tiende a regresar a la posición original." (Flores, Cecilia, 2001, p. 150.)

La vibración se puede definir simplemente como cualquier movimiento que hace el cuerpo alrededor de un punto fijo. Este movimiento puede ser regular, como el peso en el extremo de un resorte, o tener una naturaleza azarosa. La vibración que se experimenta de una maquinaria suele ser compleja, pero es un movimiento regular; sin embargo, mediante el empleo de las técnicas de análisis apropiadas, cualquier movimiento complejo puede ser definido en términos de varios componentes simples.

En otras palabras, el movimiento de un cuerpo en vibración puede definirse normalmente en términos de dos parámetros: **frecuencia** e **intensidad de la vibración**.

La **frecuencia** es esencialmente una indicación de la velocidad del movimiento en ciclos por segundos o hertz ($1 \text{ cps} = 1 \text{ Hz}$). Así, se dice que el cuerpo que vibra se mueve de un punto fijo a una desviación máxima de ese punto, y de regreso a la desviación mínima, y luego nuevamente de regreso a la posición del punto fijo original. El número de veces que hace esto en un tiempo específico (normalmente un segundo) es la frecuencia del movimiento (o su número de ciclos por segundo). El tipo de movimiento se muestra en la figura 13.1 y es el básico de todos los movimientos y el que se conoce como movimiento sinusoidal.

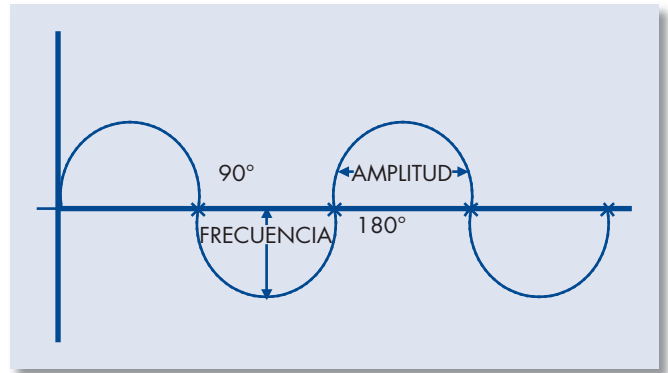


Figura 13.1. Diagrama del movimiento sinusoidal.

La dirección de la vibración se define en términos de tres coordenadas: vertical (z), lateral (y) y antes-después (x). En el ser humano, estas coordenadas pasan a través de su tórax, en la región del corazón y están relacionadas con la espalda, el pecho, los costados, los pies y la cabeza. Esto significa que las direcciones físicas del movimiento para un operario recostado son diferentes que para uno que está de pie.

El cuerpo humano es una estructura muy compleja que se compone de diferentes órganos, huesos, articulaciones, músculos, etc.; cada parte tiene frecuencias de resonancia distintas. Por tanto, el daño estructural, debido a la amplificación de la vibración, puede ocurrir si el cuerpo vibra como consecuencia de estimulaciones de vibraciones fuertes con frecuencias cercanas a las resonantes. Los daños a la salud se pueden presentar debido a la vibración mecánica, la cual se ubica en dos categorías:

1. La que contiene cambios que se le atribuyen a la frecuencia de vibración. Éstas pueden ser ocasionadas por exposición prolongada a estímulos vibrantes, como herramientas de alto poder industrial, martillos neumáticos, cinceladores, escaladoras, desarmadores, remachadoras, perforadoras, rompedoras de roca, serruchos empleados en aserraderos, moto sierras, etcétera.
2. Los efectos de la segunda categoría están relacionados con el "impacto" de los estímulos sobre el cuerpo, esto es, con la intensidad y la duración de las vibraciones.

Las exposiciones profesionales a las vibraciones de cuerpo completo se presentan en, por ejemplo, el transporte y algunos centros industriales, principalmente en donde hay motores, herramientas de mano y donde la vibración se transmite a los dedos, manos y brazos del operario, dando lugar a alteraciones de las funciones fisiológicas.

Las alteraciones en las funciones fisiológicas se producen cuando los sujetos están expuestos a un ambiente de vibraciones de cuerpo completo, y cuando dichas vibraciones son altas en frecuencia e intensidad y la duración de la jornada laboral es alta, ocasionando malestares como dolor estomacal, alteraciones de la columna vertebral, alteraciones típicas de una “respuesta de sobresalto”, aumento de la frecuencia cardíaca, entre otras.

Las vibraciones también provocan efectos en el desempeño laboral, principalmente cuando las partes del cuerpo son afectadas por la vibración de maquinaria, debido a que se produce el efecto de degradación en control motor y en los globos de los ojos (lo que provoca dificultad para fijar la vista).

Las vibraciones transmitidas a las manos provocan adormecimiento y disminución de la irrigación sanguínea, entre otros malestares. Las vibraciones en las manos están causadas por distintos procesos de la industria, la agricultura, la minería y la construcción, en los que se agarran o empujan herramientas o piezas vibrantes con las manos o los dedos. La exposición a las vibraciones transmitidas a las manos puede provocar diversos trastornos, además de los ya mencionados.

Dependiendo de la frecuencia del movimiento oscilatorio y de su intensidad, la vibración puede causar sensaciones muy diversas, que van desde el simple no estar cómodo hasta alteraciones graves de la salud, pasando por la interferencia con la ejecución de ciertas tareas como la lectura, la pérdida de precisión al ejecutar movimientos o la pérdida de rendimiento debido a la fatiga.

El mayor efecto que se observa en algunos órganos o sistemas del cuerpo humano cuando se encuentran expuestos a vibraciones de determinadas frecuencias está relacionado con la frecuencia de resonancia de esos órganos, lo que potencia el efecto de la vibración.

Para prevenir los efectos de las vibraciones en el cuerpo humano se puede actuar mediante medidas de tipo administrativo y técnico.

Las acciones de tipo administrativo tienen como objetivo común la disminución del tiempo diario de exposición a las vibraciones; dentro de este grupo se incluyen acciones como la organización del trabajo, el establecimiento de pausas en el trabajo, la rotación de puestos o la modificación de las secuencias de montaje.

Las acciones técnicas tienen como objetivo la disminución de la intensidad de vibración que se transmite al cuerpo humano, ya sea disminuyendo la vibración en la

fuente o su origen, evitando su transmisión hasta el cuerpo o utilizando equipos de protección personal.

■ Reducción de la vibración en la fuente

Aquí es donde la ergonomía actúa de manera preventiva o correctiva, diseñando o mejorando los sistemas de producción. Normalmente, es el fabricante de las herramientas o el instalador de un equipo el responsable de conseguir que la intensidad de la vibración sea tolerable, para ello también es importante un diseño ergonómico de los asientos y las empuñaduras. En algunas circunstancias, es posible modificar una máquina para reducir su nivel de vibración, cambiando la posición de las masas móviles, modificando los puntos de anclaje o las uniones entre los elementos móviles.

■ Aislamiento de las vibraciones

El uso de aislantes de vibración, como muelles o elementos elásticos en los apoyos de las máquinas, masas de inercia, plataformas aisladas del suelo, manguitos absorbentes de vibración en las empuñaduras de las herramientas, asientos montados sobre soportes elásticos, etc., son sólo algunas acciones que, aunque no disminuyen la vibración original, impiden que pueda transmitirse al cuerpo, con lo que se evita el riesgo de daños a la salud.

■ Equipos de protección individual

Si no es posible reducir la vibración transmitida al cuerpo, o como medida de precaución suplementaria, se debe recurrir al uso de equipos de protección individual (guantes, cinturones, botas) que aislen la transmisión de vibraciones. Al seleccionar estos equipos, hay que tener en cuenta su eficacia frente al riesgo, educar a los trabajadores en su forma correcta de uso y establecer un programa de mantenimiento y sustitución.

■ Otras medidas de prevención

Es conveniente la realización de un reconocimiento médico específico anual para conocer el estado de afectación de las personas expuestas a vibraciones y así poder actuar en los casos de mayor susceptibilidad. Asimismo, debe informarse a los trabajadores de los niveles de vibración a que están expuestos y de las medidas de protección disponibles, también es útil mostrar a los trabajadores cómo pueden optimizar su esfuerzo muscular y postura para realizar su trabajo. El aparato que sirve para medir las vibraciones es el osciloscopio.³

³ El osciloscopio es un instrumento que permite visualizar fenómenos transitorios así como formas de ondas en circuitos eléctricos y electrónicos. Permite medir la intensidad y la frecuencia de las vibraciones que se generan en los centros de trabajo.

Al igual que sucede con el ruido, la temperatura y otros aspectos, existe una reglamentación que regula este aspecto para evitar que los trabajadores experimenten problemas por esta causa.

NORMA OFICIAL MEXICANA REFERENTE A LAS VIBRACIONES

Norma Oficial Mexicana NOM-024-STPS-1993 relativa a las Condiciones de Seguridad en los Centros de Trabajo donde se generen Vibraciones.

Objetivo: Establecer las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se generen vibraciones que, por sus características y tiempo de exposición, sean capaces de alterar la salud de los trabajadores.

Campo de aplicación: En los centros de trabajo donde por las características de operación de algunas máquinas se generen vibraciones.

Obligaciones del patrón:

1. Cuando existan vibraciones que puedan afectar la salud de los trabajadores, efectuar el reconocimiento, evaluación y control, a fin de disminuir el posible efecto de las mismas.
2. Contar con el o los perfiles del puesto de los trabajadores que estén expuestos a vibraciones.
3. Informar a los trabajadores y a la Comisión Mixta de Seguridad e Higiene de los riesgos que representan las vibraciones para su salud.
4. Establecer los procedimientos seguros y las medidas de control.
5. Capacitar a los trabajadores sobre el uso de la maquinaria y equipo donde se generen vibraciones.
6. Donde se generen vibraciones, requerir como edad mínima 18 años y la edad máxima será determinada por las condiciones de salud del trabajador, previa autorización del médico designado por el patrón.

Obligaciones de los trabajadores:

1. Cumplir con las medidas de seguridad establecidas por el patrón.
 2. Participar en la capacitación y el adiestramiento proporcionados por el patrón.
 3. Colaborar con los exámenes médicos que se les practiquen.
- 3.3 Los miembros de la Comisión Mixta de Seguridad e Higiene deben vigilar el seguimiento a

las medidas preventivas en lugares donde se tenga equipo o maquinaria que genere vibraciones.

- 3.4 Las Autoridades del Trabajo, los patrones y los trabajadores promoverán, mediante exámenes médicos de ingreso y periódicos, el mejoramiento de las condiciones de salud de los trabajadores que vayan a estar o estén expuestos a vibraciones en los centros de trabajo a que se refiere esta NOM-STPS-. Los exámenes médicos periódicos se practicarán como mínimo cada 6 meses o con la periodicidad que se requiera, de acuerdo con la exposición (corporal segmentaria o corporal total) de cada caso.

Las medidas preventivas para disminuir daños en la salud del trabajador por estar expuesto a vibraciones se pueden dividir en dos frentes. El primero está enfocado a neutralizar la fuente de las vibraciones; consultar y respetar todas las indicaciones sobre riesgos que figuran en el manual de instrucciones de la máquina, no sólo las referidas a la utilización normal de la misma, sino también en la instalación, manutención, mantenimiento o cualquier otra condición de uso que puede darse, y la segunda, uso de equipo de protección personal, se implementaría en caso de no lograr disminuir los niveles de vibración con la primera medida.

Presión atmosférica

En la actualidad, se da poca importancia en el ámbito laboral a la presión atmosférica, ya que son relativamente pocas las personas que están expuestas en sus centros de trabajo a este aspecto físico, que también causa estragos en las personas que desempeñan sus labores sometidas a presiones aumentadas o presiones disminuidas.

Presión se define como la acción o efecto de comprimir alguna cosa. La atmósfera ejerce presión hacia los cuerpos que se encuentran en la Tierra, entre ellos el ser humano.

Así como las radiaciones solares son necesarias para la vida, también es sabido que el aire atmosférico también lo es. *“La atmósfera ejerce sobre la Tierra presión, que a nivel del mar es de 760 milímetros de mercurio (Hg). Esta presión va disminuyendo a medida que ascendemos o va aumentando a medida que descendemos.*

Si la presión atmosférica disminuye ascendiendo, aumenta inversamente proporcional cuando se desciende; es decir, a diferentes profundidades de ríos, mares, pozos, minas, la presión atmosférica aumentará 1 atmósfera por cada 10 metros” (Instructivo Núm. 14, IMSS).

Los trabajadores sometidos a disminución de la presión atmosférica, como los pilotos y la tripulación aérea, los guías de alpinistas, los elevadoristas, el personal de retransmisoras en montañas o cerros, están expuestos a sufrir trastornos orgánicos cuando no se ha efectuado la adaptación a este género de trabajo. A su vez, los trabajadores que están expuestos al aumento de presión atmosférica, como los mineros o los buzos, también se exponen a alteraciones en su salud cuando el aumento de presión es súbito, sin previa ejecución del entrenamiento que favorezca la adaptación orgánica.

Cuando los buzos sufren descompresión brusca, el nitrógeno se infiltra en los tejidos y en la sangre y aparecen burbujas de gas, un síndrome grave que puede desencadenar la muerte del trabajador. La narcosis por medio del nitrógeno aspirado por un buzo también es una realidad que puede provocarle la muerte.

Por lo que respecta a los mineros, ellos tienen bastantes cosas en su contra laboralmente hablando, además de sufrir la presión atmosférica, deben aguantar, en la mayoría de los casos, temperaturas elevadas o abatidas que se presentan en el interior de la Tierra, además de una mala iluminación artificial, ya que la luz natural no les llega por las profundidades que tienen algunas minas, y una mala ventilación; asimismo, están sometidos a las vibraciones que se generan en las minas y al ruido que puede generarse. Los mineros son un claro ejemplo de un sector laboral que requiere mejoras en sus condiciones laborales en sus lugares de trabajo.

En caso contrario, el mal de montaña es una enfermedad provocada por el enrarecimiento del aire y la disminución de la presión atmosférica, que sufren todos quienes laboran en las alturas. Entre ellos, también están los elevadoristas de edificios altos, ya que esos edificios cuentan con sistema de elevadores rápidos. Algunos de los trastornos característicos del mal de montaña son: enrojecimiento de la piel; congestión de órganos encefálicos; hemorragias por nariz, encías y pulmones; vómitos, mareos y pérdida del equilibrio en la posición de pie, entre otros síntomas. Cuando un trabajador presente alguno de los síntomas mencionados hay que estar alertas para que no se agudice la sintomatología, ya que puede provocar la muerte.

Uno de los trabajos en donde sí se presta atención es el de los pilotos aviadores, ya que se les somete continuamente a exámenes como electrocardiogramas, encefalogramas, exámenes de la vista, psicológicos, entre otros.

Para cada una de las actividades laborales mencionadas anteriormente existen normas, tanto nacionales como internacionales, que regulan el desempeño de la actividad de los trabajadores que están expuestos a presiones aumentadas y presiones disminuidas. La ergonomía en estas actividades sugiere revisar que tanto las minas, los eleva-

dores, los aviones, las redes de telecomunicación de retransmisión, entre otros, tengan las condiciones físicas de acuerdo con las normas que rija a cada uno de ellos, y en caso de que no se cumpla la reglamentación, la ergonomía hará lo propio referente a iluminación, temperatura, ruido, vibraciones y ventilación.

Entorno vital

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente publicada en el Diario Oficial de la Federación el veintiocho de enero de mil novecientos noventa y ocho, define al medio ambiente como: "el conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en el espacio y tiempo determinado".

Por otra parte, en España podemos encontrar una definición que el Tribunal Constitucional español ha sometido al indicar que: *"en la Constitución y en otros textos el medio ambiente o el ambiente es, en pocas palabras, el entorno vital del hombre en un régimen de armonía, que reúne lo útil y lo grato. Es decir, comprende una serie de elementos o agentes geológicos, climáticos, químicos, biológicos, psíquicos y sociales que rodean a los seres vivos y que actúan sobre ellos para bien y para mal, condicionando su existencia, su identidad, su desarrollo".*

El medio ambiente no puede reducirse a la suma de los recursos naturales y su base física, sino que es la interacción compleja de las relaciones de todos los elementos, que por sí mismos, tienen existencia propia y exterior, pero cuya interconexión les dota de un significado trascendente, más allá de lo individual que tenga cada uno. Se trata de un concepto estructural cuya idea rectora es el equilibrio de sus factores.

El entorno vital, donde los individuos nos encontramos inmersos, cuenta con características físicas en nuestro medio que se refieren a las características arquitectónicas, como el espacio físico, que constituye el diseño y la distribución de los edificios, su funcionalidad y los artículos con que cuentan en su interior. También el espacio personal está dentro del entorno vital de las personas, ya que es el espacio que circunda de una manera inmediata al individuo, por lo general con una frontera invisible en la que no se admite la entrada a intrusos. Este espacio se dilata y se contrae, dependiendo de si el invasor es un allegado o un desconocido.

La territorialidad es otro aspecto que limita; éste se refiere a la capacidad del entorno físico para crear zonas perceptibles de influencia territorial, entendiéndose que es el estado real en el cual el individuo toma posesión.

El espacio defendible se refiere a los entornos de resistencia que tiende a impedir la delincuencia, al crear la expresión física de un tejido social que se defiende, en el que la territorialidad latente y el sentido de la comunidad de los que habitan puede traducirse en la responsabilidad de asegurar un espacio vital seguro, productivo y confortable.

Dentro del entorno vital, subyacen los diferentes tipos de servicio, como: el sistema de transporte público, hospitales, drenaje, red eléctrica, etc., y todo lo relacionado que apoye al ser humano para llevar un nivel de vida mejor, tanto personal como laboral.

Concluyendo el presente estudio, se tiene como resultado el trinomio hombre-máquina-entorno, el cual reúne las condiciones que cada uno de los sistemas debe tener para que su funcionamiento sea correcto. La finalidad de este trinomio es que la operación de uno de los componentes no altere a los otros dos, sino que su operación sea estable y los tres interactúen de manera correcta, para que se cumpla la finalidad de la ergonomía: brindar confort y seguridad al individuo en su puesto de trabajo. A continuación, se ilustra el contenido de cada uno de los sistemas.

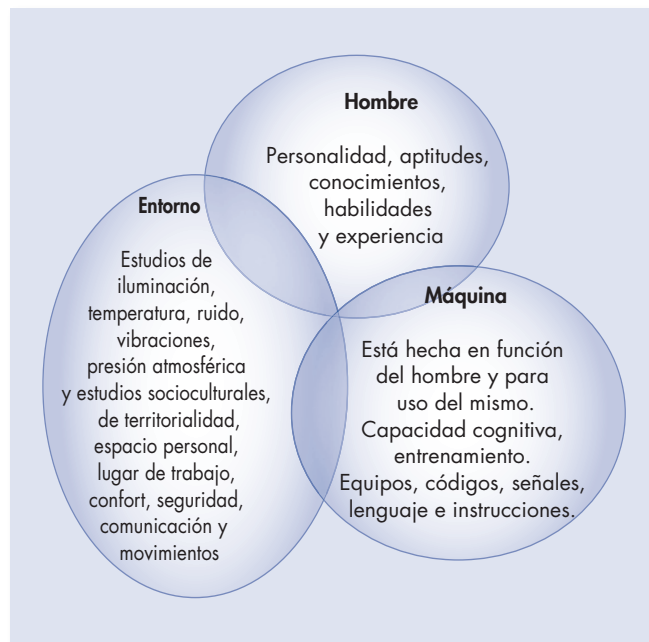


Figura 13.2. Trinomio hombre-máquina-entorno.
Fuente: Elaboración propia.

Palabras clave

Ergonomía, bienestar, confort, seguridad, proxémica, espacio de trabajo y desempeño.

Caso práctico

Para el siguiente caso se llevó a cabo una visita guiada en un área de calderas y máquinas de un centro de trabajo. Durante el recorrido, se hizo una inspección y el reconocimiento de las áreas que estaban afectadas por el factor físico ruido y por sus efectos en los trabajadores. En el cuarto de máquinas laboran cuatro personas, quienes trabajan turnos de ocho horas diarias; esta área es un espacio relativamente reducido, donde se encuentran dos calderas con capacidad de 4 kilogramos por centímetro cuadrado de presión, cuya función principal es abastecer a la empresa de agua caliente, entre otras funciones. El ruido provocado por el funcionamiento de las calderas tiene una duración de ocho horas continuas, al igual que el ruido provocado por las bombas, que también es continuo. De esta manera, se puede decir que ambas causan un impacto directo al sistema auditivo de los trabajadores.

También se aplicó un cuestionario para obtener información por parte de los trabajadores y poder llevar a cabo el diagnóstico. El objetivo del estudio es determinar

cómo influye el ruido en los trabajadores y determinar si el área cumple con los lineamientos establecidos con la NOM-011-STPS-2001.

Después de llevar a cabo el diagnóstico, se obtuvieron los siguientes resultados:

- El área no cuenta con un decibelímetro, instrumento de medición del ruido, con el fin de medir la intensidad del ruido que se está generando en el área de calderas. Ante la imposibilidad de realizar una lectura del nivel de ruido en ese momento, se procedió a observar y anotar lo que acontecía durante el recorrido y la estancia en el área de calderas y bombas. Durante una hora de exposición al ruido de calderas y bombas, se percibió y se presentó molestia en el sistema auditivo, el cual disminuyó al apagarse las calderas y quedar sólo el ruido de las bombas. También se observó y percibió que el enmascaramiento auditivo provocado por el

ruido de las calderas es más alto que el ruido provocado por las bombas.

- El área no cuenta con un programa de conservación de la audición, como lo establece la norma, ni tampoco se utiliza el equipo auditivo de protección como lo exige la norma. La última vez que se proporcionó equipo a los trabajadores para protegerlos del ruido fue tres años atrás y manifiestan que sólo lo usan cuando tienen que trabajar junto a la subestación, donde el ruido es más intenso.

A través del ruido provocado por las máquinas, los trabajadores detectan cuando éstas requieren mantenimiento. Los trabajadores también comentaron que siempre están pendientes de las necesidades de mantenimiento, para que el funcionamiento de calderas y bombas sea el adecuado.

- Durante la entrevista realizada a los trabajadores se confirmó que no se realizan revisiones periódicas de la audición del trabajador y que ésta ha disminuido en ellos a través de los años.
- En el recorrido, también se observó que dentro del área se encuentra una oficina pequeña, que ocupa el jefe de área, que no está protegida con algún material aislante, que pueda disminuir el ruido.
- El área de descanso de los trabajadores se encuentra en un área totalmente desprotegida y con exposición directa al ruido; durante una medición con el decibelímetro, se detectó que el nivel de ruido allí rebasaba los 90 decibeles.

Propuesta de control

1. Se propone que la empresa adquiera un decibelímetro para que el responsable del área lleve a cabo lecturas periódicas, a fin de que se vaya controlando el nivel de ruido y se conozca el nivel de ruido real que se genera en cada una de las áreas de trabajo.
2. Contar con un programa de conservación de la audición que permita a los trabajadores conocer sobre los efectos del ruido a la salud, así como mantener un estricto control de exposición al ruido, es decir, mantener a los trabajadores expuestos sólo el tiempo marcado por la NOM.
3. Vigilar el estado auditivo de los trabajadores mediante exámenes médicos anuales especí-

ficos a cada trabajador expuesto a niveles de ruido de 85 dB(A) y mayores.

4. Aislar con el material adecuado los espacios como son la sala de descanso de los trabajadores.
5. La ergonomía tendrá que proponer y diseñar nuevos modelos de máquinas generadoras de vapor (calderas), para que el ruido que produzcan sea menor.

Análisis del entorno

FACTORES FÍSICOS

■ Etapa de reconocimiento

- a) Para la realización del reconocimiento, ¿qué técnicas se aplicarán?

Observación directa	☒	Fotografía	☐
Encuestas	☒	Vídeo	☐

- b) Marcar en un croquis el recorrido del reconocimiento.
- c) Marcar ubicación y tipo de factor ambiental detectados sensorialmente.

Factor	Área(s)
Temperatura Humedad Iluminación	
Factor	Área(s)
Vibración Ruido Presión	En el área de calderas y bombas.

- d) Esos factores son producidos por:

Factor	Fuente productora
Temperatura Humedad Ventilación Iluminación	
Factor	Fuente productora
Vibración Ruido Presión	Caldera núm. 1 Caldera núm. 2 y bombas

- e) Daños a personas, objetos o instalaciones que están produciendo estos factores:

Factor	Daños
Temperatura Humedad Ventilación Iluminación	
Factor	Daños
Vibración Ruido Presión	Pérdida de audición de los trabajadores en el área de calderas.

- f) ¿Se debe de continuar con la etapa de evaluación?

Sí ☐ No ☐

- g) ¿Se requiere la participación de higienistas?

Sí ☐ No ☐

■ Etapa de evaluación

- a) Croquis de distribución de las fuentes productoras:

Se pondrá el dibujo del área o las áreas en donde se ubicó la fuente de ruido.

- b) Factores que se evaluarán y áreas donde se encuentran:

Factor	Área(s)
Temperatura Humedad Iluminación	
Factor	Área(s)
Vibración Ruido Presión	Área de bombas y calderas.

- c) Tipo de normatividad que regirá la evaluación:

NOM ☒ ISO ☐ NIOSH ☐
OSHA ☐ OTRA ☐

- d) Resultados obtenidos en las evaluaciones correspondientes:

Factor	Resultados
Temperatura Humedad Iluminación	
Factor	Resultados
Vibración Ruido Presión	Ruido con más de 90 decibeles.

- e) Medidas de control recomendadas:

Factor	Recomendaciones
Temperatura Humedad Ventilación Iluminación	
Factor	Recomendaciones
Vibración Ruido Presión	Aplicar la normatividad vigente para atenuar el ruido.

■ Etapa de control

- a) Medidas de control recomendadas:

Factor	Recomendaciones
Temperatura Humedad Iluminación	
Factor	Recomendaciones
Vibración Ruido Presión	1. Adquirir un decibelímetro. 2. Programa de conservación de la audición. 3. Dar capacitación y adiestramiento sobre los efectos nocivos del ruido.

- b) Factores ambientales que serán controlados en la fuente productora y medidas que se tomarán:

Factor	Fuente	Medida
Temperatura Humedad Iluminación		
Factor	Fuente	Medida
Vibración Ruido Presión	Sala de descanso de los trabajadores.	Aislar con material de corcho, para que el ruido disminuya de manera considerable.

- c) Factores ambientales que no pudieron ser controlados en el espacio de trabajo. La última medida es la utilización del equipo de seguridad (especificar zona o área de trabajo):

Factor	Fuente	Medida
Temperatura Humedad Iluminación		
Factor	Fuente	Medida
Vibración Ruido Presión	Área de calderas 1 y 2, ya que debido a su diseño el ruido no se puede disminuir.	Proporcionar el equipo de protección personal idóneo para el nivel de ruido al que se exponen los trabajadores.

- d) Observaciones y comentarios anexos para cada factor ambiental:

Factor	Observaciones
Temperatura Humedad Iluminación	
Factor	Observaciones
Vibración Ruido Presión	El programa de conservación de la audición debe contener los puntos que establece la NOM-011-STPS-2001. Son los que establece para el control.

Casos para resolver

Caso 1

El alumno desarrollará, con base en el ejemplo anterior, un caso práctico sobre aspectos físicos referente a iluminación.

Análisis del entorno

FACTORES FÍSICOS

■ Etapa de reconocimiento

- a) Para la realización del reconocimiento, ¿qué técnicas se aplicarán?

Observación directa ☐ Fotografía ☐
Encuestas ☐ Video ☐

- b) Marcar en un croquis el recorrido del reconocimiento:
- c) Marcar ubicación y tipo de factor ambiental detectado sensorialmente:

Factor	Área(s)
Temperatura Humedad Iluminación	
Factor	Área(s)
Vibración Ruido Presión	

d) Esos factores son producidos por:

Factor	Fuente productora
Temperatura Humedad Iluminación	
Factor	Fuente productora
Vibración Ruido Presión	

e) Daños a personas, objetos o instalaciones que están produciendo estos factores:

Factor	Daños
Temperatura Humedad Iluminación	
Factor	Daños
Vibración Ruido Presión	

f) ¿Se debe continuar con la etapa de evaluación? Sí ☐ No ☐

g) ¿Se requiere la participación de higienistas? Sí ☐ No ☐

■ Etapa de evaluación

- a) Croquis de distribución de las fuentes productoras:
Se pondrá el dibujo del área o las áreas en donde se ubicó la fuente de ruido.
- b) Factores que se evaluarán y áreas donde se encuentran:

Factor	Área(s)
Temperatura Humedad Iluminación	
Factor	Área(s)
Vibración Ruido Presión	

c) Tipo de normatividad que regirá la evaluación

NOM ☐ ISO ☐ NIOSH ☐
OSHA ☐ OTRA ☐

d) Resultados obtenidos en las evaluaciones correspondientes:

Factor	Resultados
Temperatura Humedad Iluminación	
Factor	Resultados
Vibración Ruido Presión	

e) Medidas de control recomendadas:

Factor	Recomendaciones
Temperatura Humedad Iluminación	
Factor	Recomendaciones
Vibración Ruido Presión	

■ Etapa de control

a) Medidas de control recomendadas:

Factor	Recomendaciones
Temperatura Humedad Iluminación	
Factor	Recomendaciones
Vibración Ruido Presión	

- b) Factores ambientales que serán controlados en la fuente productora y medidas que se tomarán.

Factor	Fuente	Medida
Temperatura Humedad Iluminación		
Factor	Fuente	Medida
Vibración Ruido Presión		

- c) Factores ambientales que no pudieron ser controlados en el espacio de trabajo y en los que la última medida es la utilización del equipo de seguridad (especificar zona o espacio de trabajo):

Factor	Espacio	Medida
Temperatura Humedad Iluminación		
Factor	Espacio	Medida
Vibración Ruido Presión		

- d) Observaciones y comentarios anexos para cada factor ambiental:

Factor	Observaciones
Temperatura Humedad Iluminación	
Factor	Observaciones
Vibración Ruido Presión	

Caso 2

El alumno desarrollará, con base en el ejemplo anterior, un caso práctico sobre aspectos físicos referente a temperatura.

Análisis del entorno

FACTORES FÍSICOS

■ Etapa de reconocimiento

- a) Para la realización del reconocimiento, ¿qué técnicas se aplicarán?

Observación directa ☐ Fotografía ☐
Encuestas ☐ Video ☐

- b) Marcar en un croquis el recorrido del reconocimiento:
c) Marcar ubicación y tipo de factor ambiental detectado sensorialmente:

Factor	Área(s)
Temperatura Humedad Ventilación Iluminación	
Factor	Área(s)
Vibración Ruido Presión	

- d) Esos factores son producidos por:

Factor	Fuente productora
Temperatura Humedad Ventilación Iluminación	
Factor	Fuente productora
Vibración Ruido Presión	

- e) Daños a personas, objetos o instalaciones que están produciendo estos factores:

Factor	Daños
Temperatura Humedad Ventilación Iluminación	
Factor	Daños
Vibración Ruido Presión	

- f) ¿Se debe continuar con la etapa de evaluación? Sí ☐ No ☐
g) ¿Se requiere la participación de higienistas? Sí ☐ No ☐

■ Etapa de evaluación

- a) Croquis de distribución de las fuentes productoras:

Se pondrá el dibujo del área o las áreas en donde se ubicó la fuente de ruido.

- b) Factores que se evaluarán y áreas donde se encuentran:

Factor	Área(s)
Temperatura Humedad Ventilación Iluminación	
Factor	Área(s)
Vibración Ruido Presión	

- c) Tipo de normatividad que regirá la evaluación

NOM ☐ ISO ☐ NIOSH ☐
 OSHA ☐ OTRA ☐

- d) Resultados obtenidos en las evaluaciones correspondientes:

Factor	Resultados
Temperatura Humedad Ventilación Iluminación	
Factor	Resultados
Vibración Ruido Presión	

- e) Medidas de control recomendadas:

Factor	Recomendaciones
Temperatura Humedad Ventilación Iluminación	
Factor	Recomendaciones
Vibración Ruido Presión	

■ Etapa de control

- a) Medidas de control recomendadas:

Factor	Recomendaciones
Temperatura Humedad Ventilación Iluminación	
Factor	Recomendaciones
Vibración Ruido Presión	

- b) Factores ambientales que serán controlados en la fuente productora y medidas que se tomarán.

Factor	Fuente	Medida
Temperatura Humedad Ventilación Iluminación		
Factor	Fuente	Medida
Vibración Ruido Presión		

- c) Factores ambientales que no pudieron ser controlados en el espacio de trabajo y en los que la última medida es la utilización del equipo de seguridad (especificar zona o espacio de trabajo):

Factor	Espacio	Medida
Temperatura Humedad Ventilación Iluminación		
Factor	Espacio	Medida
Vibración Ruido Presión		

- d) Observaciones y comentarios anexos para cada factor ambiental:

Factor	Observaciones
Temperatura Humedad Ventilación Iluminación	
Factor	Observaciones
Vibración Ruido Presión	

Para discusión

1. ¿Qué entiende por ergonomía?
2. ¿Considera que en México se le da poca importancia a la ergonomía? Cite ejemplos que apoyen su respuesta.
3. ¿Considera que la ergonomía es una ciencia, una disciplina, una técnica o una tecnología? Antes de contestar defina ciencia, disciplina, técnica y tecnología.
4. ¿Cómo afecta el ruido en el desempeño laboral?
5. ¿Cómo haría una investigación ergonómica?
6. ¿Por qué es la educación y la cultura un factor determinante para el desarrollo pleno de la ergonomía?
7. ¿En qué otros lugares debemos aplicar ergonomía, que no sean espacios laborales?
8. ¿Por qué son importantes las medidas antropométricas para el diseño de maquinaria y equipos en México?
9. Existe una línea fina que es la diferencia entre ergonomía y seguridad industrial, ¿diga cuál es?
10. ¿Qué aspectos conforman el entorno vital de un individuo, que son fundamentales para desempeñar de manera óptima un trabajo?

Bibliografía

Eco, Umberto. *Tratado de semiótica general*. 2da. reimpresión. Random House Mondadori, México, 2009.

Farrer, Francisco, et al. *Manual de ergonomía*. Fundación MAPFRE, Editorial MAPFRE, España, 1997.

Flores, Cecilia. *Ergonomía para el diseño*. Editorial Designio Teoría y Práctica, México, 2001.

Fundación MAPFRE. *Manual de Higiene Industrial*. 4a. ed. Editorial MAPFRE, España, 1996.

García Criollo, Roberto. *Estudio del trabajo ingeniería de métodos y medición del trabajo*. 2a. edición. McGraw-Hill, México, 2005.

IMSS. Instructivos del Reglamento General de Seguridad e Higiene en el trabajo. Tercera edición, México, 1992.

IMSS, Reglamento General de Seguridad e Higiene en el trabajo. Tercera edición, México, 1992.

Mondelo R., Pedro. *Ergonomía I Fundamentos*. 3a. ed. Editorial Alfaomega, Ediciones UPC, México, 2000.

Mondelo R., Pedro et al. *Ergonomía 2. Confort y estrés térmico*. 3a. ed. Editorial Alfaomega, UPC, España, 2001.

Montmollin, Maurice. *Introducción a la Ergonomía*. Editorial Limusa, México, 1996.

Norma Oficial Mexicana NOM-024-STPS-1993, relativa a las condiciones de seguridad en los centros de trabajo donde se generen vibraciones.

Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999 relativa a las condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Secretaría del Trabajo y Previsión Social, México, 1999.

Norma Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, condiciones de Seguridad e Higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. Secretaría del Trabajo y Previsión Social, México, 2001.

Norma Oficial Mexicana NOM-015-STPS-2001, condiciones térmicas elevadas o abatidas en los centros de trabajo. Secretaría del Trabajo y Previsión Social, México, 2001.

Norma Oficial Mexicana NOM-014-STPS-2000, relativa a las condiciones de higiene y seguridad para los trabajadores que laboren a presiones ambientales anormales. Secretaría del Trabajo y Previsión Social, México, 2000.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Introducción a la ergonomía forestal para países en desarrollo*. FAO, Roma. 1993.

Organización Internacional del Trabajo. *Introducción al estudio del trabajo*. 3a. ed. Editorial Limusa. México, 1986.

