

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

1 GENERALIDADES DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL

Definición de ingeniería

Breve historia mundial de la ingeniería

Inicios de la ingeniería industrial

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

La empresa vista como una serie de procesos

Relación de la ingeniería industrial con otras disciplinas

Tendencias de la ingeniería industrial

Palabras clave

Para discusión

Bibliografía

2 NATURALEZA DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES

La clasificación de los sectores productivos y las cadenas productivas

Conocimientos que requiere un ingeniero industrial

Definición y clasificación de empresas y conceptos básicos

Áreas generales con las que cuenta una empresa industrial

Los procesos industriales

V	Las operaciones en la industria metal-mecánica	33
	Métodos de protección de los metales	37
1	Electrólisis	37
	Procesos electrolíticos	37
2	Unión de los metales	38
5	Operaciones unitarias en la ingeniería industrial	39
	Transporte de materiales	39
	Transporte de líquidos y gases por bombeo	40
	Compresión de gases	40
8	Manejo de sólidos, reducción de tamaño (quebrantado, trituración, molienda)	40
11	Transferencia de calor (calentamientos y enfriamiento)	40
20	Mezclado	41
21	Operaciones de separación	41
23	Destilación	41
23	Evaporación	42
23	Secado	42
	Filtración	43
	Centrifugación	43
	Tamizado	43
25	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	5 CALIDAD: SU CONCEPTO, GESTIÓN Y CONTROL ESTADÍSTICO	99
Introducción	53	Introducción	99
Actividades logísticas a través de la historia	55	Historia del concepto de calidad	100
Actividades logísticas empresariales	56	Los pensadores de la calidad	102
Definición de logística	57	W. Edward Deming	102
Relaciones entre la logística y la Supply Chain Management	58	J. M. Juran	104
Actividades logísticas	59	Kaoru Ishikawa	105
Servicio al cliente	61	Armand V. Feigenbaum	106
Inventarios	62	Philip Crosby	107
Localización o ubicación de instalaciones	63	Hiroyuki Hirano	107
Transporte	63	El cliente y los proveedores	108
Sistemas logísticos de información	64	El concepto de calidad	109
Conceptos logísticos actuales	66	Momentos de la calidad	110
Caso práctico	68	Funcionalidad de la calidad	112
Palabras clave	69	Sistemas de gestión de calidad	112
Casos para resolver	69	Documentación	116
Para discusión	71	Auditorías	116
Bibliografía	71	Implementación y verificación ISO	117
4 PRODUCTIVIDAD Y MEJORA CONTINUA	73	Control estadístico de la calidad	118
Introducción	73	Primera herramienta: Estratificación	119
La productividad (Enfoque en los resultados)	74	Segunda herramienta: Diagrama de causa y efecto	119
Definición	74	Tercera herramienta: Hoja de verificación	120
Mejora continua (Enfoque en los procesos)	77	Cuarta herramienta: Histogramas	121
Definición	77	Quinta herramienta: Diagrama de Pareto	124
Metodología para la mejora continua	88	Sexta herramienta: Diagrama de dispersión	125
Otras dimensiones de la mejora continua	88	Séptima herramienta: Gráficas de control	130
Dimensión política	88	Palabras clave	130
Dimensión macroeconómica	89	Casos para resolver	130
Palabras clave	90	Para discusión	131
Casos prácticos	90	Bibliografía	132
Casos para resolver	97	Páginas electrónicas	132
Para discusión	98	6 LA ADMINISTRACIÓN DE LAS OPERACIONES	133
Bibliografía	98	Introducción	133
		Concepto, evolución e importancia de la administración de las operaciones	134

¿Qué hace un administrador de las operaciones?	138	8 DISEÑO DE INSTALACIONES	215
Las operaciones como una estrategia competitiva	140	Las instalaciones productivas	215
Administración de proyectos	145	La problemática del diseño de instalaciones	216
Organización del recurso humano	146	Objetivos del estudio	216
Control de proyectos	147	El proceso de diseño	217
Determinación de CPM	149	Localización de instalaciones	218
Pronósticos, combate a la incertidumbre	153	Localización en la cadena de suministro	219
Métodos de juicio (subjetivos)	154	Factores que impactan la localización	219
Métodos objetivos	155	Características del problema de localización	221
Planeación agregada	163	Modelación de distancias en el plano	222
Administración de los inventarios	166	Problemas continuos de localización única	222
Tendencias futuras de la administración de las operaciones	170	Problemas discretos de localización única	224
Palabras clave	171	Problema de carga recorrida	225
Casos para resolver	171	Distribución de instalaciones	225
Para discusión	172	Características del problema de diseño	225
Bibliografía	173	Planeación sistemática de la distribución, SLP	226
		Análisis de flujos	226
7 ESTUDIO Y DISEÑO DEL TRABAJO	175	Tipos básicos de distribución	228
Introducción	175	Análisis de relación de actividades	230
Estudio de métodos	176	Diagrama de relación de actividades	231
Medición del trabajo	186	Diagrama de relación de espacios	232
Medición directa. Estudio de tiempos con cronómetro	187	Plano por bloques y distribución detallada	233
Muestreo del trabajo	190	Palabras clave	233
Sistemas de tiempos predeterminados y MOST	192	Caso práctico	234
Herramientas sociotécnicas en el estudio del trabajo	198	Casos para resolver	235
Aspectos básicos de ergonomía	199	Para discusión	237
Aspectos básicos de higiene y seguridad industriales	205	Bibliografía	237
La OSHA	206	9 ADMINISTRACIÓN DE LA EMPRESA	239
Análisis de HySI	206	Introducción	239
Palabras clave	211	Historia de la administración	240
Casos prácticos	211	El proceso administrativo	241
Caso para resolver	214	La planeación	241
Bibliografía	214	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
13 ERGONOMÍA	339	Vibraciones	360
Introducción	339	Presión atmosférica	362
Antecedentes históricos de la ergonomía	341	Entorno vital	363
Sistema hombre	342	Palabras clave	364
Sistema máquina	345	Caso práctico	364
Sistema entorno	350	Casos para resolver	367
		Para discusión	371
		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 Gigh. *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.

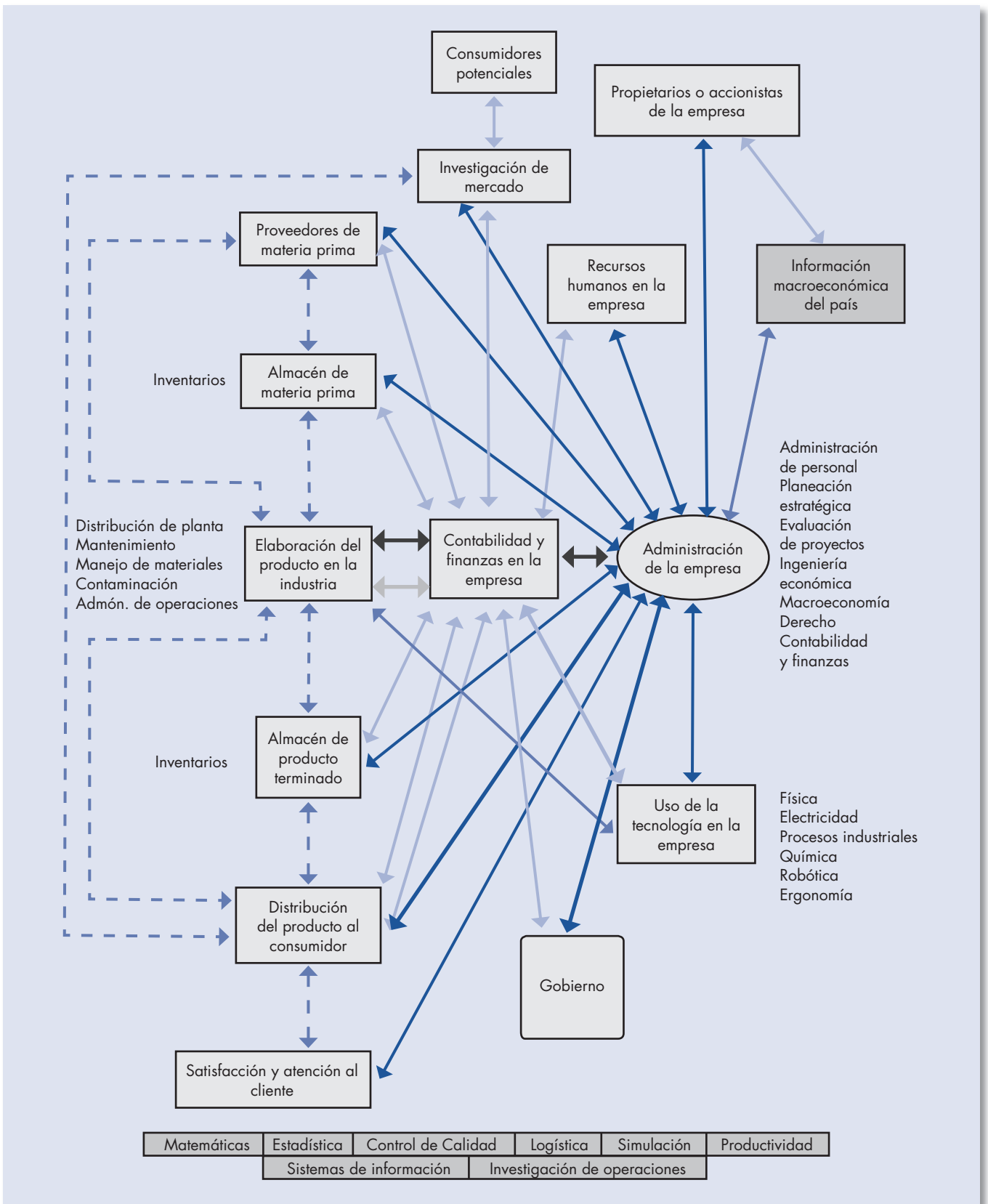


Figura 1.1 Principales flujos de información dentro de una industria.

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 industrias 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.

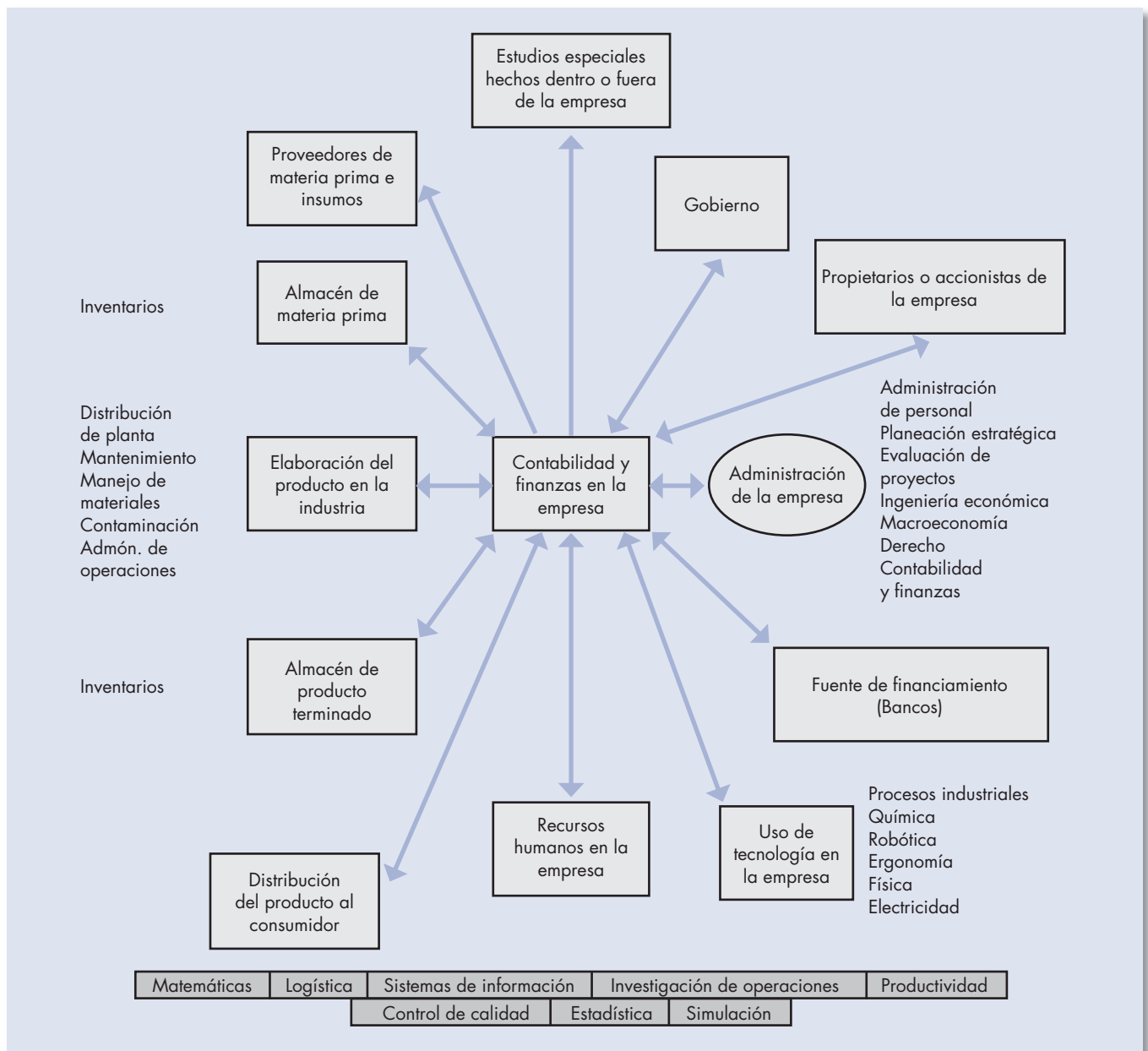


Figura 1.2 Principales flujos de dinero dentro de una empresa industrial.

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.

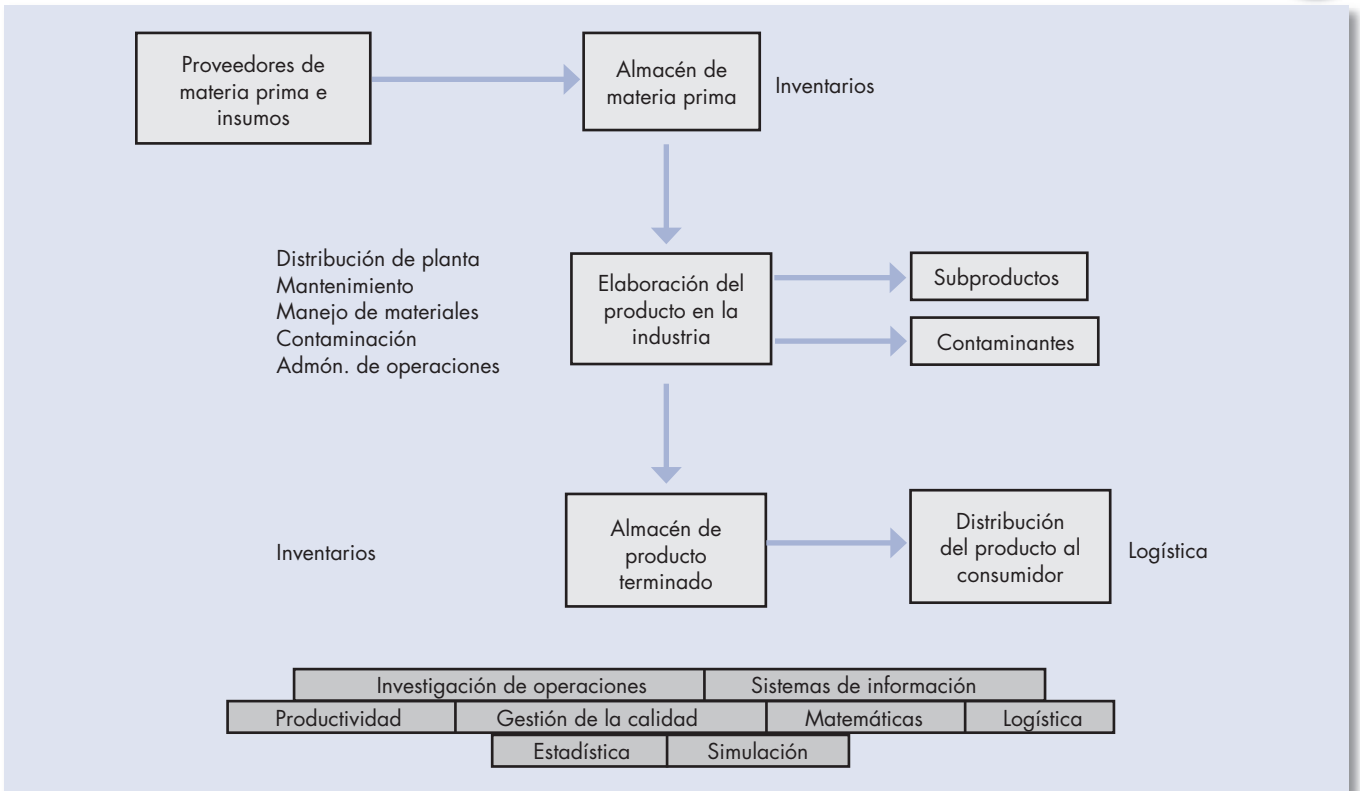


Figura 1.3 Principales flujos de materia prima e insumos dentro de una industria.

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. Sobra 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 multidisciplinaria 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, multidisciplinaria, interdisciplinaria.

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.