

---

# BREVE HISTORIA DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL

---

*La historia de la humanidad se convierte cada vez más en una carrera entre educación y catástrofe.*

H.G. WELLS

Es probable que uno de los primeros ingenieros en este mundo haya sido alguien con el nombre de Joe Ogg. Se trata del personaje principal en una película de dibujos animados [1] producida por el Instituto de Ingenieros Industriales para describir intentos primitivos de organización industrial. La película introduce conceptos tales como especialización del trabajo, estudio de métodos, manejo de materiales y control de calidad en lo tocante a la producción de flechas y cueros. El hijo de Ogg, Junior, se convierte en un héroe cuando sus conceptos radicales son aceptados de inmediato por sus co-terráneos, y los frutos de sus esfuerzos convalidan rápidamente su enfoque. Esto sólo podría suceder en el cine.

Como contraste, Sprague de Camp declara [27, pág. 13], “La historia de la civilización es, en cierto sentido, la historia de la ingeniería: esa lucha larga y ardua para hacer que las fuerzas de la naturaleza actúen en beneficio del ser humano”. En este sentido, resulta obvio que la ingeniería es tan antigua como la civilización misma. Lo que tal vez no sea tan evidente es que aunque la ingeniería industrial es el más nuevo de los campos principales de la ingeniería (es decir, ingeniería civil, mecánica, eléctrica, química e industrial), los principios fundamentales de la ingeniería industrial ya se empleaban en la época de Ogg.

A lo largo de la historia los trabajos de ingeniería a menudo se han tomado por sentado. En 1514 el papa Pablo III se enfrentó al problema de sustituir al arquitecto Bramante después de la muerte de éste ocurrida durante la reconstrucción de la catedral de San Pedro. Un artista e ingeniero que respondía al nombre de Michelangelo Buonarroti, conocido actualmente como Miguel Ángel, fue seleccionado para llevar el proyecto a su conclusión. ¿Cuántos de nosotros pensamos actualmente en Miguel Ángel

como un ingeniero? Su labor para terminar la catedral de San Pedro es bien conocida. Sin embargo, es menos conocido el hecho de que en Florencia, y de nueva cuenta en Roma, fue llamado para diseñar fortificaciones para la ciudad. Después de construir las, y ya que estaba convencido de que las fortificaciones no se sostendrían debido a la incompetencia de los defensores, se escabulló entre las líneas del enemigo. Esto muestra que además de ser uno de nuestros héroes era también muy humano. Miguel Ángel era un individualista terco, y su rostro estaba desfigurado por una nariz rota que se ganó durante una pelea con un compañero escultor.

Otro de los numerosos enemigos de Miguel Ángel era Leonardo da Vinci. Al igual que Miguel Ángel, Da Vinci es mejor conocido por sus obras artísticas; sin embargo, era un académico activo, casi siempre absorbido por su trabajo. Trató de dominar la astronomía, anatomía, aeronáutica, botánica, geología, geografía, genética y física. Su estudio de la física representa una amplia cobertura de lo que se conocía en esa época. Tenía una curiosidad científica que lo metió en problema. En cierta ocasión, fue despedido por el papa León X cuando a éste le informaron que Da Vinci aprendía anatomía diseccionando cuerpos humanos. Desde un punto de vista puramente científico, ¿qué mejor manera hay de aprender anatomía humana?

En 1483 Da Vinci se trasladó a Milán, y presentó el siguiente *currículum vitae* al duque Ludovico Sforza con la esperanza de obtener un empleo [27, págs. 363-364]:<sup>1</sup>

Mi ilustrísimo señor, después de haber visto y considerado ahora suficientemente las pruebas de aquellos que se consideran a sí mismos como maestros y diseñadores de instrumentos de guerra, y que el diseño y operación de los dichos instrumentos no es diferente de los que están en uso común, me atreveré sin perjuicio para nadie a hacerme entender por su Excelencia, haciéndole conocer mis propios secretos y ofrecerle por tanto a su consideración, y en el momento apropiado, poner en efecto todas esas cosas que por brevedad se anotan parcialmente a continuación, y muchas más, de acuerdo con las exigencias de los diferentes casos.

Puedo construir puentes muy ligeros y fuertes, y capaces de una fácil transportación, y con ellos perseguir o si se da el caso huir del enemigo, y otros más seguros y capaces de resistir el fuego y el ataque, y fáciles y convenientes de colocar y quitar; y tengo métodos para quemar y destruir los del enemigo.

Sé también, en una plaza sitiada, remover el agua de los fosos y hacer puentes infinitos, trabajo de enrejado, escalas y otros instrumentos adecuados para el propósito dicho.

Asimismo, si debido a la altura de las trincheras, o la fuerza de la posición y la situación, es imposible durante el sitio hacer uso del bombardeo, tengo medios para destruir cualquier fortaleza o fortificación si no está construida de piedra.

También tengo medios para hacer que el transporte de los cañones sea fácil y conveniente, y con ellos lanzar piedras similares a una tempestad; y con el humo de los mismos causar gran temor al enemigo, para su gran daño y confusión.

Y si el combate se da en el mar, tengo medios para construir muchos instrumentos capaces de ataque-defensa y naves que ofrecerán resistencia al cañón más grande, pólvora y humo.

Asimismo, tengo medios, a través de túneles y pasajes secretos y laberintos, construidos sin ningún ruido, para alcanzar un punto designado, aun si es necesario pasar bajo fosos o algún río.

Asimismo, construiré carretas cubiertas, seguras e indestructibles, que al entrar con artillería entre el enemigo, romperán la agrupación más grande de hombres armados. Y detrás de éstos

<sup>1</sup> Extracto de *The Ancient Engineers* por L. Sprague de Camp. Reproducida con permiso de Doubleday & Company, Inc., 1963, y Barthold Fles, agente literario.

puede seguir infantería sin sufrir daño y sin ninguna oposición. También, si se presenta la necesidad, haré cañones, morteros y piezas de campo de formas hermosas y útiles, diferentes de las que hay en uso común.

Cuando los cañones no puedan usarse, inventaré catapultas, lanzadores de dardos y máquinas para lanzar fuego, y otros instrumentos de admirable eficiencia que no son de uso común; y en resumen, de acuerdo con el caso que se presente, inventaré distintos e infinitos aparatos para ataque y defensa.

En tiempos de paz creo que soy capaz de dar satisfacción igual a cualquier otro arquitecto, en el diseño de edificios públicos y privados, y para dirigir agua de un lugar a otro.

Asimismo, puedo realizar esculturas en mármol, en bronce o en terracota; y lo mismo en pintura, puedo hacer todo lo que se pueda hacer tan bien como cualquier otro, quienquiera que sea.

Además, será posible empezar el trabajo en el caballo de bronce, que celebrará la gloria inmortal y el honor eterno de la feliz memoria del padre de usted, mi Señor, y de la ilustre Casa de Sforza.

Y si para cualquier persona las cosas antes mencionadas parecen imposibles o impracticables, me ofrezco gustoso a hacer un ensayo de ellas en su parque o en el lugar que desee su Excelencia; a quien tan humildemente como puedo encomiendo mi persona.

El duque Ludovico Sforza evidentemente no quedó impresionado y no contrató a Da Vinci después de leer su currículum. Da Vinci fue comisionado más tarde por el duque como resultado de una asociación que tenía Da Vinci con otro artista. Sin embargo, el duque tenía la costumbre de pagar tarde, cuando pagaba, lo cual dio lugar a que Da Vinci renunciara una vez, aunque más tarde cambió de parecer.

Leonardo da Vinci fue uno de los grandes genios de todos los tiempos. Se adelantó a muchos desarrollos de ingeniería que habían de surgir, como el motor a vapor, la metralleta, la cámara fotográfica, el submarino y el helicóptero. Sin embargo, probablemente tuvo escasa influencia sobre el pensamiento de ingeniería en su época. Su investigación fue una mezcla no publicada de pensamientos y bocetos. Fue un investigador impulsivo y nunca hizo un resumen de su investigación para beneficio de otras personas a través de la publicación. Su investigación fue registrada de derecha a izquierda en sus libros de notas, posiblemente en aras de la facilidad de escritura dado que él era zurdo.

Muchos años después, en 1795, Napoleón autorizó la fundación de la *École Polytechnique* en París, que se convirtió en la primera escuela de ingeniería. El *Rensselaer Polytechnic Institute*, fundado en 1824, fue la primera escuela de ingeniería en Estados Unidos.

Hasta 1880 la ingeniería era civil o militar y durante todo ese tiempo a excepción de los últimos cien años fue ambas cosas. En 1880 se fundó la Sociedad Estadunidense de Ingenieros Mecánicos, seguida por la Sociedad Estadunidense de Ingenieros Eléctricos en 1884 y el Instituto Estadunidense de Ingenieros Químicos en 1908. El Instituto Estadunidense de Ingenieros Industriales, que representa el último gran campo de ingeniería que se organizó, fue incorporado en 1948.

Es difícil decir cuándo comenzó la ingeniería industrial. Sin duda alguna en la época de Ogg había problemas de producción asociados con la fabricación de flechas que tienen su paralelismo hoy día. Si en la actualidad la persona en una fábrica de juguetes que más se preocupa acerca de cómo hacer flechas es un ingeniero industrial, ¿quie-

re esto decir que cuando Ogg tomaba decisiones acerca de cómo hacer flechas estaba haciendo ingeniería industrial? Las preguntas básicas de *qué, cómo, dónde y cuándo* del análisis de producción han caracterizado este enfoque durante siglos.

La obra de Adam Smith *Wealth of Nations* (La riqueza de las naciones) [26], publicada en 1776, fue uno de los primeros textos que fomentaban la “especialización del trabajo” para mejorar la productividad. Observó en la fabricación de alfileres que la división de la tarea en cuatro operaciones separadas aumentaba la producción por un factor casi de cinco. Mientras que un trabajador ejecutando todas las operaciones producía 1,000 alfileres al día, diez trabajadores empleados en cuatro tareas más especializadas podían producir 48,000 alfileres al día. Había surgido el concepto de diseñar un procedimiento para usar el potencial de mano de obra eficientemente.

Sin embargo deberá notarse que lo que funcionaba para un proceso (por ejemplo, la fabricación de alfileres) en 1776 tal vez no funcione bien para un proceso similar hoy día. Las células de fabricación, por ejemplo, en uso común actualmente representan una reversión de este mismo concepto (es decir, de-departamentalización de procesos), mientras que una célula de manufactura permite el procesamiento integrado de todos los materiales para un producto dentro de una sola área de la planta. Tal de-departamentalización reduce considerablemente el costo de manejo de materiales del producto durante su fabricación, los costos de inventario y el tiempo de rendimiento, y crea un sentido de propiedad entre las personas que producen el producto. La ingeniería industrial trata sobre la determinación del mejor equilibrio de costos en la fabricación de un producto.

Alrededor de 1800, Matthew Boulton y James Watt, Jr., hijos de importantes desarrolladores de motores a vapor en Inglaterra, intentaron mejoramientos organizacionales en su fundición del Soho que estaban muy adelantados a su época. Sus esfuerzos constituyeron prototipos pioneros para las técnicas de ingeniería industrial que habrían de seguir. Por esta misma época, un creciente número de mejoramientos mecánicos, como la hiladora con varios husos de Arkwright, estaban teniendo un considerable impacto sobre la productividad. La revolución industrial de este periodo estaba liberando a los seres humanos y a los animales de ser fuentes de poder en la industria. El desarrollo de la energía a partir del vapor de agua y otros dispositivos mecánicos es la connotación principal que se le da al término *revolución industrial*.

En 1832 Charles Babbage, un matemático autodidacta, sugirió de nuevo la división del trabajo para mejorar la productividad en su libro *On the Economy of Machinery and Manufacturers*. De hecho, su *máquina de diferencia*, el prototipo de la calculadora mecánica moderna, fue concebida después que oyó sobre los intentos franceses para producir tablas de referencia al dividir la tarea de cálculo en pasos pequeños que requerían de operaciones simples. Más tarde creó su *máquina analítica*, que era un prototipo mecánico de nuestras computadoras modernas. Su máquina de diferencia nunca fue terminada durante su vida; el gobierno británico abandonó el proyecto después que había gastado 17 000 libras en su desarrollo. Babbage, al igual que Leonardo da Vinci, era un investigador incansable que tenía poca paciencia para completar lo que ya había concebido. Babbage también era consciente de la necesidad de una

mejor organización en la industria, visitó varias plantas en Inglaterra y Europa con la esperanza de mejorar sus conocimientos del “arte mecánico”.

Después de la independencia de Estados Unidos, había una gran demanda en esa nación por mosquetes, y la independencia hizo posible producir bienes manufacturados. Eli Whitney encontró patrocinadores para respaldar el concepto de partes intercambiables de producción en la fabricación de mosquetes. Sin embargo, sus patrocinadores se impacientaron mucho cuando, después que había pasado un tiempo considerable y haber gastado mucho dinero, se enteraron que él todavía estaba haciendo herramientas para fabricar partes. A la larga, no obstante, sus esfuerzos lograron producir partes intercambiables y económicas en grandes cantidades. El concepto, que ya es aceptado hoy día, de producir un conjunto de troqueles para fabricar un millón de partes económicamente no se entendía bien en esa época. El invento de Whitney de la despepitadora de algodón tipifica muchos avances mecánicos sumamente importantes de la época, pero hay poca duda de que su concepto de crear herramientas para producir partes intercambiables fue la mayor innovación de ese periodo.

Para comienzos de este siglo, Henry Ford, al observar reses muertas en un transportador en movimiento en un rastro, se le ocurrió la idea del montaje progresivo de automóviles mediante el uso de bandas transportadoras. Los transportadores son una parte muy importante de nuestra herencia industrial, y en un curso de ingeniería industrial que trate con manejo de materiales es necesario ofrecer un estudio de caso donde el uso de transportadores sea un enfoque poco conveniente. Este choque parece necesario para convencer a los estudiantes de que los transportadores ayudan gran parte del tiempo pero no siempre; de hecho, en muchas instalaciones actuales de Justo-a-tiempo (JIT), la remoción del transportador se convierte en parte del plan. Hay poca duda de que la producción en masa de los automóviles Ford dio un ímpetu considerable al concepto de producción en masa en Estados Unidos.

## FREDERICK W. TAYLOR

En 1886, Henry Towne de la Yale and Towne Company publicó un artículo en la *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers* titulado “El ingeniero como un economista”. En este escrito Towne recalca la necesidad de que los ingenieros se ocuparan de los efectos económicos de sus decisiones. Hasta esa época los ingenieros batallaban principalmente con los elementos, y se suponía que los costos eran una necesidad relativamente incontrolable para ganar la batalla contra la naturaleza. Otro miembro de la Sociedad Estadunidense de Ingenieros Mecánicos (ASME, por sus siglas en inglés), muy impresionado por los conceptos de Towne, era Frederick W. Taylor. A Taylor se le suele considerar el “padre de la ingeniería industrial”. Sobre la base de los logros obtenidos, a la luz de la época en que fueron hechos, el título parece muy apropiado. Mientras que la revolución industrial trajo fuentes nuevas de energía que hicieron posible la difusión de la industrialización, Taylor ofrecía el concepto de que era una responsabilidad de ingeniería el diseñar, medir, planear y programar el trabajo.

Frederick Winslow Taylor provenía de una familia acomodada de Filadelfia. Después de asistir a escuelas en Francia y Alemania, ingresó a la Academia Phillips Exeter a fin de prepararse para entrar a la Escuela de Leyes de Harvard. Sucedieron dos cosas en la Academia Phillips Exeter que afectaron su vida y subsecuentemente el desarrollo de la ingeniería industrial. Primero recibió la influencia de George Wentworth, un profesor de matemáticas en la academia, quien determinó el tiempo para resolver problemas de matemáticas dejados de tarea al calcular el tiempo en que los estudiantes resolvían problemas en clase. Y segundo, comenzó a tener problemas de la vista; aunque Taylor aprobó sus exámenes para ingresar a Harvard, en lugar de entrar a la escuela de leyes se convirtió en aprendiz de operador de máquina en la Enterprise Hydraulic Works en 1874. Nueve años más tarde estaba casado, había recibido un grado en ingeniería mecánica del Instituto Stevens el año anterior, y acababa de ser ascendido a jefe de ingenieros en la Midvale Steel Company. Sus esfuerzos en esta empresa señalaron el camino para lo que se conoce hoy día como “administración científica”.

Para entender los logros de Taylor, es necesario comprender el ambiente laboral dominante de la época. El propietario-gerente, junto con el personal de ventas y oficinas, solían tener poco contacto directo con la actividad de producción. En la mayoría de los casos, se le daba responsabilidad plena a un superintendente para manufacturar los productos que pedía el personal de ventas. Todas las funciones de planeación y de organización eran ejecutadas informalmente por el superintendente, quien tenía que tratar con mecánicos destajistas para intentar que se hiciera el trabajo. No había funciones reconocidas de organización, y los métodos de trabajo los determinaba cada mecánico sobre la base de experiencia personal, preferencia y tipo de herramientas disponibles. Taylor, influido tanto por Towne como por Wentworth, desarrolló el concepto de que el diseño del trabajo, la medición del trabajo, programación de producción y otras funciones de organización eran responsabilidades de ingeniería. Sus intentos para implantar estos conceptos revolucionaron la productividad industrial.

En 1881 Taylor empezó un estudio del corte de metales que continuó durante 25 años, para concluir con la publicación en 1907 del artículo más largo (más de 200 páginas) publicado hasta la fecha en la *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers* [28]. Antes de este estudio la geometría de las herramientas para cortar metal y las velocidades y alimentaciones para el corte de metal se determinaban por la experiencia o por reglas prácticas. Taylor, junto con otros experimentadores que lo ayudaron, convirtió el corte de metal en una ciencia. Gracias a estos experimentos iniciales se han logrado aumentos fenomenales en la velocidad del corte de metales.

Más tarde, en Bethlehem Steel, Taylor hizo un análisis de los trabajos de acarreo, la tarea más prevalente que se ejecutaba en una acería en esa época. Sin embargo, él no fue el primero en estudiar esta tarea; Leonardo da Vinci había estudiado el arte del acarreo y calculó la velocidad a la cual se podía mover tierra como parte de sus proyectos de ingeniería [9, pág. 3]. Taylor observó que aunque había una considerable variedad de trabajos de acarreo ejecutados en la acería, para todos se usaba el mismo

tipo de pala. Una pala llena de carbón pesaba solamente  $3\frac{1}{2}$  libras, mientras que una pala llena de mineral de hierro pesaba 38 libras. Taylor razonó que con este grado de variabilidad en el peso de la pala cargada, el mismo tipo de pala no podía ser ideal para todas las tareas. Después de algunos experimentos encontró que  $21\frac{1}{2}$  libras parecían representar un peso ideal para una pala cargada, y entonces diseñó palas de diferentes tamaños para distintas tareas, de modo que en todos los casos una palada pesaría aproximadamente el peso ideal. La productividad de paladas en la acería aumentó mucho. En un periodo de  $3\frac{1}{2}$  años el número de trabajadores que ejecutaban tareas con palas se redujo de 500 a 140.

Todavía más importante que el mejoramiento en la productividad del trabajo con palas fue el concepto de aplicar el análisis de ingeniería a situaciones laborales humanas. Taylor inició la práctica de ejecutar un análisis de ingeniería de requerimientos laborales especificando los métodos, herramientas y equipo exactos que habían de emplearse, y entonces capacitar al trabajador para que realizara las operaciones según las especificaciones. Es irónico que la general falta de atención a esta práctica hoy en día representa una fuente principal de ineficiencia industrial. De hecho, un ingeniero que describa un método muy eficiente para ejecutar una tarea se ha convertido en una práctica inaceptable en muchas plantas hoy día; se supone que el trabajador descubrirá el mejor método. Es difícil explicar por qué un concepto que ha funcionado tan bien durante tanto tiempo es ignorado o incluso desalentado por muchos gerentes industriales en la actualidad. La falta de atención a los detalles de la configuración del lugar de trabajo es común en gran parte de la industria estadounidense y representa un lastre inexcusable en la competitividad internacional.

Otra situación clásica del trabajo en la cual Taylor realizó un estudio pionero fue el manejo del hierro en bruto. A la larga determinó un método óptimo para su manejo, un ritmo óptimo y periodos óptimos de trabajo y descanso. Luego seleccionó cuidadosamente trabajadores para ejecutar esta tarea y los entrenó con igual cuidado para que realizaran la tarea exactamente como él la especificaba. Como resultado de su análisis, se lograron cambios dramáticos en la productividad del manejo de hierro en bruto.

El análisis de los requerimientos y especificaciones de trabajo propias de un método para ejecutar una operación se denomina ahora *diseño del trabajo* o *estudio de métodos*. Los estudios de paladas y de hierro en bruto se ocupaban principalmente del diseño del trabajo. Sin embargo, Taylor también fue pionero en la actividad que conocemos actualmente como *medición del trabajo*. Esta actividad se ocupa de determinar la cantidad de tiempo que se le debería permitir a un operador para ejecutar una operación. El número recíproco de tal valor de tiempo permite la determinación de la cantidad de producción que se espera de un empleado en un periodo de tiempo dado. Taylor cronometraba muy cuidadosamente a los empleados que ejecutaban una tarea exactamente como él lo especificaba, lo cual estableció una base para determinar la cantidad que deberían producir en un día. Taylor inventó el estudio de tiempos con cronómetro, que todavía se usa mucho actualmente para determinar el tiempo que tome ejecutar una operación, conocido ahora como un estándar de tiempo.

Antes de Taylor, se intentó el control del trabajo mediante la supervisión directa. Su desarrollo del estudio de tiempos llevó a estándares de tiempo, que constituyen la base implícita para el control de costos laborales y son un insumo necesario para programar y fijar precios de las actividades en la industria.

En junio de 1895, Taylor presentó su primer artículo importante, titulado “Un sistema de tarifa a destajo”, en una reunión de la ASME. Su artículo no fue bien recibido, principalmente porque se consideró que era otro intento de diseñar otro plan más de pago de salarios, como su título sugiere. Se habían intentado varios planes de pago de salarios, que a menudo implicaban prácticas de reducción de tarifas erradas y contrarias a la ética. La reducción de tarifa es la práctica de reducir un estándar de tiempo una vez que ha sido alcanzado con la esperanza de aumentar la producción conservando el mismo nivel de remuneración, cuando tal reducción en tiempo no está justificada. Aparentemente, la aversión general por los planes de pago de salarios en la comunidad de ingeniería distrajo la atención de los importantes avances en el pensamiento administrativo implícitos, pero en su mayor parte ignorados, dentro del artículo. Taylor quedó desilusionado por la acogida que mereció su artículo, pero sacó la conclusión de que no había presentado sus resultados y su pensamiento apropiadamente y decidió presentar un artículo mejorado en una fecha posterior.

En junio de 1903, en la reunión de Saratoga, Nueva York, de la ASME, Taylor presentó un segundo artículo, titulado “Administración de taller” [29]. De nueva cuenta la reacción no fue nada entusiasta; de hecho, la comunidad académica de ingeniería mecánica lo consideró en general como un trabajo intrascendente. Sin embargo, posteriormente el artículo fue bien recibido por el personal de administración de muchas plantas, quienes en la práctica cotidiana de la manufactura trabajaban más cerca de las situaciones que se verían más afectadas por las innovaciones de Taylor. Henry Towne, un ex presidente de la ASME, comentó lo que consideraba como conceptos interesantes en el artículo, y poco tiempo después éste se convirtió en el centro de controversia del pensamiento administrativo. Cuando consideramos el contenido de la experiencia educacional del ingeniero mecánico durante este periodo, es más fácil entender por qué el personal de planta percibió el valor de las innovaciones sugeridas, mientras que las academias de ingeniería mecánica de la época parecían pasar por alto su importancia. Los ingenieros mecánicos en ese entonces solían recibir muy poca educación en administración de producción. En realidad, la necesidad verdadera de ingenieros capacitados en administración de producción era la justificación básica para iniciar las primeras opciones en ingeniería industrial dentro de los departamentos universitarios de ingeniería mecánica, y más tarde ya como departamentos de ingeniería industrial. Cuando revisamos ahora el artículo “Administración de taller”, es interesante hacer notar el número y la diversidad de conceptos incorporados. Veamos algunos ejemplos:

1. Estudio de métodos.
2. Estudio de tiempos.
3. Estandarización de herramientas.



4. Un departamento de planeación.
5. El principio de excepción de la administración.
6. Tarjetas de instrucción para los trabajadores.
7. Reglas de cálculo para corte de metal.
8. Sistemas de clasificación mnemónicos para partes y productos.
9. Un sistema de direccionamiento (*routing*).
10. Métodos para calcular costos.
11. Selección de los empleados en relación con el trabajo.
12. Idea de tarea que permite una bonificación si el trabajo es terminado en el tiempo especificado.

Para comprender la importancia de los conceptos anteriores es esencial que consideremos el entorno del pensamiento científico en esa época. En la última mitad del siglo XIX, la ingeniería mecánica había quedado establecida en Europa. Sin embargo, en Estados Unidos no sucedía lo mismo. Copley [6] afirma: “La idea misma de que podría haber una verdadera ciencia de dispositivos mecánicos seguía siendo despreciada por lo general”.

La ingeniería industrial, que representa la ciencia de las operaciones, no ha sido adoptada por muchas personas responsables de las operaciones hoy en día; prefieren negar su existencia a un siglo de su iniciación. Prefieren creer que las operaciones sencillamente requieren de sentido común. La historia de la ingeniería abunda en tales actitudes. Actualmente hay compañías que descubren que la ingeniería industrial trata eficazmente con problemas que ellas han sido incapaces de resolver con eficacia durante todo su pasado. En un sentido, incluso hoy en día, en algunas empresas realizar trabajo de ingeniería industrial es un poco como hacer labor de misionero.

Copley ofrece la cita siguiente “cómo andaban las cosas en el terreno de la mecánica tomada de una declaración de Taylor”, que tipifica en Estados Unidos durante este periodo:

Puedo recordar claramente la época cuando un ingeniero científico educado era considerado con profunda suspicacia prácticamente por la totalidad de la comunidad manufacturera.

Los ingenieros exitosos de mi juventud eran principalmente hombres que estaban dotados de un sentido aguzado de la proporción, hombres que tenían la facultad de llevar en la mente el tamaño y la forma general de partes de maquinaria, por ejemplo, que habían probado ser exitosas, y que pensaban que su juicio intuitivo era capaz de hacer una conjetura astuta acerca del tamaño y solidez apropiados de las partes requeridas para una máquina nueva.

Tuve el gusto y el honor de conocer personalmente a uno de los ingenieros más grandes y uno de los últimos de esta escuela de ingeniería empírica, el señor John Fritz, quien desempeñó una parte muy importante en el desarrollo del proceso Bessemer, así como casi todos los elementos iniciales de la industria del acero en este país.

Cuando era yo un muchacho y vi por primera vez al señor Fritz, la mayoría de los bocetos que él realizaba para su nueva maquinaria los hacía con una varita sobre el piso del taller de herrería, y en muchos casos la descripción verbal de las partes de las máquinas que él deseaba hacer eran más importantes que sus bocetos. Una y otra vez él mismo no sabía exactamente qué quería hasta que el patrón o modelo estaba hecho y tenía la oportunidad de ver la forma de la pieza que estaba diseñando. Uno de sus dichos favoritos cuando una máquina nueva quedaba

terminada era: “Bien, muchachos, ya la hicimos, ahora vamos a arrancarla y ver por qué no funciona”.

El ingeniero de esa época esperaba confiadamente que la primera máquina producida no lograría funcionar, pero al estudiar sus defectos podría ser capaz de alcanzar el éxito con la segunda máquina.

En el entorno actual de diseño asistido por computadora, a los estudiantes les puede ser incomprensible imaginar qué era mi primer trabajo como ingeniero industrial, “colaborando” en la Universidad Northeastern en Boston en 1951. Una de mis tareas era hacer bocetos para partes empleadas en la manufactura de interruptores automotrices para las cuales no los había. Descifraba notas escritas a mano con números de partes garabateados en ellas; la *ingeniería inversa* estaba a la orden del día. La *ingeniería inversa* se refiere a hacer planos de partes midiendo dichas partes para obtener el plano. De hecho, hacíamos productos para los cuales no había bocetos ni listas de materiales; un gerente de producción en la planta sabía cuáles partes armar juntas para producir un pedido particular de un cliente. Sólo él y el cliente sabían qué constituía al producto. Y al gerente también le gustaba que fuera así; le proporcionaba cierto grado de seguridad laboral.

## ADMINISTRACIÓN CIENTÍFICA

En 1909 Taylor intentó de nuevo esclarecer sus conceptos al ofrecer otro artículo a la ASME titulado “Principios de la administración científica” [29]. Para esta época su enfoque había recibido una mezcla de fama y mala reputación, particularmente como resultado de las audiencias del caso de tarifas de ferrocarriles ante la Comisión de Comercio Interestatal, en las cuales sus conceptos se convirtieron en el centro de la controversia. Louis Brandeis, que representaba a los industriales del Este, afirmaba que el aumento de tarifa era injustificado porque los ferrocarriles no habían logrado aprovechar el sistema de Taylor. Debido a la controversia que *Scientific Management* había creado, pasaron 18 meses sin nuevas acerca de este artículo presentado ante la ASME. Taylor, sintiéndose obligado a aclarar gran parte de la confusión que rodeaba sus técnicas, retiró el artículo de la ASME, lo publicó en forma privada y lo mandó circular entre los miembros de la ASME por su cuenta. “Principios de administración científica”, en contraste con sus artículos anteriores, que eran de naturaleza filosófica. En su mayor parte intentaba describir y justificar su enfoque.

En 1911 y 1912 un comité especial de la Cámara de Representantes de Estados Unidos, preocupada por el sistema de Taylor, sometió a éste a un largo interrogatorio. Al considerar retrospectivamente los esfuerzos de Taylor, no es difícil entender por qué su enfoque enfrentó grandes críticas en su época; representaba un alejamiento de la práctica profesional, pero al mismo tiempo tenía éxito.

Como se verá más adelante, una carga que los ingenieros industriales deben soportar al hacer su trabajo es que si tienen éxito para identificar un mejoramiento poten-

cial de productividad acerca de operaciones presentes, alguien responsable de esas operaciones tratará a menudo de defenderlas. Tratar con egos lastimados es un hecho de la vida para los ingenieros industriales que ejercen; puede ser el obstáculo aislado más grande para la implantación de mejoramientos en productividad en la industria de hoy en día.

Taylor hizo aumentar la producción junto con una reducción en los costos generales de mano de obra, mientras que pagaba salarios más altos. Enseñaba a los empleados a trabajar y entonces esperaba que trabajaran casi a toda su capacidad por sueldos más altos. En algunas aplicaciones, Taylor logró un aumento cuádruple en producción. No le faltaron trabajadores que querían recibir los sueldos más altos y nunca tuvo “paros” laborales. Sin embargo, es dudoso que un sindicato hoy día permitiera esta distribución del valor de la mayor productividad.

Otra fuente de crítica contra Taylor fue su franqueza en lo tocante al comportamiento humano, como se puede ver en la cita siguiente tomada de *Scientific Management* [29, pág. 59]:

Ahora bien, uno de los primeros requisitos para un hombre que es capaz de manipular hierro en bruto como una ocupación regular es que deberá ser tan estúpido y tan flemático que más habrá de parecerse en su estructura mental a un buey que a cualquier otro tipo. El hombre que está mentalmente alerta y es inteligente es por esta misma razón completamente inadecuado para lo que sería, según él, la agobiante monotonía de esta clase de trabajo. Por lo tanto, el trabajador que esté mejor capacitado para manipular hierro en bruto es incapaz de entender la verdadera ciencia de realizar este tipo de labor. Es tan estúpido que la palabra “porcentaje” no tiene significado para él, y en consecuencia debe ser entrenado por un hombre más inteligente en el hábito de trabajar de acuerdo con las leyes de esta ciencia para que pueda tener éxito.

En 1913, preocupado por los efectos del sistema Taylor, el Congreso agregó una enmienda a la ley de asignación de fondos del gobierno, estipulando que ninguna parte de los fondos podría destinarse a la remuneración de una persona dedicada al trabajo de estudio de tiempos. Más tarde se aprobó una ley que hacía ilegal usar un cronómetro en una oficina de correos; contenía una posible multa así como prisión por infringir la disposición. Incluso en 1947, la Ley de egresos del ejército y la Ley de egresos del departamento de Marina especificaban que no podrían pagarse sueldos por realizar un estudio de tiempos con cronómetro, ni tampoco salarios de incentivo para los empleados, con estos fondos. En julio de 1947 la Cámara de Representantes aprobó una ley que permitía al departamento de la defensa usar el estudio de tiempo; y en 1949 todas las restricciones federales contra el uso de cronómetros fueron descontinuadas.

Taylor entró a Bethlehem Steel en 1898 y creó una gran controversia entre los gerentes en los doce años siguientes; en 1910, Robert P. Lindeman, entonces presidente de Bethlehem Steel, lo despidió sumariamente. Taylor no había recibido ninguna aceptación importante de sus conceptos hasta alrededor de 1910, en medio de una polémica sumamente acalorada. Después de su despido de Bethlehem Steel dividió su tiempo entre actividades de consultoría y conferencias, con la esperanza de explicar sus conceptos. Murió de neumonía cinco años después.

## FRANK B. GILBRETH

Otro pionero de la ingeniería industrial, Frank B. Gilbreth, nació el 7 de julio de 1868 en Fairfield, Maine. A la edad universitaria, después de trasladarse a Boston con su familia, quiso entrar al Instituto de Tecnología de Massachusetts; sin embargo, el presupuesto familiar ya estaba comprometido con la educación de su hermana mayor, así que en vez de ello tomó un empleo como ayudante de albañil.

Tenía una actitud inquisitiva acerca de su trabajo, pero parecería que recibió muy pocas respuestas satisfactorias. La albañilería era un arte en desarrollo y bajo un análisis detallado había un considerable espacio para el mejoramiento. Para no alargar mucho la historia, antes de llegar a la edad de 30 años era propietario de una compañía constructora muy rentable con oficinas en todo el mundo.

En el pasado, 120 ladrillos colocados por trabajador por hora era normal; las innovaciones de Gilbreth dieron lugar a una tasa de producción promedio de 350 ladrillos por trabajador por hora. Estos aumentos de tasa no se lograron al hacer que los albañiles trabajaran más rápido, sino mediante un método más eficaz. Esto es lo que Drucker [7, pág. 271] denominó después “trabajar más inteligentemente, no más duro”. Al analizar el *método estándar*, un concepto que Gilbreth había iniciado, para colocar ladrillos exteriores, Gilbreth redujo el número de movimientos de 18 a 5. Tradicionalmente, un albañil se agachaba y recogía un ladrillo de una pila de éstos colocada sobre un andamio relativamente no ajustable, giraba el ladrillo para encontrar el mejor lado, y entonces colocaba el ladrillo usando mezcla cuya consistencia a menudo era mala. Gilbreth propuso otra cosa. Consideremos que los ladrillos que se llevan a una obra en construcción están colocados densamente, tocándose unos a otros, sobre una tarima. Considérese también que para tomar un ladrillo presionado contra otro ladrillo, uno de los dos ladrillos tiene que ser empujado lejos del otro para que usted pueda rodear con la mano uno de los ladrillos para tomarlo. Gilbreth quería que los maestros albañiles pudieran recoger un ladrillo de la forma más eficiente; por lo tanto, comisionó personas que ganaban el sueldo mínimo para que dispusieran los ladrillos sobre una tarima a fin de que al maestro albañil le resultara más fácil tomarlos. Luego dispuso andamios ajustables, la ubicación apropiada de los ladrillos y la mezcla, y una mezcla con la consistencia apropiada. El resultado fue un gran mejoramiento en la productividad con menos fatiga. Gilbreth siempre estaba buscando el mejor método posible.

Frank Gilbreth se casó con Lillian Moller Gilbreth, una graduada Phi Beta Kappa en psicología de la Universidad de California, quien más tarde recibió un doctorado de la Universidad Brown. Los Gilbreth trabajaban en estrecha colaboración; la combinación de ingeniero y psicóloga les permitió abrir importantes caminos en el análisis de la conducta laboral humana.

Para Frank Gilbreth era de particular interés el análisis de los movimientos fundamentales de la actividad humana. Clasificó los movimientos básicos en lo que denominó *therbligs* (que es casi el nombre Gilbreth escrito al revés), tales como buscar, encontrar, transportar vacío, preposicionar, asir, etc. En un intento para analizar movimientos en mayor detalle usó cámaras cinematográficas industriales en una técnica

ca que denominó *estudio de micromovimiento* en una junta de la ASME en 1912. Como las cámaras eran generalmente accionadas a mano con una manivela y carecían de una velocidad constante, incluyó un reloj llamado un microcronómetro, graduado a 1/2 000 de un minuto, para proporcionar una dimensión de tiempo a la actividad filmada. Hoy en día, la filmación de micromovimiento se hace a 1 000 cuadros por minuto, que automáticamente espacia cuadros sucesivos de actividad a una separación de 0.001 minutos. El tiempo se determina al contar cuadros y en el proyector se inserta un contador.

Gilbreth también estudió los movimientos de partes del cuerpo humano, típicamente las manos. Usando un lente abierto, filmó una luz sujeta a un punto del cuerpo en un cuarto a oscuras. La foto producida mediante esta técnica se denomina un ciclógrafo. Al agregar indicaciones visuales en la trayectoria de la luz a intervalos fijos de tiempo, logró agregar una dimensión de tiempo a la fotografía de la trayectoria del movimiento. La fotografía así producida se llamó un cronociclógrafo. Estas y otras técnicas se usaban para estudiar movimientos fundamentales en la actividad humana a fin de determinar tiempos promedio para tales movimientos bajo condiciones diversas.

Gilbreth recibió una gran influencia de Taylor, pero mientras este último aplicaba sus métodos casi exclusivamente al taller industrial, Gilbreth reveló la generalidad de estas técnicas al aplicarlas a campos tales como construcción, construcción de canales, educación, medicina y asuntos militares. Su esposa agregó la dimensión del “factor humano” a su labor, que llevó a la larga a la teoría organizacional y al análisis de la práctica administrativa.

Para 1924 Frank Gilbreth se había hecho internacionalmente famoso por sus aportaciones. Murió tres días antes de emprender el viaje invitado a presentar disertaciones en la Conferencia Mundial de la Energía en Inglaterra y la Conferencia Internacional de Administración en Checoslovaquia. Lillian Gilbreth continuó su labor después del fallecimiento de su esposo y se convirtió en la mujer ingeniero más distinguida de Estados Unidos hasta la fecha. En los últimos años de su vida poseía tal encanto y entusiasmo que sirvió de inspiración a muchos. Yo la escuché hablar cuando era un estudiante graduado en el Tecnológico de Georgia; fue la oradora más inspirada que he escuchado nunca. Acababa de regresar de Australia y desafió a todos los oyentes para que fueran allí a hacer buenos trabajos. Lillian Gilbreth ha llegado a ser conocida como la “primera dama de la ingeniería” y la “primera embajadora de la administración” [9, pág. 25]. La distinción de más prestigio que confiere el Instituto de Ingenieros Industriales es el Premio Frank y Lillian Gilbreth de Ingeniería Industrial. Dos de los hijos de los Gilbreth describieron más tarde a su familia en el libro *Cheaper by the Dozen*, sobre el cual se hizo una película con el mismo título.

Uno de los socios de Taylor en Midvale Steel era Carl Barth, un matemático, quien inició su carrera en la sala de proyectos en Midvale Steel. Barth se involucró en los experimentos de corte de metal de Taylor y desarrolló reglas de cálculo, como la que se ilustra en la figura 1.1, que los trabajadores podían usar para calcular rápidamente los parámetros de alimentación y velocidad para una operación particular.

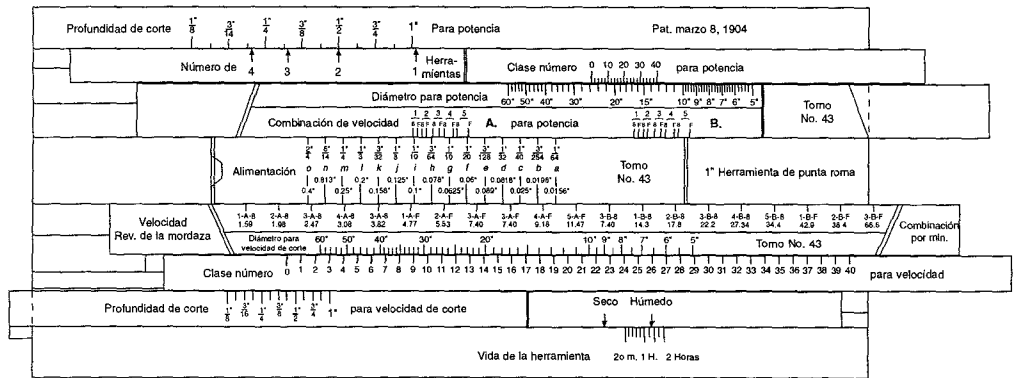


FIGURA 1.1 Una regla de cálculo Barth. (Tomada de Charles D. Flagle, W. H. Huggins y R. H. Roy, *Operations Research and Systems Engineering*, John Hopkins Press, Baltimore, 1960, pág. 18.)

Barth también dirigió algunos estudios iniciales de fatiga en un esfuerzo para establecer asignaciones apropiadas por fatiga en el estudio de tiempos. Taylor tenía más de una docena de asociados que lo ayudaban en diferentes aspectos del estudio. Los defensores de la investigación de operaciones hoy en día sugieren que una característica única de esta disciplina, en comparación con enfoques anteriores, es el uso del enfoque de equipo. Conceptualmente esto difiere poco del enfoque del estudio de Taylor sobre el corte de metal, como se puede apreciar en la cita siguiente:

El señor White [Mansel White] es sin duda alguna un metalúrgico mucho mejor que el resto de nosotros; el señor Gantt [H. L. Gantt] es un gerente mucho mejor que todos los demás, y el autor de este artículo tiene tal vez la facultad de mantener sus dientes más apretados... El señor Barth [Carl G. Barth], que es un matemático mucho mejor que el resto de nosotros, ha dedicado una gran parte de su tiempo ... a realizar el trabajo matemático.

Otro asociado de Taylor era Henry Laurence Gantt, mejor conocido hoy día por el tipo de gráfica que se usa para programar equipo de producción, que lleva su nombre. La gráfica Gantt, ilustrada en la figura 1.2, se usa para mostrar gráficamente el trabajo que se ha programado con antelación para cada máquina y el progreso de esos trabajos hasta la fecha.

Las gráficas Gantt son, por tanto, un medio para planear la producción y observar y planificar la utilización del equipo. Variantes de la gráfica Gantt son de uso común actualmente en muchas de las plantas más pequeñas de producción.

Gantt también desarrolló un plan de incentivos salariales en 1901, según el cual se les pagaba a los trabajadores una bonificación si trabajaban por arriba de la tasa estándar de actividad. El plan alentaba la cooperación entre administración y obreros y suavizaba el enfoque más duro que usaba Taylor. Taylor no creía en retener a una persona que no podía trabajar por encima de la velocidad estándar; prefería mantener solamente a una persona de primera clase y pagar una bonificación por trabajar por arriba del estándar.

TORNOS	5	6	7	8	9	12	13	14	15
	L	M	M	J	V	L	M	M	J
#261	#106	#108		#211		#212			
#263		#316			#227		#87		
#268			#251				#26	#301	
#273		#247			#248				
#281		#11						#304	
#286	#26		#28			#108			
#294									
#303									

FIGURA 1.2. Una gráfica Gantt.

## LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL

El primer curso en ingeniería industrial que se enseñó en Estados Unidos lo impartió el profesor Hugo Diemer en la Universidad de Kansas en 1902. La descripción del curso decía lo siguiente: “*Economía de la fábrica: Diseño, equipo y organización de una fábrica. Selección y arreglo de maquinaria para condiciones dadas. Planos de taller. Estudio de organización y administración de establecimientos industriales. Escolares del último año, 2o. semestre. Diariamente, a las 9, profesor Diemer*” [9, pág. 43]. En 1904 el profesor Dexter Kimball impartió un curso optativo de ingeniería industrial para ingenieros mecánicos del último año en la Universidad Cornell. En 1908 el profesor William Kent inició un programa de estudios de ingeniería industrial en la Universidad Syracuse. Al mismo tiempo la Escuela de Administración de Empresas de Harvard incorporó el sistema de Taylor en sus cursos de administración de taller.

Por recomendación de Frederick W. Taylor, el profesor Diemer fue contratado por la hoy Universidad Estatal de Pennsylvania para enseñar un enfoque de ingeniería industrial en la ingeniería mecánica, que en 1908 produjo el primer programa de estudios de enseñanza continua en ingeniería industrial, ofrecido como una opción en ingeniería mecánica. Debido al interés inmediato que despertó el curso, al año siguiente se convirtió en un programa de estudios separado de cuatro años, que el profesor Diemer dirigía. Diemer se dedicó entonces a escribir el primer texto de ingeniería industrial en 1910 titulado *Factory Organization and Administration*. Tres años después el profesor Kimball en Cornell escribió el texto *Principles of Industrial Organization*, que fue bien recibido y se convirtió en un texto estándar en el emergente campo durante muchos años.

Una magna presentación del subcomité de ASME titulada “El estado actual de cosas en la administración industrial” fue ofrecida en la junta anual de la ASME el 6 de diciembre de 1912, la cual puede haber sido la reunión más importante de pioneros en la ingeniería industrial de la historia. Asistieron Taylor, Gilbreth, Gantt, Towne, Diemer, Kent, Kimball, Thompson y Barth; pero una personalidad notable no estuvo presente ese día, Lillian Gilbreth, ya que a las mujeres no se les permitía la entrada a las reuniones de la ASME. Los hechos históricos pueden ser indignantes vistos en retrospectiva, pero hemos hecho algunos progresos actualmente.

## PRÁCTICA DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL

De 1912 a 1913 varias empresas industriales de primera importancia en Estados Unidos iniciaron también programas de ingeniería industrial en sus plantas: Armstrong Cork (actualmente Armstrong Industries), Dow Chemical, Eastman Kodak y Eli Lilly, por nombrar a unas cuantas.

Mientras que la mayor parte de la atención en las etapas iniciales del desarrollo de la ingeniería industrial en Estados Unidos estaba dirigida a la planta de producción, Henri Fayol en Francia se ocupaba por la aplicación de los principios de la administración en toda una organización.

Alrededor de la misma época que Fayol, Taylor estaba desarrollando el concepto de *superintendencia funcional*, en el cual la fuerza laboral se dividía en operadores y planificadores; de hecho estaba inventando el organigrama de las organizaciones de manufactura. Antes de este desarrollo el organigrama no existía. El superintendente de planta típico no tenía designado un asistente para la planeación de sus operaciones; lo hacía él mismo, cuando podía encontrar el tiempo adecuado.

Harrington Emerson intentó usar el enfoque de Taylor y algunas de sus ideas propias para analizar los esfuerzos laborales en el sistema de ferrocarriles Santa Fe. Emerson reorganizó la administración de la compañía y utilizó mejores prácticas de taller, cálculo de costos estándar y máquinas tabuladoras para propósitos de contabilidad. Sus mejoras dieron lugar a ahorros anuales reportados muy superiores a \$1 millón de dólares por año para la línea. Posteriormente escribió un libro titulado *Twelve Principles of Efficiency* [8], en el cual intentó poner en claro su enfoque. El éxito de Emerson precipitó esfuerzos de modernización en una amplia gama de empresas industriales debido a que su sistema tenía aplicabilidad en diferentes campos comerciales e industriales.

Morris L. Cooke intentó usar la administración científica en gobiernos ciudadanos. Más tarde él y Philip Murray, presidente del Congreso de Organizaciones Industriales, publicaron “Trabajo y producción organizados”, un panfleto que planteó la conveniencia de una meta común de productividad óptima tanto para los trabajadores como para la gerencia.

Dwight V. Merrick, siguiendo el trabajo de estudio de tiempos de Taylor, dirigió un estudio de tiempos elementales, que fue publicado en la revista *American Machinist*.



Merrick, al igual que Gantt, desarrolló también un plan de incentivos salariales con la esperanza de que fuera mejor que los ofrecidos por Taylor y Gantt.

Las épocas de guerra siempre han proporcionado un estímulo para el avance tecnológico. Franklin D. Roosevelt, a través del departamento del trabajo, recomendó usar estándares de tiempos durante la Segunda Guerra Mundial, y este uso dio lugar a un mejoramiento importante. De hecho, la Junta regional III de trabajos bélicos en el área de la costa del este medio de la Unión Americana alentó los incentivos salariales y emitió lineamientos para su uso.

Un interesante estudio del rendimiento humano fue iniciado en 1927 en los *Hawthorne Works* de la Western Electric Company (ahora AT&T Technologies), la subsidiaria manufacturera de Bell Telephone System. Una parte del estudio se ocupaba del efecto de la iluminación sobre la productividad. Una área en la planta fue provista de mayor iluminación, y se observó un aumento en productividad. Sin embargo, más tarde quedó claro que el aumento de producción estaba relacionado con el interés que mostraba la directiva en el estudio (es decir, frecuentes visitas al área de estudio de parte de altos gerentes) y, en grado mucho menor, a la mayor iluminación. Se convirtió en un ejemplo clásico de la necesidad de incluir un grupo de control en un estudio de este tipo. El grupo de control debería haber estado sujeto a todos los efectos, excepto la mayor iluminación, que experimentó el otro grupo (es decir, incluyendo la atención de la gerencia). La productividad del grupo de control también se debería haber incrementado. La atribución errónea de la relación causal de un efecto cuando no se ha utilizado un grupo de control ha adquirido el nombre de “efecto Hawthorne”.

F. W. Harris fue uno de los primeros en formular una descripción gráfica del más sencillo de los modelos de inventarios, el modelo de la Cantidad Económica de Pedido (CEP), en términos matemáticos. Desafortunadamente para Harris, otro caballero hizo uso intensivo de la fórmula de Harris, y ésta llegó a conocerse más tarde como la fórmula Wilson. Aquí puede haber un mensaje: si usted tiene una buena idea, hágasela saber al sistema (por ejemplo, escriba un artículo); de otro modo es posible que alguien más se lleve el crédito.

## TEXTOS CLÁSICOS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

En 1931, F. E. Raymond escribió el primer libro sobre control de inventarios, en el cual intentó detallar la utilidad del control de existencias en la manufactura.

En 1924, W. A. Shewhart de Bell Telephone Laboratories ofreció la primera descripción de una gráfica de control y en 1931 publicó el primer texto sobre control estadístico de calidad [24]. El profesor Eugene Grant de la Universidad Stanford publicó en 1948 el texto *Statistical Quality Control* [11], que ha sido un clásico en el campo; el texto de Grant y Leavenworth está ahora en su sexta edición. Antes de eso, en 1930, Grant [10] publicó el texto *Principles of Engineering Economy*, que constituyó un esfuerzo pionero en esta disciplina; este texto de Grant y Leavenworth está ahora en su octava edición y es también un texto fundamental en esta subdisciplina.

Textos de Barnes [3] y más tarde de Niebel [19] y de Mundel [17] ampliaron los métodos y los esfuerzos de estudio de tiempos de Gilbreth y Taylor. Los métodos de graficación todavía son útiles para realizar análisis de producción y a menudo desafían una formulación matemática útil. Sin embargo, una técnica como el muestreo del trabajo es una aplicación del muestreo estadístico y su solución depende de la descripción matemática.

El método de puntuación objetiva de Mundel, en el cual la dificultad inherente de un método es un factor a considerar, sugiere la complejidad de esta área con más claridad que los métodos anteriores de puntuación del rendimiento. Harold Smalley, que había sido estudiante de Mundel, en un largo artículo [25] sobre la medición del trabajo en el *Journal of Industrial Engineering*, resaltaba la naturaleza polémica de muchos de los conceptos fundamentales en este campo. Lo que siempre le ha parecido irónico al autor de este libro es la falta de atención que se le da a esta subdisciplina a la luz de su importancia en lo tocante a la productividad. Hay inconsistencias inherentes generalmente reconocidas entre enfoques antagónicos en este campo, lo cual sugiere que se necesitan investigaciones, y sin embargo el respaldo a la investigación ha sido mínimo durante estos años. El texto de Krick [12] identifica muchas de estas inconsistencias teóricas, por incómodas que puedan parecer al estudiante típico de primer año de ingeniería industrial, y hace un llamado de atención sobre la necesidad de una investigación continua en esta área.

Varios consultores hicieron progresar el estado de cosas a mediados de la década de 1900. Charles Bedaux, en incentivos salariales; Phil Carroll, en estudio de tiempos y movimientos y análisis de costos; H. B. Maynard, en sistemas de tiempo predeterminados; y Allen Mogensen, en simplificación del trabajo. Los enfoques de equipo autodirigido de hoy en día sugieren que hemos hecho un círculo completo en el sentido de que los enfoques de simplificación del trabajo que se enseñaban en los seminarios de verano de Mogensen en el Lake Placid Club en Lake Placid, Nueva York, eran similares en muchos conceptos a lo más en boga actualmente.

Como se dijo antes, uno de los primeros textos en el campo del análisis de inversión de capital es el que escribió Eugene Grant en 1930 titulado *Principles of Engineering Economy*. Otro pionero en el campo fue H. G. Thuesen, quien fundó el departamento de ingeniería industrial en la Universidad Estatal de Oklahoma en 1925 y escribió *Engineering Economy* en 1950.

Mallick y Gaudreau [13], Muther [18] y Apple [2] escribieron los primeros textos en el área de la configuración de la planta. Era un placer usar el texto de Apple ya que resultaba obvio que había sido escrito por un hombre que había practicado con éxito su profesión. Proporcionaba una presentación muy lógica del material y un ejemplo de producto a lo largo de todo el texto. La configuración de la planta ha sido, y en la mayor parte de su aplicación todavía lo es, regida por técnicas gráficas y conceptuales. Las técnicas CAD/CAE/CAM (es decir, diseño asistido por computadora, ingeniería asistida por computadora y fabricación asistida por computadora) tratan de modo muy eficaz con los aspectos gráficos del campo en la actualidad. Otros textos, como los de Reed [21] y Moore [16], fueron intentos tempranos de incluir un punto de vista más matemático. El texto más completo en el campo actualmente es el de Tompkins y White [30].

Sin embargo, a la luz del número de variables a considerar, es probable que gran parte de la carga de trabajo básico del diseño de la planta continuará haciéndose hoy en día mediante las técnicas tradicionales desarrolladas hasta la fecha. Esto no quiere decir que las técnicas modernas no se usarán. La simulación digital por computadora y la teoría de colas han sido exitosas y se utilizan extensamente en este campo y continuarán usándose. Otras técnicas cuantitativas también están haciendo numerosas incursiones en el campo.

## ORGANIZACIONES DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Hay poca duda de que la ingeniería industrial se desarrolló como una rama de la ingeniería mecánica, y la Sociedad Estadunidesa de Ingenieros Mecánicos fue la primera sociedad técnica de importancia que representó los intereses de la ingeniería industrial. Los símbolos para las gráficas de flujo de procesos usadas comúnmente en el análisis de producción todavía son definidos por estándares de ASME. Asimismo, algunas carreras de ingeniería industrial son todavía opciones dentro de los departamentos de ingeniería mecánica en universidades de Estados Unidos.

En 1911, cuando la polémica acerca de la administración científica estaba en su punto más álgido, mientras el sistema Taylor era motivo de discusión en el caso de las tarifas de ferrocarriles ante la Comisión de Comercio Interestatal, y el mismo Taylor daba testimonio ante un comité de la Cámara de Representantes de Estados Unidos, Morris Cooke y Harlow Persons organizaron una conferencia sobre administración científica en la escuela Amos Tuck del Colegio Dartmouth.

Un año después se fundó la Sociedad de Eficiencia en la ciudad de Nueva York, y se inició la Sociedad para Promover la Ciencia de la Administración, que en 1915 se convirtió en la Sociedad Taylor. En 1917 se formó la Sociedad de Ingenieros Industriales (SIE) para representar específicamente los intereses de especialistas y gerentes de producción, a diferencia de la orientación hacia la filosofía general de la administración que se había desarrollado dentro de la Sociedad Taylor.

Varias personas que deseaban desarrollar programas corporativos de capacitación para personal administrativo formaron la Asociación Estadunidesa de Administración (AMA) en 1922. Ésta sigue siendo la principal organización en los Estados Unidos que representa al arte y la ciencia de la administración.

En 1932 se formó en Detroit la Sociedad de Ingenieros de Fabricación (SME). La SME está “dedicada al avance del conocimiento científico en el campo de la ingeniería de manufactura y a la aplicación de sus recursos a investigar, escribir, publicar y disseminar información”. La SME tiene 80,000 miembros en 70 países y patrocina más de 300 organizaciones locales de profesionistas y 200 organizaciones locales y unidades de estudiantes.

Con la asistencia de Frank Gilbreth, Morris Cooke y Robert Kent, se fundó la primera sociedad que representó a los ingenieros industriales, la Sociedad Taylor, el 11 de noviembre de 1910 en el Athletic Club en la ciudad de Nueva York. A ésta sigue-

ron reuniones mensuales en la Chop House de Keene. En 1917 la Sociedad de Eficiencia del Oeste tuvo una reunión en Chicago en la cual se formó la Sociedad de Ingenieros Industriales, una organización de la Bahía de San Francisco. En 1936 la Sociedad Taylor y la Sociedad de Ingenieros Industriales se fusionaron para formar la Sociedad para el Avance de la Administración (SAM). Esta sociedad combinaba los intereses de especialistas de producción, gerentes de producción y aquellas personas interesadas en la filosofía general de la administración. La SAM fue absorbida más tarde por el AIIE, que se examinará más tarde, y se fusionó con su División de Administración.

Dos organizaciones poderosas que representan los intereses de los fabricantes se formaron durante este periodo: la Asociación Estadunidense de Administración (AMA), fundada en 1922 como la Asociación de Escuelas de las Corporaciones; y la Asociación de Fabricantes Estadunidenses, fundada en 1929.

## EL INSTITUTO DE INGENIEROS INDUSTRIALES

Wyllys G. Stanton, un profesor de ingeniería industrial en la Universidad Estatal de Ohio, era un hombre con visión. En 1948 convocó una reunión de varios de sus asociados para considerar la formación de una nueva organización profesional que representara a los ingenieros industriales. En agosto de 1948, 12 miembros formaron la Organización local Columbus del Instituto Estadunidense de Ingenieros Industriales (AIIE), con Eldon Raney como su presidente. Un mes más tarde, la AIIE fue registrada bajo las leyes del estado de Ohio. Un año después había organizaciones locales de estudiantes en la Universidad de Alabama, Universidad de Columbia, Tecnológico de Georgia, Universidad del Noreste, Universidad Estatal de Ohio, Universidad Estatal de Oklahoma, la Universidad de Pittsburgh, Universidad Syracuse, Tecnológico de Texas y Universidad de Washington. Las primeras oficinas generales del AIIE estaban en la oficina de Stanton en la Universidad Estatal de Ohio, y poco después se trasladaron a Columbus. En 1960 la oficina se trasladó al Centro Unido de Ingeniería en la ciudad de Nueva York y más tarde se trasladó de nuevo a un suburbio de Atlanta.

La primera revista oficial del AIIE fue la *Journal of Industrial Engineering*. El coronel Frank Groseclose, ya fallecido, antiguo profesor emérito y ex director de la Escuela de Ingeniería Industrial en el Tecnológico de Georgia, fue su primer editor. Él publicó el primer número de la revista en junio de 1949. Para 1969 se había desarrollado una dicotomía de intereses dentro del AIIE, que dio lugar un año después a la creación de dos revistas, la *Industrial Engineering*, para los profesionales practicantes, y la *AIIE Transactions*, para los académicos.

En los últimos años el AIIE ha fomentado el desarrollo de divisiones dentro del instituto. Entre éstas es típica la División de Planeación y Diseño de Instalaciones. Es interesante notar que el desarrollo del concepto de división dentro del ASME (por ejemplo, la División de Administración) puede haber sido uno de los factores que llevaron a la formación de la ingeniería industrial como una disciplina de ingeniería independiente.

En 1981, con organizaciones locales en más de 70 países en todo el mundo, el Instituto Estadunidense de Ingenieros Industriales (AIIE) eligió cambiar su nombre a Instituto de Ingenieros Industriales (IIE) para representar mejor a la comunidad de ingeniería industrial en todo el mundo.

El Instituto de Ingenieros Industriales, junto con otras disciplinas de ingeniería, es un miembro de la Sociedad Nacional de Ingenieros Profesionales (NSPE). La práctica de todos los campos de la ingeniería está regulada por leyes estatales. “Ingeniero profesional registrado” es una denominación reservada para aquellos ingenieros graduados que aprobaron un examen de Ingeniero-en-Capacitación (EIT), que por lo regular se toma en su último año en la universidad, y luego el examen de ingeniería profesional en su campo respectivo, una vez que han adquirido y documentado un mínimo de cinco años de práctica profesional en ingeniería. Tal designación se considera típicamente como un requisito esencial para fungir como un perito en procedimientos legales (por ejemplo, demandas, casos de tarifas, audiencias NLRB [Junta nacional de trabajo y relaciones]) en los cuales uno de los litigantes considera necesario el testimonio de expertos. Documentos tales como planos que impliquen seguridad para el público típicamente requieren el “sello” de un ingeniero profesional, como una verificación de su suficiencia antes de iniciar la construcción. El ingeniero profesional sella un boceto o cálculo con una máquina manual de sellos similar a la que usa un notario público, y así acepta la responsabilidad profesional por el diseño.

## INGENIERÍA INDUSTRIAL INTERNACIONAL

Es dudoso que alguien haya contribuido más a la profesión de la ingeniería industrial que Frederick W. Taylor. Qué trágico resulta que un hombre que contribuyera tanto haya estado luchando por la aceptación de sus ideas tres años antes de su muerte. Sus esfuerzos, en última instancia, no quedaron en el olvido. En 1918 Georges Clemenceau del ministerio francés de la guerra se refería a los métodos de Taylor como [4, pág. 14] “el uso del mínimo de trabajo en cualquier tipo de labor a través de la investigación científica de los métodos más ventajosos de procedimiento en cada caso particular”, y recomendaba su uso. Lenin escribió lo siguiente en *Pravda* [4, págs. 14-15]:

Deberíamos probar todas las sugerencias científicas y progresivas del sistema de Taylor... Para aprender cómo trabajar —este problema que las autoridades soviéticas deberían presentarle al público en toda su complejidad—. La última palabra del capitalismo a este respecto, el sistema Taylor, así como todas las medidas progresivas del capitalismo, combinadas con la refinada crueldad de la explotación burguesa y un número de logros científicos muy valiosos en el análisis de movimientos mecánicos durante el trabajo, para disminuir movimientos superfluos e inútiles, para determinar los métodos más correctos para trabajar, los mejores sistemas de contabilidad y control, etc. La República Soviética debe adoptar el progreso científico y técnico valioso en este campo. La posibilidad del socialismo será determinada por nuestro éxito para combinar la regla soviética y la organización soviética de la administración con las medidas más progresivas del capitalismo.

Es interesante notar que a comienzos de la década de 1990 los soviéticos han decidido moverse a una economía de mercado y a prácticas industriales más occidentales como un medio para satisfacer sus necesidades. En muchos sentidos están reaprendiendo “cómo trabajar”.

Otro ejemplo del desarrollo interminable internacional de la ingeniería industrial es el reciente sumario del desarrollo de la ingeniería industrial en la República Popular China, proporcionado por Zhang Shuwu, Ingeniero jefe, China International Engineering Consulting Corporation, Beijing [32]:

La ingeniería industrial todavía no es una disciplina de ingeniería independiente en China; sin embargo, la aplicación de métodos de ingeniería industrial puede rastrearse hasta comienzos de la década de 1950. La evolución de la ingeniería industrial en China hasta la fecha es la siguiente:

La administración científica fue introducida durante las décadas de 1950 y 1960. En la década de 1950 la nueva China implantó una rehabilitación global tanto de su economía nacional como de su construcción industrial. El nuevo sistema económico e industrial establecido utilizó al sistema soviético como modelo. Todas las empresas adoptaron los métodos soviéticos de administración de empresas, incluyendo la administración científica, con lo cual introdujeron indirectamente el sistema de Taylor en China. El estudio de tiempos fue usado ampliamente bajo la denominación “administración de cuota de trabajo”. Durante el periodo de la Revolución Cultural (1966-1976), el desarrollo se retrasó debido a que el estudio de tiempos y el estudio de métodos se consideraba como “trucos capitalistas”.

En el periodo comprendido desde 1978 hasta mediados de la década de 1980, se aplicaron técnicas modernas de administración que, de hecho, pertenecían a la ingeniería industrial. Después de la Revolución Cultural, el Estado inició políticas de reforma y “se abrió” al mundo exterior. A esto siguió un resurgimiento de desarrollo científico y tecnológico y de construcción industrial. Se hizo hincapié en la administración de empresas, y se ofrecieron estímulos para el aprendizaje de tecnología avanzada y habilidades administrativas de países desarrollados. La mayoría de las empresas reanudaron el sistema de administración de cuotas, y numerosas técnicas modernas de administración fueron introducidas en administración de producción y operaciones. Ejemplos son: control total de calidad (TQC), ingeniería de valor (IV), ingeniería de sistemas (IS), investigación de operaciones (IO), administración por objetivos (APO), tecnología de grupos (TG), planeación de requerimientos de material (MRP), sistemas de información administrativa (SIA), justo-a-tiempo (JIT), administración *Kanban* y administración de proceso con ayuda de computadora (APCAC). Se desarrolló una “fiebre administrativa” en un intento por satisfacer la necesidad de profesionales en administración. Alrededor de 1980 la mayoría de los colegios de ingeniería, en sucesión, establecieron departamentos de ingeniería de administración industrial (IAI) que ofrecían cursos en administración de empresas y en ingeniería.

Desde mediados de la década de 1980 hasta la actualidad, ha emergido una nueva etapa de desarrollo de ingeniería industrial, alentada por los siguientes acontecimientos principales:

1. La definición oficial del III de la ingeniería industrial se ha adoptado en China, y el conocimiento sobre la ingeniería industrial se ha difundido mucho en todo el país.
2. La aplicación de la ingeniería industrial ha sido extendida, es de gran alcance y se está sistematizando. Algunas plantas manufactureras emplean estudio del trabajo (es decir, ingeniería de métodos y medición del trabajo) y el método japonés de ingeniería industrial, “las 5 S’s”, para mejorar la productividad. La adopción de tales prácticas ha dado lugar a reducción de costos y a mejoramientos de productividad y calidad.
3. Un foro sobre ingeniería industrial fue organizado por la Sociedad China de Ingeniería Mecánica (SCIM) en el verano de 1989, el cual dio lugar a la primera organización china de ingeniería industrial, el Instituto Chino de Ingeniería Industrial, fundado en junio de 1990, que marca la aparición de la profesión de ingeniería industrial en China.

4. Debido a la urgente necesidad de personal de ingeniería industrial, el Colegio de Educación Continua en Ingeniería para Ingenieros Mecánicos ha preparado un programa de capacitación profesional en ingeniería industrial para ingenieros practicantes, y algunas universidades están planeando proporcionar educación formal en ingeniería industrial para sus estudiantes.

Ya se ha adelantado mucho en varios aspectos de habilidades de operación y administración, tales como producción y control de inventario, configuración de la fábrica y manipulación de material, etc. Hoy día, cada vez hay más personas interesadas en aprender y aplicar ingeniería industrial; la tendencia es hacia una popularización de conocimiento en ingeniería industrial. Se realizan esfuerzos para comprender mejor la naturaleza y el potencial total de la ingeniería industrial, y para determinar cómo puede la ingeniería industrial servir mejor a las necesidades únicas de China. A este respecto, algunas grandes organizaciones están dando pasos para estimular los mejoramientos tecnológicos empresariales dirigidos a la optimización global de sistemas integrados. La expectativa es que habrá un desarrollo futuro rápido y considerable de la ingeniería industrial en China.

Los programas tipo ingeniería industrial han existido en China durante más de 40 años bajo la denominación de Ingeniería de administración (por ejemplo, en la Universidad tecnológica del Noreste, Shenyang, provincia de Liaoning, República Popular China). Puede ser interesante notar que la Ingeniería de administración es un título que probablemente serviría mejor a los ingenieros industriales en Estados Unidos hoy día, en comparación con “ingeniería industrial”, debido a la ampliación del campo más allá del sector industrial. Más de la mitad de los graduados en ingeniería industrial hoy día entran a ambientes laborales distintos al de la manufactura, con un nombre de campo que erróneamente se asocia con la industria. *Ingeniería de administración* no es un título desconocido en Estados Unidos; los ingenieros industriales que ejercen en la industria de atención a la salud lo emplean comúnmente. Es probable que todos los ingenieros industriales y el público estarían mejor apercibidos si en el futuro se usara el título *ingeniero de administración* en vez de *ingeniero industrial*.

Es interesante notar que en todo el mundo occidental y en China se está adoptando la ingeniería industrial como un medio para mejoramientos de calidad y productividad en sus economías nacionales respectivas. Durante los últimos 15 años, por ejemplo, México ha estado desarrollando activamente la ingeniería industrial como un campo de la ingeniería para incrementar y respaldar su desarrollo económico. El más grande de los 10 000 parques industriales en el mundo es el de Ciudad Juárez, México. El parque industrial Antonio J. Bermúdez, en Ciudad Juárez, con 48 plantas maquiladoras emplea a 35 000 obreros [5]. Las plantas maquiladoras permiten que se lleven materiales a plantas mexicanas desde Estados Unidos de modo que la mano de obra mexicana pueda agregarse al material, con acuerdos internacionales de que todos los artículos así producidos deben embarcarse de regreso a Estados Unidos; esto impide que los productos manufacturados compitan con productos mexicanos elaborados en plantas propiedad de mexicanos. Las tendencias actuales sugieren que la antigua Unión Soviética, y otros países de Europa Oriental, adoptarán cada vez más la ingeniería industrial como un medio para el mejoramiento de la calidad y la productividad en sus economías de libre empresa de reciente aparición.

En la primera mitad de este siglo los ingenieros industriales se ocupaban del diseño de plantas de fabricación y controles para operarlas. En la segunda mitad del siglo la

aparición de la investigación de operaciones, la ciencia de la administración, la ingeniería de sistemas y la ciencia de la computación han ampliado grandemente el alcance de la ingeniería industrial. Cada vez es más difícil describir el campo de la ingeniería industrial en términos sencillos. Se espera que los capítulos siguientes ofrecerán atisbos de los tipos de trabajo que realizan los ingenieros industriales. Los ingenieros industriales reciben una educación única hoy en día, en comparación no sólo con otros ingenieros sino también con estudiantes de otras disciplinas; se les prepara para analizar un espectro más amplio de actividad productiva. La clave para entender la extensión de esta actividad es la definición que hace el economista de la palabra *producción*. En economía la palabra producción se refiere a la creación de un producto o un servicio. La tecnología actual de la ingeniería industrial es suficientemente universal en lo tocante a su aplicación como para analizar la producción en áreas tan diversas como manufactura, banca, hospitales, sistemas de defensa, distribución, comercio detallista, construcción de barcos, construcción, industria química, seguros, industrias de asistencia social, consultorios dentales y compañías de venta por catálogo. La labor de un ingeniero industrial hoy día puede ser tan diversificada que la definición siguiente, adoptada por el IIE, es de lo más concreto posible:

La ingeniería industrial se ocupa del diseño, mejoramiento e instalación de sistemas integrados de personas, materiales y equipo; basándose en conocimientos y habilidades especializados en ciencias matemáticas, físicas y sociales junto con los principios y métodos del análisis y diseño de ingeniería, con el fin de especificar, pronosticar y evaluar los resultados que han de obtenerse de tales sistemas.

Este texto no trata de definir la ingeniería industrial sino de describir las actividades de los ingenieros industriales, de modo que el lector pueda adquirir una comprensión de la capacidad y, subsecuentemente, del papel de los ingenieros industriales.

## DISCIPLINAS RELACIONADAS

Hoy día, más que nunca antes, la ingeniería industrial significa diferentes cosas para distintas personas. De hecho, uno de los medios para ir entendiendo la ingeniería industrial moderna es lograr la comprensión tanto de sus subdisciplinas como de la forma en que se relaciona con otros campos. Sería conveniente, para fines de explicación, que hubiera fronteras claramente definidas entre las subdisciplinas de y los campos relacionados con la ingeniería industrial; desafortunadamente, esto no es así. Los campos a los cuales se hace referencia más comúnmente en la actualidad como subdisciplinas de la ingeniería industrial o que están relacionados con ésta son administración, estadística, investigación de operaciones, ciencia de la administración, ergonomía, ingeniería de fabricación e ingeniería de sistemas. Hay personas en cada una de estas disciplinas que creen que su campo es independiente y distinto de la ingeniería industrial.

La educación del ingeniero industrial moderno implica cierta combinación de contenidos de todas las disciplinas que se acaban de mencionar. En cualquier caso particu-



lar, la combinación depende del departamento académico de ingeniería industrial y de la compañía en la cual los individuos obtienen su experiencia laboral. Lo que puede ser evidente o no en este punto es la diversidad de ofertas de cursos en ingeniería industrial. Mientras que la profundidad en una sola disciplina es el núcleo principal de una carrera en ingeniería eléctrica, mecánica o civil, la amplitud de conocimientos a lo largo de una amplia gama de áreas temáticas relacionadas, tanto dentro como fuera del campo de la ingeniería, así como la profundidad en temas de ingeniería industrial, es el principal núcleo de una carrera en ingeniería industrial.

La siguiente introducción a cada una de estas disciplinas subordinadas y relacionadas intenta ofrecer algunos datos históricos relevantes y una noción comparativa limitada de la naturaleza actual de cada disciplina.

## Administración

De todas las disciplinas mencionadas antes, la administración fue una de las primeras que apareció en la historia humana. Si la administración es el arte y la ciencia de dirigir el esfuerzo humano, entonces debe haber empezado cuando una persona intentó poner a otra a trabajar. Actualmente hay una opinión considerablemente menos que unánime acerca de la mejor manera de hacer esto.

El reconocimiento de la necesidad de planificar, organizar y controlar el esfuerzo humano puede rastrearse al menos hasta la época del antiguo Egipto. La realización de estas funciones es esencial si, por ejemplo, se trata de construir una pirámide en un lapso de tiempo razonable.

Con la posible excepción de una frase o párrafo introductorio acerca del pensamiento administrativo previo al siglo XX, la mayoría de los textos modernos de administración comienzan su exposición con una discusión de los conceptos científicos de Frederick W. Taylor. Muchos autores se refieren a Taylor como el “padre de la administración científica”, mientras que para otros es “el padre de la ingeniería industrial”.

Hay poca duda de que la subdivisión de la administración comúnmente conocida como administración de la producción tiene mucho en común con la ingeniería industrial. En la mayoría de las escuelas de negocios, la administración de la producción es una serie de uno o dos cursos a nivel licenciatura que intentan familiarizar a los estudiantes de administración con conceptos y técnicas específicos del análisis y la administración de las actividades de producción. La ingeniería industrial, por otro lado, es un programa para una carrera en ingeniería que se ocupa del análisis, diseño y control de sistemas *productivos*. Un sistema productivo es cualquier sistema que produce o un producto o un servicio. Los cursos de administración de la producción a menudo se ocupan principalmente de enseñar a los estudiantes de administración cómo manejar (es decir, dirigir los esfuerzos humanos) en un entorno de producción, y se da menos atención al análisis y diseño de sistemas productivos.

A los estudiantes de ingeniería industrial, por otro lado, se les enseña principalmente a analizar y diseñar sistemas productivos y los procedimientos de control para la operación eficiente de tales sistemas. A excepción de un posible curso o dos acerca de

la comprensión fundamental de conceptos de administración para dirigir el esfuerzo humano asociado con tales sistemas, se presupone por regla general que los ingenieros industriales no operarán los sistemas que diseñan. El entrenamiento de un corredor de automóviles es análogo a la educación en administración; el diseño del vehículo es análogo a la educación en ingeniería industrial. El corredor de coches quiere saber primero y antes que nada cómo conducir el auto y está menos interesado en una comprensión detallada de cómo funciona. El ingeniero industrial diseña el automóvil teniendo en mente a un corredor pero sin ninguna intención de ponerse detrás del volante el día de la carrera. El ingeniero sí intenta estar presente, sin embargo, para observar el rendimiento del vehículo y ayudar con los ajustes apropiados. La preocupación del ingeniero después del diseño inicial son las mejoras del diseño o el desarrollo continuo de procedimientos que den lugar a un rendimiento óptimo.

El capítulo 4 proporciona una cronología de desarrollos históricos recientes en el campo de la administración.

### **Investigación de operaciones**

Cuando estalló la Segunda Guerra Mundial, un pequeño grupo de investigadores militares, encabezado por A. P. Rowe, se interesó en el uso militar de una técnica denominada *radiolocalización*, que fue desarrollada por científicos civiles. Algunos historiadores consideran esta investigación como el punto de partida más fácilmente identificable de la investigación de operaciones. Otros creen que hay estudios con las características de trabajo de la investigación de operaciones todavía más antiguos. Otros más piensan que el comienzo fue el análisis y la solución del bloqueo naval de Siracusa que Arquímedes sugirió al rey de aquella ciudad en el siglo III. Poco antes de la Primera Guerra Mundial, F. W. Lanchester en Inglaterra desarrolló relaciones matemáticas (es decir, ecuaciones diferenciales) que representaban la potencia de fuego de fuerzas enfrentadas, que al ser resueltas con respecto al tiempo, podían determinar el resultado final de un enfrentamiento bélico. Al general confederado Nathan Bedford Forrest se le preguntó en una ocasión cómo ganar una guerra. Aplicando el razonamiento de la ecuación de Lanchester, su respuesta fue esencialmente: "Llegar lo más rápido con lo más que se pueda". En retrospectiva, la operación Tormenta del Desierto de 1991 parece tener alguna deuda con esta línea de razonamiento. Thomas Edison realizó estudios de guerra antisubmarina. Ni los estudios de Lanchester ni los de Edison tuvieron un impacto inmediato; junto con Arquímedes, fueron ejemplos tempranos del empleo de científicos para determinar la conducción óptima de la guerra.

Poco después del inicio de la Segunda Guerra Mundial, la estación de investigación Bawdsey, bajo la dirección de Rowe, se involucró en el diseño de políticas de uso óptimo para un nuevo sistema de detección de alerta temprana llamado radar. Muy poco después, este esfuerzo se transformó en un análisis de todas las fases de las operaciones nocturnas, y el estudio se convirtió en un modelo para los estudios de investigación de operaciones que habrían de seguir.

En agosto de 1940 se organizó un grupo de investigación bajo la dirección de P. M. S. Blackett, de la Universidad de Manchester, para estudiar el uso de un nuevo sistema antiaéreo controlado por radar. El grupo de investigación llegó a ser conocido como el “circo Blackett”. El nombre no parece absurdo dada la gran diversidad en la preparación de las personas que lo integraban. En el grupo había tres fisiólogos, dos fisicomatemáticos, un astrofísico, un oficial del ejército, un topógrafo, un médico general y dos matemáticos. La formación de este grupo parece ser aceptada comúnmente como el inicio de la investigación de operaciones.

En 1941 Blackett y parte de su grupo se involucraron en los problemas asociados con la detección de barcos y submarinos mediante radar transportado por aire. Este estudio dio lugar a que Blackett se convirtiera en director de la Investigación operacional naval del almirantazgo británico. La parte restante de este grupo se convirtió más tarde en el Grupo de investigación operacional de los efectivos de investigación y desarrollo de defensa aérea, y luego volvió a dividirse para formar el Grupo de investigación operacional del ejército. A los dos años del inicio de la guerra, los tres servicios de las fuerzas armadas contaban con grupos de investigación operacional.

El siguiente es un ejemplo de estos estudios tempranos. El comando costero tenía dificultades para hundir submarinos enemigos con una bomba antisubmarino de reciente desarrollo. Las bombas estaban activadas para explotar a profundidades no menores de 100 pies. Después de un estudio detallado, un profesor Williams llegó a la conclusión de que la máxima probabilidad de destrucción ocurriría a una profundidad de 20 a 25 pies. El mecanismo de las bombas se ajustó entonces a la profundidad mínima posible, que era de 35 pies, y las tasas de destrucción aumentaron según la estimación de 400 a 700%. De inmediato se emprendieron investigaciones para desarrollar un mecanismo de disparo que pudiera ajustarse a la profundidad óptima de 20 a 25 pies.

Otro problema que preocupaba al almirantazgo era el de las ventajas relativas de convoyes grandes y pequeños. Los resultados indicaron que los convoyes grandes tenían probabilidades mucho mejores.

A los pocos meses de que Estados Unidos entró en la guerra, las actividades de investigación de operaciones fueron iniciadas por la Fuerza aérea y por la marina. Para el día D (la invasión aliada de Francia) en la fuerza aérea se habían desarrollado 26 grupos de investigación de operaciones, con aproximadamente 10 científicos en cada uno. En la marina también había ocurrido un desarrollo similar. Philip M. Morse, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, encabezó un grupo en 1942 para analizar datos de ataque por mar y aire en contra de submarinos alemanes. Posteriormente se emprendió otro estudio para determinar la mejor política de maniobras para barcos en convoy que intentaban evadir a los aviones enemigos, incluyendo los efectos de la precisión de las armas antiaéreas. Los resultados del estudio mostraron que los barcos grandes debían intentar cambios bruscos de dirección, mientras que las naves pequeñas debían cambiar de rumbo gradualmente.

Un ejemplo final de la investigación temprana de operaciones militares es un estudio dirigido por Ellis A. Johnson. El esfuerzo implicaba simulación de maniobras bélicas por computadora a fin de determinar políticas óptimas para el desarrollo de

minas marinas. Los esfuerzos de este grupo culminaron en la Operación Inanición. El estudio mostró que los B-29s podían ser extremadamente eficaces para lanzar minas si se usaban por la noche a una altitud de 5000 pies. Este enfoque del lanzamiento de minas redujo la tasa de pérdidas a una décima parte de la tasa anterior. La Operación Inanición costó al esfuerzo bélico japonés 1 200 000 toneladas de barcos, con una tasa de pérdidas de B-29s de menos de 1%.

Lo que sin duda es obvio a estas alturas es que la investigación de operaciones se desarrolló para satisfacer la necesidad de análisis de sistemas operacionales militares durante la Segunda Guerra Mundial. El primer capítulo del texto de McCloskey y Trefethen [14] es una descripción excelente de este desarrollo temprano de la investigación de operaciones.

La *investigación operacional* en Gran Bretaña y la *investigación de operaciones* en Estados Unidos en los días posteriores a la Segunda Guerra tuvo diferentes características y tasas de aceptación en el sector industrial de las economías respectivas. En Estados Unidos, la asesoría privada y la ingeniería industrial eran actividades de mejoramiento conocidas desde antes de la guerra. La industria experimentaba con investigación de operaciones como un posible sucesor de la consultoría y la ingeniería industrial. Aunque las empresas estadounidenses se habían vuelto flexibles en la experimentación con enfoques nuevos, a menudo guardaban celosamente de sus competidores los resultados de sus estudios, con lo cual limitaban la difusión de la experiencia obtenida.

La industria británica de antes de la guerra, en comparación, tenía una orientación más tradicional y carecía de actividades de mejoramiento integradas en la estructura industrial en el grado en que existían en la Unión Americana. Como consecuencia, la investigación operacional, particularmente a la luz de sus éxitos bélicos y de la acumulación de oportunidades para el mejoramiento en la industria británica, era bienvenida como una actividad de mejoramiento necesaria que de cierto modo abarcaba todo. Mucho de lo que ingenieros industriales y consultores habían hecho en Estados Unidos se vendía como investigación de operaciones en Gran Bretaña, con la única excepción tal vez del *estudio del trabajo*. El estudio del trabajo es la terminología equivalente en Gran Bretaña de lo que ahora se denomina *ingeniería de métodos* y que se llamaba antes *estudio de tiempos y movimientos* en Estados Unidos.

Uno de los primeros cursos en investigación de operaciones se ofreció en 1948 en el Instituto de Tecnología de Massachusetts. Al año siguiente se presentó una serie de conferencias en el University College, de Londres. Case Western Reserve se convirtió en la primera universidad en ofrecer un programa de licenciatura, y poco después universidades como Johns Hopkins y Northwestern contaban con departamentos de investigación de operaciones.

El grupo de científicos que habían iniciado la serie de conferencias de investigación de operaciones en el University College habían formado un año antes el Club de investigación operacional. Este club inició posteriormente la primera revista en investigación de operaciones, titulada *The Operational Research Quarterly*. La primera publicación sobre investigación de operaciones en los Estados Unidos fue *Operations Research with Special Reference to Non-Military Applications*, publicada por el Co-

mité sobre investigación de operaciones, que fuera formado en 1949 por el Consejo nacional de investigación. Un año después fue constituida la Sociedad de investigación de operaciones de Estados Unidos, con Philip M. Morse como su primer presidente. La revista trimestral *Journal of the Operations Research Society of America* se publicó por vez primera en noviembre de 1952.

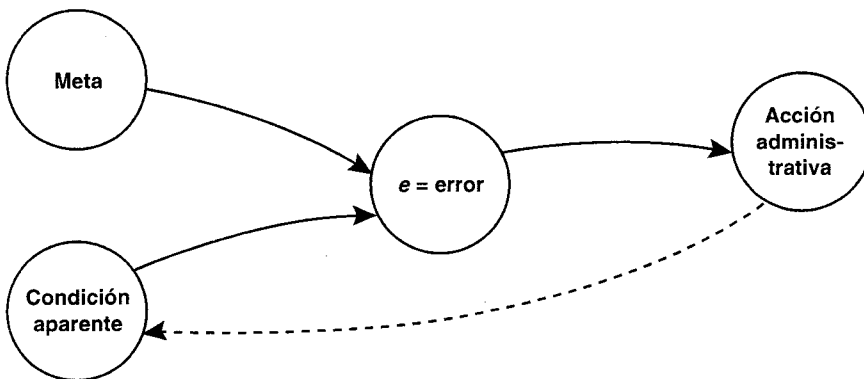
### Ingeniería de sistemas

En 1948 se publicaron dos trabajos sumamente importantes; uno fue *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine* [31], de Norbert Wiener, y el otro fue *The Mathematical Theory of Communication* [23], de Claude Shannon. Wiener derivó la palabra *cibernética* de un vocablo griego que significa *timonel*, y su tema fue la generalidad de la retroalimentación negativa en sistemas que abarcan el mundo biológico y el físico.

El ejemplo más comúnmente usado de retroalimentación negativa es el termostato. Cuando la temperatura disminuye suficientemente por debajo de algún valor deseado, el termostato inicia la porción de calentamiento del ciclo, y se agrega calor hasta que se alcanza una temperatura que es mayor que la temperatura deseada. Entonces se detiene el calentamiento para permitir un enfriamiento que contrarreste el sobrecalentamiento. La retroalimentación negativa significa que se emprende alguna acción para oponer o anular una diferencia inaceptable.

La figura 1.3 es un modelo conceptual de retroalimentación negativa en sistemas de administración. Una condición aparente se compara con una meta, y si existe una diferencia suficiente (es decir, error), se emprende una acción administrativa para reducir la diferencia. La acción deberá dar lugar a un cambio en la condición aparente de modo que la comparación posterior de la condición aparente con la meta hará que cese la acción de control. Supongamos que un fabricante desea tener 100 unidades de inven-

FIG. 1.3. Retroalimentación negativa en sistemas de administración.



tario en mano. Después de examinar el estatus de su inventario observa que sólo tiene 80. Si 20 es una diferencia importante, es probable que él realice la acción administrativa de pedir más material en un intento de elevar su nivel de inventario más cerca del nivel deseado. El pedido, después de un retraso por la adquisición, deberá llevar la condición aparente más cerca de la meta, suprimiendo la necesidad de una acción administrativa adicional. Este concepto es congruente con el principio de excepción del control administrativo, el cual estipula que la atención administrativa deberá dirigirse a situaciones en las cuales se conozca la existencia de valores anormales. Es labor administrativa hacer que un valor indeseable retorne a un nivel normal o de estado estable.

Es la generalidad de este concepto y otras características de los sistemas lo que le da importancia al texto de Wiener. *Homeostasis* es una palabra usada comúnmente en las ciencias biológicas en conexión con los procesos regulatorios en los organismos vivos. Regulación análoga puede identificarse en sistemas tan diversos como el flujo de agua en la irrigación y el flujo de corriente en redes eléctricas.

La obra de Wiener es considerada generalmente como el punto de partida de lo que ahora se conoce comúnmente como la teoría general de sistemas. Schlager [22] informó en 1956, sobre la base de una revisión de una encuesta nacional, que el primer uso conocido del término *ingeniería de sistemas* se dio en Bell Telephone Laboratories a comienzos de la década de 1940. Considerando los problemas que el Bell System enfrentaba en esa época para expandir su sistema, el término podría muy bien haber sido concebido allí. La RCA Corporation, en años anteriores, había reconocido la necesidad de un punto de vista de ingeniería de sistemas en el desarrollo de un sistema de transmisión de televisión.

En 1946 la recientemente creada RAND Corporation desarrolló una metodología a la que denominaron *análisis de sistemas*. Quade y Boucher, en *Systems Analysis and Policy Planning*, definieron el análisis de sistemas como “un enfoque sistemático para ayudar al responsable de una decisión a elegir un curso de acción mediante la investigación de su problema completo, buscando objetivos y alternativas, y comparándolos a la luz de sus consecuencias, usando un marco de referencia apropiado, analítico hasta donde sea posible, que tanto la valoración de expertos como la intuición se apliquen a la solución del problema” [20, pág. 2].

Con el paso de los años han emergido algunas diferencias bastante claras entre investigación de operaciones e ingeniería de sistemas. Aunque los primeros filósofos de la investigación de operaciones creían que ésta era el comienzo de un ataque analítico, a través de las matemáticas, sobre problemas a gran escala, una revisión de la literatura de investigación de operaciones muestra que para la mayoría de los problemas, el número y complejidad de representaciones debe ser limitado para que puedan alcanzarse soluciones analíticas firmes. Algunos problemas de investigación de operaciones implican un elevado número de ecuaciones (por ejemplo, algunas soluciones de programación lineal) pero la complejidad de la representación en cualquiera de las numerosas ecuaciones puede hacer, y a menudo hace que el conjunto completo de ecuaciones sea irresoluble. Para muchos problemas hoy día las técnicas de investigación de operaciones ofrecen soluciones que eran inasequibles en el pasado reciente.

Parece que la ingeniería de sistemas se ha desarrollado con menor dependencia de una representación matemática “rigurosa” de todos los aspectos de un sistema. La simulación digital es una técnica empleada con mucha más frecuencia en ingeniería de sistemas, en particular si el sistema no puede representarse rigurosamente ni resolverse de manera analítica debido a que no hay una técnica analítica apropiada o los datos no están en la forma requerida para aplicar una técnica específica de investigación de operaciones.

Como quedará claro en el capítulo 9, *sistemas* exige que se obtenga una perspectiva macro para tratar eficazmente con cualquier problema importante. Hay un considerable peligro en intentar resolver un problema sin obtener primero el cuadro total del sistema en su conjunto en el cual el problema está inmerso. Se corre el riesgo de desorganizar el sistema en el proceso de arreglar el problema, lo que comúnmente se llama “ganar la batalla pero perder la guerra”.

### **Estadística**

La estadística ha sido y seguirá siendo distinta de la ingeniería industrial. Sin embargo, el enfoque de la ingeniería industrial ha cambiado significativamente; el mundo que nos rodea es considerado de naturaleza probabilística más que determinista. Determinista quiere decir que todas las acciones bajo consideración en una situación particular de estudio se consideran como seguras. Probabilístico implica que al menos un aspecto de la situación de estudio tiene una probabilidad de ocurrencia asociada con ella que debe ser considerada.

En un problema determinista usted puede presuponer, por ejemplo, que el costo de un automóvil usado es de 2 000 dólares. Todos los cálculos acerca de la adquisición del vehículo presupondrían el costo fijo de 2 000 dólares. En un problema probabilístico similar, usted puede presuponer que hay 80% de probabilidades de que el automóvil pueda comprarse por 2 000 dólares, y una probabilidad de 20% de que se pueda adquirir por 1 500.

La visión probabilística del mundo ha penetrado tanto la práctica y la educación de la ingeniería industrial que un curso inicial en probabilidad y estadística se ha convertido ahora en el requisito previo más importante en un programa graduado de ingeniería industrial. La ingeniería industrial ha estado señalando el camino para otras disciplinas de ingeniería en este desarrollo, y parece probable que el mejor discernimiento que ofrece de los problemas dará lugar en última instancia a que todas las disciplinas se desplacen hacia una visión más probabilística del mundo.

### **Ciencia de la administración**

La ciencia de la administración es un campo que se desarrolló en estrecha alianza con la investigación de operaciones en la década de 1960. Las técnicas fundamentales eran típicamente las mismas que las utilizadas en la investigación de operaciones. La diferencia estaba en los conocimientos básicos de los científicos de la administración y el

área de aplicación de la disciplina. La ciencia de la administración, en su mayor parte, era un resultado del deseo de muchos programas de administración de negocios y administración industrial de ofrecer especializaciones de una naturaleza cuantitativa empleando las técnicas descubiertas de la investigación de operaciones. Como estos programas se desarrollaron en escuelas de negocios, el área de aplicación era más a menudo aquella con la que estaban más familiarizados: administración. Mientras que un estudio de investigación de operaciones podría ofrecer una solución de programación lineal para un problema que implicaba reabastecer de combustible a los submarinos, un estudio de ciencia de la administración podría implicar muy bien una solución de programación lineal para un problema de selección de cartera.

En muchos casos los líderes del movimiento de investigación de operaciones también eran líderes en el movimiento de la ciencia de la administración. En las buenas condiciones económicas de la década de 1960, dos sociedades estrechamente aliadas con publicaciones independientes coexistían con escasas dificultades. Desde entonces, la fusión de la Ciencia de la Administración con la Sociedad de Investigación de Operaciones dio lugar a la iniciación de la publicación conjunta *Interfaces*. En años todavía más recientes las dos sociedades han organizado conferencias conjuntas y tienen una sede conjunta, lo cual sugiere que es probable su fusión en una sola sociedad en el futuro.

## Ergonomía

La ergonomía, llamada antes *factores humanos*, es una subdisciplina de la ingeniería industrial, estrechamente asociada con la psicología industrial y experimental. El campo de la psicología ha producido una riqueza de información y teoría acerca del cuerpo y la mente humana que está a la disposición de los ingenieros en factores humanos. Los sistemas de ingeniería industrial por naturaleza son a menudo sistemas humano-máquina, en contraste con los sistemas de hardware en ingeniería eléctrica, por ejemplo. El diseño de sistemas humano-máquina implica determinar la mejor combinación de elementos humanos y de máquinas. Un curso típico resume la considerable investigación que se ha dirigido hasta la fecha en laboratorios nacionales de ergonomía (por ejemplo, Wright Patterson Air Force Base) y en universidades (por ejemplo, Universidad Tecnológica de Texas e Instituto Politécnico de Virginia). Estos logros en ergonomía ayudan a familiarizar al estudiante de ingeniería industrial con el diseño de sistemas humano-máquina. El texto *Human Factors Engineering* de McCormick [15] se ha usado extensamente para este fin. Una cantidad importante de investigación en ergonomía se está llevando a cabo actualmente en departamentos de ingeniería industrial, complementando la investigación continua que ha estado en marcha durante muchos años en psicología industrial.

El autor recuerda un esfuerzo de investigación del cual fue responsable en el campo de misiles *White Sands*. Uno de los temas claves era éste: ¿cuándo es capaz por primera vez un observador adelantado de reconocer que el “bulbito” negro que se le acerca en la distancia es un tanque soviético? Datos recabados durante la Segunda Guerra



Mundial, conocidos a menudo como los experimentos Blackwell, se ocupaban de la visibilidad: ¿qué factores determinan cuándo es usted capaz de reconocer por primera vez algo? La razón de contraste, por ejemplo, es un factor principal. Estos datos antiguos, recabados a bordo de barcos en muchos casos hace años, todavía funcionan, y están disponibles si usted sabe en dónde encontrarlos.

## Ingeniería de manufactura

Como se dijo antes, la Sociedad de Ingenieros de Manufactura ha representado a los ingenieros de manufactura en Estados Unidos desde 1932. La ingeniería de manufactura es un nombre de función industrial familiar en empresas de manufactura pero nunca ha estado tan bien establecida como carrera en universidades estadounidenses como lo ha estado, por ejemplo, la ingeniería industrial. Hay más de 70 carreras en ingeniería industrial y 10 en ingeniería de manufactura en Estados Unidos.

La ingeniería industrial y la ingeniería de manufactura son funciones distintas y complementarias en una empresa de manufactura. La mayoría de las empresas necesitan que ambas funciones estén representadas en sus organizaciones para que sean verdaderamente eficientes. Si se intenta sustituir una función con la otra, la función omitida típicamente representa una debilidad en esa empresa manufacturera que probablemente limitará la capacidad global del esfuerzo técnico en esa organización.

Un departamento típico de ingeniería de manufactura está compuesto de numerosos profesionales técnicos (ingenieros mecánicos, ingenieros eléctricos, ingenieros químicos, ingenieros estructurales, matemáticos, termodinamicistas, ingenieros de materiales, científicos de computación, etc.). Cada profesional representa una parte de los procesos técnicos en uso en esa planta manufacturera. Por ejemplo, el técnico en termodinámica puede ocuparse del diseño de aletas en el producto para disipar el calor, un ingeniero eléctrico puede preocuparse por aparatos de prueba y procedimientos relacionados, y el ingeniero químico puede ocuparse de concentraciones de soluciones y especificaciones relacionadas para procesos de plateado. Los procesos funcionan como se quería que funcionaran debido a que el departamento de ingeniería de manufactura representa el montaje de los conocimientos técnicos necesarios para mantener todos los procesos de fabricación bajo control.

Si es eso lo que hace el departamento de ingeniería de manufactura, ¿por qué necesitamos también un departamento de ingeniería industrial? El núcleo de un departamento típico de ingeniería industrial es una colección más homogénea de profesionales, compuesto generalmente de ingenieros industriales, con y sin grados académicos, y técnicos/tecnólogos. Sin embargo, también puede incluir a otros especialistas con grados o experiencia en psicología, administración, ciencia de la computación y estadística, así como otras disciplinas de ingeniería. La entidad más pequeña con la cual trata un ingeniero industrial es típicamente una máquina. La máquina para un ingeniero industrial es una caja negra que tiene una tasa de producción, una tasa de rendimiento, habilidades necesarias del operador, capacidades de proceso y otros atributos de sis-

tema de producción. El ingeniero industrial se ocupa de desarrollar un sistema de producción que produzca la cantidad requerida de productos a un costo y calidad apropiados. Si una máquina no funciona apropiadamente, el ingeniero puede remitir el problema al departamento de mantenimiento, y si éstos no pueden resolverlo, él puede remitirlo a un departamento de ingeniería de manufactura. Si éstos no pueden resolver el problema, deberán diseñar una máquina que funcione para el paso requerido en el sistema de producción que se esté diseñando.

La responsabilidad del ingeniero industrial implica la integración de trabajadores, máquinas, materiales, información, capital y conocimientos prácticos administrativos dentro de un sistema de producción que produzca el producto adecuado, al precio correcto y en el tiempo requerido. El talento técnico de ingeniería de manufactura es uno de los recursos técnicos fundamentales de apoyo de planta que garantiza el éxito de ese sistema de producción.

En resumen, es necesario conocer los detalles técnicos de cada uno de los procesos (es decir, ingeniería de manufactura) y luego integrar todos los elementos de un sistema de producción (trabajadores, materiales, equipo, información, etc.) de modo que se fabrique un producto de calidad en el tiempo y al costo correctos (es decir, ingeniería industrial).

¿Qué son entonces los ingenieros industriales modernos? Primero y antes que nada, son ingenieros. Siguen los mismos cursos de ciencia, matemáticas e ingeniería que otros estudiantes de ingeniería. Además, siguen cursos en su propia disciplina, tienen un interés en la administración y adquieren una capacidad en ciencia de la computación, investigación de operaciones, ingeniería de sistemas y ergonomía mientras desarrollan una visión probabilística del mundo. Los estudiantes de ingeniería industrial, más que cualquier otro estudiante de ingeniería, están en clases en otros departamentos en otros colegios en varios rincones remotos de un campus. Los ingenieros industriales tienen una capacitación más amplia que los estudiantes en otras disciplinas de ingeniería. Esa capacitación es probablemente su mayor ventaja cuando es momento de dejar el campus, como la mayoría de los estudiantes deben hacer más tarde o más temprano, y salir a trabajar.

## RESUMEN

Joe Ogg se ocupaba acerca de la forma de hacer flechas y cueros; había una jungla allí afuera y muy probablemente él necesitaba más flechas que su contrincante para seguir viviendo. Básicamente, nada ha cambiado; todavía seguimos buscando la mejor manera de hacer artefactos, aunque no sean flechas y cueros, y todavía hay una jungla (el mundo corporativo) allí afuera. Todos los días personas como Miguel Ángel y Leonardo da Vinci y usted y yo terminamos con la nariz torcida como le pasó a Miguel Ángel y nos ganamos el pan haciendo lo que hacemos, y ocasionalmente nos pasamos al enemigo (una corporación competidora) como lo hizo Miguel Ángel, Algunos también se hacen famosos, como Miguel Ángel y Leonardo da Vinci, no por

sus obras de ingeniería, por supuesto, sino por su arte; nadie se ha hecho famoso haciendo ingeniería. La ingeniería es una búsqueda, en cada caso, de la mejor manera para hacer algo.

Sin embargo, nada permanece igual. En la época de Adam Smith, reducir el proceso de fabricación de alfileres a cuatro pasos separados (es decir, especialistas o departamentos), denominado especialización del trabajo, dio lugar a eficiencias de trabajo. Hoy día, con una filosofía de producción de Justo-a-tiempo, que se examinará en un capítulo subsecuente, la combinación de diferentes operaciones requeridas para un producto dentro de una célula de fabricación que elimina fabricación departamental secuencial crea a menudo un mejoramiento considerable en calidad, costo y entrega del producto.

Hace alrededor de un siglo los artículos de Taylor “Administración de taller” [29] y “Principios de la administración científica” [29] iniciaron un enfoque administrativo que se denominó en un principio *administración científica* y que evolucionó más tarde a lo que ahora llamamos *ingeniería industrial*. Taylor en Estados Unidos y Henri Fayol en Francia iniciaron aspectos de lo que ahora se llama *desarrollo organizacional*, para tratar de determinar qué estructura organizacional serviría mejor a una organización particular. Las empresas consultoras en administración han estado realizando esta función desde entonces.

El primer curso de ingeniería industrial que Diemer enseñó en 1902 en la Universidad de Kansas, cursos posteriores en Cornell y cursos en administración de taller en la Escuela de Negocios de Harvard y en Rensselaer iniciaron lo que ahora se ha convertido en más de 70 programas de estudios de nivel superior acreditados en ingeniería industrial en todo Estados Unidos.

Poco después de la introducción de tales cursos, empresas progresistas como Armstrong Cork (ahora Armstrong Industries), Eastman Kodak, Dow Chemical y Eli Lilly iniciaron la práctica de la ingeniería industrial en grandes corporaciones estadounidenses. Cientos de miles de ingenieros industriales ejercen ahora en un amplio rango de organizaciones en todo Estados Unidos.

Un profesor de la Universidad estatal de Ohio, Wyllys Stanton, tuvo la audacia (y la visión) para iniciar la primera organización local del Instituto Estadunidense de Ingenieros Industriales, en Columbus. He aquí una sugerencia: desarrolle la habilidad para ser selectivamente audaz, como Stanton, para un “buen propósito”.

La ingeniería industrial, en un sentido histórico, es un campo nuevo. Por esa razón no es raro que un ingeniero industrial visite una planta que no ha adoptado la ingeniería industrial y observe que están haciendo lo que se podría describir cuando mucho como tonterías, sencillamente debido a la ignorancia, por supuesto. En la historia, al igual que en las culturas, las cosas cambian lentamente. Por ejemplo, en una área temática denominada pronóstico tecnológico se descubrió que transcurrieron 25 años para que la adopción de la locomotora diesel reemplazara a la locomotora de vapor, aun cuando la locomotora diesel tenía un rendimiento sumamente superior.

Los estudiantes a menudo expresan la opinión de que no se les deja nada para cambiar; que ya todo ha sido hecho. Esto no es verdad. La administración ha estado per-

siguiendo un enfoque de administración conductual durante los últimos 40 años, y más recientemente sus “paracaídas dorados” (sus propios programas personales de generosa jubilación). La administración conductual tiene ventajas reales pero también algunas desventajas muy concretas, que se examinarán más adelante. Mientras tanto, la administración ha descuidado el lugar de trabajo. Sabemos que en Estados Unidos actualmente la administración debe mejorar para que pueda competir en la economía mundial del presente y del mañana.

Como una prueba de la velocidad del cambio que ocurre ahora, considérese que la economía china, la cual representa a mil millones de personas (un sexto de la población mundial) ha estado siguiendo hasta hace poco los métodos de administración de empresa soviéticos, y la economía soviética se ha colapsado. No fue hasta 1990 cuando los chinos instituyeron formalmente la ingeniería industrial con la creación del Instituto Chino de Ingeniería Industrial. Los estudiantes generalmente piensan en la historia como algo que tiene que ver con el pasado, lo cual es así, pero también es el ahora (es decir, la historia en marcha). En pocos momentos de la historia ha habido mayor necesidad de cambio en las economías del mundo, y más probabilidad de que ocurra un cambio importante, con el reciente colapso de los sistemas económicos anacrónicos del pasado. Los estudiantes en todo el mundo que ingresan a la ingeniería industrial tendrán una oportunidad ilimitada de hacer cambios significativos en la forma como todas las empresas en el mundo pueden hacer y harán negocios en el futuro, y cómo vivirá la gente en el trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. “The Story of Joe Ogg”, en película de 16 mm producida por la Kansas State University para el Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA, 1969.
2. Apple, James M.: *Plant Layout and Materials Handling*, 2a., ed., The Ronald Press Company, Nueva York, 1963.
3. Barnes, Ralph M.: *Motion and Time Study*, 6a. ed., John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1968.
4. Blair, Raymond N., y C. Wilson Whitston: *Elements of Industrial Systems Engineering*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1971.
5. Del Campo, Martha G., “Ciudad Juárez”, *Twin Plant News*, Vol. 6, No. 6, 1991.
6. Copley, Frank Barkley: *Frederick W. Taylor*, Harper & Row Publishers, Inc., Nueva York, 1923.
7. Drucker, Peter: *The Age of Discontinuity*, Harper & Row Publishers, Inc., Nueva York, 1968.
8. Emerson, Harrington: *Twelve Principles of Efficiency*, The Engineering Magazine Co., Nueva York, 1912.
9. Emerson, Howard P., y Douglas C.E. Naehring: *Origins of Industrial Engineering*, Industrial Engineering and Management Press, Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA, 1988.
10. Grant, Eugene L.: *Principios de ingeniería económica*, CECSA, México, 1989.
11. Grant, Eugene L.: *Control estadístico de calidad*, CECSA, México, 1996.
12. Krick, Edward V.: *Methods Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1962.
13. Mallick, Randolph W., y A.T. Gaudreau: *Plant Layout Planning and Practice*, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1951.
14. McCloskey, Joseph F., y Florence N. Trefethen (eds.): *Operations Research for Management*, The Johns Hopkins Press, Baltimore, MD, 1954.

15. McCormick, Ernest J.: *Human Factors Engineering*, McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1957.
16. Moore, James M.: *Plant Layout and Design*, The Macmillan Company, Nueva York, 1961.
17. Mundel, Marvin E.: *Motion and Time Study*, 3a. ed., Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, Nueva York, 1960.
18. Muther, Richard: *Practical Plant Layout*, McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1966.
19. Niebel, Benjamin W.: *Motion and Time Study*, 5a. ed., Richard D. Irwin, Inc., Homewood, IL, 1972.
20. Quade, E. S., y W.S. Boucher (eds.): *Systems Analysis and Policy Planning*, American Interscience Publishers Co., Nueva York, 1968.
21. Reed, Ruddell, Jr.: *Plant Layout*, Richard D. Irwin, Inc., Homewood, IL, 1961.
22. Schlager, K.J.: "Systems Engineering-Key to Modern Development", *IRE Transactions on Engineering Management*, vol. 3, no. 12, 1956, pp. 64-66.
23. Shannon, Claude: *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, Urbana, IL, 1948.
24. Shewhart, Walter A.: *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, D. Van Nostrand Co., Nueva York, 1931.
25. Smalley, Harold E.: "Another Look at Work Measurement", *Journal of Industrial Engineering*, vol. 18, No. 3, 1967.
26. Smith, Adam: *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, Edwin C. Cannon (ed.), Random House, Inc., Nueva York, 1937 (publicado originalmente en 1776).
27. Sprague de Camp, L.: *The Ancient Engineers*, Doubleday & Company, Inc., Garden City, Nueva York, 1963.
28. Taylor, Frederick W.: "On the Art of Cutting Metals", *Transactions of the ASME*, vol. 28, no. 1119, pp. 31-350, 1907.
29. Taylor, Frederick W.: *Scientific Management*, Harper & Row Publishers, Inc., Nueva York, 1911 (incluido en "Shop Management", "The Principles of Scientific Management", y "Testimonies before the Special House Committee").
30. Tompkins, James A., y John A. White: *Facilities Planning*, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1984.
31. Wiener, Norbert: *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1948.
32. Zhang Shuwu: China International Engineering Consulting Corporation, Beijing.

## PREGUNTAS Y PROBLEMAS DE REPASO

1. ¿Cuál fue la principal contribución de Eli Whitney al desarrollo de la ingeniería?
2. ¿Cuál era el papel nuevo que según Towne debería aceptar un ingeniero como parte de su responsabilidad?
3. ¿Quién inició el enfoque que habría de llegar a conocerse como administración científica?
4. Señale la diferencia entre estudio de métodos y medición del trabajo.
5. ¿Qué es reducción de tarifa?
6. ¿Qué es ingeniería inversa?
7. Describa el cambio de actitud del gobierno hacia el estudio de tiempos con cronómetro durante la primera mitad del siglo XX.
8. ¿Qué son *therbligs* y qué relación tienen con Gilbreth?
9. ¿Qué es el estudio de micromovimientos?
10. ¿Fue Taylor un investigador solitario como Leonardo da Vinci o trabajaba en equipo?
11. ¿En qué industria hizo Harrington Emerson uso extenso del sistema de Taylor?
12. ¿Qué significa el efecto Hawthorne?

15. McCormick, Ernest J.: *Human Factors Engineering*, McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1957.
16. Moore, James M.: *Plant Layout and Design*, The Macmillan Company, Nueva York, 1962.
17. Mundel, Marvin E.: *Motion and Time Study*, 3a. ed., Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1960.
18. Muther, Richard: *Practical Plant Layout*, McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1955.
19. Niebel, Benjamin W.: *Motion and Time Study*, 5a. ed., Richard D. Irwin, Inc., Homewood, IL, 1972.
20. Quade, E. S., y W.S. Boucher (eds.): *Systems Analysis and Policy Planning*, American Elsevier Publishing Co., Nueva York, 1968.
21. Reed, Ruddell, Jr.: *Plant Layout*, Richard D. Irwin, Inc., Homewood, IL, 1961.
22. Schlager, K.J.: "Systems Engineering-Key to Modern Development", *IRE Transactions on Engineering Management*, vol. 3, no. 12, 1956, pp. 64-66.
23. Shannon, Claude: *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, Urbana, IL, 1948.
24. Shewhart, Walter A.: *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, D. Van Nostrand Co., Nueva York, 1931.
25. Smalley, Harold E.: "Another Look at Work Measurement", *Journal of Industrial Engineering*, vol. 18, No. 3, 1967.
26. Smith, Adam: *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, Edwin Cannan (ed.), Random House, Inc., Nueva York, 1937 (publicado originalmente en 1776).
27. Sprague de Camp, L.: *The Ancient Engineers*, Doubleday & Company, Inc., Garden City, NY, 1963.
28. Taylor, Frederick W.: "On the Art of Cutting Metals", *Transactions of the ASME*, vol. 28, periódico 1119, pp. 31-350, 1907.
29. Taylor, Frederick W.: *Scientific Management*, Harper & Row Publishers, Inc., Nueva York, 1947 (incluido en "Shop Management", "The Principles of Scientific Management", y "Testimony Before the Special House Committee").
30. Tompkins, James A., y John A. White: *Facilities Planning*, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1984.
31. Weiner, Norbert: *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1948.
32. Zhang Shuwu: China International Engineering Consulting Corporation, Beijing.

## PREGUNTAS Y PROBLEMAS DE REPASO

1. ¿Cuál fue la principal contribución de Eli Whitney al desarrollo de la ingeniería?
2. ¿Cuál era el papel nuevo que según Towne debería aceptar un ingeniero como parte de su responsabilidad?
3. ¿Quién inició el enfoque que habría de llegar a conocerse como administración científica?
4. Señale la diferencia entre estudio de métodos y medición del trabajo.
5. ¿Qué es reducción de tarifa?
6. ¿Qué es ingeniería inversa?
7. Describa el cambio de actitud del gobierno hacia el estudio de tiempos con cronómetro durante la primera mitad del siglo xx.
8. ¿Qué son *therbligs* y qué relación tienen con Gilbreth?
9. ¿Qué es el estudio de micromovimientos?
10. ¿Fue Taylor un investigador solitario como Leonardo da Vinci o trabajaba en equipo?
11. ¿En qué industria hizo Harrington Emerson uso extenso del sistema de Taylor?
12. ¿Qué significa el efecto Hawthorne?

13. ¿Quién inició el campo de control de calidad?
14. ¿De cuál disciplina principal de la ingeniería emergió la ingeniería industrial?
15. ¿Quién fue responsable principalmente por iniciar el Instituto Estadounidense de Ingenieros Industriales?
16. ¿Ha estado confinado el interés por el sistema de Taylor únicamente a Estados Unidos?
17. ¿Qué es una planta *maquiladora*?
18. ¿En qué año fue creada la primera organización china de ingeniería industrial?
19. ¿De qué forma sugiere la definición de producción según la economía un papel ampliado para la ingeniería industrial?
20. ¿En qué se diferencia como una área de estudio la administración de producción de la ingeniería industrial?
21. ¿Cuál es la diferencia en connotación entre la investigación operacional y la investigación de operaciones?
22. ¿Cómo se llamaba la primera revista de investigación de operaciones?
23. Proporcione un ejemplo de retroalimentación negativa.
24. ¿Cómo se compara la ingeniería industrial con otras disciplinas de ingeniería en el grado en que una visión probabilística ha sustituido a la visión determinista más clásica de los fenómenos naturales?
25. ¿Cómo se diferencia básicamente la ciencia de la administración de la investigación de operaciones?
26. ¿Qué características de los sistemas de ingeniería industrial suelen hacer que la ergonomía sea una consideración inevitable en el diseño de tales sistemas?