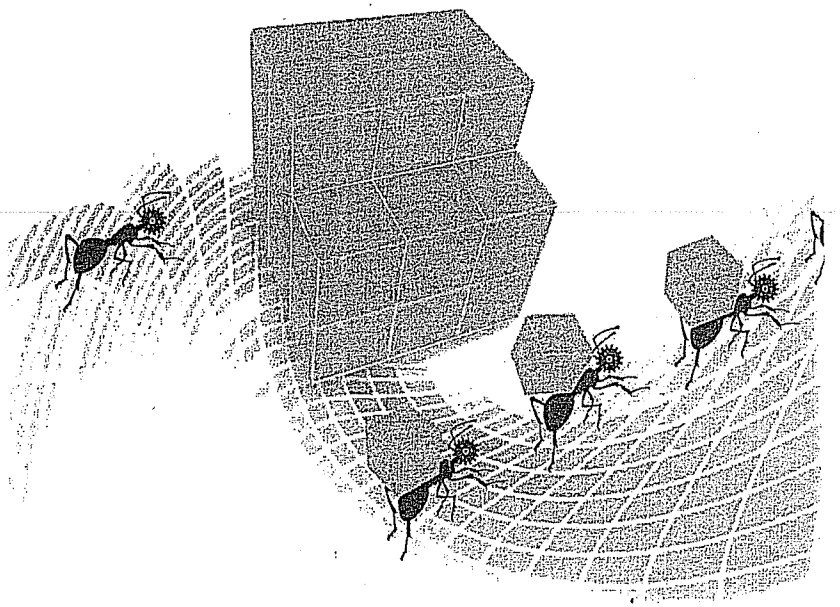
José F. Domingo González Zúniga

Introducción a la INGENIERÍA INDUSTRIAL

Contexto Occidental



LIBRERIA TECNICA
Rivadavia 24 · Mendoza
Tels: 4290471 · 4340307

Alfaomega

Director Editorial
Marcelo Grillo Giannetto
mgrillo@alfaomega.com.mx

Editor
Francisco Javier Rodríguez Cruz
jrodriguez@alfaomega.com.mx

Diagramación
L.D.G. Ingrid García Camacho

Datos catalográficos

González Zúñiga, José Fidencio Domingo
Introducción a la Ingeniería Industrial. Contexto occidental
Primera Edición

Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México

ISBN: 978-607-622-194-5

Formato 15.5 X 22.5 cm Páginas: 448

Introducción a la Ingeniería Industrial. Contexto occidental
José Fidencio Domingo González Zúñiga
Derechos reservados © Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México

Primera edición: Alfaomega Grupo Editor, México, agosto de 2014

© 2014 Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
Pitágoras 1139, Col. Del Valle, 03100, México D.F.

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana
Registro No. 2317

Pág. Web: **http://www.alfaomega.com.mx**
E-mail: **atencionalcliente@alfaomega.com.mx**

ISBN: 978-607-622-194-5

Derechos reservados:

Esta obra es propiedad intelectual de sus autores y los derechos de publicación en lengua española han sido legalmente transferidos al editor. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del propietario de los derechos del copyright.

Nota importante:

La información contenida en esta obra tiene un fin exclusivamente didáctico y, por lo tanto, no está previsto su aprovechamiento a nivel profesional o industrial. Las indicaciones técnicas y programas incluidos, han sido elaborados con gran cuidado por los autores y reproducidos bajo estrictas normas de control. ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V. no será jurídicamente responsable por: errores u omisiones; daños y perjuicios que se pudieran atribuir al uso de la información comprendida en este libro, ni por la utilización indebida que pudiera dársele.

Empresas del grupo:

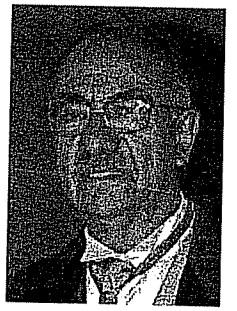
México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. – Pitágoras 1139, Col. Del Valle, México, D.F. – C.P. 03100.
Tel.: (52-55) 5575-5022 – Fax: (52-55) 5575-2420 / 2490. Sin costo: 01-800-020-4396
E-mail: atencionalcliente@alfaomega.com.mx

Colombia: Alfaomega Colombiana S.A. – Calle 62 No. 20-46, Barrio San Luis, Bogotá, Colombia,
Tels.: (57-1) 746 0102 / 210 0415 – E-mail: cliente@alfaomega.com.co

Chile: Alfaomega Grupo Editor, S.A. – Av. Providencia 1443. Oficina 24, Santiago, Chile
Tel.: (56-2) 2235-4248 – Fax: (56-2) 2235-5786 – E-mail: agechile@alfaomega.cl

Argentina: Alfaomega Grupo Editor Argentino, S.A. – Paraguay 1307 P.B. Of. 11, C.P. 1057, Buenos Aires,
Argentina, – Tel./Fax: (54-11) 4811-0887 y 4811 7183 – E-mail: ventas@alfaomegaeditor.com.ar

ACERCA DEL AUTOR



El Mtro. José Fidencio Domingo González Zúñiga es Ingeniero Mecánico Electricista por la Facultad de Ingeniería de la UNAM, y obtuvo el grado de Maestro en Ciencias y la Especialización en Ingeniería Industrial en la UPIICSA del IPN. Ha obtenido los diplomados en Enseñanza Superior (ENEP, UNAM), en Formación de Instructores (EDUMAC, IPN), en Metodología de Diagnóstico Empresarial Institucional (NAFINSA), así como la certificación Basic Most Applicator (H.B. MAYNARD AND COMPANY).

En el ámbito académico el Mtro. Domingo González ha sido profesor de diferentes asignaturas de la carrera de Ingeniería Industrial, ha dirigido más de veinticinco proyectos de investigación, ha publicado más de veinte artículos especializados, y ha desempeñado en la UPIICSA del IPN los cargos de Presidente de la academia de contexto oriental de la Ingeniería Industrial, Presidente de la academia de contexto occidental de la Ingeniería Industrial, Presidente de la academia de Introducción a la Ingeniería Industrial, Coordinador del Programa de Investigación y Servicio Social: Diagnóstico y Apoyo para Elevar la Productividad y la Calidad de las Empresas, y Jefe de la Academia de Ingeniería de Métodos.

Finalmente en la industria ha trabajado como Asesor en organización, métodos, estándares, productividad, balanceo de líneas y diagnóstico empresarial, Asistente de la gerencia de planta, Ingeniero de manufactura, y Jefe del área de unidades antisísmicas. También ha impartido entre otros los siguientes cursos de capacitación especializada: Las 5 S: eficiencia, eficacia y seguridad en el lugar de trabajo; Ergonomía; Most university; Ingeniería de métodos; Organización industrial.

"El ingeniero ideal es una combinación... Él no es un científico, no es un matemático, no es un sociólogo o un escritor; pero puede utilizar el conocimiento y las técnicas de cualquiera o de todas estas disciplinas en la solución de problemas de ingeniería."

NW Dougherty, 1955

En primer lugar doy gracias a Dios por permitirme llegar hasta aquí.

A:

La memoria de mis padres.

Mi esposa, mis hijos e hijos políticos, mis nietas, con un amor profundo,

mucho respeto y amplio agradecimiento.

MENSAJE DEL EDITOR

Una de las convicciones fundamentales de Alfaomega es que los conocimientos son esenciales en el desempeño profesional, ya que sin ellos es imposible adquirir las habilidades para competir laboralmente. El avance de la ciencia y de la técnica hace necesario actualizar continuamente esos conocimientos, y de acuerdo con esto Alfaomega publica obras actualizadas, con alto rigor científico y técnico, y escritas por los especialistas del área respectiva más destacados.

Consciente del alto nivel competitivo que debe de adquirir el estudiante durante su formación profesional, Alfaomega aporta un fondo editorial que se destaca por sus lineamientos pedagógicos que coadyuvan a desarrollar las competencias requeridas en cada profesión específica.

De acuerdo con esta misión, con el fin de facilitar la comprensión y apropiación del contenido de esta obra, cada capítulo inicia con el planteamiento de los objetivos del mismo y con una introducción en la que se plantean los antecedentes y una descripción de la estructura lógica de los temas expuestos, asimismo a lo largo de la exposición se presentan ejemplos desarrollados con todo detalle y cada capítulo concluye con un resumen y una serie de ejercicios propuestos.

Además de la estructura pedagógica con que están diseñados nuestros libros, Alfaomega hace uso de los medios impresos tradicionales en combinación con las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) para facilitar el aprendizaje. Correspondiente a este concepto de edición, todas nuestras obras tienen su complemento en una página Web en donde el alumno y el profesor encontrarán lecturas complementarias así como programas desarrollados en relación con temas específicos de la obra.

Los libros de Alfaomega están diseñados para ser utilizados en los procesos de enseñanza-aprendizaje, y pueden ser usados como textos en diversos cursos o como apoyo para reforzar el desarrollo profesional, de esta forma Alfaomega espera contribuir así a la formación y al desarrollo de profesionales exitosos para beneficio de la sociedad, y espera ser su compañera profesional en este viaje de por vida por el mundo del conocimiento.

Contenido

Prólogo XIII

Competencias generales XV

Capítulo 1
Antecedentes 1

1.1 Introducción 2
1.1.1 Orígenes de la Ingeniería Industrial 3
1.1.2 Ingenierías precursoras 4
1.2 Precursores de la Ingeniería Industrial 9
1.2.1 La época de las ciencias económicas 9
1.2.2 La Revolución Industrial 14
1.2.3 Principios de la administración científica 26
1.3 Desarrollos al final de la Primera Guerra Mundial 30
1.3.1 El Fayolismo 30
1.4 Avances en la Segunda Guerra Mundial 39
1.5 Resumen 43
1.6 Ejercicios 45

Capítulo 2
Ingeniería Industrial convencional 47

2.1 Introducción 48
2.2 Importancia de la productividad 49
2.2.1 Definiciones básicas de productividad 50
2.2.2 Concepto de competitividad 57
2.3 Alcance de la Ingeniería Industrial 59
2.3.1 Análisis y diseño de sistemas de producción 60
2.3.2 Control de sistemas de producción 89
2.3.3 Administración de operaciones 116
2.4 Resumen 121
2.5 Preguntas 123
2.6 Ejercicios 124

Capítulo 3
Investigación de operaciones (IO) 127

3.1 Introducción 128
3.2 Naturaleza y alcance de la IO 128
3.3 Metodología de la investigación de operaciones 138
3.4 Modelos matemáticos 139
3.4.1 Modelos deterministas 141
3.4.2 Modelos probabilísticos 145
3.5 Áreas de aplicación de la IO 148
3.6 Resumen 167
3.7 Preguntas 169
3.8 Ejercicios 170

Capítulo 4
Ingeniería de sistemas 173

4.1 Introducción 174
4.1.1 Definiciones 174
4.1.2 Inicios 177
4.1.3 Avances en sistemas 178
4.2 Ingeniería de sistemas 179
4.2.1 Alcance de la ingeniería de sistemas 179
4.2.2 Importancia de la ingeniería de sistemas 181
4.3 Enfoque de sistemas 185
4.3.1 Enfoque de sistemas en la solución de problemas y en el diseño 196
4.3.2 Características del enfoque de sistemas 196
4.3.3 Metodología general del enfoque de sistemas 198
4.3.4 Enfoque de sistemas aplicado al diseño organizacional 199
4.4 Análisis de sistemas 201
4.4.1 Análisis de sistemas de organización 205
4.4.2 Análisis de sistemas complejos 211
4.5 Procesos de solución de problemas 212
4.5.1 Formulación del problema 214
4.6 Diseño del sistema 221
4.7 Desarrollo del sistema 222
4.7.1 Información para la fábrica y para el terreno 231
4.7.2 Consideraciones sobre patentes 232
4.7.3 Conclusión del proyecto 233
4.7.4 Prosecución técnica 233
4.8 Implementación o implantación del sistema 237
4.8.1 El axioma de sistemas: "La gente es el problema" 238
4.9 Operación del sistema 254
4.10 Resumen 260
4.11 Ejercicios 266

Capítulo 5
Teorías de sistemas, de decisiones, de la comunicación y de la información 269

5.1 Introducción 270
5.2 Teoría general de sistemas 270
5.2.1 Enfoque de sistemas aplicado 275
5.2.2 Optimización del sistema global 286
5.2.3 Diferencias entre el diseño real y el óptimo (costos de oportunidad) 303
5.2.4 Predicción de resultados futuros (prospectiva) 319
5.2.5 Extrospectiva: Del sistema hacia el exterior 340
5.3 Teoría de decisiones 345
5.3.1 Aspectos normativos y descriptivos 346
5.3.2 Las fases del proceso de decisiones 348
5.3.3 Decisiones y valor 354
5.3.4 La utilidad esperada 355
5.3.5 La toma de decisiones bajo incertidumbre 357
5.3.6 Teoría de decisiones sociales 360
5.4 Teoría de la comunicación y de la información 364
5.4.1 El objeto de estudio de la teoría de la comunicación 365
5.4.2 Comunicación e información 367
5.4.3 Modelos básicos de comunicación 374
5.4.4 Teorías sobre la sociedad de la información 385
5.5 Resumen 396
5.6 Preguntas 406

Bibliografía 409

Índice analítico 419

Prólogo

Este material se escribió para dar un enfoque de la evolución de la Ingeniería Industrial desde sus orígenes considerando el punto de vista occidental y permitir a los interesados en la carrera valorar la importancia del conjunto de técnicas que la integran ubicándose en el contexto de la época en que se desarrollaron identificando la problemática existente y como se fue gestando su metodología a partir de la experiencia, del ensayo y error hasta encontrar un sustento fundamental en el procedimiento universal de solución de problemas que se basa en los elementos principales del método científico, esencialmente en la observación, registro y análisis de los hechos, metodología que fue evolucionando con las nuevas aportaciones desarrolladas para enfrentar problemas cada vez más complejos, que siempre han acompañado a la humanidad y que están asociados, principalmente, a problemas militares, y que como consecuencia de una necesidad imperiosa de resolverlos, han impulsado el desarrollo de nuevas metodologías para su solución, apoyadas en los avances disponibles en cada época. Dichas metodologías, se han aplicado con éxito en la solución de problemas en todo tipo de áreas, como: manufactura, servicios, gobierno, comercio, etcétera.

En los capítulos correspondientes se identifican las siguientes etapas de evolución de la Ingeniería Industrial en este contexto:

I. Orígenes e ingenierías precursoras.

II. Ingeniería Industrial convencional, asociada a los estudios de movimientos y tiempos (Gilbreth, Taylor y otros precursores).

III. Ingeniería Industrial apoyada en modelos de Investigación de Operaciones.

IV. Ingeniería Industrial apoyada en sistemas.

V. Ingeniería Industrial apoyada en las teorías de sistemas, decisiones, comunicación e información, etcétera.

De manera que podemos observar la gestación de la mejora continua a partir de Gilbreth que formuló el principio: *¡siempre hay una mejor manera de hacer el trabajo!* Lo que sirvió de fundamento para el enfoque de mejoramiento de sistemas orientado a la eficiencia, soportado con las ideas de Taylor y otros contemporáneos que aportan el enfoque de los inicios del método científico aplicado al estudio del trabajo, comúnmente conocido como procedimiento universal de solución de problemas, desarrollando sus

trabajos en las áreas fundamentales para la operación de las empresas de: análisis y diseño, control y administración de operaciones de sistemas de manufactura o de servicios, siempre enfocadas al mejoramiento.

Los subsecuentes avances que se gestaron durante la segunda guerra mundial, conocidos como modelos de Investigación de Operaciones, que proporcionaron una metodología racional y sistemática para la toma de decisiones en solución de problemas de control de sistemas con objeto de mejorar su rendimiento.

En la época de la postguerra a raíz del impulso generado por la guerra en la investigación se desarrollaron varios enfoques, uno particularmente importante, el de sistemas, se encontró de utilidad en la solución de problemas complejos dando pauta al desarrollo de la Ingeniería de Sistemas o Ingeniería Industrial apoyada en sistemas.

El impulso en la investigación continuo con desarrollos en diversos campos y teorías, de estas resultaron particularmente importantes para la Ingeniería Industrial las de sistemas, las de decisiones y la teoría de comunicación e información, que se describen en el capítulo V y que sentaron las bases para la época actual conocida como la de la sociedad del conocimiento.

Todo esto se hizo con la idea de proporcionar un panorama amplio de la carrera de la Ingeniería Industrial y darle oportunidad al interesado en estudiarla de ubicarse e identificar el área o áreas en las que le gustaría desempeñarse, pero principalmente de enamorarse de la carrera, dado que tiene toda una gama de posibilidades de aplicación en el análisis, diseño, control, administración y mejoramiento o rediseño de los sistemas de manufactura o servicios, buscando siempre una manera mejor de hacer las cosas.

José Fidencio Domingo González Zúñiga,
México D. F. México

Competencias Generales

- **Evaluar las técnicas de ingeniería industrial, como un producto de la actividad, cultura y contexto occidental, mediante la comparación de la aplicación de la teoría con la práctica en las empresas.**
- **Analizar la evolución de la ingeniería industrial en el contexto occidental, ubicando los principales avances realizados por los precursores e ingenieros industriales.**
- **Estructurar una visión básica de la aplicación, alcance, funciones e importancia de la ingeniería industrial, mediante el análisis de información relevante en los conceptos y técnicas de la misma en el contexto occidental.**
- **Convertirse en persona autónoma, formándose un perfil enfocado en un proceso permanente de innovación y dinamismo, acorde con los avances científicos y tecnológicos dentro de un modelo interdisciplinario, para explotar la autonomía de su aprendizaje.**
- **Comunicar de manera integral su aprendizaje mediante el pensamiento sistémico que lo lleve a una vinculación con las diferentes unidades de aprendizaje de su plan de estudio, tanto horizontal como verticalmente.**
- **Identificar su propio trabajo como profesionista autónomo, mediante una respuesta eficaz y diligente a los cambios y versiones que le ofrezcan los contextos en los que interactúe.**

Capítulo 1

ANTECEDENTES

1.1 Introducción
1.2 Precursores de la Ingeniería Industrial
1.3 Desarrollos al final de la Primera Guerra Mundial
1.4 Avances en la Segunda Guerra Mundial
1.5 Resumen
1.6 Ejercicios

"En todo trabajo, siempre existe una mejor manera."
F. B. Gilbreth

COMPETENCIAS DEL CAPÍTULO

Sintetizar los principales éventos y las aportaciones que han contribuido al origen y la evolución de la Ingeniería Industrial en el contexto occidental.

1.1 INTRODUCCIÓN

Este libro presenta un panorama de la Ingeniería Industrial en el contexto occidental a partir de sus orígenes, la Ingeniería Industrial convencional apoyada en el método científico (capítulo 1), y continúa con la exposición de los modelos de investigación de operaciones apoyados en modelos matemáticos (capítulo 2), para proseguir con la ingeniería de sistemas (capítulo 3) hasta llegar a las teorías de sistemas y subsecuentes (capítulo 4), ubicando los principales avances que se generaron desde los precursores hasta los ingenieros industriales en la época actual en dicho contexto, de tal manera que el propósito es que el lector tenga una visión de las áreas que integran la Ingeniería Industrial e identifique la función que puede desempeñar al desarrollar esta carrera.

Asimismo, se presenta una visión básica de la aplicación, el alcance, las funciones y la importancia de la Ingeniería Industrial mediante el análisis de la información relevante en los conceptos y las técnicas de la misma en dicho contexto, para formarse un perfil enfocado en un proceso permanente de innovación y dinamismo, acorde con los avances científicos y tecnológicos, dentro de un modelo interdisciplinario de mejora continua.

Tradicionalmente, los ingenieros industriales son los que determinan las maneras más efectivas para usar los factores básicos de producción: gente, máquinas, materiales, información y energía para elaborar un producto o para proveer un servicio. Ellos son el puente entre las metas de la dirección y el cumplimiento operacional. Son también quienes se interesan más en la productividad creciente mediante la dirección de gente, los métodos de organización de negocio y la tecnología requerida.

El aspecto más distintivo de la Ingeniería Industrial es la flexibilidad que ofrece. Ya sea en una línea de producción, modernizando una sala de operaciones, distribuyendo productos en el ámbito mundial o en la fabricación de automóviles superiores, los ingenieros industriales comparten la meta común de ahorrar el dinero de la empresa y aumentar su eficiencia. Saben cómo hacer mejor las cosas. Diseñan procesos y sistemas que mejoran la calidad, la productividad y la competitividad. Trabajan para eliminar desperdicio de tiempo, dinero, materiales, energía y otras mercancías.

El ingeniero industrial (IE) es sinónimo de integrador de sistemas; en otras palabras, es un pensador de imagen amplia. Es quien toma lo que existe hoy y conceptúa lo que debe haber en el futuro.

Los IE dedican la mayoría de su tiempo en el ambiente operativo real, donde obtienen soluciones con enfoques científicos a los problemas.

John Samuels, vicepresidente de Norfolk Sur.

De manera concreta, el Instituto estadounidence de Ingenieros Industriales (IIE) la define de la siguiente forma:

La Ingeniería Industrial se ocupa del diseño, el mejoramiento y la instalación de sistemas integrados de personas, materiales y equipo, con base en conocimientos y habilidades especializadas en ciencias matemáticas, físicas y sociales, junto con los principios y métodos del análisis y diseño de ingeniería, con la finalidad de especificar, pronosticar y evaluar qué ha de obtenerse en tales sistemas.

1.1.1 Orígenes de la Ingeniería Industrial

Los precursores de ingenieros, artistas y artesanos prácticos procedieron principalmente mediante prueba y error. No obstante, es bien sabido que la creatividad combinada con la imaginación produce dispositivos maravillosos. Muchos monumentos antiguos no dejan de incitar a la admiración, admiración que se personifica con el término de *ingeniero*, que tiene su origen en el siglo XI y proviene del latín *ingeniator*, que significa "alguien con ingenio, el ingenioso". El nombre, que se utilizaba para los constructores de fortificaciones o fabricantes de dispositivos ingeniosos, estaba estrechamente relacionado con la noción del ingenio, que fue capturado en el antiguo significado de "motor" (*engine* en inglés), hasta que la palabra se utilizó para referirse a las máquinas de vapor y similares. Cabe recordar que los cuadernos de Leonardo da Vinci, que tenía el título oficial de *Ingegnere generale*, revelan que algunos ingenieros del Renacimiento comenzaron a preguntarse sistemáticamente "cómo funciona y por qué".

Hay muchos ejemplos en la Antigüedad de la práctica los trabajos ingenieriles, tales como las pirámides u otras construcciones de diversas culturas alrededor del mundo, así como las siete maravillas del mundo antiguo (la gran pirámide de Guiza, los jardines

colgantes de Babilonia, el templo de Artemisa, la estatua de Zeus en Olimpia, el museo de Halicarnaso, el Coloso de Rodas y el faro de Alejandría), además de la Gran Muralla de China y los proyectos de construcción romanos, entre otros.

1.1.2 Ingenierías precursoras

En sus inicios, la ingeniería estuvo vinculada casi exclusivamente a actividades militares, gubernamentales y religiosas. En este sentido se construyeron caminos, puentes, murallas, torres, faros, puertos, monumentos funerarios y demás para beneficiarlas o para honrar a un caudillo. En tiempos de paz, la ingeniería fue puesta al servicio del bienestar del ser humano, al margen de la guerra y los ejércitos, de ahí que cuando, en el siglo XIX, algunas universidades empezaron a ofrecer esta carrera la llamaron ingeniería civil con el propósito de distinguirla de la ejercida por los militares (ingeniería militar). Algunas de las primeras escuelas universitarias en Europa fueron la École Nationale des Ponts et Chaussées de París, Francia, en 1747; la Academia de Artillería en Segovia, España, en 1764; la Academia de Minas de Freiberg, Alemania, en 1765; la Academia Real de Fortificação, Artilharia e Desenho, en Lisboa, Portugal, en 1790.

En México, el Real Seminario de Minería comienzó a operar en enero de 1792. Estuvo encargado de la iniciativa de formar ingenieros para "promover el bien común y el progreso" mediante la aplicación de la ciencia a la innovación técnica, según los ideales de su época. Es por tanto la primera institución de su tipo en América, tradición que han seguido la Facultad de Ingeniería de la UNAM y el Instituto Politécnico Nacional (IPN), así como otras escuelas de ingeniería nacionales.

Al Real Seminario de Minería de México siguieron la Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho, en Río de Janeiro, Brasil, en 1792; la Escuela Técnica Superior de Praga, en 1806; la Universidad de Ciencias Aplicadas de Ámsterdam, Holanda, en 1877; la Escuela Técnica Superior de Viena, Austria, en 1815; la Escuela Técnica Superior de Karlsruhe, Alemania, en 1825.

En Estados Unidos la primera escuela de ingenieros se creó en Nueva York en 1849, mientras que en 1913 se fundó la Escuela Nacional de Aviación en Getafe, España.

La necesidad de eficiencia en el diseño y el análisis de puentes, caminos y edificios dio lugar a las bases con las que inició la ingeniería, cuya aplicación de principios paulatinamente hizo surgir subdisciplinas de la ingeniería, A continuación se exponen algunas de ellas.

Ingeniería militar. Aunque no es sino hasta la Edad Media que empiezan a utilizarse los términos de «ingenio» e «ingeniero» para definir los artefactos de la guerra y a sus

constructores, existe constancia de que el empleo de la fortificación y de las armas para asaltarla datan de los mismos orígenes de la humanidad. Si retrocedemos a la Edad del Bronce nos encontraremos con que en España hay vestigios de fortificaciones, que tal vez sean los más antiguos en la historia de la humanidad y se ubican en Los Millares, Almería. Hay hallazgos datados hacia el año 1,000 a. C. de fortalezas (fortificaciones militares), en Galicia y la Meseta, que son importantes, pues nos indican que los iberos fueron los primeros en comenzar a ubicar sus ciudades en cerros bien defendidos, cuyas murallas estaban hechas de piedras unidas en seco, y también en disponer de torretas, fosos, empalizadas, etcétera, elementos todos que proporcionaban una defensa suplementaria. La *ingeniería militar* es la rama de la ingeniería que da apoyo a las actividades de combate y logística de los ejércitos mediante un sistema MCP (movilidad, contra movilidad y protección) con la construcción de puentes, campos minados, pasarelas, etcétera, cuya enseñanza primero se dio en las academias militares.

Ingeniería civil. Está estrechamente vinculada a los avances en el conocimiento de la física y las matemáticas a través de la historia. Debido a que el campo de aplicación de la ingeniería civil es muy amplio, incluyendo varias subdisciplinas, su historia está relacionada con el estudio y la comprensión de estructuras, ciencia de materiales, geografía, geología, suelos, hidrología, medio ambiente, mecánica y otros campos.

En la Antigüedad y en la Edad Media, la mayoría de las construcciones de obras arquitectónicas fue llevada a cabo por artesanos, en calidad de albañiles y carpinteros, que luego pasaban a ser maestros de obras. Tal conocimiento se mantuvo durante mucho tiempo entre los gremios y rara vez era modificado por los avances que se iban sucediendo, mientras que las estructuras, los caminos y las infraestructuras, repetitivas, se incrementaban a escala.

Uno de los primeros ejemplos del uso de la física y las matemáticas aplicables a la ingeniería civil es el trabajo de Arquímedes (287–212 a.C.), que incluye el principio de Arquímedes y la solución al bombeo de agua, que se dio gracias al tornillo que inventó.

Brahmagupta, un matemático indio, utilizó la aritmética en el siglo VII d.C. basado en la numeración arábiga-hindú, para calcular el volumen de las excavaciones.

Ingeniería mecánica. Las aplicaciones de esta ingeniería datan de épocas muy anteriores. Por ejemplo, en la antigua Grecia las obras de Arquímedes han influido profundamente en la mecánica occidental, en tanto que Herón de Alejandría (c. 10-70 d.C.), creó la primera máquina de vapor.[2] En China, Zhang Heng (78-139 d.C.) mejoró un reloj de agua e inventó un sismómetro; Ma Jun (200-265 d. C.) inventó un carro con diferencial de engranajes, y el ingeniero Su Song (1020-1101 d.C.) incorporó un mecanismo de escape en su torre del reloj astronómico dos siglos antes de que cualquier fuga se pudiese encontrar en los relojes de la Europa medieval, así como la primera cadena de transmisión.[3] Durante los siglos VIII al XV, en la llamada Edad de Oro islámica, hubo notables contribuciones de los musulmanes en el campo de la tecnología

mecánica. Al Jaziri, un ingeniero musulmán, escribió su famoso *Libro del conocimiento de ingeniosos dispositivos mecánicos* en 1206, en el cual presentó muchos diseños mecánicos, pero también es considerado el inventor de tales dispositivos mecánicos que ahora forman la base árboles de levas y cigüeñales.[4]

Un hecho importante en la creación de la ingeniería mecánica sucedió en Inglaterra durante el siglo XVII, cuando Isaac Newton formuló sus tres leyes y desarrolló el cálculo. Newton fue reacio a publicar sus métodos y leyes por años, pero finalmente fue persuadido por sus colegas (entre otros Edmundo Halley (8 de noviembre de 1656 – 14 de enero de 1742) para el beneficio de toda la humanidad. Históricamente, esta rama de la ingeniería nació en respuesta a diferentes necesidades que fueron surgiendo en la sociedad. Como se requería de nuevos dispositivos con funcionamientos complejos en su movimiento o que soportaran grandes cantidades de fuerza, esta disciplina tuvo que estudiar el movimiento y el equilibrio. Asimismo, tuvo que encontrarse una nueva manera de hacer funcionar las máquinas, ya que en un principio se utilizaba fuerza humana o fuerza animal, por lo que la invención de las máquinas que funcionan con energía proveniente del vapor, del carbón, de petroquímicos (como la gasolina) y de la electricidad trajo grandes avances, lo que dio origen a la Revolución Industrial, que estalló a mediados del siglo XVIII. Años después, se abriría paso la producción en serie.

A principios del siglo XIX, en Inglaterra, Alemania y Escocia, el desarrollo de herramientas llevó a desarrollar un campo dentro del campo de la ingeniería en mecánica el cual abarca el suministro de máquinas de fabricación y de sus motores.[5] En Estados Unidos, la American Society of Mechanical Engineers (ASME) se formó en 1880, convirtiéndose en la tercera sociedad de profesionales de ingeniería, después de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (1852) y el Instituto Americano de Ingenieros de Minas (1871). Las primeras escuelas en ese país que ofrecían una enseñanza de la ingeniería fueron la Academia Militar 1817, una institución conocida como Universidad de Norwich desde 1819, y el Instituto Politécnico Rensselaer en 1825. La educación en ingeniería mecánica se ha sustentado históricamente en una base sólida en matemáticas.

Ingeniería eléctrica. La electricidad ha sido materia de interés científico desde principios del siglo XVII. El primer ingeniero electricista fue probablemente William Gilbert (1804-1890), quien diseñó el *versorium*, un aparato que detectaba la presencia de objetos estáticamente cargados. Él también fue el primero en marcar una clara distinción entre electricidad magnética y electricidad estática, además de que se le atribuye la creación del término *electricidad*. En 1775 la experimentación científica de Alessandro Volta (1745-1827) llevó a la creación del electróforo, un aparato que producía carga eléctrica estática, gracias a la cual, en 1800, Volta inventó la pila voltaica, predecesora de la batería eléctrica. Thomas Alva Edison (1847-1931) construyó la primera red de energía eléctrica del mundo. No fue sino hasta años después que las investigaciones dentro de la ingeniería eléctrica empezaron a intensificarse. Algunos de los desarrollos notables en el siglo XIX incluyen el trabajo de Georg Ohm (1789-1854), quien en 1827 midió la relación entre corriente eléctrica y la diferencia de potenciales en un conductor. Otros

destacados personajes fueron Michael Faraday (1791-1867), quien descubrió la inducción electromagnética en 1831 y James Clerk Maxwell (1831-1879), quien en 1873 publicó la teoría unificada de la electricidad y el magnetismo en su tratado *Electricity and Magnetism.* Además, Nikola Tesla (1856-1943) hizo posibles las redes de transmisión de energía eléctrica de larga distancia. Durante estos años, el estudio de la electricidad era ampliamente considerado como una rama de la física. No fue sino hasta finales del siglo XIX que las universidades empezaron a ofrecer carreras en ingeniería eléctrica.

Ingeniería química. Como disciplina, en sus orígenes la ingeniería química era básicamente una extensión de la ingeniería mecánica, que se aplicaba a resolver los problemas de fabricación de sustancias y materiales químicos, que era la tarea tradicional de la química industrial. En contraste, la ingeniería química moderna está estructurada alrededor de un sistema de conocimientos propio acerca de fenómenos y procesos vinculados con la producción de sustancias y materiales mediante cambios en las propiedades físicas o químicas, o ambas, de la materia. Debe tomarse en cuenta que en el campo de la ingeniería química es posible reconocer tendencias y momentos cruciales que se consideren paradigmáticos. El primero de ellos data de 1915, cuando en el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) los profesores Walker, Lewis y McAdams le dieron forma al concepto de *operaciones unitarias* como una serie de operaciones comunes a muchos procesos industriales, tales como la transferencia de energía, la destilación, el flujo de fluidos, la filtración, la trituración, la molienda y la cristalización, lo cual permitió unificar, a la vez que dar sustento científico y leyes generales, a las diversas operaciones y variados procesos de la naciente ingeniería química. Este modelo de las operaciones unitarias, que implicaba el estudio de tales operaciones separadas de los procesos industriales específicos, como una forma de abordar y solucionar los problemas de escala industrial fundamentalmente empírico, se utilizó con éxito durante muchos años. En 1960 surgió el segundo gran paradigma de la ingeniería química con la publicación del libro *Fenómenos de transporte,* de R. B. Bird, W. E. Stewart y E. N. Lightfoot, quien estableció un método distinto para el análisis y estudio de los fenómenos físico-químicos además de ser quien buscaría explicaciones moleculares para los fenómenos macroscópicos. El estudio de los fenómenos de transporte comprende aquellos procesos en donde hay una transferencia o un transporte neto de materia, energía o *momentum* lineal en cantidades macroscópicas, desde los puntos de vista microscópico o molecular. Si bien los dos paradigmas citados han hecho posible la solución de muchos problemas en ingeniería química, hoy comienzan a configurarse desde las ciencias básicas (química, física, biología) fundamentos científicos para estructurar un nuevo enfoque, el cual ampliaría el horizonte de la ingeniería química y abordaría problemas a los que hasta ahora se les han dado soluciones incompletas con métodos empíricos.

Así, la biología molecular, la ingeniería genética y la ingeniería molecular (ciencias del área de la nanotecnología) aportan conocimientos que pueden ser la base para construir un tercer paradigma de la ingeniería química.

Ingeniería Industrial. A medida que surgían aparatos y se descubrían nuevas fuentes de energía, crecía la necesidad de organizar las fábricas para que aprovecharan las innovaciones, de tal manera que la Ingeniería Industrial fue desarrollada a partir de las evidencias empíricas y de su comprensión, luego de la investigación y el diseño de una base más científica. Las raíces empíricas de la Ingeniería Industrial datan de la Revolución Industrial.

El concepto de sistema de producción, que es la base de la práctica moderna y de la investigación de la Ingeniería Industrial, tuvo su génesis en las fábricas abiertas como resultado de las innovaciones de la Revolución Industrial. Los conceptos presentados por Adam Smith (1723-1790), en su tratado *La causa de la riqueza de las naciones*, también son fundamento de lo que se convirtió en la teoría y la práctica de la Ingeniería Industrial. Sus escritos y conceptos, tales como la división del trabajo y la "mano invisible" del capitalismo, sirvieron para motivar a muchos de los innovadores tecnológicos a establecer e implementar sistemas de fabricación.

Otros ejemplos empíricos son la puesta en marcha de los sistemas de control de Arkwright para regular la mano de obra y la producción, así como la fábrica bien organizada de Watt hijo, quien, junto con su asociado, Matthew Boulton (1728-1809), se dio a la tarea de producir motores de vapor. También cabe mencionar los resultados que obtuvo Charles Babbage (1791-1871) en sus visitas a las fábricas en Inglaterra y Estados Unidos al comienzo del siglo XIX, las cuales fueron documentadas en su libro titulado *En la Economía de la Maquinaria y de los Fabricantes*, que incluye temas tales como el tiempo requerido para aprender una tarea particular, los efectos de subdividir tareas en elementos más pequeños y menos detallados, el tiempo y el ahorro en costos asociados al cambio a partir de una tarea a otra y las ventajas de hacer tareas repetitivas. En su ejemplo clásico, considerando la fabricación de alfileres, Babbage extiende la idea de Adam Smith en la división del trabajo demostrando que podría ahorrarse dinero si se asignaran trabajadores de menor ingreso (mujeres y niños en esos días) a las operaciones que requerían menos habilidad y si se restringiera a los trabajadores pagados con un nivel de formación más alto solo para aquellas operaciones que requerían niveles de habilidad más específicos y detallados. Babbage también discute aspectos relacionados con los pagos del salario, con el plan actual de participación en los beneficios e incluso con ideas asociadas con la organización de trabajo y de relaciones laborales.

Las ideas de Babbage se vieron apoyadas con los esfuerzos de Eli Whitney (1765-1825) y Simeon North (1765-1852) en cuanto a la innovación de piezas intercambiables. Con el sistema de Whitney se produjeron piezas individuales en masa a las tolerancias suficientemente estrechas para permitir su uso en cualquier producto final.

La división del trabajo de Adam Smith se realizó a un grado nunca antes visto, con trabajadores individuales produciendo solo las partes en lugar de productos terminados. El resultado fue una reducción significativa de la necesidad de especialización de los trabajadores, lo que eventualmente condujo al ambiente industrial que se convirtió en el objeto del estudio de Frederick Winslow Taylor (1856-1915).

1.2 PRECURSORES DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL

Se considera a Fredrick Winslow Taylor como el Padre de la Ingeniería Industrial, no obstante que sus ideas no todas fueron originales. Algunas de las influencias anteriores, además de las mencionadas, quizá sean Adam Smith (1776) y su *Tratado de la riqueza de las naciones*; Thomas Malthus (1798), con el *Ensayo sobre la población*; David Ricardo (1817) y sus *Principios de la tributación y economía política*; John Stuart Mill (1848) con sus *Principios de economía política*; Boulton y Watt (1800), gracias al mejoramiento organizacional en la fundición, y Charles Babbage (1832), con sus aportaciones a la división del trabajo en manufactura.

1.2.1 La época de las ciencias económicas

Todos estos trabajos proveyeron explicaciones liberales clásicas para los éxitos y las limitaciones de la Revolución Industrial. De hecho, Adam Smith era un economista como la mayoría de sus contemporáneos. "Las ciencias económicas" es la frase para describir este campo en Inglaterra anterior a la industrialización estadounidense.

Adam Smith[6]



En 1759 publicó *Teoría de los sentimientos morales*, obra profundamente influida por el utilitarismo de Jeremías Bentham y John Stuart Mill, en la que describía la formación de los juicios morales en el marco de un "orden natural" de ámbito social, sobre cuyos principios basaría su posterior liberalismo económico. Smith veía en el comportamiento humano la presencia de una dualidad entre razón e impulsos pasionales.

La naturaleza humana, individualista y racional al mismo tiempo, empuja al hombre tanto al enfrentamiento como a la creación de instituciones destinadas a la consecución del bien común. Asimismo, expuso la creencia en una "mano invisible" armonizadora de los intereses individuales en el marco de la actividad colectiva.

En Francia inició la redacción de su obra más importante, la *Investigación sobre la naturaleza y las causas de la riqueza de las naciones* (*An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*), que dividio en cinco libros y tardó en escribir seis años en su pueblo natal de Kirkcaldy, cerca de Edimburgo, el cual publicó

después de una estancia de tres años en Londres, en 1776. Su principal aportación teórica con su obra es el análisis del mecanismo mediante el cual el libre juego de mercado (tanto escala interna como en las relaciones comerciales con otros países) entre los diversos sectores de la economía genera el máximo beneficio económico del conjunto.

En consecuencia, se mostró siempre contrario a cualquier intervención o regulación de la actividad económica, con lo que redujo el papel del Estado al de garante de las reglas del juego. Asimismo, se opuso al mercantilismo, al considerar la riqueza de una nación como la producción anual de bienes y servicios ("las cosas necesarias y útiles para la vida"), en lugar de las reservas de metales preciosos, y a la escuela fisiócrata, al descartar la tierra como el origen de toda riqueza y proponer en su lugar el factor trabajo. A este respecto, Smith incidió en la especialización (división del trabajo) como el determinante de la capacidad de una sociedad para aumentar su productividad y, en consecuencia, su crecimiento económico. Estableció, por otro lado, una teoría del valor de un bien que distinguía entre su valor de cambio (capacidad de ser intercambiado por otros bienes) y su valor de uso (utilidad que aporta).



Thomas Robert Malthus

Malthus estaba interesado en todo lo relacionado con la población. Por ello, acumuló por mucho tiempo las cifras de nacimientos, defunciones, la edad del matrimonio y la maternidad, así como los factores económicos que contribuyen a la longevidad. Su principal aportación fue poner de relieve la relación entre la oferta de alimentos y la población. Los seres humanos no deben sobrepoblar la tierra hasta el punto de morir de hambre, sostuvo, solo *porque* la gente cambia su comportamiento frente a los incentivos económicos.

Tomando nota de que si bien la producción de alimentos tiende a aumentar aritméticamente, la población tiende a aumentar naturalmente a una velocidad (más rápida) geométrica, Malthus argumentó que no es de extrañar que la gente debe *elegir* para reducir (o "controlar") el crecimiento de la población. Las personas pueden aumentar la producción de alimentos, pensaba, sólo mediante métodos lentos y difíciles, tales como recuperación de tierras ociosas o de la agricultura intensiva. Malthus no estaba fascinado con la inevitabilidad de la muerte humana, sino con la razón de por qué los seres humanos *no* mueren frente a esos enormes obstáculos. Como economista, estudió las respuestas a los incentivos, Él es probablemente el economista más mal entendido y mal interpretado de todos los tiempos. El adjetivo "malthusiano" se utiliza para describir una predicción pesimista de la desaparición paso a paso de una humanidad condenada al hambre a consecuencia de la superpoblación. Cuando su hipótesis fue declarada en su *best-seller* por primera vez en su *Ensayo sobre el principio de población* (1798),[7] el

alboroto que causó entre los no economistas opacó el respeto instantáneo que inspiró entre sus colegas economistas. Así de irrefutable y simple era su ilustrativa comparación de que una aritmética y una serie geométrica de alimentos aumentan de manera más lenta que la población, lo que a menudo se toma fuera de contexto.

La observación principal es en realidad tan dura que todavía es fácil perder de vista la conclusión real de Malthus: que debido a que los seres humanos hambrientos *no tienen* todas las opciones económicas, debe ser en el trabajo donde la gente encuentre la salida, pues es el trabajo de un economista es estudiar esas opciones.

Malthus trató muchos otros temas. *Principios de economía política* (1820)[8] fue el primer texto para describir un calendario de demanda como algo separado de la cantidad demandada a un precio determinado. Su exposición de las curvas de demanda aclaró el debate sobre la ley de Say[51] (a la que se opuso a la larga, con el argumento del autoajuste de los mercados). Su trabajo se centró en el contraste a largo plazo -como lo demuestra el crecimiento de la población- con el corto plazo, lo cual se refleja en eventos cíclicos como los que afectan a la agricultura. Como escribió sus *Principios... antes de la Revolución Industrial*, Malthus no tuvo la oportunidad de hablar plenamente en su obra sobre el impacto de la tecnología (por ejemplo, los pesticidas, la refrigeración, maquinaria agrícola y aumento de los rendimientos de los cultivos) en la producción de alimentos.

David Ricardo



Este personaje (1772-1823) hizo su primer artículo sobre economía a la edad de 37 años y pasó los siguientes 14 años como economista profesional. Ricardo ganó fama entre los economistas durante la "controversia del oro." En 1809 escribió que la inflación en Inglaterra fue el resultado de la propensión del banco oficial de ese país a emitir billetes en exceso. En resumen, Ricardo era un creyente de principios de la teoría cuantitativa del dinero o de lo que se conoce como *monetarismo.*

En su *Ensayo sobre la influencia de un bajo precio de maíz en las utilidades del capital* (1815), Ricardo plasmó en sus textos la que llegó a ser conocida como la ley de los rendimientos marginales decrecientes, una de las leyes más famosas de la economía, la cual considera que los recursos, a medida que más y más se combinan en la producción con un recurso fijo, por ejemplo cuanto más mano de obra y maquinaria se utilizan en una cantidad fija de tierra, las adiciones a la producción disminuirán.

Ricardo también se opuso a las leyes proteccionistas del maíz, que restringían las importaciones de trigo. Además, al abogar por el libre comercio, formuló la idea de los costos comparativos, actualmente llamada *ventaja comparativa*, una idea muy sutil que es la base principal para la mayoría de los economistas que creen en el

libre comercio, La idea es la siguiente: un país que comercia los productos que puede obtener a un coste menor de otro país, está en mejor situación que si hubiera hecho los productos en casa.

Por ejemplo, Poorland llega a producir una botella de vino con cinco horas de trabajo y una hogaza de pan con diez horas. Trabajadores de Richland son más fructíferos; ellos producen una botella de vino con tres horas de mano de obra y una hogaza de pan con una hora. Uno pensaría en principio que Richland requiere menos horas de trabajo para producir el bien.

Piense otra vez. El coste de producción de vino de Poorland, aunque superior al de Richland, en términos de horas de trabajo, es menor en términos de pan. Por cada botella producida, Poorland renuncia a la mitad de un pan, mientras Richland tiene que renunciar a tres panes para hacer una botella de vino. Por lo tanto, Poorland tiene una ventaja comparativa en la producción de vino. Del mismo modo, para cada hogaza de pan que produce, Poorland se da por vencido con dos botellas de vino, pero Richland rinde solo un tercio de una botella. Por lo tanto, Richland tiene una ventaja comparativa en la producción de pan.

Si cambian el vino y el pan uno por uno, Poorland pueden especializarse en la producción de vino y el comercio y Richland especializarse en la producción de pan, pero Richland y Poorland estarán mejor si se quedan como están. Al cambiar, digamos, diez horas de trabajo de producción de pan, Poorland abandona el pan que este trabajo podría haber producido, pero el trabajo reasignado produce dos botellas de vino, que se comercian por dos hogazas de pan. Resultado: redes de comercio de Poorland y una hogaza de pan adicional. Tampoco la ganancia de Poorland viene a expensas de Richland. También Richland tiene ganancias, sino no cambiaría. Al cambiar tres horas de producción de vino, la producción de vino de Richland se reduce a una botella, pero aumenta la producción a tres panes. Sus acciones se negocian asi: dos de estos panes por dos botellas de vino de Poorland. Richland tiene una botella más de vino de las que tenía antes y una hogaza de pan adicional.

Ricardo observó que tales ganancias se originan cuando cada país se especializa en la producción de la mercancía para la cual su coste comparativo es más bajo. Sobre eso escribió un siglo antes de que Paul Samuelson y otros economistas popularizaran el uso de ecuaciones. Lo mejor del caso es que Ricardo sigue siendo apreciado por su asombrosa habilidad para llegar a conclusiones complejas sin ninguna de las herramientas matemáticas que ahora se consideran esenciales. Como economista, David Friedman lo expresó, en 1990, en su libro: *La teoría de precios*: "El economista moderno leyendo los *Principios* de Ricardo se siente más bien como un miembro de una de las expediciones al monte Everest, al llegar a la cima de la montaña, lo que sentiría al encontrarse con un caminante vestido en zapatos tenis y camiseta.[1]

Una de las principales contribuciones de Ricardo, a la que llegó sin herramientas matemáticas, es su teoría de las rentas. La tomó prestada de Thomas Malthus, con

con quien mantuvo una relación muy estrecha, aunque a menudo fue diametralmente opuesto a él. Ricardo explicaba que entre más tierra se cultivaba, los agricultores tendrían que comenzar a usar tierra menos productiva. Pero debido a que un bushel de maíz de las tierras menos productivas se vende por el mismo precio de una fanega de tierra altamente productiva, los agricultores arrendatarios estarían dispuestos a pagar más para alquilar la tierra altamente productiva. El resultado de esto es que los terratenientes, no los agricultores arrendatarios, son los que obtienen la tierra productiva. Este hallazgo ha resistido la prueba del tiempo. Hoy los economistas utilizan el razonamiento ricardiano para explicar por qué el soporte de precios de la agricultura no ayuda a los agricultores por sí solos, pero sí facilita que los propietarios de tierras agrícolas sean más ricos. Los economistas utilizan un razonamiento similar para explicar por qué los beneficiarios de las leyes que restringen el número de taxis no son taxistas *per se*, sino más bien los que poseían el número limitado de placas de taxis (licencias) cuando la restricción se impuso por primera vez.

John Stuart Mill



Sus primeros escritos aparecieron publicados en las páginas de los diarios *The Traveller* y *The Morning Chronicle*; estos escritos se ocuparon fundamentalmente de la defensa de la libre expresión. En 1824, la aparición de *The Westminster Review*, órgano de transmisión de las ideas filosóficas radicales, proporcionó a Mill un atrio privilegiado desde donde logró difundir su ideario liberal.

En el campo de la ética, Mill defendió una suerte de matizado utilitarismo en el cual se entrevén influencias de Bentham e introdujo una constante preocupación por incluir en el concepto habitual de "utilidad" las satisfacciones derivadas del libre ejercicio de la imaginación y la conciencia crítica. En cuanto a las principales tendencias filosóficas de su tiempo, Mill se manifestó a favor del positivismo comtiano y contrario al intuicionismo de Hamilton.

Políticamente mostró siempre un gran entusiasmo por la forma democrática de gobierno atemperado por el pesimismo sobre la incidencia real en el bienestar social de su práctica. Sus trabajos sobre lógica y metodología de las ciencias revistieron gran importancia en su tiempo, fundamentalmente mediante su búsqueda constante de un principio válido para la inferencia de leyes generales; tras los pasos de Hume, Mill definió la causalidad como un proceso empírico que denominó *inducción por enumeración*.

En su papel como economista, Mill es considerado históricamente como un representante tardío de la escuela clásica inglesa; algunos autores posteriores, como Marx, discutieron dicha filiación y destacaron su alejamiento de la noción del

valor-trabajo. Su obra principal en el campo de la economía política apareció en 1848 con el título de *Principles of Political Economy* (Principios de economía política), en los que cabe distinguir tres partes diferenciadas.

En su primer texto, Mill elaboró un completo análisis del proceso de formación de los salarios, que entendió determinado por la interacción entre la oferta de trabajo y la demanda del mismo en forma de fondo de salarios. Asimismo, consideró el beneficio como renta del capital y lo hizo dependiente del nivel general de precios. En su teoría del intercambio introdujo la utilidad como factor determinante del valor de cambio de un bien, a la par con su coste de producción. En el campo de la economía internacional se le debe la introducción del término *relación real de intercambio*.

En la segunda parte se ocupó de cuestiones de estática y dinámica, a la vez que expuso su idea de una evolución hacia el estancamiento de la totalidad del sistema capitalista a causa de una tendencia irreversible a la reducción de los beneficios, concepto que sería recuperado por Marx. La tercera parte es la que mejor refleja su talante reformista, pues trata de las medidas necesarias para favorecer una más justa distribución de la renta, entre las que Mill propuso la limitación de la herencia, la cooperación obrera e interterritorial, así como la promoción de la pequeña propiedad campesina.

1.2.2 La Revolución Industrial



Eli Whitney

Whitney (1765-1825) fue un estadounidense conocido por la invención de la despepitadora de algodón, uno de los elementos fundamentales de la Revolución Industrial, que dio sustento a la economía de la preguerra del sur,[10] ya que convirtió el cultivo de algodón de tierras altas en un cultivo rentable, lo que fortaleció la base económica de la esclavitud en Estados Unidos. A pesar del impacto social y económico de su invento, Whitney tuvo que enfrentar la pérdida de los beneficios en muchas batallas legales por violación de la patente de la despepitadora de algodón. A partir de entonces, su atención se volvió hacia los contratos que se hacían con el gobierno en la fabricación de fusiles para el recién formado ejército continental. Él continuó haciendo e inventando armas hasta su muerte acaecida en 1825.

Whitney es famoso por dos innovaciones que más tarde dividieron a Estados Unidos de mediados del siglo XIX: la despepitadora de algodón (1793) y su defensa de las partes intercambiables. En el sur, la despepitadora de algodón revolucionó la manera de cosechar el algodón y revigorizó la esclavitud. En el norte, la adopción de partes intercambiables revolucionó la industria manufacturera y contribuyó grandemente a la victoria de este bando en la Guerra Civil. A menudo se atribuye erróneamente a Eli Whitney la introducción de la idea de inventar partes intercambiables, que él defendió durante años como un fabricante de fusiles; sin embargo, hay que hacer nota que tal cuestión es anterior a Whitney, cuyo papel fue solo para promocionar y popularizar esas partes, no inventarlas. Lo que sí tuvo fue una aportación importante cuando el gobierno se quejó del precio que Whitney exigía por mosquete comparado desfavorablemente con el de los producidos en los arsenales del gobierno. En esa ocasión, Whitney fue capaz de calcular un precio real por mosquete mediante la inclusión de los costes fijos, como los seguros y la maquinaria, que el gobierno no había incluido. De este modo hizo contribuciones pioneras tanto en el concepto de contabilidad de costos como en el concepto de la eficiencia de la industria privada.

Los intentos de intercambiabilidad de las piezas se remontan hasta las Guerras Púnicas y se conocen gracias a los restos arqueológicos de barcos que se encuentran en el Museo Archeologico Baglio Anselmi y otros contemporáneos.[11] En los tiempos modernos, la idea fue desarrollada durante décadas entre varias personas. Un precursor fue Jean-Baptiste Vaquette de Gribeauval (1715-1789), un ingeniero francés y oficial de artillería del siglo XVIII, quien creó una buena cantidad de piezas de artillería estandarizadas, aunque no con una verdadera intercambiabilidad[12] de las piezas. Él inspiró a los demás, incluyendo a Honoré Blanc (1736-1801) y Louis de Tousard (1749-1817). A mediados del siglo XVIII, Honoré Blanc se inspiró en la obra de artilleros franceses dirigidos por Jean-Baptiste Vaquette de Gribeauval, que había comenzado a perseguir la intercambiabilidad en artillería. El sistema Gribeauval involucraba la estandarización de cañones y proyectiles. Blanc aplicó estos conceptos a los mosquetes, además de utilizar indicadores y plantillas de presentación para hacer duplicados de piezas para intercambio. Ellos se aproximaban así a tolerancias de ingeniería, aunque la terminología de metrología y los conceptos alrededor de las tolerancias no eran como los conocemos hoy. Por ejemplo, no había micrómetros disponibles para Blanc; por otro lado, aunque probablemente existían los calibradores Vernier, no se sabe si se usaba alguno. Por el contrario, la uniformidad de las piezas se logró a través de métodos de cortar y probar, para lo que se utilizaban plantillas, medidores y modelos maestros con la finalidad de guiar el acabado a mano.

A medida que cada parte se elaboraba, se comparaba repetidamente contra un calibre o modelo (una pieza declarada como modelo para todos las otras con la finalidad de compararla con la primera), así como con la capacidad natural de los ojos y de las manos para detectar pequeñas diferencias, tales como una ligera variación hacia arriba o hacia abajo desde la pieza maestra, asegurando un intercambio suficiente. En el siglo XIX estos esfuerzos produjeron el "sistema de armamento" o sistema americano de fabricación. Algunos otros habitantes de Nueva Inglaterra, incluyendo el capitán John Hancock Hall (1781-1841) y Simeón Norte, llegaron a la intercambiabilidad con éxito antes que la armería Whitney. La armería Whitney lo logró finalmente, no mucho después de su muerte en 1825.



Sir Richard Arkwright

Arkwright (1732-1792) fue un industrial inglés que patentó la máquina de hilar movida por agua bautizada como *Water Frame* en 1769 y fundó la primera factoría hidráulica de algodón del mundo en Cromford, Derbyshire, 1771, siendo uno de los catalizadores de la Revolución Industrial.

En 1775, Arkwright, tras desarrollar la máquina especializada en el cardado del algodón, registró una nueva patente que abarcaba el proceso completo de la producción de hilo, uniendo la máquina de cardado a la *Water Frame*, a la que denominó *RovingFrame*.



Charles W. Babbage

Babbage fue profesor de matemáticas en la Universidad de Cambridge. Una de sus contribuciones importantes al campo fue su libro: *Sobre la economía de maquinaria y fabricación*, en 1832, en el que discute muchos temas diferentes que tienen que ver con fabricación, algunos sumamente familiares para el IE.

Babbage discutía la idea de la curva aprendizaje, la división de la tarea y cómo se afecta el aprendizaje, así como el efecto del aprendizaje sobre la generación de desperdicio. También se interesó mucho en métodos diferentes de la administración de sueldos y participación en las utilidades sugerida como un enfoque viable.

Charles Babbage fue la primera persona en sugerir la construcción de una computadora mecánica, "máquina analítica de cálculo", como él la llamó, con el propósito de resolver problemas matemáticos complejos. Una idea que estaba más allá de la tecnología de su tiempo, pero que luego resultó un concepto valioso para el ingeniero industrial moderno.

Henry Robinson Towne



En Estados Unidos, durante la última parte del siglo XIX, surgieron más desarrollos que condujeron a la formalización de la Ingeniería Industrial. Henry R. Towne acentuó el aspecto económico del trabajo del ingeniero. ¿Cómo estaba el ingeniero mejorando el resultado final para la compañía? Towne perteneció a la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME), como muchos otros pioneros estadounidenses en este nuevo campo. En la ASME, Towne expresó la necesidad desarrollar un campo enfocado en sistemas de fabricación.

Publicó un artículo en la *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers* titulado "El ingeniero como un economista", en el que recalcaba la necesidad de que los ingenieros se ocuparan de los efectos económicos de sus decisiones. Hasta esa época los ingenieros batallaban sobre todo con los elementos, aunque se presuponía que los costos eran una necesidad relativamente incontrolable para ganar la batalla contra la naturaleza.

George Albert Wentworth[13]



Este destacado docente y autor de libros de texto de matemáticas ampliamente utilizados en escuelas y colegios, nació en el norte de Wakefield. Se graduó en la Universidad de Harvard en 1858, después de asistir a Wakefield Academia y Phillips Exeter Academy, para luego enseñar en la última escuela durante 33 años.

Wenworth Comenzó como aprendiz de operador de máquinas en Enterprise Hydraulic Works, obtuvo el título de ingeniero mecánico por el Instituto Stevens y fue jefe de ingenieros en Midvaley Steel Company; además, determinó el tiempo para resolver problemas de matemáticas dejados de tarea a los alumnos, calculando el tiempo que los estudiantes requerían para resolver los problemas en clase.

Fredrick Arthur Halsey

Conjuntamente con Towne, Halsey (1856-1935) trabajó y presentó en ASME el plan de incentivos de jornal creciente. El propósito de su plan era aumentar la productividad del trabajador sin afectar negativamente el coste de producción. El plan también sugería que algunas de las ganancias se repartieran con los empleados como un incentivo para mantenerlos funcionando.



Carl George Barth[14]

En 1899, Frederick W. Taylor contrató a Barth (1860-1939) para trabajar con él en Bethlehem Steel Company. Carl Barth ayudó a desarrollar reglas adecuadas para el cálculo de alimentación y velocidad de máquinas herramienta.[15] En 1902, Taylor y Barth fueron a trabajar con William Sellers en la firma de máquinas-herramienta William Sellers & Company de Filadelfia.

Un registro de su aplicación de las reglas de cálculo se publicó en los *Anales de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos* en 1904. [16 y 17]

Barth inició en 1905 su carrera como ingeniero consultor independiente. Se convirtió en un consultor pionero de la administración científica y más tarde enseñó en la Universidad de Harvard. Barth presentó varios artículos para su publicación de la Escuela de Correspondencia Internacional de Scranton, Pennsylvania, en la revista *Home Study*. En 1909 llevó a cabo la instalación de la administración científica en el Arsenal de Watertown en Massachusetts.



Henry Laurence Gantt

Gantt (1861-1919) nació en el condado de Calvert, Maryland. Se graduó en la escuela McDonogh en 1878 y más tarde estudió en el Instituto de Tecnología de Stevens en Nueva Jersey. Trabajó como profesor y dibujante antes de convertirse en ingeniero mecánico.

En 1887 se unió a Frederick W. Taylor en la aplicación de los principios de la administración científica en su trabajo en la compañía Midvale Steel and Bethlehem hasta 1893. En su carrera como consultor en administración hizo desarrollos como la invención del diagrama que lleva su nombre (de Gantt), el sistema de pago de los salarios 'tarea y bono', así como los métodos de medición de la eficacia y la productividad de los trabajadores.

En 1916, influenciado por Thorstein Veblen, estableció la asociación La Nueva Máquina, la cual pretendía aplicar criterios de eficiencia industrial a la política del proceso. La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) otorga una medalla anual en honor de Henry Laurence Gantt.

A continuación se lista el legado de Henry Gantt a la administración de la producción.

- *Diagrama de Gantt*. Todavía hoy se considera una importante herramienta de administración; ofrece un calendario gráfico para el trabajo de planificación, control y registro de la progresión de las etapas de un proyecto. Este diagrama tiene una variante moderna, PERT (programa de evaluación y revisión técnica).

- *Eficiencia industrial*. Puede ser producida por la aplicación de análisis científico en todos los aspectos de los trabajos en curso. El papel de la administración industrial es mejorar el sistema mediante la eliminación de accidentes.
- *Sistema de bonos en el trabajo*. Se une a la prima pagada a los administradores por cómo enseñan a sus empleados para mejorar el rendimiento.
- *Responsabilidad social de las empresas*. Gantt creía que las empresas tienen obligaciones en relación con el bienestar de la sociedad en que operan.

Gantt creó muchos tipos de gráficos. Diseñó también sus gráficos de manera que capataces y otros supervisores sepan rápidamente si el área de producción respeta el calendario, está adelantada o va atrasada. Inclusive el software actual de administración de proyecto moderno incluye este gráfico.

Un nuevo método para mostrar las interdependencias entre los procesos para aumentar la visibilidad de los programas de producción fue inventado en 1896 por Karol Adamiecki, el cual era similar a la definida por Gantt en 1903. Sin embargo, Adamiecki no publicó sus obras en un lenguaje popular en Occidente. Debido a esto, Gantt fue capaz de popularizar su método, desarrollado entre 1910 y 1915. Con pequeñas modificaciones, a lo que viene de la tabla de Adamieckise se llama ahora comúnmente gráfico de Gantt.[18]

Hugo Diemer



Diemmer (1870-1939) obtuvo en 1893 el grado de ingeniero mecánico por la Universidad Estatal de Ohio en Columbus. Después de graduarse, pasó a ser profesor asistente en el Departamento de Ingeniería Mecánica del Michigan State Agricultural College. Impartió el primer curso de Ingeniería Industrial en la Universidad de Kansas en 1902 y elaboró el primer programa de estudios en Penn State en 1908. Hugo Diemer fue quien primero utilizó el término Ingeniería Industrial (IE) para describir una fusión de la ingeniería y disciplinas empresariales. En 1909 fundó el primer departamento de IE en la Universidad. Al mismo tiempo comenzó a difundir sus ideas en una serie de artículos acerca de la organización comercial y el taller de máquinas en la revista ampliamente leída *El Ingeniero* F. W. Taylor quedó impresionado con estos artículos y otros trabajos de Diemer.

En 1902, impartió el primer curso de Ingeniería Industrial en la Universidad de Kansas, en tanto que en 1907 personalmente fue recomendado por Taylor para ocupar el puesto de jefe de ingeniería mecánica en la Universidad Estatal de Pennsylvania. Tan pronto como Diemer consiguió el trabajo en 1908, introdujo la IE en el plan de estudios de ingeniería mecánica. En 1909 obtuvo la aprobación para un departamento de IE de Penn State, el primero en cualquier universidad estadounidense.

Diemer escribió en 1910 su obra *Automóviles*, que abarcaba 192 páginas y contiene 181 ilustraciones, ambiciosamente subtitulada *Tratado práctico sobre la construcción, operación y cuidado de los automóviles de gasolina, vapor y eléctricos*. Con un lenguaje sencillo y una amplia cobertura enciclopédica, fue elaborado para los estudiantes de la escuela estadounidense por correspondencia. Diemer continuó con varias publicaciones igualmente autorizadas sobre barcos de motor, motocicletas, tornos de madera, carpintería, pantógrafos. En el mismo año McGraw-Hill publicó su libro más famoso: *Organización y administración de la fábrica*, la cual es todavía una obra de referencia respetada luego de su quinta edición, 25 años después.

En 1913 Diemer añadió el texto de la *Administración industrial*, dedicada a informes departamentales, planificación, programación, estudio de tiempo, trabajo y eficiencia, sistemas de salarios y métodos de bienestar para el curso de la IE. Al año siguiente agregó un curso avanzado en administración científica, en el cual usó los textos y escritos de Taylor.

La obra *Organización y administración industrial*, de Diemer, fue publicada por la extensión de la Universidad de La Salle en 1915. La prematura muerte de F. W. Taylor en marzo de ese año fue un revés para Diemer y todos los otros defensores de la administración científica. Como un homenaje inmediato a la memoria del gran pionero, se convino que la Sociedad para Promover la Ciencia de la Administración (creada por Gilbreth en 1912) fuera renombrada como Sociedad Taylor.

En 1920, la familia Diemer se mudó a Chicago, donde Hugo tomó el puesto de director de Administración Industrial en la extensión de la Universidad de La Salle, un colegio por correspondencia que ya había publicado muchas de sus obras. Diemer se quedó en La Salle por el resto de su vida llegando a la posición de director (cursos de administración y personal). En 1936 la Sociedad Taylor se fusionó con la Sociedad de Ingenieros Industriales para formar la Sociedad para el Avance de la Administración (SAM), con Diemer como vicepresidente. Dos años más tarde esta sociedad otorgó a Diemer uno de los reconocimientos de prestigio Taylor por su contribución.

Frederick Winslow Taylor



Taylor (1856-1915) es probablemente el más conocido de los pioneros en la Ingeniería Industrial. Presentó en ASME sus ideas sobre la organización de trabajo por la dirección. Acuñó el término "dirección científica" para describir los métodos que desarrolló mediante el estudio empírico. Su trabajo abarcó temas como la organización de trabajo por la dirección, selección de trabajador, entrenamiento y compensación adicional para los individuos que pueden alcanzar el estándar desarrollado por la compañía mediante sus métodos.

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 la ingeniería tener que 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 con la finalidad 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 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, solía 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, por lo que los métodos de trabajo los determinaba cada mecánico sobre la base de su 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, la 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 el escrito, en 1907, del artículo más largo (más de 200 páginas) aparecido hasta la fecha en la *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*.[19] Antes de este estudio, la geometría de las herramientas para cortar metal y las velocidades y alimentaciones 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 iníciales se han logrado aumentos fenomenales en la velocidad en el 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. Hace ya muchos años, Leonardo da Vinci había estudiado el arte del acarreo y calculado la velocidad a la cual se movía la Tierra como parte de sus proyectos de *ingeniería*.[20] 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 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 sería ideal para todas las tareas. Después de algunos experimentos, encontró que 21 1/2 libras parecían representar un peso ideal para una pala cargada, por lo que entonces se dio a la tarea de diseñar 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 tres años y medio 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 la introducción del 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, las herramientas y el equipo exactos que habían de emplearse, para entonces capacitar al trabajador con la finalidad de que realizara las operaciones según las especificaciones. Es irónico que la falta general de atención a esta práctica hoy represente una fuente principal de ineficiencia industrial. De hecho, un ingeniero que describa un método muy eficiente para ejecutar una tarea hace que esta se convierta en práctica inaceptable en muchas plantas, pues 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 muy positivo, lo mismo que periodos óptimos de trabajo y descanso. Luego seleccionó con cuidado trabajadores para ejecutar esta tarea y los entrenó con igual cuidado para que concretaran la labor exactamente como él la especificaba. Como resultado de su análisis, se lograron cambios significativos en la productividad del manejo de hierro en bruto.

El análisis de los requerimientos y las especificaciones de trabajo propias de un método para ejecutar una operación se denomina *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 como *medición del trabajo*. Tal actividad se ocupa de determinar la cantidad de tiempo que se le debería permitir a un operador 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 un periodo dado.

Taylor cronometraba muy cuidadosamente a los empleados que ejecutaban una tarea tal cual él lo especificaba, lo cual estableció una base para determinar la cantidad que deberían producir en un día. Para esto, inventó el estudio de tiempos con cronómetro, que todavía se usa mucho para determinar el tiempo que tome ejecutar una operación, conocido ahora como 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 que constituyen la base implícita para el control de costos laborales y son un insumo necesario para programar y fijar los 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 un intento más para 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 disminuir un estándar de tiempo una vez que ha sido alcanzado con la esperanza de aumentar la producción, pero 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 implícitos en el pensamiento administrativo, aunque su mayor parte ignorados, dentro del artículo.

Taylor quedó desilusionado por la acogida que merecía, pero no tuvo su artículo, no obstante sacó la conclusión de que no había presentado sus resultados y su pensamiento apropiadamente, por lo que decidió presentar un artículo mejorado en una fecha posterior.

En junio de 1903, en la reunión de ASME en Saratoga, Nueva York, Taylor presentó un segundo artículo titulado "Administración de taller". De nueva cuenta, la reacción no fue nada entusiasta; de hecho, la comunidad académica del área de la ingeniería mecánica en general lo consideró como un trabajo intrascendente. No obstante este traspiés, posteriormente fue bien recibido por el personal de administración de muchas plantas, que en la práctica cotidiana de la manufactura trabajaba más cerca de las situaciones que se verían mayormente afectadas por las innovaciones de Taylor.

Henry Towne, un ex presidente de la ASME, comentó lo que consideraba como conceptos interesantes en el artículo, por lo que poco tiempo después 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, que más tarde serían ya 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:
  - Estudio de métodos.
  - Estudio de tiempos.
  - Estandarización de herramientas.
  - Un departamento de planeación.
  - El principio de excepción de la administración.
  - Tarjetas de instrucción para los trabajadores.
  - Reglas de cálculo para corte de metal.
  - Sistemas de clasificación mnemónicos para partes y productos.
  - Un sistema de direccionamiento o ruteo (*routing*).
  - Métodos para calcular costos.
  - Selección de los empleados en relación con el trabajo.
  - 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. Al respecto, Copley[21] 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, prefieren negar su existencia a más de un siglo de su iniciación, así como creer que las operaciones solo requieren algo de sentido común. La historia de la ingeniería abunda en tales actitudes. Actualmente hay compañías que han descubierto que la Ingeniería Industrial trata eficazmente con problemas que ellas han sido incapaces de resolver con eficacia durante todo su pasado. En un sentido, en algunas empresas realizar trabajo de Ingeniería Industrial es algo así como hacer labor de misionero.

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

> Puedo recordar con claridad 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 sobre todo 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 la 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 en 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; 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 lograra 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 Northeastem 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. Solo 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.

Philip Hicks

1.2.3 Principios de la administración científica

En 1909 Taylor intentó de nuevo esclarecer sus conceptos ofreciendo otro artículo a la ASME titulado "Principios de la administración científica".[22] 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, preocupado 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 potencial de productividad acerca de operaciones presentes, la persona responsable de esas operaciones intentará a menudo defenderlas. Tratar con egos lastimados es un hecho de la vida para los ingenieros industriales, pero también puede el obstáculo aislado más grande para la implantación de mejoramientos de la productividad en la industria en general.

Taylor aumentó la producción junto con una reducción en los costos generales de mano de obra, mientras 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 la producción. No le faltaron empleados que quisieran recibir los sueldos más altos, a pesar de lo cual nunca tuvo "paros" laborales. En contraparte, es dudoso que hoy un sindicato 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 ve en la siguiente cita:

> 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.
>
> *Scientific Management*, p. 59

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 para remunerar a 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; la misma contenía una posible multa, así como la posibilidad de condenar a prisión a quien infringiera la disposición. Incluso en 1947, la Ley de Egresos del ejército y la Ley de Egresos del Departamento de Marina especificaban que no se pagarían 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, mientras que 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 12 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 muy 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 ingresar 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 estudiar tomó un empleo como ayudante de albañil.

Tenía una actitud inquisitiva acerca de su trabajo y muchas veces parecía que muy pocas respuestas le resultaban satisfactorias. En este sentido, como la albañilería era un arte en desarrollo, fue el ambiente adecuado, con la finalidad de hacer un análisis, con un espacio considerable, para mejorar su rendimiento. Antes de llegar a la edad de 30 años, Gilbreth ya 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. Tales aumentos no se lograron al hacer que los albañiles trabajaran más rápido, sino mediante un método más eficaz, lo cual Drucker[23] enominó después "trabajar más inteligentemente, no más duro". Al analizar el *método estándar,* un concepto que Gilbreth había iniciado, para colocar ladrillos exteriores, 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 no ajustable, giraba el ladrillo para encontrar el mejor lado y luego lo colocaba usando mezcla cuya consistencia a menudo era mala. Gilbreth propuso otra cosa. Consideremos que los ladrillos que se llevaron a una obra en construcción están colocados estrechamente, tocándose unos a otros, sobre una tarima. También que para tomar un ladrillo que está muy junto de otro ladrillo, uno de los dos tiene que ser empujado lejos del otro para rodearlo con la mano y tomarlo. Gilbreth quería que los maestros albañiles recogieran 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 con la finalidad de que al maestro albañil le resultara más fácil tomarlos. Luego dispuso andamios ajustables, la ubicación apropiada de los ladrillos y la mezcla, así como una mezcla con la consistencia apropiada. El resultado fue un gran mejoramiento en la productividad y menos fatiga del trabajador. 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 era de particular interés el análisis de los movimientos fundamentales de la actividad humana. Tanto lo era que clasificó los movimientos básicos en lo que se denominó *therbligs* en su honor (que es casi el nombre Gilbreth escrito al revés), que consistían en buscar, encontrar, transportar vacío, preposicionar, asir, etcétera. En un intento por analizar movimientos en mayor detalle usó cámaras cinematográficas industriales en una técnica que denominó *estudio de micromovimientos* 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, la filmación de micromovimientos se hace a 1000 cuadros por minuto, que automáticamente espacia cuadros sucesivos de actividad a una separación de 0.001 minutos. El tiempo se determina al contar cuadros, para lo cual se inserta un contador en el proyector.

Gilbreth también estudió los movimientos de partes del cuerpo humano, sobre todo los de las manos. Por medio de una lente abierta, filmó una luz sujeta a un punto del cuerpo en un cuarto a oscuras. La foto producida mediante esta técnica se denomina *ciclógrafo*.

Al agregar indicaciones visuales en la trayectoria de la luz a intervalos fijos de tiempo, logró añadir una dimensión de tiempo a la fotografía de la trayectoria del movimiento. La fotografía así producida fue llamada *cronociclógrafo*. Estas y otras técnicas se usaban para estudiar movimientos fundamentales en la actividad humana con el propósito de determinar tiempos promedio para tales movimientos en 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, 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 para presentar una serie de disertaciones en la Conferencia Mundial de la Energía en Inglaterra y la Conferencia Internacional de Administración en Checoslovaquia, a la que había sido invitado. Lillian Gilbreth continuó su labor después del fallecimiento de su esposo y se convirtió en la mujer ingeniera más distinguida de Estados Unidos, honor que conserva hasta la fecha.

En los últimos años de su vida poseía tal encanto y entusiasmo que sirvió de inspiración a muchos. Lillian Gilbreth ha llegado a ser conocida como la "primera dama de la ingeniería" y la "primera embajadora de la administración".[24] 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.

1.3 DESARROLLOS AL FINAL DE LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL[25]

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 de la aplicación de los principios de la administración en toda una organización.

Aproximadamente en 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 superintendente de planta típico no tenía designado un asistente para la planeación de sus operaciones; lo hacía él mismo, cuando encontraba el tiempo adecuado.



Henri Fayol

Ingeniero francés y director de minas (1841-1925) desarrolló junto con sus colegas una teoría general de administración de empresas,[26] independientemente de la administración científica pero casi contemporánea. Fue uno de los precursores más influyentes de los conceptos modernos de administración. En 1916 publicó sus experiencias en el libro *Administration Industrielle et Générale*, más o menos al mismo tiempo que Frederick Winslow Taylor publicó sus *Principios de administración científica*.

1.3.1 El fayolismo

Fayol hizo una de las primeras declaraciones integrales de una teoría general de la administración.[27] En ella, propuso que había cinco funciones principales de la administración y 14 principios.[28]

Las funciones de administración serían:

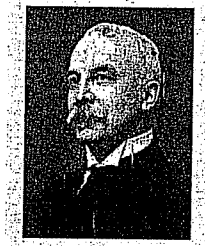
1. Prever y planificar.
2. Organizar.
3. Comando.
4. Coordinar.
5. Control (en francés, "control" se maneja en el sentido de que un administrador debe recibir comentarios acerca de un proceso con la finalidad de hacer los ajustes necesarios).

Los principios de administración son:

1. *División del trabajo*. Este principio es el mismo de Adam Smith. La especialización aumenta la salida por hacer más eficientes a los empleados.
2. *Autoridad*. Los administradores deben poder dar órdenes. La autoridad les da este derecho. Se debe tomar en cuenta que la responsabilidad surge allí donde se ejerce la autoridad.
3. *Disciplina*. Los empleados deben obedecer y respetar las normas que rigen la organización. La buena disciplina es el resultado de un liderazgo efectivo, un claro entendimiento entre la dirección y los trabajadores en materia de normas de la organización y el uso juicioso de sanciones por infracciones de las normas.
4. *Unidad de mando*. Cada empleado debe recibir órdenes solo de un superior, de arriba hacia abajo en una organización.
5. *Unidad de dirección*. Cada grupo de actividades organizacionales que tienen el mismo objetivo debe ser orientado por un administrador mediante un plan.
6. *Subordinación del interés individual al interés general*. Los intereses de un empleado o grupo de empleados no deben prevalecer sobre los intereses de la organización como un todo.
7. *Remuneración*. Debe pagarse a los trabajadores un salario justo por sus servicios.
8. *Centralización*. La centralización se refiere al grado en que los subordinados participan en la toma de decisiones. Si la toma de decisiones es centralizada (por la administración) o descentralizada (por los subordinados) es cuestión de hacerlo en proporción adecuada. La tarea es encontrar el óptimo grado de centralización para cada situación.
9. *Cadena de mando*. La línea de la autoridad desde la administración superior a los rangos más bajos representa la cadena de mando. Las comunicaciones deben seguir esta cadena. Sin embargo, si seguir la cadena genera retrasos, se pueden permitir comunicaciones cruzadas si se llega a un acuerdo entre todas las partes y los superiores están informados.
10. *Orden*. Personas y materiales deben estar en el lugar correcto en el momento adecuado.
11. *Equidad*. Los administradores deben ser amables y justos con sus subordinados.
12. *Estabilidad de personal*. La rotación alta de empleados es ineficiente. La administración debe proporcionar el personal ordenadamente, planificando y garantizando que hay reemplazos disponibles para llenar las vacantes.

13. *Iniciativa*. Los empleados que están autorizados a proceder y realizar planes, ejercerán altos niveles de esfuerzo.
14. *Espíritu de grupo*. Promover el espíritu de equipo construirá armonía y unidad dentro de la organización.

El trabajo de Fayol ha resistido la prueba del tiempo, además de que ha demostrado ser pertinente y adecuado para la administración contemporánea. Muchos de los textos de administración de hoy, incluyendo Daft, [29] han reducido las funciones a cuatro: *Planificación, Organización, Liderazgo* y *Control*.



Harrington Emerson

Emerson (1864-1945) intentó usar el enfoque de Taylor y algunas de sus propias ideas para analizar los esfuerzos laborales en el sistema de ferrocarriles Santa Fe. Asimismo, 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 muy superiores a un millón de dólares por año para la línea. Posteriormente escribió un libro titulado *Twelve Principles of Efficiency*, en el cual intentó poner en claro su enfoque. El éxito de Emerson precipitó esfuerzos de modernización en una amplia variedad de empresas industriales debido a que su sistema era posible aplicarlo en diferentes campos comerciales e industriales.

Los 12 principios de eficiencia de Emerson:

1. Ideales claramente definidos.
2. Sentido común.
3. Asesor competente.
4. Disciplina.
5. El trato justo.
6. Registros confiables, inmediatos y adecuados.
7. Despachar.
8. Las normas y horarios.
9. Condiciones estandarizadas.
10. Operaciones estandarizadas.
11. Instrucciones por escrito de la práctica estándar.
12. Eficiencia-recompensa.

Después de una actuación exitosa como gerente general de una pequeña fábrica de vidrio de Pennsylvania en 1900, Emerson decidió ocuparse de la ingeniería de la eficiencia como una profesión. En las reuniones de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos conoció de cerca la labor pionera de Frederick W. Taylor, fundador de la administración científica, de quien asimiló mucho de la metodología para estandarizar el trabajo y la remuneración de los trabajadores según la productividad.

Lo más destacable de Emerson en su asignación de consultoría fue la reorganización de la máquina y los talleres de reparación de locomotora de la expansión Atchison, Topeka y Santa Fe Railroad. Con tres años de duración (1904-1907), este trabajo consistió en la primera aplicación exitosa de la administración científica a un sistema de ferrocarriles grandes. Revistas de ingeniería y ferrocarril pusieron mucha atención al sistema de "mejoramiento del taller" que instaló.

Emerson también desarrolló e implementó un sistema de pago de bono que fue ampliamente aceptado en un buen número de industrias. Como resultado de su trabajo exitoso para el Atchison, Topeka, Emerson empezó a atraer a una basta clientela industrial. Durante su mandato como ingeniero de práctica estándar para la compañía americana de locomotoras, Emerson también fundó la compañía Emerson.

Esta compañía contrataba a ingenieros asociados a otras firmas en consultoría. Los asociados de Emerson fueron capacitados en las tareas de normalización de los procedimientos de trabajo y para aplicar el plan de bonificación de Emerson para las empresas cliente.

Entre 1907 y 1910, la compañía Emerson tuvo un éxito modesto. La firma consultó a más de 200 empresas, presentando informes por los cuales se pagaron 25 millones de dólares. De la misma manera, se aplicaron los métodos de eficiencia de Emerson a grandes almacenes, hospitales, universidades y gobiernos municipales. Entre 1911 y 1920 la firma de Emerson tuvo un promedio de ingresos anuales de más de $100,000.00.

Emerson se ocupó de los negocios y la administración de los asuntos financieros de la empresa, dejando el trabajo de consultoría para sus asociados. De la compañía, se establecieron sucursales en Nueva York, Pittsburgh y Chicago. Con la intención de promocionar su empresa y para distinguir sus métodos de los de Taylor, Emerson publicó tres libros: *Eficacia como base para la operación y los salarios* (1909), *Los doce principios de eficiencia* (1912) y *Coronel Schoonmaker y el Pittsburgh y el lago Erie Railroad* (1913).

El caso de Eastern Freight en 1910 trajo la atención pública hacia las ideas de Emerson como nunca antes. Emerson sirvió como testigo estrella de Louis D. Brandeis en el llamamiento de ferrocarriles del gran tronco oriental a la Comisión de Comercio interestatal para un aumento de la tasa. Emerson testificó que los ferrocarriles habían perdido 1 millón de dólares diarios por no aplicar métodos de eficacia. Su intervención en el conflicto obtuvo amplia aclamación y marcó un crecimiento importante en la conciencia pública de la administración científica. A raíz de esto, Emerson fue conocido como el "sumo sacerdote de la eficiencia". Asimismo, habló con mayor frecuencia de sus ideas de eficiencia a empresarios, organizaciones civiles y estudiantes de ingeniería y administración. En 1912, Emerson ayudó a fundar la Sociedad de Eficiencia de Nueva York que promueve y difunde los ideales de la reforma a través de la gerencia científica.

Además del éxito del negocio, Emerson disfrutó su crecimiento en la profesión de ingeniería. Fue señalado como uno de los pioneros de la administración moderna y de la Ingeniería Industrial, junto con Taylor, H. L. Gantt y Frank Gilbreth. Se unió a estos y otros ingenieros progresistas en la fundación de la Sociedad de Ingenieros Industriales en 1917.

Emerson también participó en la defensa de la profesión de la ingeniería de la administración científica contra el error público y el antagonismo de organizaciones laborales.

Testificó en 1912 ante un comité de la Cámara de Representantes para investigar el impacto de la administración científica en el trabajo. También presentó una declaración en 1914 a la Comisión de Estados Unidos sobre las Relaciones Laborales. Emerson había preparado conferencias y folletos que destacaban la eficiencia y el patriotismo en la producción estadounidense durante la Primera Guerra Mundial.

En 1919, Emerson reorganizó su empresa como Emerson Ingenieros y continuó el trabajo de consultoría para empresas de fabricación estadounidense, lo que había hecho antes y durante la Primera Guerra Mundial. Sin embargo, desacuerdos entre él y sus socios en Emerson Ingenieros, dieron como resultado su retiro de la firma en 1925.

Emerson pasó la mayor parte de su tiempo, de 1919 a 1931, en proyectos especiales, muchos de ellos en el extranjero. El trabajo en ultramar radicó básicamente en su preocupación por el desarrollo del transporte, la industria y la comunicación. Entre 1921 y 1928 aconsejó a los líderes del gobierno y los ministerios de transporte de China, Japón, México, Perú, Polonia y la Unión Soviética. Redactó y presentó planes y propuestas para el financiamiento de estos proyectos con un gasto mínimo para el país anfitrión. Mediante sus contactos con financieros y empresarios influyentes, sirvió de enlace entre las compañías estadounidenses que buscan oportunidades de inversión y aquellos países que carecían de recursos financieros y de ingeniería para el desarrollo industrial.

Durante la década de 1920, Emerson dio a conocer el potencial para promover la eficiencia a escala mundial. Fue particularmente optimista de que un Estado centralizado y burocrático como la URSS ofrecía un terreno fértil únicamente para la aplicación de la administración científica y los principios de eficiencia de una manera sistemática.

Emerson también participó en proyectos importantes en Estados Unidos durante esa década. Además, fue uno de los 18 ingenieros destacados elegidos por el secretario de comercio, Herbert Hoover, en 1921 para servir en una comisión de investigación para la eliminación de residuos en la industria. La responsabilidad de Emerson en este proyecto recayó en el estudio de problemas en las industrias del ferrocarril y el carbón, pero debido a problemas financieros del proyecto, no se publicó su informe.

Emerson se veía en este periodo como un educador en eficiencia. En 1924 reescribió y comercializó una versión anterior de un curso por correspondencia en ingeniería humana. Con los auspicios del Instituto Emerson, el curso de estudio en casa de Emerson en eficiencia personal contaba con una suscripción nacional de 40,000 en 1925. A pesar de que el Instituto dejó de ser solvente en 1928, Emerson planeaba tener su curso traducido y comercializado en la Unión Soviética y Polonia.

En los últimos años de su vida, Emerson centró su atención en escribir sus memorias, supervisar las inversiones de su familia en valores japoneses y considerar las soluciones al desempleo en las fases iníciales de la depresión de la década de 1930.

Pero también continuó sus actividades empresariales incursionando en las compras de tierras de la Florida y desarrollando planes para un monorriel de alta velocidad. Como un viejo estadista del movimiento de eficiencia, se sentía perturbado por la evidencia de que su reputación había sido eclipsada por la de Taylor.

Hasta su muerte en mayo de 1931, documentó sus contribuciones a la administración científica y la Ingeniería Industrial en su autobiografía manuscrita, en diversos ensayos y en cartas personales.

Morris L. Cooke



Cooke (1872-1960) intentó usar la administración científica en gobiernos citadinos. 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

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, lo que dio lugar a un mejoramiento importante. De hecho, la Junta Regional 111 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.



Elton Mayo

Un interesante estudio del rendimiento humano fue iniciado por Elton Mayo (1898-1949), en 1927, en los *Hawthorne Works* de la Westem 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. Un área en la planta fue provista de mayor iluminación, donde se observó un aumento en la 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, pero en grado mucho menor, a la mejor iluminación. El mismo, 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 a la mayor iluminación, que experimentó el otro grupo (es decir, incluyendo la atención de la gerencia).La productividad del grupo de control también se tendría que 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".

E. W. Harris

Este hombre 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, otra persona hizo uso intensivo de su fórmula, la cual llegó a conocerse más tarde como la fórmula Wilson. Aquí puede haber un mensaje: si usted tiene una buena idea, hágasela saber al sistema legal de su país (por ejemplo, escriba un artículo), de otro modo es posible que alguien más se lleve el crédito.

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.[30]

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.[31]

El profesor Eugene Grant, de la Universidad Stanford, publicó en 1946 el texto *Statistical Quality Control*, que ha sido un clásico en el campo; el texto de Grant y Leavenworth está ahora en su sexta edición. Antes de eso, en 1938, Grant publicó *Principles of Engineering Economy*, que constituyó un esfuerzo pionero en esta disciplina; el libro de Grant y Leavenworth está ahora en su octava edición y es también fundamental en esta subdisciplina.[32 y 33]

Los textos de Barnes,[34] así como más tarde los de Niebel[35] y de Mundel[36] 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, cuya solución depende de la descripción matemática.

El método de calificación 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, [37] que había sido alumno de Mundel, en un extenso artículo sobre la medición del trabajo en el *Journal of Industrial Engineering*, resaltó la naturaleza polémica de muchos de los conceptos fundamentales en este campo.

Hay inconsistencias inherentes generalmente reconocidas entre enfoques antagónicos en este campo, lo cual sugiere que se necesitan más investigaciones, cuyo respaldo ha sido mínimo durante estos años. El texto de Krick[38] identifica muchas de estas inconsistencias teóricas, por incómodas que parezcan al estudiante común 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,[39] en incentivos salariales; Phil Carroll,[40] en estudio de tiempos y movimientos y análisis de costos; H. B. Maynard,[41] en sistemas de tiempo predeterminados; y Allen Mogensen,[42] en simplificación del trabajo.

Los enfoques de equipo autodirigido de hoy 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 que está más en boga actualmente. Como ya se dijo, 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, Muther y Apple 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 hombres que habían practicado con éxito su profesión. El libro 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.

Otros textos, como los de Reed[43] y Moore,[44] fueron intentos tempranos de incluir un punto de vista más matemático. El texto más completo en el campo es el de Tompkins y White.[45]

Sin embargo, a la luz del número de variables que se van a considerar, es probable que gran parte de la carga de trabajo básico del diseño de la planta continúe haciéndose mediante las técnicas tradicionales desarrolladas hasta la fecha. Lo anterior no significa 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 manejándose. Además, otras técnicas cuantitativas también están haciendo numerosas incursiones en el campo.

Hay poca duda de que la Ingeniería Industrial se desarrolló como una rama de la ingeniería mecánica. En este caso, la Sociedad Estadounidense 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 que se usan comúnmente en el análisis de producción todavía son definidos por estándares de ASME. Asimismo, algunas carreras de Ingeniería Industrial aún son opciones dentro de los departamentos de ingeniería mecánica en universidades estadounidenses.

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 Estadounidense de Administración (AMA) en 1922, que sigue siendo la principal organización en Estados Unidos que representa el arte y la ciencia de la administración.

En 1932 se formó en Detroit la Sociedad de Ingenieros de Fabricación (SME), la cual 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 diseminar información". La SME tiene 80,000 miembros en 70 países y patrocina más de 300 organizaciones locales de profesionistas, así como 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.

1.4 AVANCES EN LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

Los inicios de lo que hoy se conoce como investigación de operaciones datan de 1759 cuando el economista Quesnay empezó a utilizar modelos primitivos de programación matemática; más tarde, otro economista de nombre Walras, en 1874, usó técnicas similares.

Los modelos lineales de investigación de operaciones tienen como precursores a Jordan en 1873, Minkowsky en 1896 y a Farkas en 1903.

Los modelos dinámicos probabilísticos deben su origen a Markov a fines del siglo pasado.

El desarrollo de los modelos de inventarios, así como el de tiempos y movimientos, se llevó a cabo en la década de 1920, mientras que los modelos de líneas de espera con los estudios de Erlang, comenzaron a principios del siglo XX.

Los problemas de asignación se estudian con métodos matemáticos inventados por los húngaros König y Egervary en la segunda y tercera décadas del siglo XX.

Los problemas de distribución fueron estudiados en principio por el ruso Kantorovich en 1939.

Von Neuman cimenta, en 1937, lo que más tarde culminaría como la teorías de juegos y de preferencias, desarrolladas en conjunto con Mongersten.

Hay que hacer notar que los modelos matemáticos de la investigación de operaciones que utilizaron estos precursores, estaban basados en el cálculo diferencial e integral (Newton, Lagrange, Laplace, Lebesgue, Leibinitz, Reiman, Stieltjes, por mencionar algunos), la probabilidad y la estadística (Bernoulli, Poisson, Gauss, Bayes, Gosset, Snedecor, etcétera).[46]

De manera general, las técnicas de investigación de operaciones se clasifican en:

- Estadística analítica
- Optimización de procesos
- Teoría de probabilidad
- Teoría de colas
- Simulación
- Teoría de juegos
- Estadística avanzada

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 fueron el análisis y la solución del bloqueo naval de Siracusa que Arquímedes sugirió al rey de aquella ciudad en el siglo III a de C.

Poco antes de la Primera Guerra Mundial, E 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, determinaban 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".

Thomas Alva Edison realizó estudios de guerra antisubmarina. Ni los estudios de Lanchester ni los de Edison tuvieron un impacto inmediato, pero estos, junto con los de Arquímedes, fueron ejemplos tempranos del empleo de trabajos 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 inventar 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, en tanto que el estudio se convirtió en un modelo para los trabajos de investigación de operaciones que habrían de seguir.

La investigación de operaciones tomó auge en la Segunda Guerra Mundial, cuando, como se mencionó, se utilizó en la logística estratégica para vencer al enemigo (teoría de juegos) y más tarde, al finalizar la guerra, en la logística de distribución de los recursos militares de los aliados dispersos en todo el mundo. La fuerza aérea estadounidense, a través de su centro de investigación Rand Corporation, comisionó a un grupo de matemáticos para que resolvieran este problema que estaba consumiendo tantos recursos humanos, financieros y materiales.

El doctor George Dantzig, en 1947, resumiendo el trabajo de muchos de sus precursores, inventó el método Simplex, con lo cual dio inicio a la programación lineal.

Con el avance de las computadoras digitales se empezó a extender, durante la década de 1950, la Investigación de operaciones en las áreas de: programación dinámica (Bellman), programación no lineal (Kuhn y Tucker), programación entera (Gomory), redes de optimización (Ford y Fulkerson), simulación (Morkovitz), inventarios (Arrow, Karlin, Scarf, Whitin), análisis de decisiones (Raiffa) y procesos markovianos de decisión (Howard).

La generalización de la investigación de operaciones han tratado de darla Churchman, Ackoff y Arnoff.

En agosto de 1940 se organizó un grupo de investigación bajo la dirección de R M. 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. El grupo contaba con tres fisiólogos, dos fisicomatemáticos, una astrofísica, un oficial del ejército, un topógrafo, un médico general y dos matemáticos. La conformación del grupo suele 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, grupo que volvió a dividirse para formar otro grupo, el de Investigación Operacional del ejército. A 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 estadounidense tenía dificultades para hundir submarinos enemigos con una bomba antisubmarina de reciente desarrollo. Ese tipo de bombas estaban activadas para explotar a profundidades no menores de 100 pies. Después de un estudio detallado, un profesor de nombre 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 se ajustara 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 de destacar y ser más eficientes.

A pocos meses de que Estados Unidos entrará 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 en Francia) en la Fuerza Aérea se habían desarrollado 26 grupos de investigación de operaciones, con aproximadamente 10 científicos en cada uno de ellos. 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 comenzó otro estudio para determinar cuál era 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 tendrían que cambiar de rumbo gradualmente.

Un último ejemplo del interés que había en las operaciones militares es un estudio dirigido por Ellis A. Johnson. La tarea implicaba simulaciones de maniobras bélicas por compu-tadora cuyo propósito era determinar políticas óptimas para el desarrollo de las minas marinas. Los esfuerzos de este grupo culminaron en la *Operación Inanición*. El análisis mostró que los aviones B-29 serían extremadamente más eficaces para lanzar minas si esto se hacía durante 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 ejército japonés la pérdida de 1 200 000 toneladas de barcos, mientras que los aliados solo sufrieron bajas de aviones equivalentes al 1 por ciento.

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[47] es una descripción excelente de este desarrollo temprano de la investigación de operaciones.

A. Russell Ackoff a menudo se le llama el Padre de la Investigación de Operaciones. Él introdujo el tema en un artículo escrito en 1952 en el *Control de Calidad Industrial* (el nombre anterior de *Quality Progress*), que ilustra el alto grado de cruce que se produjo entre estas disciplinas durante su inicio.[48]

Ackoff comenzó su carrera académica en la investigación de operaciones, pero poco a poco fue a centrarse en el desarrollo de un enfoque útil para los sistemas. *La introducción a la investigación de operaciones* de Ackoff señala que los problemas surgen cuando la responsabilidad de gestión está muy segmentada. Si se utiliza la investigación de operaciones para identificar las mejores decisiones en relación con la mayor parte de las organizaciones totales como sea posible, entonces puede ayudar a resolver este problema.[49] Por supuesto, esta es una de las ideas centrales del pensamiento de los sistemas.

La investigación operacional en Gran Bretaña y la investigación de operaciones en Estados Unidos, en los días posteriores a la Segunda Guerra, tuvieron diferentes características y tasas de aceptación en el sector industrial de las economías respectivas. En la Unión Americana, la asesoría privada y la Ingeniería Industrial eran actividades de mejoramiento conocidas desde antes de la guerra. La industria experimentaba con la 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. En 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, que es la terminología equivalente en Gran Bretaña de lo que ahora se denomina *ingeniería de métodos* y que antes era el *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 presentaron 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. Además, poco después universidades como Johns Hopkins y Northwestern contaban con departamentos de Investigación de Operaciones.

El grupo de científicos que iniciaron la serie de conferencias de investigación de operaciones en el University College formaron un año antes el Club de Investigación Operacional. Este club comenzó posteriormente la primera revista en investigación de operaciones titulada *The Operational Research Quarterly.* La primera publicación sobre sobre el tema en Estados Unidos fue *Operations Research with Special Reference to Non-Military Applications,* publicada por el Comité sobre Investigación de Operaciones, formando 1949 por el Consejo Nacional de Investigación. Un año después fue constituida la Sociedad de Investigación de Operaciones estadounidense, con Philip M. Morse como su primer presidente, quien publicó el primer libro de investigación de operaciones.[50] La revista trimestral *Journal of the Operations Research Society of America* se publicó por vez primera en noviembre de 1952.

Actualmente, la investigación de operaciones no solo se aplica en el sector privado, sistemas financieros, transportes, sistemas de salud, sino también en el sector de los servicios públicos, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo.

1.5 RESUMEN

Los precursores de ingenieros, artistas y artesanos prácticos procedieron principalmente mediante prueba y error. El término "ingeniero" tiene su origen en el siglo XI y proviene del latín *ingeniator*, que significa "alguien con ingenio, el ingenioso".

En sus inicios la ingeniería estuvo vinculada casi exclusivamente a actividades militares, gubernamentales y religiosas. En tiempos de paz, la ingeniería fue puesta al servicio del bienestar del ser humano, al margen de la guerra y los ejércitos.

La necesidad de eficiencia en el diseño y el análisis de puentes, caminos y edificios dio lugar a los principios de la ingeniería, y la aplicación de estos principios paulatinamente dio origen a otras subdisciplinas de la ingeniería.

Las raíces empíricas de la Ingeniería Industrial datan de la Revolución Industrial, que comenzó en Inglaterra a mediados del siglo XVIII. El concepto de sistema de producción, que es la base de la práctica moderna y de la investigación de la Ingeniería Industrial, tuvo su génesis en las fábricas creadas como resultado de las innovaciones de la Revolución Industrial.

La división del trabajo de Adam Smith se realizó a un grado nunca antes llevado a cabo, gracias a la aplicación del principio de partes intercambiables de Eli Withney, con trabajadores individuales produciendo solo las partes en lugar de productos terminados.

El resultado fue una reducción significativa en la necesidad de habilidades especializadas de los trabajadores, lo que eventualmente condujo al ambiente industrial que se convirtió en el objeto del estudio de Frederick W. Taylor, a quien se dio el honor de ser considerado el fundador o padre de la Ingeniería Industrial.

Las épocas de guerra siempre han proporcionado un estímulo para el avance tecnológico.

Algunos desarrollos fueron:

Charles Bedáux, en incentivos salariales; Phil Carroll, en estudio de tiempos, así como movimientos y análisis de costos; H. B. Maynard, Ingeniería de Métodos y sistemas de tiempo predeterminados; Allen Mogensen, en simplificación del trabajo, y Elton Mayo, efecto de la iluminación sobre la productividad, un interesante estudio del rendimiento humano en 1927, en los *Hawthorne Works* de la Western Electric Company (ahora AT&T Technologies). En 1931, F. E. Raymond escribió el primer libro sobre control de inventarios. 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. Eugene Grant, en 1930, publicó un libro titulado *Principles of Engineering Economy.* Otro pionero en el campo fue H. G. Thuesen, quien fundó el Departamento de Ingeniería Industrial en la Universidad de Oklahoma en 1925 y escribió *Engineering Economy* en 1950. Mallick y Gaudreau, Muther y Apple escribieron los primeros textos en el área de la configuración de la planta. El profesor Eugene Grant de la Universidad Stanford publicó en 1946 el texto *Statistical Quality Control.* Los textos de Barnes, así como más tarde los de Niebel y de Mundel ampliaron los métodos y los esfuerzos de estudio de tiempos de Gilbreth y Taylor.

La investigación de operaciones tomó auge en la Segunda Guerra Mundial, cuando se utilizó en la logística estratégica para vencer al enemigo (teoría de juegos) y más tarde, al finalizar la guerra, en la logística de distribución de todos los recursos militares de los aliados dispersos en todo el mundo.

El doctor George Dantzig, en 1947, resumiendo el trabajo de muchos de sus precursores, inventó el método Simplex, con lo cual dio inicio a la *programación lineal.*

Con el avance de las computadoras digitales se empezó a extender, durante la época de 1950, la investigación de operaciones en las áreas de: programación dinámica (Bellman), programación no lineal (Kuhn y Tucker), programación entera (Gomory), redes de optimización (Ford y Fulkerson), simulación (Morkovitz), inventarios (Arrow, Karlin, Scarf, Whitin), análisis de decisiones (Raiffa) y procesos markovianos de decisión (Howard).

Actualmente, la Ingeniería Industrial, apoyada en investigación de operaciones, no solo se aplica en el sector privado, sistemas financieros, transportes, sistemas de salud, sino también en el sector de los servicios públicos, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo.

1.6 EJERCICIOS

1.1 Mencione el origen y significado de la palabra ingeniero.
1.2 Describa algunos ejemplos de las realizaciones de inicios de la ingeniería.
1.3 Mencione las necesidades de la humanidad que dieron lugar a los principios del origen de la ingeniería.
1.4 Describa las ingenierías precursoras de la Ingeniería Industrial mencionando sus principales funciones.
1.5 Describa los avances que dieron origen a la Revolución Industrial.
1.6 ¿Qué necesidades dieron origen a la Ingeniería Industrial?
1.7 Defina Ingeniería Industrial y sus principales funciones.
1.8 Mencione algunos fundamentos de la teoría y práctica de la Ingeniería Industrial.
1.9 Mencione cuando menos a tres precursores de la Ingeniería Industrial de cada época, con sus aportaciones, que corresponden a las épocas siguientes de:
a) Las ciencias económicas.
b) La Revolución Industrial.
c) La administración científica.
d) Al final de la Primera Guerra Mundial.

1.10 Explique en qué consiste el "efecto Hawthorne".
1.11 Mencione cuatro libros fundamentales de Ingeniería Industrial que se escribieron en la época del final de la Primera Guerra Mundial.
1.12 Investigue y describa las inconsistencias teóricas que identifica Krick, en su libro: *Ingeniería de Métodos*, en el que hace un llamado de atención sobre la necesidad de una investigación continua en esta área.
1.13 Describa los avances logrados en Ingeniería Industrial a mediados de la década de los 1900.

1.14 Mencione los estudios y autores en los que se basan los modelos de lo que hoy se conoce como investigación de operaciones.
1.15 Enuncie de manera general la clasificación de las técnicas de investigación de operaciones.
1.16 Mencione las áreas en las que se desarrollo el trabajo de investigación de operaciones en la década de 1950.
1.17 Mencione las asociaciones profesionales que se han formado al paso del tiempo relacionadas con Ingeniería Industrial e Investigación de Operaciones.

Capítulo 2

INGENIERÍA INDUSTRIAL CONVENCIONAL

2.1 Introducción
2.2 Importancia de la productividad
2.3 Alcance de la Ingeniería Industrial
2.4 Resumen
2.5 Preguntas
2.6 Ejercicios

"La meta de la Ingeniería Industrial es el incremento de la productividad de los sistemas de manufactura y de servicios, buscando como hacer las cosas mejor, ahorrando insumos a las empresas y aumentando su eficiencia."

GoErgo

COMPETENCIAS DEL CAPÍTULO

Valora la importancia y el alcance de aplicación de las técnicas de la Ingeniería Industrial convencional en los sistemas de producción de bienes y servicios, con el objetivo de mejorar su productividad, calidad y competitividad.

2.1 INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente la Ingeniería Industrial convencional se ha encargado del análisis, el diseño, el control y la administración de sistemas, que se caracterizan por la necesidad de integrar las capacidades de los seres humanos junto con todos los otros aspectos del diseño del sistema. Los problemas van desde el diseño de un método de trabajo, y la estación de trabajo, hasta un plan maestro, que incluye el diseño de métodos de control de adquisición de materiales, flujo de materiales en el piso de la fábrica, producción, inventario y distribución. Los sistemas que faciliten la toma de decisiones efectiva y la aplicación en áreas como la planificación, el inventario y el control de calidad son típicos de la Ingeniería Industrial convencional.

El diseño y desarrollo de tales sistemas requieren la aplicación de la Ingeniería Industrial. El proceso ingenieril siempre comienza con la medición, es decir, el ingeniero industrial mide el tiempo del ciclo de trabajo, los valores en unidades monetarias de los gastos, las tasas de fallas de máquinas y procesos de la demanda de productos terminados, todo orientado a incrementar la productividad de dichos sistemas, lo cual define la meta de la Ingeniería Industrial en la forma siguiente:

La optimización del uso de los recursos humanos, las instalaciones, las herramientas, el equipo, la tecnología, la información, para producir bienes y servicios de calidad, de manera segura, mediante el incremento de la productividad, con costos efectivos considerando los requerimientos de clientes y empleados.



Por lo anterior, a continuación se desarrolla el tema sobre la importancia de la productividad.

2.2 IMPORTANCIA DE LA PRODUCTIVIDAD

La única posibilidad para que una empresa o un negocio crezcan y aumenten su rentabilidad es incrementar la productividad. El mejoramiento de la productividad se refiere al aumento de la producción por hora-trabajo o por tiempo utilizado.[1]

Desde hace mucho, Estados Unidos se ha caracterizado por tener la más alta productividad del mundo. Durante los últimos 100 años, tal productividad ha aumentado cerca de 4% por año. De acuerdo con el INEGI, las tasas de crecimiento porcentual promedio de 1994 a 2004 son: 9.4 para Corea, 5.4 para Estados Unidos, 4.9 para México, 3.8 para Alemania, 2.9 para Japón, 2.8 para el Reino Unido y 2.6 para Canadá.

Definición

La productividad puede definirse de la manera siguiente:[2]

La productividad es la relación entre producción e insumo

Esta definición es aplicable a una empresa, una industria o toda la economía.

Más sencillamente, la productividad no es más que el cociente entre la cantidad producida y la cuantía de los recursos que se hayan empleado en la producción medidos en unidades monetarias.

Tales recursos o insumos sería cualquier combinación de:

- *Terreno.*
- *Construcciones.*
- *Materiales.*
- *Capital.*
- *Instalaciones, máquinas y herramientas.*
- *Servicios del hombre.*
- *Energía.*
- *Tecnología, información, etcétera.*

Como consecuencia, elevar la productividad significa producir más con el mismo o menor consumo de recursos.

2.2.1 Definiciones básicas de productividad[3]

La definición del concepto *productividad* varía ligeramente según si quien la da es un economista, un contador, un administrador, un político, un líder sindical o un ingeniero industrial. Para propósitos de este tema, se consideran lo siguiente:

Productividad parcial

La productividad parcial es la razón entre la cantidad producida y un solo tipo de insumo. Por ejemplo, la productividad del trabajo (el cociente de la producción entre la mano de obra) es una medida de productividad parcial. De manera parecida, la productividad del capital (el cociente de la producción entre el insumo de capital) y la productividad de los materiales (el cociente de la producción entre el insumo de materias primas) son ejemplos de productividades parciales.

Productividad total

La productividad total es la razón entre la producción total y la suma de todos los factores de insumo; es decir, la medida de productividad total refleja el impacto conjunto de todos los insumos al fabricar los productos.

En todas las definiciones anteriores, tanto la producción como los insumos se expresan en términos "reales" o "físicos", lo que los convierte en unidades monetarias de un periodo de referencia (con frecuencia llamado *periodo base).* Esta reducción a periodo base se obtiene dividiendo los valores de la producción y los insumos entre índices de inflación o deflación, según los precios de los productos y los insumos hayan aumentado o disminuido. En otras palabras, el efecto de convertir la producción y los insumos en su valor correspondiente en un periodo base lo que es eliminar el efecto de las variaciones de precio, para que las razones de productividad solo tomen en cuenta los cambios físicos.

Ejemplo 2.1. Considérese la empresa XYZ.

Datos sobre los productos que se fabricaron y los insumos que se consumieron para un periodo específico:

Concepto	$	Productividad parcial	Productividad total
Producción	1000		
Insumo humano	300	1000/300 = 3.33	
Insumo de materiales	200	1000/200 = 5	1000 /(300+200+300+100+50) = 1.053
Insumo de capital	300	1000/300 = 3.33	
Insumo de energía	100	1000/ 100 = 10	
Insumo otros gastos	50	1000/ 50 = 20	

Tabla 2.1. Cálculos de productividades parciales y total para un producto en un periodo

Tales valores están dados en unidades monetarias constantes respecto del periodo base. Los valores de productividad parcial y productividad total se calculan como se observa en la tabla anterior.

Es necesario hacer hincapié en el hecho de que confiar *exclusivamente* en una o aun unas cuantas medidas de productividad parcial puede ser no sólo un error, sino una práctica riesgosa para los administradores.

Limitaciones de las medidas parciales de productividad

Por costumbre, economistas, ingenieros industriales, administradores y ejecutivos han confiado en las medidas parciales de productividad. La de mayor uso entre ellas es la medida de productividad de la mano de obra, expresada como producción por hora hombre o producción por empleado. La *producción* se ha expresado ya sea en términos monetarios o bien en unidades físicas. Existen medidas parciales parecidas respecto tanto del capital en sí como de la materia prima.

Uno de los peligros serios de confiar *exclusivamente* en medidas parciales de productividad consiste en sobreestimar un factor de insumo, al grado de que el efecto de los otros factores se subestima o, lo que es más, se ignora, lo que conduce a juicios erróneos y a equivocaciones costosas. Este efecto se puede explicar con un ejemplo.

Ejemplo 2.2

Supóngase que una empresa tiene una máquina que produce 100 partes por hora con un operador, es decir, la productividad de la mano de obra es 100 partes por hora-hombre. Ahora bien, esta máquina se sustituye por una más cara, que permite a un operador producir 120 partes en una hora, es decir, la productividad de la mano de obra es 120 partes por hora-hombre (un incremento de 20%) si se compara con la

máquina vieja. Supóngase ahora que el coste de operar las dos máquinas, nueva y vieja, es de $40 y $60 por hora-hombre, respectivamente, así como el salario es de $5 y el precio de venta es de $1.00 dólar la pieza, entonces los cálculos de la productividad del trabajo, de la productividad de la máquina y de la productividad combinada son los siguientes:

Concepto	Máquina original	Máquina nueva
Tasa de producción	100 pzs/hr	120pzs/hr
Salario / hora ($)	5	5
Productividad de mano de obra ($/$)	100 / 5 = 20	120 / 5 = 24
Índice de productividad de mano de obra	20 / 20 = 1	24 /20 = 1.2
Costo hora-máquina ($)	40	60
Productividad máquina ($/$)	100 / 40 = 2.5	120 / 60 = 2.0
Índice de productividad-máquina	2.5/2.5 = 1	2/2.5 = .8
Productividad combinada	100/(5 + 40) = 2.22	120/(5 + 60) = 1.85
Índice de productividad combinada	2.22/2.22 = 1	1.85/2.22 = 0.83

Tabla 2.2. Comparación de productividades de máquina nueva vs. máquina original

Se observa que aunque la productividad de la mano de obra aumentó 20%, la productividad de la máquina disminuyó 20%, cuando se analiza en términos de los dólares gastados en los insumos de mano de obra y máquinas. De esta manera, si el gerente de la empresa considerara solo la productividad de la mano de obra, llegaría a una conclusión equivocada pensando que existe una mejora del 20% cuando, de hecho, hay una "pérdida" neta en la utilización del dinero, como lo indica el índice de productividad combinado. Si la administración, en forma apresurada, reduce el precio de venta del producto, teniendo como base la reducción en el coste unitario de la mano de obra, pronto descubrirá que está perdiendo dinero en este producto. De la misma forma, si el gerente solo tomara en cuenta la productividad de la máquina, lo más probable es que la reducción del 20% en su productividad lo llevara a criticar la decisión de adquirir la nueva máquina. En ambos casos, las medidas de productividad parcial conducirían al administrador a equivocaciones. Para justificar la adquisición de la nueva máquina, se requiere analizar la productividad combinada, pues si analiza el asunto con detenimiento la nueva máquina debería producir por lo menos 143 unidades por hora-hombre (2.22 x 65 = 143) con el simple propósito de mantener el valor anterior de productividad combinada de 2.22, manteniendo el mismo precio. Si también se toma en cuenta el efecto de otros factores de insumo como materiales para obtener un valor realista de la productividad combinada, entonces la medida de la productividad deberá ser más amplia. Si esta lógica se sigue aplicando, no es difícil concluir que debe examinarse el valor de la "productividad total" para considerar todos los insumos y productos tangibles.

El índice de productividad total operativa (IPTO)

Está basado en una medida de productividad total y un conjunto de cinco medidas de productividad parcial. El índice se puede aplicar en cualquier empresa manufacturera u organización de servicio. La *productividad total operativa* está dada por:

Productividad total = producción tangible total / insumos tangibles totales

En donde:

Producción tangible total

= valor de las unidades terminadas producidas
+ valor de las unidades parciales producidas

Insumos tangibles totales

= valor de los insumos empleados
(Humanos + materiales + capital + energía + otros gastos)

Los elementos de la producción y los insumos tangibles de esta definición de productividad total operativa se muestran en las tablas siguientes:

Elementos de producción considerados en el IPTO			
Producción (tangible)			
Unidades terminadas producidas		Unidades parciales producidas	
Para venta	Para uso interno	Para venta	Para uso interno

Tabla 2.3

Elementos de insumo considerados en el IPTO						
Insumos (tangibles)						
Humanos		Capital		Material	Energía	Otros gastos
Directos	Indirectos	Fijo	De trabajo			
Trabajadores	Administradores profesionistas burócratas personal de oficina	Terreno edificio maquinaria herramientas y equipo otros	Inventario Efectivo cuentas por cobrar	Materia prima partes compradas	Petróleo gas carbón agua electricidad, etc.	Viajes impuestos honorarios comercialización procesamiento de información artículos de oficina inv. y des. gastos generales, etc.

Tabla 2.4



Por tangible se entiende inherentemente (o directamente) lo que tiene que ver con cuestiones medibles. Por ejemplo: el número de automóviles ensamblados, el número de cheques procesados, las toneladas de acero producidas, lo que no sucede con la cantidad de contaminación creada por una empresa, que es un producto medible solo de manera indirecta y ocasiona algunos gastos en dispositivos anticontaminantes. La buena voluntad que genera una firma es otro ejemplo de un elemento de producción que no es tangible. Los elementos de producción e insumos intangibles son relativamente pequeños, comparados con el total de productos e insumos tangibles, y pueden ignorarse en la práctica.

Relación entre el aumento de la productividad y la elevación del nivel de vida

Vemos ahora, más claramente, cómo el aumento de la productividad llega a contribuir a elevar el nivel de vida. Si se produce más al mismo coste o si se consigue la misma cantidad de producción a un coste inferior, la comunidad en conjunto obtiene beneficios que pueden ser utilizados por sus miembros para adquirir más bienes y servicios de mejor calidad, para así lograr elevar su nivel de vida.

Las inversiones destinadas a mejorar la productividad permiten que los trabajadores y las trabajadoras obtengan ingresos y bienes con los cuales escapan de la pobreza. Cuando tienen empleos decentes y productivos, los seres humanos llegan a invertir en la salud y la educación de sus hijos; por lo tanto, también en el futuro de la economía en general.

La productividad en la industria

Del coste total de una compañía metalmecánica típica, aproximadamente, 12% corresponde a mano de obra directa, 45% a materiales y 43% a gastos generales. Todos los aspectos del negocio o la industria, ventas, finanzas, producción, ingeniería, costos, mantenimiento y administración, constituyen áreas fértiles para la aplicación de la Ingeniería Industrial convencional. Con mucha frecuencia, solo se toma en cuenta la función de producción al aplicar estas técnicas. Pero aunque esta función es muy importante, otros aspectos de la empresa hacen contribuciones sustanciales al coste de operación, por lo que tiene la misma validez aplicar en ellos las técnicas de mejoramiento del coste. En ventas, por ejemplo, con los métodos modernos de obtención de información casi siempre se obtiene información más confiable, lo cual conduce a mayores ventas con menor coste.

Las cuotas de ventas para ciertas regiones proporcionan una base o un estándar que el personal de ventas se esfuerza por superar; en cuyo caso el pago por resultados siempre produce un desempeño mayor que el estándar.

La mayor parte de los negocios y las industrias estadounidenses se han visto en la necesidad de reestructurar y disminuir el tamaño de sus empresas para operar con

mayor efectividad en un mundo cada vez más competitivo. Con más intensidad que nunca, ahora aplican la reducción de costos y el mejoramiento de la calidad mediante una mayor productividad. También es crítico el análisis de todas las componentes del negocio que no contribuyen a la rentabilidad de la firma.

Cuanto mayor sea la productividad de las empresas que ofrecen productos o servicios, tanto mayores serán las posibilidades de venderlos en cantidad suficiente y a precios bastante competitivos en el ámbito global.

La productividad, por otro lado, ha sido identificada por las empresas del mundo entero como uno de los aspectos que necesita constante mejoramiento. La razón, por supuesto, radica en su estrecha conexión con la rentabilidad. Lo anterior lo saben la mayoría de los directores de empresa con experiencia práctica, aunque muchos creen equivocadamente que la productividad se refiere tan solo a la mano de obra, principalmente porque dicha productividad suele ser la base de las estadísticas sobre esta materia.

En este sentido, lo que se necesita para lograr unos niveles de vida mucho más elevados en países pobres es que los trabajadores pasen de empleos de baja productividad en actividades informales a otros de mayor productividad en empresas formales.

Surge la tentación de concluir que si crece la productividad, entonces el empleo tiene que bajar. Después de todo, si la fuerza laboral actúa con más eficiencia, entonces se necesitan menos trabajadores. Esta línea de pensamiento presupone incorrectamente que la cantidad de actividad empresarial de una economía es fija. De hecho, si se consiguen trabajadores, los empresarios pueden hacerlos coincidir con nuevas ideas comerciales y mayor capital de inversión, con lo que se incrementa la suma total de la actividad empresarial de una economía. La producción de bienes y servicios aumenta, por ende, junto con el aumento de la productividad; por lo tanto, los niveles de empleo no tienen que disminuir. [4]

Condiciones previas para el aumento de la productividad

Para elevar la productividad al máximo, se precisa la acción conjunta de todos los sectores de la comunidad: los tres niveles de gobierno, las empresas privadas y las empresas paraestatales, así como la sociedad civil.

Los gobiernos pueden crear condiciones favorables a los esfuerzos de los empleadores y de los trabajadores para aumentar la productividad. Para ello se precisa, entre otras cosas, de:

Disponer de programas equilibrados de desarrollo económico; adoptar las medidas necesarias para mantener el nivel de empleo, y tratar de crear oportunidades de empleo para los desempleados o subempleados, así como para aquellos que quedaran sin empleo como consecuencia de mejoras de la productividad en determinadas industrias.

Lo anterior tiene particular importancia en los países en desarrollo, donde el desempleo constituye un grave problema. Aunque en este caso, los empleadores y los trabajadores también tienen un importantísimo papel que desempeñar.

La responsabilidad principal en lo que respecta al aumento de la productividad de una empresa corresponde a la dirección. Solo tal nivel empresarial tiene la capacidad, y la obligación, de crear un ambiente favorable para ejecutar un programa de productividad y obtener la cooperación de los trabajadores, que es esencial para el éxito del programa, aunque también se necesita la buena disposición previa de éstos últimos.

Los sindicatos pueden estimular activamente a sus afiliados a prestar dicha cooperación si están convencidos de que el programa, además de ser beneficioso para el país en general, será provechoso para los trabajadores.

La participación de los trabajadores

Una de las mayores dificultades para obtener la cooperación activa de los trabajadores es el temor de que el aumento de la productividad conduzca al desempleo, es decir, que sus propios esfuerzos los lleven a quedarse sin empleo. Este temor se acentúa donde ya existe desempleo y donde es difícil que la persona que pierda su empleo encuentre otro.

Incluso en los países económicamente desarrollados, ese temor causa verdadera angustia a quienes ya han conocido la desocupación.

Por consiguiente, si no se le dan al trabajador garantías de que lo ayudarán a resolver sus dificultades, se opondrá a cualquier medida que, con razón o sin ella, le parezca que lo llevará al desempleo, aunque sea por poco tiempo, mientras pasa de un trabajo a otro.

Aunque haya garantías escritas, las medidas encaminadas a aumentar la productividad probablemente tropiecen con resistencias, que se reducen generalmente al mínimo si todos los interesados comprenden la naturaleza y el motivo de cada medida, además de participar en su aplicación.

Debe instruirse a los representantes de los trabajadores en las técnicas de aumento de la productividad para que puedan explicarlas a sus compañeros y utilizar sus conocimientos para impedir que se adopten medidas que perjudiquen directamente a la clase trabajadora. La mejor manera de aplicar muchas de las garantías mencionadas consiste en recurrir a comités paritarios de productividad o a los consejos de empresa.

La productividad se relaciona directamente con el hecho de qué tan bien los esfuerzos departamentales y de comunicación, así como los acontecimientos se sincronizan y se alinean. Tales acontecimientos se pueden alinear a través de la comunicación mejorada

con la obtención de datos en tiempo real de los cambios, el estado y la localización de la situación de las condiciones reales en un micronivel.

La integración del sistema no es, y no se debe considerar, la única herramienta disponible para lograr avances en productividad; una combinación de herramientas del sistema y del proceso hará que estas rindan mejor, mientras que la mayoría de las mejoras garantizarán otros resultados en la ejecución. Las ventajas de reaccionar al cambio no solo permiten saber cuándo ocurrió ese cambio, pero también cómo afecta otras tareas relacionadas. La ventaja competitiva de un sistema interconectado proporciona esa visibilidad.

2.2.2 Concepto de competitividad[5]

Según el Foro Económico Mundial, la competitividad es el conjunto de factores, políticas e instituciones que determinan el nivel de producción de un país.

Tal definición toma en cuenta 12 pilares clave divididos en tres grandes áreas (subíndices), con la siguiente estructura:

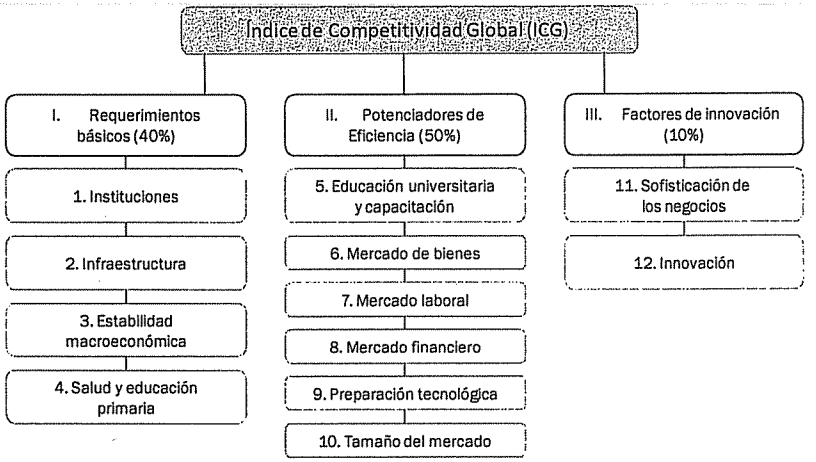


Figura 2.1. Índice de Competitividad Global (ICG)

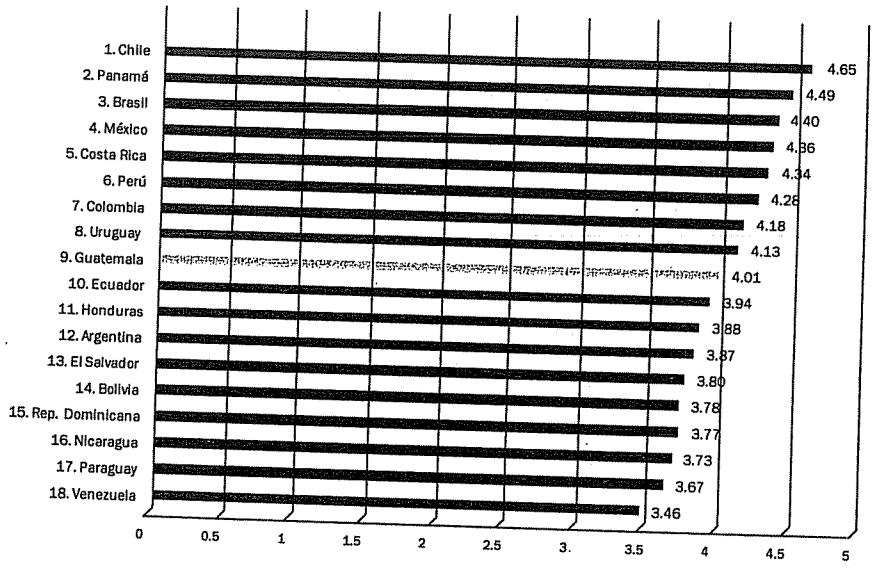
Algunas variables utilizadas en el modelo

Requerimientos básicos (46)	Eficiencia (49)	Innovación (16)
• Derechos de propiedad	• Cobertura en educación secundaria y terciaria	• Sofisticación de procesos de producción
• Independencia judicial	• Calidad de la educación matemáticas / ciencias	• Estado de desarrollo de *clústers*
• Costos empresariales asociados al crimen y la violencia	• Investigación / capacitación	• Grado de desarrollo de marketing
• Confianza en los servicios policiales	• Políticas antimonopolio	• Capacidad para innovar
• Calidad en infraestructura	• Nivel arancelario	• Calidad de instituciones Científicas
• Déficit fiscal, inflación, deuda pública	• Regulaciones para iniciar negocio	• Gasto de las empresas en investigación y desarrollo
• Mortalidad infantil	• Flexibilidad laboral	• Disponibilidad de ingenieros y científicos
• Esperanza de vida	• Sofisticación del mercado financiero	• Patentes
• Cobertura en educación primaria	• Disponibilidad, absorción y transferencia de tecnologías de punta	
• Gasto público educación	• Tamaño de los mercados local y exterior	

Figura 2.2. Algunas variables utilizadas en el modelo de competitividad global

País	Posición	Evaluación
Suiza	1	5.72
Singapur	2	5.67
Finlandia	3	5.55
Suecia	4	5.53
Países Bajos	5	5.50
Alemania	6	5.48
Estados Unidos de América	7	5.47
Reino Unido	8	5.45
Hong Kong (RAE)	9	5.41
Japón	10	5.40
Qatar	11	5.38
Dinamarca	12	5.29
Taiwán	13	5.28
Canadá	14	5.27
Noruega	15	5.27
Austria	16	5.22
Bélgica	17	5.21
Arabia Saudita	18	5.19
República de Corea	19	5.12
Australia	20	5.12

Tabla 2.5 Índice de competitividad global 2012 – 2013
(los mejores 20 / 144 países)



Fuente: WEF

Figura 2.3 Índice de competitividad global 2012 – 2013
(América Latina, 18 países)

El nivel de productividad, en turno, establece el nivel de prosperidad que puede ser ganado por una economía. Por otro lado, el nivel de productividad también determina los rendimientos obtenidos por las inversiones en una economía, que a la vez constituyen las causas fundamentales de su crecimiento. En otras palabras, una economía más competitiva es aquella que es probable sostenga el crecimiento.

Así, el concepto de competitividad implica componentes estáticos y dinámicos. Aunque la productividad de un país determina su capacidad para mantener un alto nivel de ingresos, también es uno de los determinantes de las políticas centrales de su retorno de inversión, que es uno de los factores clave para explicar el potencial de crecimiento de la economía.

2.3 ALCANCE DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL

La Ingeniería Industrial se aplica en general donde se busca la optimización de los recursos comenzando con el factor humano, los materiales, la maquinaria, el equipo, las instalaciones, la energía, los recursos financieros, la información, etcétera, en los sistemas de manufactura o servicios para generar bienes y servicios de manera competitiva que satisfagan las necesidades de los consumidores.

En general las aplicaciones de la Ingeniería Industrial convencional de manera práctica y simplificada se clasifican en las áreas de análisis y diseño, control y administración de operaciones de sistemas de producción o servicios, mismas que se describirán en los apartados siguientes.

2.3.1 Análisis y diseño de sistemas de producción

Por tradición, las técnicas enfocadas al análisis y el diseño de sistemas de producción se han usado para mejorar la productividad humana en general y la productividad de la mano de obra directa en particular. Al estudiar cada una de ellas, se tendrá en mente que no se puede pasar por alto su impacto sobre los otros cuatro factores de insumo (capital, materiales, energía y otros gastos) si se espera evaluar con certeza el cambio en el coste total de manufactura de un producto o de proporcionar un servicio. En este capítulo, se presentarán ejemplos que tomen en cuenta el efecto de los otros factores siempre que se analicen tales técnicas y se usará la perspectiva de la productividad total para hacerlo.

1. Ingeniería de métodos y simplificación del trabajo.
2. Medición del trabajo.
3. Diseño del trabajo.
4. Diseño de la seguridad en el trabajo.
5. Ingeniería de factores humanos (Ergonomía).
6. Ingeniería de Manufactura.
7. Disposición de planta.
8. Manejo de materiales.

A continuación se presenta una descripción general de dichas técnicas.[1]

INGENIERÍA DE MÉTODOS Y SIMPLIFICACIÓN DEL TRABAJO

La ingeniería de métodos es un procedimiento sistemático para eliminar, combinar o reducir el contenido de la *tarea* en el trabajo. La *simplificación del trabajo* es un

1 Se recomienda consultar las referencias al final del capítulo para estudiar la teoría y práctica de estas técnicas.

procedimiento simplificado de la ingeniería de métodos, que por lo general realizan los supervisores o trabajadores después de un breve periodo de entrenamiento, mientras que la ingeniería de métodos requiere personal con entrenamiento profesional, casi siempre un ingeniero industrial o un ingeniero en métodos.

En su mayor parte, el objetivo primordial al aplicar la ingeniería de métodos/simplificación del trabajo es reducir el tiempo que toma llevar a cabo una tarea. Por supuesto, con frecuencia surgen otros beneficios de la aplicación de esta técnica. Tales beneficios son la eliminación de componentes innecesarios, la reducción en el consumo de energía, la reducción de costos de capital y la reducción del insumo de otros gastos.

De manera simplificada, el procedimiento sistemático de la ingeniería de métodos consiste en seis pasos conocidos, que se conocen como EREDAM:

- Escoger o seleccionar una operación.
- Registrar cada tarea incluida en la operación.
- Evaluar las alternativas para eliminar, combinar o reducir el contenido de trabajo de las tareas.
- Desarrollar un procedimiento mejor para realizar la operación.
- Aplicar el nuevo procedimiento.
- Mantener el nuevo procedimiento hasta que se desarrolle un método aún mejor.

En seguida se describe el procedimiento para encontrar "la mejor manera" (los siguientes pasos se *deben* llevar a cabo uno a la vez). No se debe pasar al siguiente hasta completar el paso anterior.

Paso uno: SELECCIONAR:
Se elige un trabajo que:

Sea necesario.

Valga la pena mejorar.
Tal vez dé problemas.
Enfrente un cuello de botella.
Sea lento.
Requiera recolectar materiales, herramientas y otros.
Tenga costos demasiado altos.

Paso dos: REGISTRAR:
Se hacen una gráfica y un diagrama del método actual:

Se reúnen todos los hechos sobre el método actua.l
Se usan las herramientas, según se requiera de:
Simplificación del trabajo.
Gráficas de proceso y diagramas de flujo.
Diagrama hombre-máquina.
Diagrama mano derecha-mano izquierda y diagrama del lugar de trabajo.
Se grafica el caso real sobre el trabajo, no se confíe en la memoria.

Paso tres: ANALIZAR:
Se pone en duda cada detalle, se desarrollan sugerencias de mejoramiento:
Mantener una mente abierta.
No se intente pensar en este paso por qué algo no funcionará; sólo cómo pueden funcionar otras posibilidades.

Procedimiento
Primero se pone en duda todo el trabajo.
Después se trabaja en los detalles de "hacer".
Posteriormente se pone en duda cada detalle.

En cada paso
Primero se intenta eliminar.
Después se intenta combinar.
Posteriormente se intenta ordenar la secuencia.
Por último se intenta simplificar.
No se deje este paso hasta agotar todas las posibilidades.

Paso cuatro: INNOVAR:
Desarrollar un método mejor.
Se intentan todas las sugerencias.
Se llega a un acuerdo en cuanto a la "mejor manera" hasta ahora.
Se hacen gráficas y diagramas del nuevo método.
Se repiten los pasos dos y tres sobre el nuevo método.
Se escribe la sugerencia para la administración.

Paso cinco: INSTALAR:
Aplicar el nuevo método.
Este paso trata con el problema humano.
Recuérdense dos grandes dificultades con las personas.
Resentimiento por la crítica.

No debe haber asomo de crítica hacia nadie.
A la gente no le gusta que le digan que lo hace mal.
Resistencia al cambio.
Nadie se opondrá a un cambio que él o ella ha originado.
Se requiere una venta real de ideas.
La administración no "comprará" la sugerencia mientras la idea no se haya "vendido".
Se deben utilizar dispositivos, gráficas, dibujos, fotografías, diagramas.
El trabajo no habrá terminado hasta que todos estén usando el nuevo método.

Al aplicar la ingeniería de métodos, existen ciertos principios de economía de movimiento que deben observarse, los cuales se dan a continuación como una referencia rápida:

Las operaciones se deben realizar con los movimientos más sencillos y fáciles, así como con el menor número posible de ellos.

Las dos manos deben iniciar y terminar sus movimientos al mismo tiempo.

No habrán de estar ociosas las dos manos al mismo tiempo, excepto en periodos de descanso.

El movimiento de manos y brazos se debe hacer en direcciones opuestas y al mismo tiempo.

Las herramientas y los materiales se deben localizar cerca y directamente al frente del operador de manera que se encuentren al alcance de las manos.

Los materiales deben tener un lugar fijo y definido.

Se deben proporcionar dispositivos de alimentación por gravedad para hacer llegar los materiales cerca del punto en que se usan.

Se tiene que permitir la disposición del producto terminado mediante dispositivos de "dejar caer" o de expulsión sin que el operador tenga que hacer movimientos difíciles o tardados.

Se debe quitar a las manos todo el trabajo que se pueda hacer mejor con los pies.

Los movimientos suaves en curvas continuas son mejores que los movimientos en línea recta o en *zigzag*.

Siempre que sea posible deben usarse dispositivos sencillos como cajas, guías, sujetadores, etcétera.

El ritmo es esencial para la realización continua y automática.

Ejemplo 2.3: Considérese el componente que se muestra en la figura 2.1. Está hecho de una pieza metálica lisa de 5 x 5 x 11/2 plg.

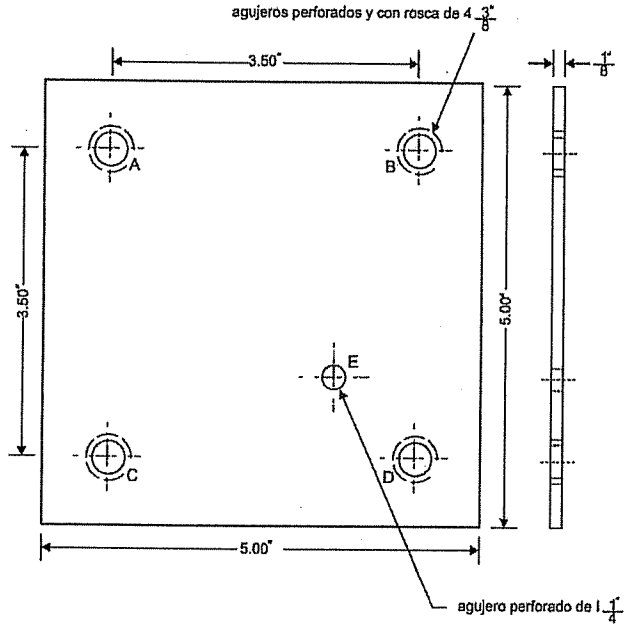


Figura 2.4

Las operaciones actuales son:

Tarea	Descripción	Tiempo estándar (min)
	Perforar agujero A de 3/8 plg	0.05
	Perforar agujero B de '/8 plg	0.05
	Perforar agujero C de '18 plg	0.05
	Perforar agujero D de 3/8 plg	0.05
	Perforar agujero E de '/4 plg	0.05
	Hacer rosca de 318 plg en agujero A	0.07
	Hacer rosca de 318 plg en agujero B	0.07
	Hacer rosca de 318 plg en agujero C	0.07
	Hacer rosca de 3/8 plg en agujero D	0.07
	Total	0.53 min/pieza

Tabla 2.6. Procedimiento actual de elaboración de placa metálica lisa

Producción por hora 60min/hora / 0.53min/pza = 113 piezas

Al aplicar el procedimiento de Ingeniería de Métodos se encontró que el agujero de 1/4 no era necesario ya que estaba incluido en un modelo obsoleto. La técnica de Ingeniería de Métodos sugirió también el uso de una guía para perforar y hacer la rosca de todos los agujeros de 3/8 al mismo tiempo. El resultado fue el siguiente:

Tarea (descripción)	Tiempo estándar (en minutos)
Perforar cuatro agujeros de 3/8 plg (A, B, C, D) en la caja guía	0.08
Hacer la rosca de cuatro agujeros de 3/8 plg (A, B, C, D) en la caja guía	0.12
Total	0.20 min/pieza

Tabla 2.7. Procedimiento propuesto de elaboración de placa metálica lisa

Producción por hora = 60/ 0.20 = 300 piezas

El nuevo método, según la propuesta de la ingeniería de métodos, se instaló en marzo y dio como resultado una producción de 42,000 piezas con un operador. En febrero, la producción era de 14,000 con el mismo operador. Las horas trabajadas en febrero fueron 160, pero en marzo fueron las mismas.

Si se usa el enfoque tradicional, se diría solo que la productividad de la mano de obra aumentó de 14,000/160 a 42,000/160; esto es, de 87.5 piezas/hora a 262.5 piezas/hora. Si se pagaba al operador $10/hora, aseguraríamos simplemente que el coste unitario de la mano de obra bajó de 10/87.5 a 10/262.5, es decir, de $0.114 a $0.038.

La prueba de la administración de la productividad es la reducción en el coste total de la manufactura de la componente. Mientras que el enfoque tradicional considera que hubo un ahorro de $0.076 por pieza en el coste, se verá cuál fue el ahorro real en el coste al aplicar el concepto de productividad total.

El insumo humano en febrero fue de 160 horas de tiempo de operador x $10/hora = $1,600

En febrero

Productividad total = 14 000 piezas/ $1600
= 8.75 piezas/dólar

El coste unitario de manufactura (en el sentido marginal, ya que ninguno de los otros factores cambia para esta operación) es de 1/8.75 = $0.114/pieza.

En marzo, la sección de herramientas prorratea sus costos de producir las cajas guía para perforar y hacer la rosca en: Ic = $600.

El ingeniero de métodos pasó una semana de marzo trabajando para instalar el método. Suponiendo que el salario anual del ingeniero (incluyendo prestaciones) es de $30,000

El insumo humano por este concepto es: $30,000/52 = $577
Por lo tanto, I_H = $1600 + $577 = $2177

En marzo
Productividad total = 42 000 piezas / ($2177 + $600) = 15.124 piezas/dólar
El coste unitario de manufactura en el sentido marginal es de 1/15.124 = $0.066/pieza.

Así, en realidad el ahorro en el coste total sobre el componente fue de:
$ 0.114 - $0.066 = $0.048.

En este punto es posible reforzar dos hechos:

1. La técnica de ingeniería de métodos conduce casi siempre a mejoras en la productividad de la mano de obra, pero si además mejora la productividad total es todavía mejor.

2. El concepto de productividad total da un panorama conservador, aunque realista, respecto de los costos y las utilidades totales.

MEDICIÓN DEL TRABAJO

La medición del trabajo es la técnica que se usa con más frecuencia en la industria y los negocios, la cual implica la medición del trabajo asignándole un valor.

En un sentido más formal, la técnica de medición del trabajo determina el tiempo que se requiere para realizar una operación con un método específico bajo las condiciones específicas del lugar de trabajo.

La estrategia general de la medición del trabajo es dividir una operación en elementos distintos y bien definidos, así como después asignar a cada uno un valor de tiempo.

La medición del trabajo sigue, por lo general, a la ingeniería de métodos. A menos que se hayan hecho mejoras en los métodos para una operación, no hay razón para medir el tiempo requerido para realizarla, lo cual se debe a que, si se mide el contenido del trabajo para una operación antes de establecer los métodos, es posible que el tiempo estándar al que se llegue sea demasiado holgado; esto es, se llega a especificar un

valor de tiempo más alto del necesario. Aunque con frecuencia se hace hincapié en este punto en el mundo real, las fechas de entrega mal planeadas en ocasiones provocan que se haga una medición del trabajo basada en presiones que lleva a toda clase de desacuerdos más adelante. La medición del trabajo se parece a un explosivo: si se usa en forma adecuada, un explosivo puede ser constructivo en la demolición de un edificio viejo; sin embargo, también se suele usar con fines destructivos como guerras y confrontaciones. Si la medición del trabajo la practica un individuo que ha sido ampliamente capacitado dará resultados útiles que ayudarán a la planeación de los niveles de empleados, a la programación de la producción, al costeo estándar, a obtener los presupuestos y a estudiar las tareas. Por otra parte, si la técnica la aplica alguien que no esté bien capacitado ni tiene la suficiente experiencia, entonces surgirá cualquier cosa: desde disputas laborales menores hasta problemas mayores, huelgas y cierres. A veces se pierden cientos o miles de dólares por la incompetencia del analista de medición del trabajo que sólo "conoce la mitad" sobre la técnica. Las organizaciones no se pueden dar el lujo de ser 'listo con los centavos y tonto con los pesos', al menos no cuando se trata de utilizar esta técnica.

De manera general, la medición del trabajo se puede efectuar por:

1. Estudio de tiempos con cronómetro.
2. Sistema de tiempos y movimientos predeterminados.
3. Muestreo del trabajo.
4. Elaboración de datos estándar o fórmulas de tiempo.

Además de estos, la programación de intervalos cortos y el análisis de regresión comienzan a tener una creciente aplicación en la medición del trabajo.

Estudio de tiempos con cronómetro

En el estudio de tiempos con cronómetro, se considera el tiempo de los elementos de una operación usando un cronómetro que puede ser mecánico o electrónico. Los cronómetros mecánicos y carátulas con 1/60 y 1/100 de minuto son los que se utilizan más, mientras que en los de tipo electrónico se leen tiempos con varios decimales.

Ejemplo 2.4: Considérese la operación de captura de datos de facturas. La operación consiste en tres elementos:

Tomar una factura, colocarla cerca de la terminal de computadora y capturar los datos en el teclado de la computadora.

Hacer la factura a un lado.

Cada cinco facturas, pone un clip para papel y repite los elementos 1, 2 y 3.

Supongase que, al observar al capturista, un analista obtuvo los datos que se muestran en la tabla siguiente:

Se debe determinar el *tiempo estándar* requerido para realizar la operación de captura, suponiendo suplementos PFD (personal, fatiga y demoras), o PFR (personal, fatiga, retrazos) del 15%.

Elemento	1	2	3	4	5	6	Σ	TOM	TD	TN
a. Tomar factura: colocarla cerca de la terminal	0.07	0.06	0.07	0.05	0.07	0.08	0.40	0.07	95	0.07
b. Capturar los datos de la factura	0.50	0.49	0.52	0.55	0.48	0.48	3.02	0.50	105	0.53
c. Colocar la factura a un lado	0.06	0.07	0.08	0.07	0.07	0.06	0.408	0.07	100	0.07
d. Poner clip cada 5 facturas					0.15		0.15	0.03	100	0.03

Nota: TD = tasa de desempeño (basada en el juicio del analista). Se supone que un operador "promedio" tiene un desempeño de una TD de 100.

Tabla 2.8. Datos de un estudio de tiempos sobre la operación de captura de facturas

El suplemento PFD a que se hace referencia representa la holgura por necesidades personales, fatiga y demoras inevitables. Tal holgura está diseñada para tomar en cuenta necesidades personales (como tomar agua, ir al baño, etcétera), la fatiga debida al cansancio físico y mental, así como los retrasos inevitables debidos a interrupciones por instrucciones del supervisor, falta de artículos que procesar, descompostura de máquinas y similares.

El tiempo estándar (requerido para realizar una operación) está dado por

TE = TN (1 + PFD/100)

donde

TN = (TOM)(TD)

TOM = tiempo total para ciclos observados / número de ciclos

TD = tasa de desempeño (expresada en decimales; por ejemplo 1.00 si TD = 100; 0.90 si TD = 90, etcétera)

PFD = suplemento por necesidades personales, fatiga y retrasos (expresado en porcentaje; por ejemplo, PFR = 15%, en este problema)

Por lo tanto, para la *operación* completa:

TN = suma de TN para cada elemento = 0.07 + 0.53 + 0.07 + 0.03 = 0.70 minutos

TE = TN (1 + PFR/100)

TE = 0.70 (1 + 15/100) = 0.81 min.

DISEÑO DEL TRABAJO

El diseño del trabajo implica la creación de una tarea completa de trabajo con todas las decisiones y el control posibles, al igual que la retroalimentación directa y frecuente sobre el desempeño individual.

Los tres pasos necesarios [se encuentran más detalles en McGee, 1981] en el diseño del trabajo son:

1. Determinar las dimensiones de la tarea:
   a. Variedad de habilidades.
   b. Importancia de la tarea.
   c. Identidad de la tarea.
   d. Autonomía y Retroalimentación.

2. Realizar investigación de:
   a. Diagnóstico del trabajo.
   b. Análisis de computadora.
   c. Comparar con los estándares de los buenos trabajos respecto de las dimensiones de la tarea.
   d. Determinar las estrategias necesarias para mejorar los trabajos actuales.

3. Utilizar los conceptos de instalación:
   a. Análisis de contenido.
   b. Combinación de tareas.
   c. Unidades de trabajo naturales.
   d. Relaciones con el cliente.
   e. Carga vertical.

Además de esto, es muy importante la participación de la administración.

Desde el punto de vista de la reducción de costos, el diseño del trabajo constituye un análisis sistemático del mismo, con el propósito de encontrar el método más eficaz para

acercarse a un sistema ideal de utilización de personas, máquinas y materiales en el entorno de trabajo.

Las cuatro áreas para la mejora de la utilización son:

1. El espacio y el entorno.
2. La tecnología y la energía.
3. El producto y las materias primas.
4. El tiempo y las personas.

Espacio y entorno. En estas áreas se consideran las instalaciones físicas, la planta, la disposición de la misma, la manipulación de materiales, el puesto y el flujo de trabajo.

El entorno social es igual de importante, incluidas las actitudes y relaciones interpersonales de los trabajadores entre ellos y con sus supervisores.

Tecnología y energía. Estas áreas corresponden a la utilización de los equipos más adecuados, de manera que los recursos humanos empleen el mínimo esfuerzo para obtener la máxima energía.

Productos y materias primas. Esta área fomenta la introducción de nuevas ideas útiles para el producto, surtido de productos o materias primas que puedan modificar las operaciones o las actividades laborales. Los efectos específicos de los cambios introducidos en las materias primas o en el mantenimiento y los suministros operacionales pueden evaluarse mediante el análisis del valor, la ingeniería del valor y la normalización y la estandarización.

El tiempo y las personas. El examen de estos elementos llega a revelar las necesidades de:

1. Minimizar el tiempo perdido en espera y recorridos por la planta.
2. El aumento de la producción por medio de mejores métodos y tecnologías, o con la utilización de recursos humanos. Los enfoques de comportamiento se centran también en los métodos de motivación para incrementar la satisfacción en el puesto de trabajo, elevar la moral de los empleados y hacer que éstos se sientan personalmente satisfechos.

Planificación. La planificación para el diseño del trabajo abarca las siguientes fases:

1. El diseño del producto, incluido el tamaño, la forma, el peso del material y el uso que pretende dársele.
2. Diseño del proceso, ya que esto determina el sistema de producción, las operaciones y sus secuencias, dimensiones y tolerancias, herramientas de mecanizado, calibres y equipos.

3. El diseño del método de trabajo, que establece las relaciones entre el trabajador y su puesto de trabajo, determinando cómo se ha de realizar el trabajo, así como cuáles son el puesto, el flujo y las consideraciones económicas.
4. El diseño de las herramientas y los equipos, que determinan los aparatos, los troqueles, los calibres, las herramientas y las máquinas necesarias para realizar las operaciones.
5. El diseño de disposición de la planta, que determina el espacio total necesario, calculado en función de la situación global de los equipos, los centros de servicios de inventario, el espacio de trabajo, los equipos de manipulación de materiales y la relación persona-máquina.
6. La determinación del tiempo estándar para realizar el trabajo, que hace posible el control del puesto de trabajo.

Organización. El proceso de planificación para el diseño del trabajo puede ser organizado por un equipo o una organización matricial, que pueden estar formados por ingenieros de diseño, ingenieros de organización y especialistas de fabricación y producción, para llegar a alguna combinación óptima que englobe a los seis factores anteriores. Es posible añadir a la organización matricial las amplias áreas funcionales de marketing, financiación y compras para mejorar la coordinación.

Instalación, Después de esta fase, pueden efectuarse pruebas experimentales antes de establecer el sistema de producción continua, haciendo intervenir a las personas, máquinas y herramientas, así como persiguiendo el resultado más eficaz.

Lo anterior se aplica tanto a la instalación de productos como a la de servicios.

Control. La función de control debería indicar cuándo presentan desviaciones los métodos actuales respecto de los planificados, de manera que puedan tomarse las oportunas medidas de mejora correctivas. Por consiguiente, es necesario un análisis constante de los métodos actuales para efectuar un seguimiento de la reducción del coste y la instalación del programa.

Función de asesoría. La función o el papel del ingeniero industrial, de organización u otro especialista asesor es reducir los costos e incrementar la productividad por medio de la introducción de mejoras continuas. Este personaje tiene un papel de creador, motivador, innovador, preparador, asistente y catalizador.

GESTIÓN O DIRECCIÓN DEL PROGRAMA DE REDUCCIÓN DEL COSTE

La planificación, la organización y el control de programas de reducción de costos debería partir de la propia gerencia, insistiendo en la concientización de la mejora del trabajo como herramienta de dirección, así como también en la promoción y el apoyo positivos de toda la empresa.

Para lograr este objetivo, habría que disponer de un programa desarrollado por ingenieros industriales cualificados; ofrecerse a los mandos intermedios un curso intensivo en técnicas de estudio de métodos y su aplicación práctica a los resultados.

Los supervisores deberían estudiar la simplificación del trabajo y todas sus ramificaciones (técnicas de medición del trabajo, planificación de procesos y de gestión y motivación).

Círculos de calidad. Se reúnen voluntariamente grupos de empleados, con carácter regular, para identificar, analizar y resolver los problemas de calidad u otros que afecten su área. La investigación en las áreas de la motivación y del comportamiento han demostrado que los empleados que participan en la mejora de sus puestos de trabajo obtienen más satisfacción personal, aceptándolo sin plantear dificultades y ejerciendo poca o ninguna resistencia ante los cambios que están por introducirse.

Muchas empresas enseñan, por medio de los círculos de calidad, métodos de resolución de problemas y simplificación de trabajos a sus trabajadores de producción y de oficina, que participan en la mejora de sus puestos de trabajo. Los círculos de calidad promueven el pensamiento creativo en el seno de los grupos.

Otras técnicas, como la ampliación y el enriquecimiento del puesto de trabajo, se están convirtiendo en dispositivos cada vez más útiles para la creación de actitudes positivas ante el trabajo y los puestos de trabajo, aumentando por consiguiente la productividad.

En la tabla siguiente se presenta una síntesis de diseño del trabajo.

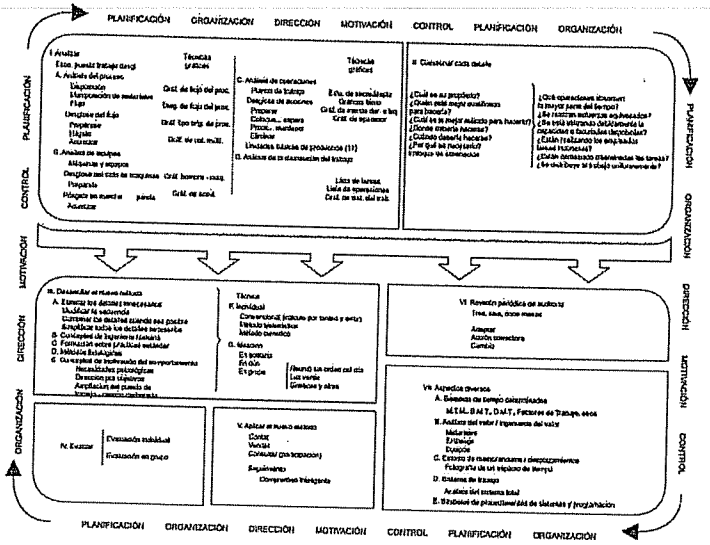


Figura 2.5. Síntesis del Diseño del Trabajo

Ejemplo 2.5: Una empresa aplicó la técnica de diseño del trabajo en uno de sus departamentos; el resultado fue el despido de dos empleados con salarios totales de $40,000. También al introducir el diseño del trabajo se observaron varios beneficios intangibles, que incluyeron una moral más alta, una mayor satisfacción en el trabajo, mayor satisfacción del cliente y mejor coordinación con los vendedores.

El programa de diseño del trabajo tuvo un coste de $20,000 para la empresa por concepto de honorarios del consultor. Además, se obtuvo un incremento del 25% en la productividad de la mano de obra. Es evidente que la firma tenía una buena administración de la productividad, ya que no solo se incrementó la productividad humana, también aumentó la productividad total, como lo reflejó la disminución del 10% en el coste unitario global.

DISEÑO DE LA SEGURIDAD EN EL TRABAJO

El diseño de la seguridad en el trabajo es una técnica formal para mejorar los aspectos de seguridad de un trabajo, el cual debe incluir todas las consideraciones de seguridad relacionadas con el trabajo. Un lugar de trabajo seguro para un operador es un factor importante para mantener una actitud positiva hacia el mismo.

Además, un ambiente de trabajo más seguro y saludable debe dar como resultado una disminución en los salarios perdidos, una reducción en los costos de los seguros, menores gastos médicos y una productividad más alta [Foulkes, 1983][6] En Estados Unidos, la Occupational Safety and Health Act (OSHA) exige que una organización tenga buenos programas de seguridad y mantenga registros confiables de seguridad.

Las organizaciones pueden no estar de acuerdo con el grado de lo que se llama "sobrerreglamentación" que algunas oficinas del gobierno imponen para la seguridad y salud de los trabajadores.

El aspecto de seguridad tiene implicaciones sociales muy importantes en algunas situaciones. Por ejemplo, los peligros de la exposición a la radiactividad de las plantas nucleares han sido motivo de preocupación de mucha gente en muchos países. Es muy probable que un empleado que trabaja en un ambiente peligroso cuente con un profundo sentido de inseguridad que llegaría a significar una baja moral. A la larga, lo anterior suele afectar de manera negativa la productividad total.

Ejemplo 2.6: Una empresa que fabrica laminados de acero de silicio con grado eléctrico acaba de instalar un sistema de seguridad de doble acción sobre 15 de sus prensas perforadoras. Tal sistema evita que la perforadora opere a menos que el operador tenga ambas manos en el exterior de la herramienta de prensa.

La tabla siguiente proporciona algunas estadísticas antes y después de la instalación del sistema de seguridad. Se quiere determinar el impacto de este diseño de seguridad en el trabajo sobre la productividad total para los productos laminados de la empresa. Se calcularán la producción y el insumo total para las dos situaciones: antes y después de la instalación del sistema de seguridad.

Antes de la instalación
Producción total = 1,200,000 x $0.04
= $48 000

Concepto	Antes de la instalación	Después de la instalación
Accidentes promedio/mes	2	
Costo promedio/accidente	$15,000	
Costo de depreciación para el nuevo sistema de seguridad / mes		$2300
Producción/mes	1.2 millones de laminados	1.35 millones de laminados
Precio de venta promedio/laminado	$0.040	$0.040
$I_M + I_E + I_X$	$10,000	$10,000
I_H (excluye costo/accidente)	$6,000	$6,000
I_C (excluye el costo de nuevos sistemas de seguridad)	$11,000	$11,000

Tabla 2.9: Algunas estadísticas antes y después de la instalación del sistema de seguridad

Insumo total = $I_H + I_M + I_M + I_X + I_C$

= (600 + 15 000 x 2) + 10,000 + 11,000

= $57,000

PT= 48,000/57,000

= $0.842 por dólar

Después de la instalación

Producción total = 1,350 000 x $0.04

= $54 000

Insumo total = $I_H + I_M + I_M + I_X + I_C$

= 6,000 + 10,000 + (11,000 + 2,300)

= $29,300

PT = 54,000 / 29,300

= $1.843 por dólar

El porcentaje de mejoramiento en la productividad total es de 119%.

La instalación del nuevo sistema dio un sentido de seguridad en el lugar de trabajo a cada uno de los operadores; de esta manera la producción subió de 1.2 millones a 1.35 millones, lo cual, aunado a una reducción en el ausentismo y a la eliminación de los costos de accidentes, causó un incremento grande en la productividad total. El efecto de este aumento será con seguridad una reducción en el coste de manufactura de los laminados.

INGENIERÍA DEL FACTOR HUMANO

La ingeniería del factor humano se ocupa de una actividad multidisciplinaria, para diseñar la interface entre el equipo y el hombre, de manera que se ajuste el medio ambiente de trabajo a las capacidades humanas.

El objetivo principal de dicha técnica es balancear en forma adecuada la tarea y los requerimientos de máquina/equipo con la capacidad anatómica, fisiológica, perceptiva y de procesamiento de información del operador.

Muchos investigadores [Kapur y Liles, 1982], [7] [McGee, 1981][8] y [Sweetland, 1982] [9] sostienen que el impacto de esta técnica sobre la productividad es importante.

La ergonomía se ha aplicado en una gran variedad de áreas, incluyendo las siguientes, diseño de:

- Gabinetes electrónicos compatibles con el operador.
- Sillas.

- Tableros en automóviles, aviones, vehículos espaciales, máquinas herramienta y sin duda en donde quiera que haya un tablero de control o de instrumentos.
- Lugar de trabajo para personas con deficiencias físicas [Kroemer y Price,1982] [10] y [Smith y Smith, 1982].[11]
- Del lugar de trabajo en oficinas con terminales con pantallas de ayuda visual o con unidades de video que requieran trabajo de procesamiento, comunicación interactiva, programación y actividades de diseño asistido por computadora (CAD)/manufactura asistida por computadora (CAM) [Latham, 1981].[12]

Se han realizado varios estudios interesantes para determinar el efecto del contenido de alcohol en la sangre sobre las tareas de ensamble manual [VPI, 1980],[13] el efecto de las tareas de carga manual sobre el dolor de espalda, el efecto de la tensión en el trabajo sobre la productividad, así como el efecto de factores ambientales como iluminación, humedad y calor sobre la productividad.

El impacto de la ergonomía sobre la productividad total, depende de cada situación específica.

Ejemplo 2.7: Supóngase que un banco aplica la ergonomía en su sección de procesamiento de cheques, por lo que al rediseñar el lugar de trabajo mejora la iluminación y la humedad, lo que hace que el lugar sea más agradable para los empleados. El resultado es una mejora en la productividad de la mano de obra de 100 cheques procesados por hora a 120 por hora. Sin embargo, el coste inicial del nuevo alumbrado y control de humedad es de $15,000. A pesar de todo, dos meses después de instalar el nuevo sistema, la producción por hora vuelve a ser de 100/hora.

En este caso es evidente que, a menos que la ganancia en la productividad en los dos meses subsecuentes a la instalación del nuevo alumbrado y del control de humedad sea mayor a $15,000, el impacto de la técnica de ergonomía será negativo. Siempre que se aplique esta técnica se debe tener cuidado de que las ganancias en la productividad sean sustanciales, tanto a corto como a largo plazos. Invariablemente los efectos de la ingeniería de factor humano son positivos en términos intangibles. Por ejemplo, en este caso, la tasa de errores en el procesamiento de cheques se redujo, digamos, de 2% a 0.1%. A consecuencia de este mejoramiento de la calidad, es posible que los operadores tengan un sentimiento más positivo respecto de su trabajo, se sientan más orgullosos de él y posean un sentido de satisfacción. Por supuesto, es posible decir que la reducción en los errores tal vez los motivó para aumentar la productividad por hora; de hecho, esto fue lo que ocurrió en este ejemplo. Para establecer bien los beneficios intangibles, se asigne un valor en dólares al cliente que no perdió el banco debido al mejoramiento de la calidad en el procesamiento correcto de sus cheques.

De cualquier manera, diremos sin temor a equivocarnos que la ingeniería de factor humano es una herramienta poderosa para el mejoramiento de la productividad humana en la mayoría de los casos y por lo menos algunas veces para mejorar la productividad total.

DISEÑO DE LA SEGURIDAD EN EL TRABAJO

Históricamente, la Society of Manufacturing Engineers (SME) ha definido la ingeniería de manufactura como:



La especialidad de la ingeniería profesional que necesita de los conocimientos y la experiencia que sean necesarios para entender, aplicar y controlar las normas de la ingeniería en los procesos de manufactura, así como en los métodos de producción de materiales y productos industriales, y que exige de la capacidad para diseñar las prácticas de la manufactura, para investigar y diseñar herramientas, procesos, máquinas y equipo, y para integrar las instalaciones y los sistemas con el fin de obtener productos de calidad con un grado óptimo de inversión.

También ha afirmado que:



La ingeniería involucra un alto grado de actividad creativa en la identificación de teorías y su expansión a aplicaciones prácticas. Es en este nivel donde se formulan los conceptos y las ideas se transforman en actividades de diseño y de ingeniería del producto. El proceso de manufactura comienza con el producto como proyecto y termina con la operación final en la línea de producción; entre el diseño del producto y la distribución está la función industrial que se conoce como ingeniería de manufactura.

El ingeniero de manufactura realiza muchas tareas en una amplia gama de industrias.

Una definición que incluya todo, si es necesaria, tiene que ser muy general. Un ingeniero de manufactura, según la definición suministrada por el U.S. Department of Labor, es quien:



Dirige y coordina los procesos de manufactura en las plantas industriales; determina las necesidades de espacio de diversas funciones y planifica o mejora los métodos de producción, incluyendo el período de recuperación de la inversión, el flujo de producción, la herramienta y el equipo de producción, la fabricación de piezas, los métodos de ensamble y las necesidades de mano de obra; se comunica con el personal de planificación y diseño con respecto al diseño de productos y herramientas para asegurarse que los métodos de producción sean eficaces; estima los tiempos de producción y determina

el suministro óptimo del personal para los programas de producción; aplica métodos estadísticos para estimar los requisitos y el potencial futuro de la manufactura; aprueba o se encarga de que se aprueben los gastos e informa a la dirección sobre las capacidades de manufactura, los calendarios de producción y los problemas, todo ello con la finalidad de facilitar la toma de decisiones.

Tales definiciones históricas, que fueron válidas durante muchos años, están ahora sujetas a fuertes cambios. Ahora, la manufactura tiene que funcionar en un mundo de competencia mundial que exige una mayor flexibilidad de operación, una comunicación más rápida y una estructura organizacional redefinida.

El alcance o la amplitud de los conocimientos necesarios, así como su profundidad, están creciendo con tal rapidez que una definición única de la manufactura, como una profesión de carrera, debe ponerse en tela de juicio. La ingeniería de manufactura se convertirá cada vez más en una tarea profesional para personas con una amplia formación y experiencia en su campo. Para comprender en su totalidad las tendencias emergentes de la ingeniería de manufactura se requiere examinar la evolución histórica de esta ingeniería.

Evolución histórica de la ingeniería de manufactura en América del Norte

La rama de la ingeniería conocida hoy como ingeniería de manufactura tiene sus raíces en dos áreas. Una de esas áreas tenía que ver con las actividades de distribución de planta, que por lo general se asociaban con los ingenieros industriales que trabajaban en empresas de manufactura. Estas distribuciones de planta eran generalmente plantas de departamentos enfocados a procesos de manufactura específicos, a los medios de traslado de artículos de un departamento a otro hasta completar todas las operaciones necesarias, así como a las líneas para los componentes que se ensamblarían en un producto final.

La segunda actividad se relacionaba con las varias formas de diseño de herramientas que se proponían para producir plantillas y accesorios, determinar la geometría de las herramientas, así como la velocidad y la tasa de alimentación óptimas para las operaciones de corte de metal, además del diseño de punzones, troqueles y moldes para operaciones de formado primario. Aunque el personal de distribución de planta por lo general tenía un nivel de formación universitaria, con frecuencia en la especialidad de Ingeniería Industrial, los diseñadores de herramientas provenían tanto de fuentes académicas –incluyendo escuelas vocacionales, institutos técnicos y escuelas por correspondencia– como de herramentistas que terminaban trabajando en los departamentos de diseño de herramientas. Por lo general, tales actividades se hacían

bajo la dirección en línea de compañías industriales en el negocio de la manufactura de piezas distintas.

En la fase inicial de muchas de las grandes empresas manufactureras estadounidenses, era común que la alta dirección tuviera estudios de ingeniería y con frecuencia participara personalmente en el diseño del producto y en la evolución del proceso de los productos que fabricaban. La mayoría de los líderes empresariales tenían una amplia experiencia práctica en el campo de la *manufactura*. Las escuelas de ingeniería mecánica incluían una preparación teórica y práctica sustancial sobre los procesos básicos de la manufactura como una parte integral de los cursos necesarios para graduarse con el título de ingeniero en manufactura.

DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

Entendemos por distribución de planta la disposición física que guardan en una empresa los equipos y las instalaciones industriales. Tal disposición, sea instalada o en proyecto, incluye los espacios necesarios para el movimiento del material y su almacenamiento, de la mano de obra indirecta y todas las demás actividades auxiliares o de servicios, así como el equipo de producción y su personal. Asimismo, significa en algunos casos la disposición existente, en otros el plan propuesto de distribución y a menudo el trabajo para lograr la distribución de planta. Por lo tanto, una distribución en planta puede ser una instalación existente, un proyecto o una tarea.

Objetivos

Hacer un plan de distribución no es el resultado final, ni siquiera para los responsables de la planificación. Más bien, en este caso mejorar el funcionamiento, aumentar la producción, reducir los costos, dar un mejor servicio a los clientes y brindar mayor satisfacción al personal de la empresa son los objetivos principales.

Cada planificación o proyecto de reordenación tendrán sus propios objetivos individuales, los cuales variarán con los diferentes puntos de vista de la dirección o con las políticas de funcionamiento, así como con las consideraciones corrientes que rodean a cada proyecto. Para la eficiencia en la planificación de las distribuciones y el diseño de fábricas es importante que los objetivos reales sean claramente establecidos al comienzo de la planificación.

Esencialmente, la instalación de una fábrica es una combinación de objetivos y consideraciones, en tanto que su planificación se apoya en el compromiso de varios beneficios y limitaciones, que a la vez son modificados por el tiempo, el grado de

importancia relativa y la actitud o la política de política de la dirección. Además, quien planifique, al hacer su distribución, se centrará en ciertos objetivos generales. Estos comprenderán:

1. *Integración*: una integración de todos los factores que afectan a la distribución.
2. *Utilización*: una efectiva utilización de la maquinaria, personas y espacio de la fábrica.
3. *Expansión*: facilidad de ampliación.
4. *Flexibilidad*: facilidad para una nueva ordenación.
5. *Versatilidad*: adaptabilidad real a los cambios en el diseño del producto, exigencias de venta y mejoras del proceso.
6. *Regularidad*: una división regular o correcta de las áreas e incluso de sus dimensiones relativas de las áreas, especialmente cuando están separadas por paredes de edificios, pisos, pasillos principales, etcétera.
7. *Proximidad*: una distancia mínima para el movimiento de materiales, servicios auxiliares y personal.
8. *Orden*: una secuencia lógica del flujo de trabajo y zonas de trabajo limpias con equipos convenientes para basuras y desperdicios.
9. *Conveniencia*: para todos los empleados, tanto en las operaciones diarias como en las periódicas.
10. *Satisfacción y seguridad para todo el personal.*

Básicamente, cada distribución implica tres elementos fundamentales:

1. *Relación*: Dependencia deseada entre las diversas actividades o áreas funcionales.
2. *Espacio*: En cantidad, clase y forma para cada actividad o área funcional.
3. *Reparto*: De las áreas de actividad en un plan de distribución, ver figura:

Fundamentos de la planeación de la distribución de planta:

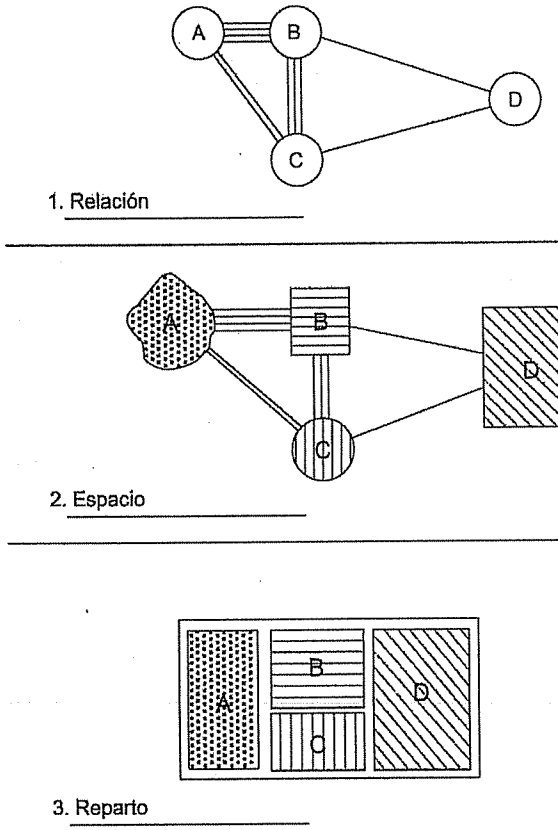


Figura 2.6. Elementos de la distribución de planta

La solución para cualquier problema de distribución será, necesariamente, un compromiso de las diversas consideraciones y de los diferentes objetivos para la buena distribución de la fábrica. Las relaciones entre maquinaria y manipulaciones, servicios y edificio, cambios y personal son tratadas en conjunto. Una característica o consideración influye sobre las otras. En el trabajo de distribución en planta, constantemente los ingenieros han de quitar a unos para dar a otros.

El error en algunas distribuciones se debe a la obligada transacción que se hace descuidando alguna característica que tendría que ser prevista o al no haber aceptado alguna consideración con un efecto importante. El seguimiento cuidadoso de los puntos fundamentales puede ayudar a evitar la fragilidad de un plan de distribución.

1. *Planificar el conjunto y luego los detalles.* Para esto, habrá que comenzar con la distribución del lugar o planta como un conjunto, para después trabajar en los detalles. Se tienen que determinar las necesidades generales en relación con el volumen de producción previsto, para a partir de este desarrollar una distribución general de conjunto. Tras aprobar la distribución de conjunto, se debe seguir la ordenación detallada dentro de cada área, lo cual es la posición real de los hombres, los materiales, las máquinas y las actividades auxiliares que constituyen la distribución detallada.

2. *Planificar lo ideal y a partir de éste lo práctico.* El concepto inicial de la distribución debe representar un plan teórico ideal, sin mirar las condiciones existentes e independientemente del coste. Más tarde, habrá que hacer los ajustes para incorporar las limitaciones prácticas de los edificios y otros factores. Por este medio, la posibilidad de una distribución no se pierde a causa de una primera opinión equivocada, respecto de necesitar ciertas características.

3. *Seguir los ciclos de desarrollo de la distribución y hacer que se superpongan las fases.* En este caso, los ciclos de desarrollo de la distribución siguen una secuencia de cuatro fases.

   a) Determinar dónde estará la distribución y dónde serán situadas las instalaciones proyectadas, lo cual puede implicar el emplazamiento o la ubicación de la fábrica o simplemente el emplazamiento dentro del lugar o la fábrica existentes.

   b) Planificar una distribución general para la nueva de producción.

   c) Plan de distribución detallada.

   d) La instalación.

   e) En la práctica, habrá alguna superposición de una fase con la siguiente.

4. *Planificar el proceso y la maquinaria según las exigencias del material.* El factor material es básico. El diseño del producto y las especificaciones de fabricación determinan con amplitud qué proceso usar. En este caso, las cantidades o los ritmos de producción de productos o piezas diversos deben ser conocidos para calcular qué procesos son necesarios. El proceso y la maquinaria deben ser determinados a partir de las exigencias del material.

5. *Planificar la distribución según el proceso y maquinaria.* Después de seleccionar los procesos correctos de producción, comienza la planificación de la distribución. Habrán de considerarse las demandas del equipo, el peso, el tamaño, la forma, el movimiento, etcétera. El espacio y la ubicación del proceso o la maquinaria de producción (incluyendo herramientas y equipo) son el corazón del plan de distribución.

6. *Planificar el edificio según la distribución.* Cuando la maquinaria, el equipo de servicio y la distribución sean más permanentes que el edificio, éste será establecido para la distribución más eficiente. Cuando ésta sea menos permanente que el edificio, hay que seguir todavía esta guía fundamental y alterarla según se requiera. Puesto que inevitablemente habrá cambios, se tiene que diseñar una fábrica de uso general y planificar el edificio teniendo en cuenta las varias distribuciones posibles que ocuparían en forma sucesiva el edificio. Para la distribución en un edificio existente, este fundamento orientativo se convierte en la obligación de planificar las modificaciones del edificio alrededor de la distribución.

7. *Planificar con la ayuda de una clara representación.* Los especialistas experimentados en distribución saben que cuánto contribuyan a una clara representación es fundamental para su trabajo. Lo anterior les ayudará a reunir datos y a analizarlos. Además, tal representación será esencial cuando desee discutir sus planes con el supervisor y el personal de servicios, cuando presente sus propuestas a la dirección general para la aprobación, cuando explique a los operarios cómo funcionará la distribución.

8. *Planificar con la ayuda de otros.* La distribución de una planta es un asunto operativo. Por lo mismo, no se obtendrá la mejor distribución a menos que se tenga la cooperación de todas las personas afectadas por ella, de quienes se solicitarán sus ideas, que deben dibujarse en el proyecto, pues ellas tienen un conocimiento detallado del trabajo; por lo tanto, son quienes harán funcionar la distribución. Más aún, si cuentan con posibilidad de tomar parte en la planeación de la distribución, tenderán a aceptarla más fácilmente.

9. *Comprobar la distribución.* Cuando se ha desarrollado una fase del proyecto, deberá ser aprobada antes de atacar la planificación de la siguiente, lo cual ahorrará dolores de cabeza ulteriores y asegurará una integración de cada área dentro de los planes generales. Cada fase de la distribución será comprobada antes de presentarla a su aprobación, control que asegurará que la disposición es buena o revelará mejoras que pueden hacerse en el futuro.

10. *"Vender" el plan de distribución.* Algunas veces la parte más dura del trabajo de distribución de la planta es conseguir que otros lo "compren". Puede ser bueno, pero es un compromiso, ya que implica cambiar a algunas personas, lo que requerirá un desembolso de fondos. Por lo tanto, deberá mantenerse entusiasta anunciando los beneficios de la distribución que se planifica; buscar tiempo adicional para arrastrar al personal de producción al proyecto; conseguir que cada uno participe; estar siempre dispuesto para presentar la distribución a los posibles clientes, que, finalmente, han de poner el dinero para ella.

En la siguiente gráfica se presenta un panorama de esta metodología con base en el método de Richard Muther de planeación sistemática de la distribución (SLP en inglés):

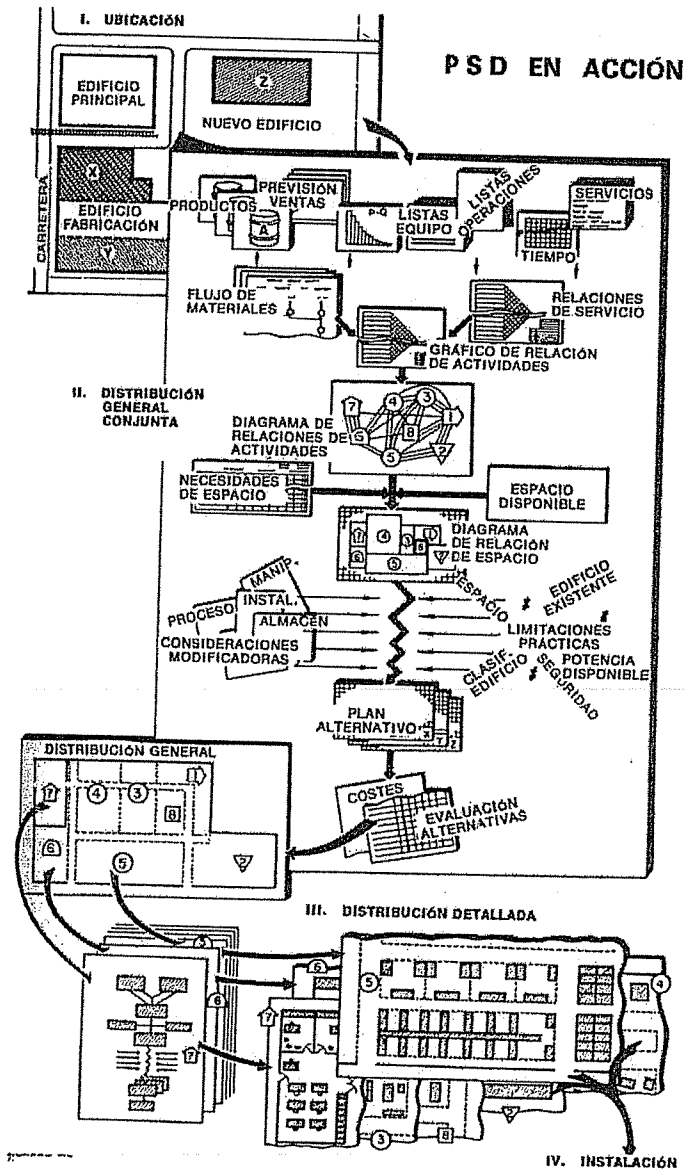


Figura 2.7. Metodología de la distribución de planta (SLP)

MOVIMIENTO (MANEJO) DE MATERIALES

Hay varias operaciones básicas en cualquier actividad de producción, que en este caso son el proceso, el montaje, la inspección y el movimiento de los materiales. Lo que no es generalmente reconocido es que la última de éstas, el movimiento de los materiales, cuenta muy a menudo como una parte importante del coste total de producción.

Con los términos *movimiento* y *manipulación de materiales* nos vamos a referir al manejo y transporte de materiales", dando a los cuatro términos: *movimiento*, *manipulación*, *manejo* y *transporte*, idéntico y complementario significado.

La amplitud de la actividad del movimiento de los materiales depende de cuestiones tales como el tipo de empresa, su producto, la dimensión de la empresa, el valor del producto o la actividad que se realiza, la importancia relativa del movimiento en la empresa, la personalidad de los individuos implicados en ese movimiento y la organización de la empresa.

Una interpretación limitada del movimiento de materiales trataría fundamentalmente del transporte de objetos desde un punto a otro dentro de los límites de una fábrica.

Aquí el problema es mover algo desde un punto X a un punto Y. La preocupación del ingeniero de movimiento de materiales está, la mayor parte de las veces, en situaciones del problema individual, aislado e independiente, de manejo de materiales.

Un punto de vista más conveniente sería el de compromiso total, a nivel de factoría, con la circulación o el flujo de materiales. El analista se ocuparía de la interrelación de todos los problemas de movimiento de materiales de la fábrica, estableciendo un plan general de transporte de material y ligando cada solución de un problema con todos los demás.

Un punto de vista más amplio, llamado *concepto de sistema*, sería el de considerar el transporte y la distribución como un sistema que lo alcanza todo. Este punto de vista toma en cuenta todas las actividades de transporte incluidas en:

1. El movimiento de materiales desde todas las fuentes de suministro,
2. La manipulación y el transporte dentro de la fábrica.
3. La distribución de los artículos acabados a todos los clientes.

El objetivo es llegar al concepto de solución total del problema del transporte, así como proyectar e implantar aquellas partes del sistema que sean factibles en el momento, mientras se continúa trabajando sobre otras fases del sistema para implantarlas según vaya siendo posible.

La amplitud que habrá de darse al concepto de sistema depende de la importancia del transporte en la empresa y las economías que se puedan obtener al intentar extender el

sistema de transporte hacia atrás, a las fuentes de los materiales, y hacia adelante, hasta la ubicación de los clientes. Tales interrelaciones se muestran en la figura siguiente del ciclo de flujo de materiales:

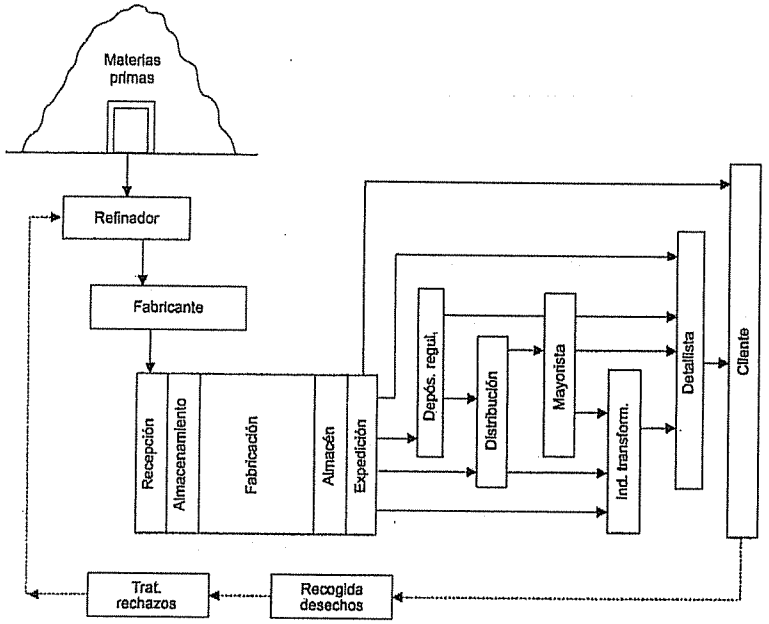


Figura 2.8. Interrelaciones del ciclo de flujo de materiales

El movimiento del material abarca el flujo total, tal como se muestra en esa figura, desde sus fuentes de la materia prima a la entrega del producto al cliente, y en algunos casos, incluye también los rechazos, desechos y artículos devueltos a través de canales apropiados y dentro del propio sistema.

Principios del movimiento de materiales

Como en muchos otros campos del esfuerzo humano, existen ciertos aspectos relativos al movimiento de los materiales que podrían ser indicados como principios fundamentales, los cuales han sido desarrollados a través de muchos años y, por lo tanto, representan la experiencia acumulada de muchos expertos en este tema. La siguiente lista de principios está basada en los propuestos por el College Industry Committee on Material, Handling Education:

1. Relativos a la planificación:

   a) *Principio de planificación*. Todas las actividades de movimiento de materiales deberán ser planificadas.
   b) *Principio de sistematización*. Planear un sistema integrante de tantas actividades de manipulación y transporte como sea práctico y coordinar el conjunto total de las operaciones (recepción, almacenamiento de materia prima, producción, inspección, embalaje, almacenamiento de productos acabados, expedición y transporte).
   c) *Principio de circulación del material*. Planificar una secuencia de las operaciones y una ordenación de los equipos que optimice la circulación del material.
   d) *Principio de simplificación*. Reducir o eliminar los movimientos y equipos innecesarios.
   e) *Principio de la gravedad*. Donde sea practicable, utilizar la gravedad para mover el material.
   f) *Principio de utilización del espacio*. Hacer óptima la utilización del volumen del edificio.
   g) *Principio de tamaño unitario*. Aumentar la cantidad, el tamaño y el peso de la unidad de carga a manipular.
   h) *Principio de seguridad*. Hacer que los métodos y equipos de manipulación sean seguros.

2. Relativos al equipo:

   a) *Principio de mecanización/automatización*. Siempre que sea posible, utilizar equipos de movimiento de materiales mecanizados o automatizados.
   b) *Principio de selección del equipo*. Al seleccionar los equipos, tener en cuenta todos los aspectos del material a manipular, el movimiento a hacer y los métodos a utilizar, tratando de reducir los gastos generales.
   c) *Principio de normalización*. Normalizar los métodos, así como los tipos y tamaños de los distintos equipos de manipulación.
   d) *Principio de flexibilidad*. Usar métodos y equipos que puedan realizar la mayor variedad de tareas y aplicaciones.
   e) *Principio del peso muerto*. Reducir al máximo el cociente del peso muerto del equipo a la carga útil.
   f) *Principio del movimiento*. Mantener en movimiento el equipo diseñado para el transporte de materiales.
   g) *Principio del tiempo de paro*. Reducir el tiempo de paro o tiempo improductivo, tanto del equipo de movimiento de materiales como de la mano de obra.
   h) *Principio del mantenimiento*. Planificar el mantenimiento preventivo y programar la reparación de todo el equipo de movimiento de materiales.
   i) *Principio de la obsolescencia*. Reemplazar los métodos y equipos de movimiento de materiales obsoletos cuando métodos y equipos más nuevos se amorticen en un tiempo razonable.

3. Relativos a las operaciones:

   a) *Principio de control*. Usar equipos para el movimiento de materiales, con la finalidad de mejorar el control de producción, el control de existencias y cualquier otra manipulación.
   b) *Principio de capacidad*. Usar equipos de manipulación para ayudar a alcanzar la capacidad total de producción.
   c) *Principio de eficiencia*. Determinar la eficiencia del movimiento de los materiales en función de los gastos por unidad manipulada.

Tanto el manejo de materiales como la distribución de la planta están estrechamente interrelacionadas. Por lo tanto, siempre que se busca el mejoramiento de la productividad, a través de mejoras en el sistema actual de manejo de materiales, se debe tener cuidado al evaluar los cambios esperados en la configuración de la distribución de las instalaciones, que a la vez pueden afectar uno o más de los cinco factores básicos de insumos en la expresión de la productividad total.

El efecto del mejoramiento de los sistemas de manejo de materiales sobre la productividad total no siempre es positivo, en particular cuando las inversiones de capital en equipo moderno es proporcionalmente más grande que los factores de insumo humano, material, de capital, energía y otros gastos.

Ejemplo 2.8: Una empresa de mensajería privada cambió su sistema de manejo de paquetes, hasta ahora manual, por un sistema semiautomático costoso, pero más eficiente. La producción mensual y los insumos antes y después de las mejoras al sistema de manejo de materiales son los siguientes (dólares constantes respecto del periodo 1):

Concepto	Antes Periodo 1	Después Periodo 2	Después Periodo 3
Producción paqs.	80,000	85,000	95,000
Precio por paquete	$5.00	$5.00	$4.50
Insumo humano	200,000	95,000	100,000
Insumo material	10,000	11,000	11,000
Insumo de capital	150,000	300,000	250,000
Insumo de energía	15,000	20,000	20,000
Insumo de otros gastos	5,000	6,000	5,000
Insumo total	380,000	432,000	386,000

Tabla 2.10. Producción mensual y los insumos antes y después de las mejoras al sistema de manejo de materiales

1. Determine el impacto del nuevo sistema de manejo de materiales sobre la productividad total de la empresa.

Calculando las productividades operacionales por periodo:

PTO_1 = 80,000 X $5 / $380,000 = 1.053

PTO_2 = 85,000 X $5 / $432,000 = 0.984

PTO_3 = 95,000 X $5 / $386,000 = 1.231

Cambio en PTO respecto del periodo 1, periodo 2 = -6.6, periodo 3 = + 16.9

Este ejemplo muestra que el sistema recién instalado de manejo de materiales para paquetes no mejoró de inmediato la productividad total operacional; de hecho, declinó en 6.6% antes de aumentar en 16.9%. La razón de esto fue que el alto coste de depreciación del equipo nuevo se elevó en forma drástica, aumentando a la vez el insumo total de capital (insumo de capital de trabajo + insumo de capital fijo) en 150,000 en el periodo 2. El nuevo equipo dio por resultado ahorros en el insumo humano de $105,000 en el periodo 2. En forma global, en el periodo 2, se incrementó $52,000 el insumo total, mientras que la producción total subió solo $25,000.

No obstante, en el período 3 el insumo de capital total se redujo $50,000, porque se usó un esquema de depreciación acelerada para prorratear el coste del insumo del nuevo equipo. Al mismo tiempo, el número de paquetes manejados aumentó al estabilizarse el proceso y los empleados se acostumbrarán más a trabajar con el nuevo sistema. El resultado neto es una ganancia de $95,000 en producción del periodo 3 para obtener una ganancia marginal de $6,000 en el insumo total, dando por resultado un incremento de 16.9% en la productividad total operacional. Gracias a esta ganancia, la compañía disminuyó el precio de su servicio de $5/paquete a $4.50/paquete. Este es un caso en que la empresa intenta pasar a los clientes las ganancias en la productividad.

2.3.2 Control de sistemas de producción

El control de inventarios, de producción y de calidad implica combinaciones de enfoques cualitativos y cuantitativos para elevar al máximo la utilidad económica de un sistema productivo. En seguida se mencionan brevemente algunas de las técnicas de Ingeniería Industrial que se aplican con este objeto.

CONTROL DE INVENTARIOS

El control de inventarios se ocupa de dos problemas básicos: cuándo ordenar y cuánto ordenar. Un sistema de control de inventarios efectivo logrará lo siguiente:

- Asegurar que se disponga de bienes y materiales suficientes.
- Identificar el exceso de productos y los artículos con una rotación rápida o lenta.
- Proporcionar a la administración informes exactos, concisos y a tiempo.
- Incurrir en el menor coste posible al cumplir con las tres tareas anteriores.

Un sistema de control de inventarios completo incluye mucho más que un simple modelo de inventarios. Un sistema de este tipo debe incluir las seis áreas siguientes:

1. Desarrollo de pronósticos de demanda, manejo de los errores de pronóstico.
2. Selección de modelos de inventarios.
3. Medición de los costos de inventarios (almacenamiento, faltantes, órdenes).
4. Métodos para registrar y llevar la cuenta de los artículos.
5. Métodos para recibir, manejar, almacenar y dar salida a los artículos.
6. Procedimientos de información para comunicar excepciones.

Los grados de complejidad, precisión y sofisticación de los modelos de inventarios no contribuirán por sí solos a resolver la operación eficiente de un sistema de control de inventarios, a menos que la información para alimentar tales modelos esté disponible a un coste aceptable. En muchas situaciones, se evitan sistemas de control complejos debido a la falta de datos exactos y recientes. De nuevo debe hacerse hincapié en que las seis áreas vitales que se enumeraron son importantes para que un sistema de control de inventarios dé por resultado ganancias en la productividad.

Tipos de sistemas de control de inventarios

Aunque es difícil clasificar los sistemas de control de inventarios de una manera clara y sin ambigüedades, se puede hacer la distinción entre los sistemas que más se usan.

Clasificación de sistemas de inventarios

A. Sistemas de tamaño de orden fijo (basados en la cantidad)
Cantidad ordenada fija, periodo de revisión variable. Por lo general, se aplica a artículos terminados:
i. Sistema perpetuo
ii. Sistema de dos depósitos

B. Sistemas de intervalo de orden fijo (basados en el tiempo)
Periodo de revisión fijo, cantidad a ordenar variable. Por lo general, se aplica a productos terminados
i. Sistema periódico
ii. Sistema de reabastecimiento opcional

C. Sistemas de cantidad a ordenar derivada (basada en la producción)
La cantidad a ordenar es variable. El periodo de revisión puede ser fijo o variable.
Se aplica a materiales y componentes que se usan para producir un artículo final
i. Sistema de requerimiento de materiales.

Los sistemas basados en la cantidad se verifican de manera continua con cada demanda para determinar si debe colocarse una orden. Los sistemas basados en el tiempo utilizan la cuenta periódica de lo almacenado (por ejemplo, en días preestablecidos para revisión). En los sistemas basados en la producción se hacen pedidos únicamente siguiendo los programas planeados.

En seguida se hará una breve presentación de estos cinco sistemas de control de inventarios.

Sistema de inventarios perpetuo (continuo). Con este sistema, siempre que el inventario baja al punto de reorden o más se coloca un pedido por una cantidad igual a la cantidad ordenada (EOQ). La figura 2.9 muestra las fluctuaciones del inventario del sistema perpetuo.

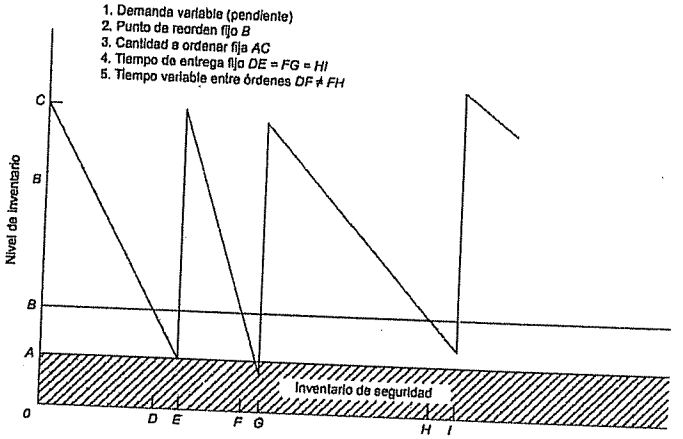


Figura 2.9. Fluctuaciones de un sistema perpetuo de inventario

Las ventajas de este sistema son las siguientes:

1. Tamaño de la orden significativo y eficiente.
2. Inventario de seguridad necesario solo para los periodos de entrega.
3. Relativamente poca sensibilidad a los cambios en el pronóstico y los parámetros.
4. Menos atención a los artículos de baja rotación.
5. Excelente para artículos de alto coste.

Las desventajas del sistema son las siguientes:

1. Si los administradores no dedican tiempo al estudio de los niveles de inventario de los artículos individuales, las cantidades a ordenar tienden a ser establecidas por los encargados.
2. Los puntos de reorden, las cantidades a ordenar y los inventarios de seguridad pueden no estudiarse de nuevo ni mortificar durante años.
3. Los retrasos para iniciar las transacciones pueden hacer que el sistema sea ineficiente.
4. Los errores de los encargados al realizar las transacciones pueden anular la validez del sistema.
5. Un gran número de órdenes independientes pueden dar por resultado altos costos de transporte y flete.
6. Deben abandonarse pedidos grandes y combinados, por los que con frecuencia se obtienen descuentos de los proveedores con base en el valor del dinero.
7. El sistema perpetuo requiere un encargado del inventario, registros diarios, comprobantes de material que sale y se recibe y un almacén cerrado o vigilado.

Sistema de inventarios de dos depósitos. Es una versión simplificada del sistema perpetuo y tiene las siguientes ventajas:

1. Se reduce el papeleo en forma considerable.
2. No se llevan registros de cada transacción.
3. El punto de reorden se determina por observación visual (cuando se acaba el inventario en un depósito se coloca una orden y en adelante la demanda se satisface del segundo depósito).
4. El sistema se puede operar aun con un solo depósito usando las marcas apropiadas.
5. Es adecuado para artículos de poco valor, de uso más o menos continuo y con tiempos de entrega cortos (por ejemplo, material de oficina, tuercas, tomillos, rondanas, etcétera).

Sistema de inventarios periódico. En este sistema, a diferencia del sistema perpetuo, se verifica la posición del inventario solo a intervalos específicos. En la figura 2.9 se muestra el comportamiento del inventario con este sistema.

Las desventajas son las siguientes:

1. Se requieren inventarios de seguridad más grandes que con el sistema perpetuo, ya que este inventario debe absorber las fluctuaciones de la demanda tanto en el periodo de revisión como en el de entrega, mientras que en el sistema de inventanos perpetuo el inventario de seguridad solo absorbe las fluctuaciones de demanda durante el tiempo de entrega.
2. El inventario de seguridad adicional hace que este sistema sea más costoso que el perpetuo, a menos que las ventajas de los descuentos y los menores costos de transporte compensen los costos de mantener los artículos adicionales.

Sistema de inventarios de reabastecimiento opcional. Este sistema también se conoce como el sistema mín-máx. Es un híbrido entre el sistema perpetuo y el

periódico. También se le conoce como sistema *(s, S)* (en la notación que aquí se usa, B = s, *E* = S).

En este sistema, se revisan los niveles de inventario a intervalos regulares, pero no se hacen pedidos hasta que el nivel baja a un punto de reorden predeterminado. La figura 2.10 muestra el comportamiento del sistema para un solo artículo.

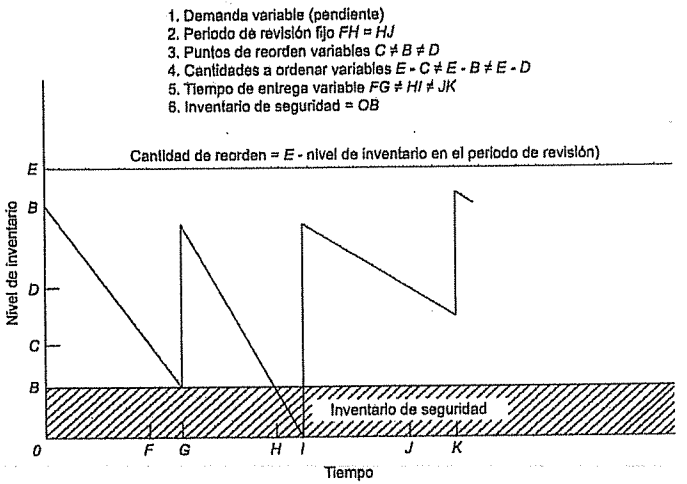


Figura 2.10. Sistema de inventarios de reabastecimiento opcional

Sus ventajas son:

1. Es posible que se obtenga una reducción en los costos de ordenar debido a que los artículos se procesan en una sola orden.
2. Vaciar varios artículos en una sola orden hace posible obtener los descuentos de los proveedores.
3. Los costos de envío pueden reducirse mucho con la orden múltiple.
4. Es adecuado cuando son pocos los proveedores o cuando la fuente de abastecimiento es un almacén central.

Las desventajas son las siguientes:

1. Se requieren inventarios de seguridad más grandes que con el sistema perpetuo, ya que este inventario debe absorber las fluctuaciones de la demanda tanto en el periodo de revisión como en el de entrega, mientras que en el sistema de inventanos perpetuo el inventario de seguridad solo absorbe las fluctuaciones de demanda durante el tiempo de entrega.

2. El inventario de seguridad adicional hace que este sistema sea más costoso que el perpetuo, a menos que las ventajas de los descuentos y los menores costos de transporte compensen los costos de mantener los artículos adicionales.

Sistema de inventarios de reabastecimiento opcional. Este sistema también se conoce como el sistema mín-máx. Es un híbrido entre el sistema perpetuo y el periódico. También se le llama sistema *(s, S)* (en la notación que aquí se usa, B = s, *E = S).*

En este sistema, se revisan los niveles de inventario a intervalos regulares, pero no se hacen pedidos hasta que el nivel baja a un punto de reorden predeterminado. La figura 2.11 muestra el comportamiento del sistema para un solo artículo.

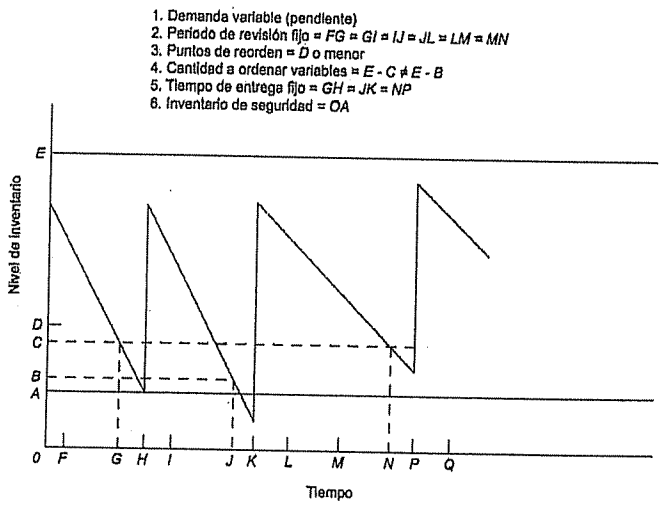


Figura 2.11. Sistema de inventarios de reabastecimiento opcional (mín-máx) para un solo artículo

El máximo nivel de inventario E se establece para cada artículo, pero si en el día de la revisión el nivel se encuentra por encima del punto de reorden no se hacen pedidos; de lo contrario, se coloca una orden. La cantidad a ordenar será el máximo nivel de inventario menos el nivel del mismo al momento de la revisión.

El sistema de reabastecimiento opcional es definido por tres parámetros: longitud del periodo de revisión (t), el nivel máximo de inventario (E) y el punto de reorden *(B).*

Las ventajas de este sistema son las siguientes:

1. Los pedidos se pueden hacer por cantidades eficientes, reduciendo con ello los costos de ordenar (se colocan menos órdenes, pero más grandes).

2. Incorpora las mejores características de los sistemas perpetuo y periódico.

La desventaja es:

1. Los inventarios de seguridad son altos, ya que deben satisfacer las fluctuaciones de la demanda durante dos periodos más un tiempo de entrega.

Sistema de inventarios de planeación de requerimientos de materiales (MRP). Este sistema funciona de atrás hacia adelante a partir de las fechas de terminación de los productos finales o de los ensambles mayores, para determinar las fechas y cantidades de las componentes y materiales que deben ordenarse. El sistema es adecuado cuando:

a) se conoce de antemano la demanda específica de un artículo y
b) la demanda de cierto artículo depende de manera predecible de la demanda de otros artículos.

La planeación de requerimientos de materiales (MRP) ha sido una técnica popular para el control administrativo de las operaciones de manufactura. Sin embargo, a menos que el sistema MRP se planee con todo detalle antes de su instalación, el gasto, el tiempo y el esfuerzo pueden parecer demasiado altos.

MRP es otro término que no está definido con claridad, en particular si lo manejan los no profesionistas. No es solo una lista de explosión de materiales para obtener los requerimientos de materiales con sus tiempos, con la finalidad de que los pedidos se hagan dentro de los tiempos de entrega adecuados. Más bien, el MRP es una técnica de planeación y control administrativo, cuya función de procesamiento inicial es trabajar de atrás para adelante a partir de las cantidades planeadas y de las fechas de terminación para los productos finales, dentro de un programa maestro de producción para determinar qué y cuándo deben ordenarse las componentes individuales.

Algunas veces se hace referencia al MRP como la "planeación de requerimientos por etapas", porque "por etapas" implica trabajar con los requerimientos hacia atrás basándose en los tiempos de entrega de cada artículo.

Aunque cualquier empresa que desee llevar un mejor control de las prioridades y la capacidad de los materiales puede usar el MRP, pues el sistema es ideal para compañías que fabrican ensambles complejos. Entonces, el MRP puede ser muy efectivo en las industrias farmacéutica, textil y química, que no tienen operaciones de "ensamble", pero la técnica resulta muy poderosa en las industrias automotriz, electrónica y otras del tipo ensambladoras.

El MRP trabaja con los tres datos siguientes:

1. La demanda de los artículos terminados (un artículo terminado puede ser un producto final, un producto modular o un ensamble mayor) se programa para cierto número de periodos y se registra en un programa maestro de producción.

El programa maestro nos dice cuántos artículos y cuándo se necesitan. Se desarrolla a partir de los pronósticos y los pedidos de los clientes. Debe proyectar un plan realista de producción para ajustar la capacidad disponible. El programa maestro no es lo mismo que el pronóstico porque: *a*) El pronóstico puede exceder la capacidad de la planta, *b*) puede ser conveniente aumentar o disminuir los niveles de inventario o *c*) el pronóstico puede fluctuar mientras que la empresa decide operar de manera uniforme usando el inventario como compensador.

2. Los registros de las listas de materiales que también se conocen como "registros de estructura del producto" contienen la lista de materiales para el producto final en niveles que representan la forma en que de hecho se producen: desde la materia prima hasta los productos terminados pasando por los subensambles y los ensambles. La lista de materiales se guarda en un archivo de datos en una computadora.

3. Los "registros del estado del inventario" son la tercera fuente de datos para el MRP. Contienen los últimos saldos de artículos en inventario, los pedidos por surtir, los tamaños de lotes, los tiempos de entrega y los inventarios de seguridad.

A partir del programa maestro de producción para los productos finales, el MRP determina las cantidades brutas de componentes que se requieren usando los registros de estructura del producto (lista de materiales), en donde esas cantidades se obtienen haciendo una "explosión" de los registros de estructura de los artículos finales hasta el nivel más bajo de requerimientos. En seguida, con los registros del estado del inventario se determinan las cantidades netas restando las cantidades disponibles en inventario de los requerimientos brutos. Por último, se determinan "por etapas" los tiempos en que las componentes deben estar disponibles según los tiempos de entrega de cada artículo.

El MRP produce una "relación de órdenes planeada" para que se preparen las órdenes de compra, las órdenes de trabajo y los avisos de reprogramación.

El MRP es una herramienta de planeación y programación excelente que puede evitar faltantes y sobrantes al predecir. Sirve para intentar minimizar el coste de la inversión en inventario. Asimismo, mantiene las prioridades de las órdenes actualizadas.

Ejemplo 2.9: Una empresa requiere 190 unidades de uno de sus productos finales dentro de tres semanas, 310 unidades del producto dentro de 10 semanas y 250 unidades dentro de 14 semanas. Se tienen 40 unidades en inventario y están programadas 220 unidades para salir dentro de dos semanas. El producto J es un ensamble, cuya lista de materiales revela que está compuesto de tres componentes.

Se necesitan tres semanas para terminar la actividad de ensamble relativa a cualquier pedido.

La primera componente K se fabrica y cada ensamble tiene dos de ellas. Se cuenta con 100 componentes, están programadas 300 para dentro de cuatro semanas y 375 más dentro de nueve semanas. Se necesitan cinco semanas para producir un lote de la componente.

La segunda componente L se compra y cada ensamble tiene tres de ellas. No se cuenta con unidades en el inventario. Sin embargo, se recibirán 500 componentes dentro de cinco semanas y una entrega final de 500 componentes dentro de nueve semanas. El tiempo de entrega de esta componente es de cuatro semanas.

La tercera componente M se fabrica y cada ensamble contiene una. Hay 65 unidades en inventario, pero aún no se tiene nada programado. El tiempo de entrega para la producción de esta componente es de cuatro semanas.

Se requiere desarrollar, como parte del MRP, una relación de órdenes programadas para el producto final y sus componentes.

Solución:

1. Se prepara una lista de materiales de acuerdo con los datos que se tienen:

Nivel	Cantidad	Nombre
0	1	Producto final (ensambke *J*)
1	2	Componente *K* (fabricada)
1	3	Componente *L* (comprada)
1	1	Componente *M* (fabricada)

Tabla 2.11. Lista de materiales para el ensamble J

2. Se elaboran los cálculos de MRP presentando los resultados en la tabla siguiente:

Producto final	(Ensamble *J*)									Tiempo de entrega = 3 sem				
	Semana													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Requerimiento bruto			190							310				250
Recibos programados		220												
En inventario	40	40	260	70	70	70	70	70	70	70	0	0	0	0	0
Requerimiento neto				0										250
Relación de órdenes							[240]				[250]			
Componente *K*	(se requieren dos)									Tiempo de entrega = 5 sem				
Requerimiento bruto							480				500			
Recibos programados				300					375					
En inventario	100	100	100	100	400	400	400	0	0	375	375	0	0	0	0
Requerimiento neto							80				125				
Relación de órdenes		[80]				[125]									
Componente *L*	(se requieren tres)									Tiempo de entrega = 6 sem				
Requerimiento bruto							720			720				
Recibos programados		500			500				500					
En inventario	0	500	500	500	500	1000	1000	280	280	780	780	30	30	30	30
Requerimiento neto								0				0			
Relación de órdenes					N O N E										
Componente *M*	(se requiere una)									Tiempo de entrega = 4 sem				
Requerimiento bruto							240				250			
Recibos programados														
En inventario	65	65	65	65	65	65	65	0	0	0	0	0	0	0	0
Requerimiento neto								175		250					
Relación de órdenes			[175]				[250]								

Tabla 2.12. Cálculos del MRP para el ejemplo 2.9

ADMINISTRACIÓN DE MATERIALES

La administración de materiales se compone de todas las funciones relacionadas con los materiales, tales como compras, transporte, logística, control de producción, inventario y a veces hasta calidad.

La complejidad de los productos y procesos actuales necesita una técnica formal como la de administración de materiales para mejorar la productividad total en las plantas de manufactura, en la instalación de abastecimiento y en los almacenes de distribución. El

amplio horizonte de la administración de materiales ayuda a integrar las funciones de compra, almacenaje, manufactura y distribución, y lo hace mediante sistemas de información controlados por computadora. La complejidad de proceso de administración de materiales en una empresa depende del tipo de producto, los niveles de calidad y confiabilidad demandados, el porcentaje del producto que se fabrica dentro de la empresa y el porcentaje del producto que se obtiene de los proveedores, las capacidades de almacén para componentes compradas y fabricadas, para subensambles y productos terminados, del nivel de conocimientos de los usuarios del sistema de administración de materiales, etcétera.

Es obvio que determinar el impacto de la administración de materiales sobre la productividad total no es una tarea sencilla, debido al traslape natural de los elementos en cuestión.

Lista de algunas de las actividades primordiales que implica:

1. Selección de los componentes y subensambles que se habrán de comprar fuera (ya sea de otra planta o división de la misma empresa o de otros vendedores/proveedores), y de los que deben fabricarse.
2. Determinación de las capacidades de producción y abastecimiento de las instalaciones internas y de las fuentes externas para cumplir con los requerimientos especificados.
3. Coordinación del abastecimiento de componentes y subensambles a tiempo.
4. Control de inventarios de materias primas y componentes semiterminadas.
5. Planeación y control del movimiento de toda la materia prima, trabajos en proceso y productos terminados.

Ejemplo 2.10: El año pasado, un fabricante de electrodomésticos puso un sistema formal de administración de materiales en sus instalaciones que trabajan desde hace cinco años. La productividad total antes de instalar el sistema era de $1.110/dólar en términos de dólares constantes respecto del año 1. Este año (año 6), la empresa mostró un mejoramiento en su productividad total del 10% sobre la del año pasado, debido principalmente al sistema de administración de materiales. Se proyecta la misma tasa de crecimiento en la productividad total para los próximos cuatro años. Se planea instalar un sistema MRP completo dentro de ocho años, pero este sistema en realidad tendrá un impacto negativo de 3% en la productividad total en los primeros dos años después de su instalación por el alto coste de ponerlo en marcha, aunque después de los dos años se espera una ganancia en la productividad total a una tasa de 5% anual.

¿Cuáles serán los niveles de productividad total del año 6 al 12?

Como el impacto del sistema MRP ocurre en el año 8, primero se calculan los valores de la productividad total para los años 6 y 7. Al 10% de mejoramiento anual,

PT(6) = PT(5) X 1.10 = 1.110 X 1.1 = $1.221 /dólar

PT(7) = PT(6) X 1.10 = 1.221 x 1.1 = $1.343 /dólar

En los años 8 y 9, si bien el sistema de administración de materiales tendrá un impacto positivo del 10% anual, se espera que el MRP tenga un impacto negativo del 3% por año. El efecto neto es +7% para estos dos años.

PT(8) = 1.343 x 1.07 = $1.437 / dólar

PT(9) = 1.437 X 1.07 = $1.538 / dólar

Como del año 10 en adelante, el efecto positivo combinado de la administración de materiales y el MRP es 15% anual,

PT(10) = 1.538 x 1.15 = $1.768 /dólar

PT(11) = 1.768 x 1.15 = $2.034 /dólar

PT(12) 2.034 x *1. 15* $2.339 /dólar

EL ANÁLISIS ABC

Debido a que puede haber varios cientos de miles de transacciones de inventario cada año, aun en empresas medianas es poco económico y quizás improductivo aplicar un sistema detallado de control de inventarios a todos los artículos que se almacenan. El análisis ABC ayuda a clasificar los artículos en tres categorías: A, B y C, en donde A representa artículos de alto valor, B artículos de valor medio y C los de valor bajo. De esta manera, es posible llevar un estricto control de inventario sobre los artículos A, un control moderado sobre los artículos B y poco control sobre los artículos C. Así, el análisis ABC separa esos "pocos vitales" de los "muchos triviales". En la figura 2.12 se muestra un análisis ABC común. Los artículos A representan entre el 15% y el 20% del total de artículos, mientras que significan entre el 75% y el 80% del valor total del inventario. Los artículos B significan entre el 10% y el 15% del valor del inventario y representan de 20% a 25% de los artículos. Los artículos C tienen un valor del 5% al 10% del valor total, pero suman entre 60% y 65% del número de artículos. Debe observarse que el análisis ABC es solo una clasificación arbitraria. Considérese que se pueden hacer más grupos o divisiones.

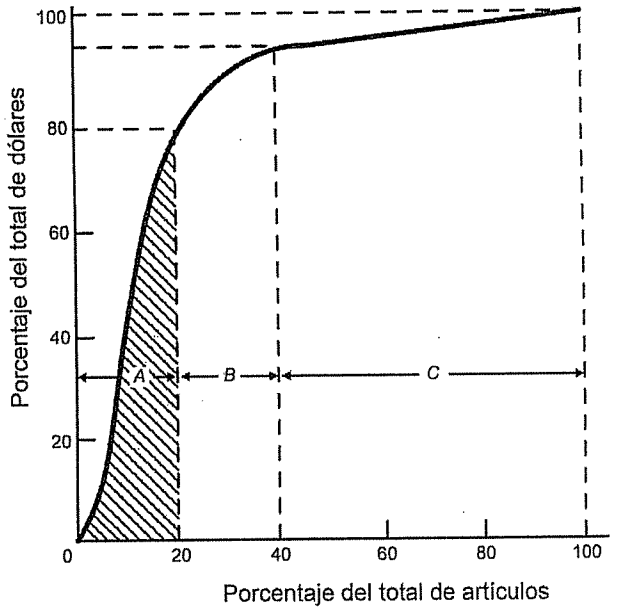


Figura 2.12. Clasificación ABC de inventarios

El análisis ABC fue diseñado primordialmente para artículos finales que se caracterizan por una demanda independiente de la de otros artículos finales. Por ello, no se aplica a artículos de demanda dependiente que se controlan mediante un sistema MRP.

También debe hacerse hincapié en que, antes de clasificar los artículos en categorías arbitrarias, deben tomarse en cuenta otros factores distintos a los financieros; a saber:

- Problemas para obtener un artículo (tiempos de entrega largos e impredecibles).
- Posibilidades de robo.
- Dificultades para obtener pronósticos (grandes cambios en la demanda)
- Vida corta en almacén (debido a deterioro y obsolescencia).
- Requerimientos de espacio de almacén muy grande (muy engorroso).
- Operacionalmente el artículo es crítico.

Ejemplo 2.11: Una pequeña empresa inventaría solo diez artículos, pero ha decidido establecer un sistema de inventarios ABC con 20% de artículos A, 30% de artículos B y 50% de artículos C. Los registros de la empresa proporcionan la información que se muestra en la tabla 2.13. Reorganizando la información se pueden obtener las tablas 2.14 y 2.15.

Artículo	Uso anual	Costo	Uso en dólares anuales	Jerarquía
G - 1	40 000	$ 0.07	2 800	5
G - 2	195 000	0.11	21 450	1
G - 3	4 000	0.10	400	9
M - 1	100 000	0.05	5 000	3
M - 2	2 000	0.14	280	10
M - 3	240 000	0.07	16 800	2
M - 4	16 000	0.08	1 280	6
P - 1	80 000	0.06	4 800	4
P - 2	10 000	0.07	700	7
P - 3	5 000	0.09	450	8
			$ 53 960	

Tabla 2.13. Artículos principales de una pequeña empresa

Artículo	Uso en dólares anuales	Uso en dólares acumulados	Porcentaje acumulado	Clase
G - 2	$ 21 450	$ 21 450	39.8	A
M - 3	16 800	38 250	70.8	A
M - 1	5 000	43 250	80.2	B
P - 1	4 800	48 050	89.0	B
G - 1	2 800	50 850	94.2	B
M - 4	1 280	52 130	96.6	C
P - 2	700	52 830	97.9	C
P - 3	450	53 280	98.7	C
G -3	400	53 680	99.5	C
M - 2	280	53 960	100.0	C

Tabla 2.14. Clasificación ABC de los artículos principales de una pequeña empresa

Clase	Dólares por grupo	Porcentaje de artículos	Porcentaje de uso de dólares
A = G - 2, M - 3	$ 38 250	20	70.9
B = M - 1, P - 11, G - 1	12 600	30	23.4
C = todos los demás	3 110	50	5.7

Tabla 2.15. Porcentajes de artículos y de dólares por tipo de artículo

CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad se ocupa del diseño, la medición y el control de la calidad de la materia, los componentes, los subensambles y los productos o servicios terminados.

El control de calidad es un sistema eficiente para el creciente trabajo dedicado al desarrollo, mantenimiento y mejoramiento de la calidad de los distintos grupos dentro de una organización que permite que la producción y los servicios se realicen en los niveles más económicos que lleven a la satisfacción completa del cliente [Feigenbaum 1970].[14]

Tres aspectos de la calidad son importantes:

1. Calidad del diseño
2. Calidad del cumplimiento
3. Calidad del desempeño

La calidad del diseño de un producto o servicio se establece mediante la especificación del nivel, grado o estándar de la calidad. Depende del uso que se intente dar al producto o servicio. No todos los productos o servicios se diseñan con un alto nivel de calidad debido al trueque que debe hacerse entre el coste y el valor (figura 2.13).

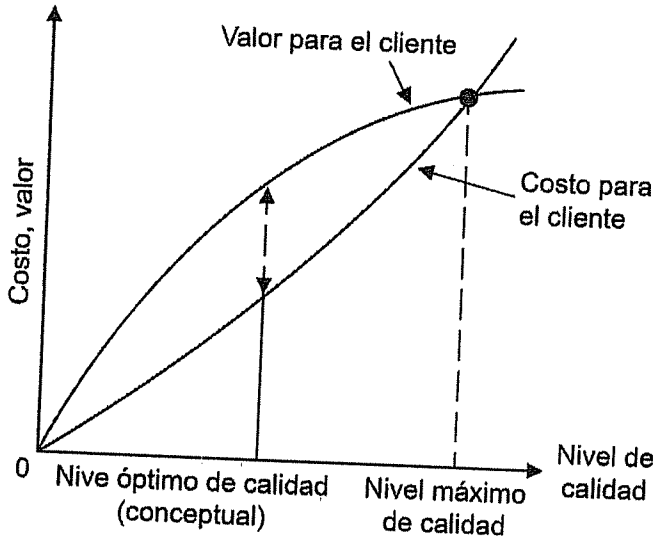


Figura 2.13. Valor y coste de calidad para el cliente

A un nivel de calidad cero y al nivel de calidad máximo ocurren dos extremos respecto de la satisfacción del cliente y a los costos de producción. En el nivel óptimo de calidad el beneficio es máximo tanto para el cliente como para el fabricante. Aquellos que diseñan un producto o servicio en una organización pueden usar el concepto para desarrollar las especificaciones que logren ese nivel óptimo.

Pongamos por ejemplo una navaja de rasurar. Existen varias características de calidad que deben especificarse para lo que puede parecer un producto sencillo. Longitud, ancho, grueso, ángulo de corte, dureza y terminado de la superficie son unas cuantas de muchas características que habrán de establecerse para cumplir con cierto nivel de calidad en el diseño mismo. Establecer los niveles de calidad deseados depende de factores que incluyen aspectos sociales, legales y políticos, económicos y tecnológicos, así

que no es una decisión fácil, pero de cualquier manera debe tomarse en cada producto o servicio que ofrece una empresa.

La calidad del cumplimiento se refiere al grado en el que se satisfacen las especificaciones de la calidad del diseño al fabricar el producto o al proporcionar el servicio.

Tomando de nuevo el ejemplo de la navaja de rasurar, si se cumplen todas las especificaciones en la manufactura, la calidad del cumplimiento será alta.

Considérese otro ejemplo, el de una organización de servicio como un hospital. Si uno de los servicios que el hospital ofrece es, digamos el servicio de urgencia para pacientes, supongamos que la calidad del diseño se estableció como alta si se cumple con las siguientes especificaciones:

1. Deben atenderse todo tipo de urgencias.
2. La ambulancia del hospital debe responder a un llamado de emergencia dentro de los siguientes tres minutos.
3. Los primeros procedimientos de urgencia debe ser administrados dentro del primer minuto en que se recibe al paciente.

Si el hospital estudia el desempeño de esta sala de urgencias durante un mes y descubre que las tres especificaciones anteriores se cumplen al 95% del tiempo, esto habrá de implicar un cumplimiento de la calidad relativamente bueno.

La calidad del desempeño, o confiabilidad, se controla mediante pruebas de vida útil sobre una muestra de la producción. El equipo de defensa, como misiles, cohetes y vehículos espaciales, son los artículos que más son sometidos a pruebas exhaustivas de vida útil. Los motores de automóviles y aviones son otros ejemplos. De hecho, siempre que se desee que el desempeño sea alto todo el tiempo con la mayor probabilidad de funcionamiento exitoso, la calidad del desempeño se vuelve importante. Por ejemplo, los focos están diseñados para ciertas lámparas, watts y horas de operación. Las pruebas de vida útil sobre una muestra de los focos ayudan a determinar la probabilidad de que operen con éxito durante el tiempo establecido. Los circuitos integrados y los módulos en televisores, juegos electrónicos, computadores y otros también se diseñan y prueban para que cumplan con cierto nivel de contabilidad.

Para tener acceso a la calidad del cumplimento es necesario medirla, lo cual se logra por inspección, que puede ser de dos formas básicas: inspección del 100% e inspección por muestreo.

Siempre que se inspeccionan todos los artículos (materias primas, componentes, subensamble o productos terminados), se hace una inspección del 100%. Es evidente que ésta es una forma costosa de detectar el incumplimiento con las especificaciones, aunque puede ser que psicológicamente llame la atención a aquellos que son responsables de los defectos.

La inspección por muestreo se hace verificando una o varias muestras de un lote de producción. Un nombre formal de la inspección por muestreo es *muestreo de aceptación.*

El muestreo de aceptación se realiza por *atributos o variables.* El muestreo de aceptación por atributos implica una decisión como seguir o no seguir, bueno o malo, sí o no, defectuoso o no defectuoso. Ejemplos de esto son la verificación de carnes, legumbres, fruta, terminado de muebles, fotografías, piezas de hardware y papel para escribir. El muestreo de aceptación por variables requiere mediciones reales. Por ejemplo, la longitud, el grueso y el diámetro de un pistón; el terminado de la superficie y la dureza de un cigüeñal; el paso de un engrane. ¿Puede aplicarse el muestreo de aceptación, tanto por atributos como por variables, a un mismo artículo? La respuesta es sí. Por ejemplo, la longitud de un tornillo metálico se llega a verificar con un calibrador de Vernier; esto es inspección por variables. Con un calibrador de hilos es posible verificar los pasos, el diámetro y la aspereza del tornillo.

Lo anterior es inspección por atributos. Si el lado de aceptación del calibrador recibe el tornillo y el otro lado lo rechaza, se considerará que tiene las especificaciones correctas. De lo contrario, el tornillo se rechazará.

El muestreo de inspección por atributos en general se hace primero diseñando un *plan de muestreo.* Algunos de los planes de muestreo más comunes en los libros son los siguientes:

1. *Plan de muestreo sencillo,* en el que se toma una muestra de tamaño n al azar de un lote. El número de productos defectuosos x en esta muestra se compara con el número de productos defectuosos c aceptables. Si $x < c$, el lote se acepta; *si* $x > c$, entonces el lote se rechaza.
2. *Plan de muestreo doble,* en donde se toma una muestra de tamaño n de un lote. Si contiene c_1 productos defectuosos o menos, se acepta; si contiene más de c_2 defectuosos, se rechaza; si el número de defectuosos es mayor que c_1, pero no más de c_2, se toma una segunda muestra de tamaño n_2. Si en las muestras combinadas, el número de defectuosos es c_3 o menos, el lote se acepta. En caso contrario, se rechaza. El plan de muestreo doble puede reducir la cantidad total de inspección, en comparación con el plan de muestreo sencillo. Además, proporciona una ventaja psicológica al dar al lote una segunda oportunidad.
3. *Plan de muestreo múltiple,* que es una extensión del muestreo doble en el que se pueden tomar muchas muestras, si es necesario.
4. *Plan de muestreo secuencial,* que requiere la observación de artículos de un lote, uno a la vez. La secuencia de muestras es tal que el número de muestras se determina por completo según el resultado del proceso de muestreo. Se cuenta con varios planes de muestreo secuencias.
5. *Planes de muestreo continuo,* los cuales difieren de los anteriores en que se aplican a un flujo de artículos y no a lotes.

Una base teórica excelente de estos planes se encuentra en el libro de Duncan [1965]. [15] El Military Standard 105D es un catálogo de los planes de muestreo por atributos para los diferentes niveles de calidad, que es uno de los estándares mejor conocido y usado con más frecuencia en el muestreo por atributos.

En el muestreo de aceptación por variables, como ya se mencionó, se lleva a cabo la medición real de las características y con base en ella se aceptan o rechazan de los lotes. El Military Standard 414 es un catálogo de los planes de muestreo por variables para obtener el plan de muestreo cuando se conoce el nivel de calidad aceptable.

El *control de calidad estadístico* es una técnica comprobada para controlar la calidad de los artículos. Las *cartas de control* son un medio importante para lograr el control estadístico de la calidad. De hecho, se dice que el control estadístico de calidad es una de las principales razones del éxito de la calidad japonesa. Deming y Juran fueron de Estados Unidos a Japón a principios de la década de 1950 a impartir cursos sobre control estadístico de calidad. Los japoneses pusieron en práctica en seguida lo que aprendieron en estos cursos e incluso instituyeron el más alto honor otorgado por calidad con el nombre de Deming. Las empresas japonesas trabajan mucho para ganar el Premio Deming cada año.

Una carta de control es una herramienta gráfica que se usa como ayuda para alcanzar un estado de control estadístico al identificar cuando una causa asignable produce una variabilidad excesiva, ya sea muy alta o muy baja. Una vez que se detectan las causas asignables y se toman medidas para eliminarlas, la carta de control se usa para detectar cualquier variación poco usual que casi siempre es el resultado de una causa asignable recién introducida.

Las cartas se han utilizado ampliamente en procesos de control. Están disponibles ya sea por variables (carta-R, carta-x) y por atributos (cartas-p, cartas-c). La aplicación de las cartas de control es mucho más fuerte que para el proceso de control. Es posible aplicarlos en cualquier sistema que deba mantener un control estadístico. Por ejemplo, se pueden utilizar para determinar si el número de órdenes que se surten cada dos horas en un almacén está dentro del control estadístico o no; si no lo está, una de las razones sería un gran número de órdenes atrasadas. Otro ejemplo es el uso de cartas de control en el trabajo de reparación de un técnico. Si un técnico que trabaja para una empresa que instala computadoras quiere determinar si las descomposturas en las instalaciones de los clientes se deben al cliente o a la computadora en sí, llega a establecer cartas de control. En general, las cartas de control se suelen emplear siempre que tengan que determinarse las causas de que un operador, una máquina o un sistema no se encuentren bajo control estadístico.

Por su naturaleza, las personas siempre quieren realizar un trabajo de alta calidad. Una manera de motivar a los empleados es enseñarles a controlar la calidad de su trabajo por sí mismos. Tener un gran departamento de inspección y aseguramiento de la calidad con muchos empleados que verifiquen el trabajo hecho, no mejora la calidad a un coste razonable. Prevenir la generación de "rechazos" o productos defectuosos debe ser el objetivo, ¡no detectarlos! Fabricar un producto o dar un servicio correctamente desde la primera vez puede significar ahorros de miles y aun de millones de dólares. Lo anterior puede tener también un impacto importante en la productividad total.

El control de calidad debe ser una parte esencial de toda organización. La administración y los empleados en todos los niveles deben tener conciencia, adquirir un compromiso y ponerlo en práctica día a día, no solo cuando llegan las quejas de los clientes o cuando la competencia se vuelve dura. La continuidad de este compromiso con la calidad otorgará beneficios a la larga.

El siguiente ejemplo se presenta con la finalidad de mostrar el efecto del control de calidad sobre la productividad total.

Ejemplo 2.12: La compañía ABCD fabrica un producto que prácticamente no ha tenido competencia en el mercado interno durante los últimos 20 años. Ha podido vender el producto con un alto margen de utilidad hasta hace poco que dos fabricantes extranjeros del mismo producto iniciaron la competencia. Estos últimos han podido vender su producto en el mercado interno de la ABCD porque tienen altas calidad y confiabilidad, lo que parece agradar a los clientes.

Realmente preocupados por la pérdida de su porcentaje de mercado, los administradores de la ABCD hacen un autoexamen de sus niveles de calidad y concluyen en seguida que un sistema de control de calidad global es esencial para volver a captar ese porcentaje de mercado.

Durante seis meses, la compañía instala un programa global de reforzamiento de la calidad. Los insumos y la producción, antes y después del sistema de control de calidad, se establecieron como sigue:

	(1) El mes anterior a la instalación del sistema de control de calidad	(2) El mes siguiente a la instalación del sistema de control de calidad
Producción física total	1000 unidades	1300 unidades
Precio de venta unitario	$ 10 / unidad	$10 / unidad
Insumo humano	3 000	3 100
Insumo material	2 000	2 500
Insumo de capital	4 000	5 000
Insumo de energía	1 000	1 100
Insumo de otros gastos	500	600

Tabla 2.16. Insumos y la producción antes y después del sistema de control de calidad

Determínese el impacto del control de calidad sobre la productividad total operacional de la compañía ABCD. Supóngase que los valores en dólares en la columna (2) están en términos constantes respecto del periodo base columna (1). Denótese la productividad total operacional antes y después de instalar el sistema de control de calidad por PTO_1 y PTO_2, respectivamente. Entonces,

PTO_1 = (1000 x 510) / $(3000 + 2000 + 4000 + 1000 + 500)
= $10000 / $10,500
= $0.952 / dólar

PTO_2 = 1,300 x $10 / $(3100 + 2500 + 5000 + 1100 + 600)
= $13 000 / $12300
= $1.057 /dólar

Por lo tanto, el mejoramiento en la productividad total operacional es de 11.03%.
La mejora en la productividad total operacional se obtuvo debido a:

1. Antes de instalar el sistema de control de calidad, una buena parte del esfuerzo de los empleados se dedicaba a rehacer las componentes y subensambles antes de montar el producto final. Después del sistema de control de calidad, los mismos empleados aumentaron su producción en un 30% en el área de ensamble.
2. Aunque el nuevo sistema de control de calidad incluye la compra de equipo de inspección y calibración, lo que aumenta el insumo de capital total en 25%, obtuvo una mejora en la calidad de las componentes al punto que la empresa no tuvo que pagar tiempo extra, lo anterior hizo que bajaran los incrementos en el *insumo* humano y de energía.

CONTROL DE COSTOS

La contabilidad de costos se encarga de determinar el coste real de un producto con base en el cálculo y análisis detallado de cada uno de los elementos que intervienen en su fabricación.

Elementos básicos de la contabilidad

El esquema fundamental adoptado para expresar los movimientos económicos de una persona física, con actividad empresarial o moral como empresario, parte de tres conceptos básicos:

a) *Capital: Es el conjunto de bienes generados o aportaciones monetarias o en especie, provistas por el empresario o socios en el negocio; es la diferencia aritmética entre el activo y el pasivo.*
b) *Activo: Para establecer un negocio o considerar su existencia, se requiere invertir, disponer* y poner en movimiento un conjunto de valores de diferente clase.

El activo puede definirse como el conjunto de bienes y derechos reales y personales sobre los que se tiene propiedad, así como cualquier coste o gasto realizado no devengado a la fecha del estado de la situación financiera.



De esta forma, contablemente el activo se subdivide en circulante, fijo y diferido.
El *activo circulante* comprende conceptos que fácilmente se transformen en efectivo en un término no mayor a un año.

En este particular, quedan comprendidos la compra de bonos o acciones en forma temporal, dinero en efectivo, documentos por cobrar inventarios en general, así como gastos anticipados, primas de seguros e intereses anticipados.

El activo fijo considera aquellas propiedades como el terreno, las construcciones o edificaciones, la maquinaria, el equipo de proceso, el equipo de transporte, el equipo auxiliar, el equipo de cómputo, el mobiliario y el equipo de oficina, así como las instalaciones principalmente.

Asimismo, considera una partida especial respecto de las depreciaciones acumuladas, es decir, un valor que regulado por la Secretaria de Hacienda y Crédito Público será recuperado por el uso de los activos en la producción de un bien o servicio. Solo conviene resaltar que el terreno es el único activo que no se deprecia y que por el contrario gana plusvalía, es decir, aumenta su valor.

El *activo diferido* agrupa todos aquellos conceptos tales como *gastos de organización* y *gastos preoperativos*, además de una partida de amortizaciones acumuladas, se refiere también a la recuperación gradual de inversiones no tangibles.

c) Pasivo: Comprende obligaciones presentes provenientes de las operaciones o transacciones pasadas, tales como la adquisición de mercancías o servicios, pérdidas o gastos en que se ha incurrido, o por la obtención de préstamos para el financiamiento de los bienes que constituyen el activo.

El pasivo se clasifica como circulante o fijo. El primero se entiende a corto plazo, en tanto que el segundo se supone a largo plazo.

El pasivo circulante vence dentro del plazo de un año y puede definirse como el grupo de obligaciones jurídicas por las cuales el deudor se obliga con el acreedor a pagar con dinero, bienes o servicios en un término no mayor de un año o un ejercicio financiero.

El grupo de conceptos que integra el pasivo circulante debe mostrarse en renglones genéricos como:

Documentos por pagar a bancos y/o proveedores; porción: de la deuda a largo plazo con vencimiento a un año; cuentas por pagar; anticipos de clientes; dividendos por pagar; impuestos acumulados y hasta ingresos anticipados y participación de utilidades a los trabajadores.

El pasivo fijo por lo tanto considera las obligaciones a largo plazo, como lo es fundamentalmente el adeudo a bancos por créditos.

Examinando los tres conceptos expuestos, se observa que existe un equilibrio entre ellos o un "balance", puesto que las propiedades solo podrán disponerse, ya sea a través del capital propio y/o con un préstamo o adeudo. Esta igualdad suele representarse con la fórmula:

$$A = P + C$$

De esta fórmula se derivan otras dos que son:

$$A - P = C \qquad y \qquad A - C = P$$

La aplicación de todos los conceptos básicos de la contabilidad se observa en el *balance general*, en el cual se relacionan tanto las cuentas del activo como las del pasivo o el capital, el cual tiene por objeto mostrar la situación financiera de la organización, en un determinado periodo.

Costos

Definidos como aquellas erogaciones económicas que permiten la obtención de un producto o servicio, y que son recuperables directamente a través del precio del producto.

Los costos requieren un análisis y registro ordenados.

La intervención de un ingeniero industrial en este campo, se orienta al razonamiento técnico de cada una de las variables que componen el coste de un producto, es decir, aportar la credibilidad de que un coste reportado es el óptimo e indispensable para la producción.

De esta manera, las necesidades de mano de obra, materia prima y materiales diversos complementarios tales como envase, empaque, conservadores, lijas, combustible, lubricantes, conservadores y gastos de mantenimiento, por enumerar algunos importantes, deberán estar sustentados de acuerdo con la capacidad, el rendimiento y la eficiencia de los equipos.

Comprender el lenguaje de un contador tiene la ventaja de contar con acceso a niveles, en los cuales se requiere una visión amplia de lo que es la administración.

Para un ingeniero industrial, expresarse con propiedad en la contabilidad de costos, representa adquirir una cierta mentalidad empresarial, debido a que documentos como balance general, estado de resultados y flujo de efectivo representan ser la visión de la empresa y denotan el comportamiento y la situación financiera de la misma.

Por último, este conjunto de conocimientos apoyará a aquellos profesionistas que se desempeñen en el campo de la formulación y evaluación de proyectos, que en conjunto le permitirán encontrar la solución más viable para cualquier opción inversión optativa.

La contabilidad de costos no debe quedarse en una sola apreciación numérica, sino que debe enriquecerse con un criterio tal suficiente que le permita al ingeniero industrial analizar, enjuiciar y considerar alternativas de índoles económica y financiera.

En particular la contabilidad de costos se refleja en la formulación de estados de resultados, llamados también de pérdidas y ganancias.

Dicho estado de resultados se define como una hoja de cálculo en la cual se registran los costos y gastos que enfrenta cierta empresa.

Así, el agrupamiento de conceptos puede considerarse bajo la siguiente clasificación:

a) Variables y fijos y/o semifijos.
b) Directos e indirectos.

La utilización de cada término se diferenciará de acuerdo a lo siguiente:

Costos variables o directos. Son aquellos que tienen relación estrecha con el producto, es decir, con la producción, en tanto que los fijos o indirectos tienen que ver más con conceptos complementarios a la producción.

Cada caso que se analizara, requiere establecer ciertos criterios con la finalidad de lograr el agrupamiento de los costos; sin embargo, la forma clara de lograr su diferenciación es positiva cuando se evalúan los efectos consecuentes de un incremento en la producción.

Un ejemplo que nos permite observar la aplicación de lo antes expuesto tiene que ver con el hecho de considerar la producción de sardina enlatada en tomate.

Plantear un incremento o una variación en la producción, determinará mayor cantidad de materia prima, tomate, aceite, sal, conservadores, envases, etiquetas, cajas y grapas.

Por otro lado, las necesidades de mano de obra serían consideradas como variables si el pago de la misma se realizara por maquila, pero si el personal operario es contratado en forma independiente al ritmo de la producción, entonces este será un coste fijo.

Costos fijos o semifijos. Son aquellos que intervienen en la actividad de la empresa sin tener relación directa con la producción y que normalmente se reflejan como gastos, es decir, se erogan por ser un concepto constante; por ejemplo: gastos de mantenimiento, administración, ventas y financieros, principalmente.

Los gastos financieros resultan ser semifijos, debido a que un crédito se contrata normalmente para pagar intereses o gastos financieros sobre saldos insolutos, es decir, conforme transcurran los pagos irá disminuyendo su monto.

Una herramienta de análisis de la contabilidad de costos es la *gráfica de punto de equilibrio*, la cual permite mostrar gráficamente la relación que logran tener los ingresos, con los costos totales de una empresa, respecto de un cierto nivel de aprovechamiento de su capacidad instalada.

Análisis del punto de equilibrio

El *análisis del punto de equilibrio (o costo-volumen)* es un modelo gráfico y algebraico que describe la relación entre costos e ingresos para diferentes volúmenes de producción. Los costos son clasificados ya sea como fijos (CF) o variables (CV), dependiendo de si varían con el volumen de producción (Q). Las utilidades se presentan cuando los ingresos totales (IT) exceden los costos totales (CT), donde CT = costos fijos (CF) más costos variables totales (CVT).

$$Utilidades = IT - (CF + CVT)$$

La figura 2.14 a ilustra el concepto de utilidad y la figura 2.14 b identifica la cantidad en el punto de equilibrio Q_{PE}. En el punto de equilibrio (PE), la utilidad es cero e IT = CT. Reconociendo que los ingresos reflejan el precio de venta por unidad (P) multiplicado por la cantidad vendida (Q), puede restablecerse la expresión IT = CT como:

$$PQ = CF + CV.Q$$

donde CV es el coste variable por unidad. La cantidad en el punto de equilibrio es, entonces:

$$Q_{PE} = \frac{CF}{P - CV}$$

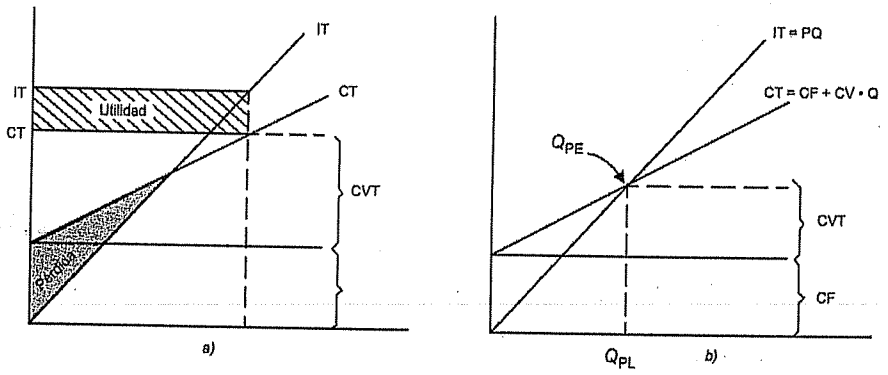


Figura 2.14. Gráfica del punto de equilibrio

Supuestos	Ventajas
1. Todos los costos y volúmenes son conocidos	1. Es simple y fácil de visualizar
2. Las relaciones costo – volumen son lineales	2. Se enfoca sobre la rentabilidad
3. Toda la producción puede ser vendida	3. Usa una presentación tanto algebraica como gráfica

Tabla 2.17. Supuestos y ventajas del punto de equilibrio

Por otro lado, la utilización específica de términos como *gastos directos* y *gastos indirectos* nos permitirá definir conceptos como el *coste de producción* y *coste de ventas*, una vez que su agrupamiento permita el siguiente análisis:

Concepto
COSTOS DIRECTOS:
Mano de obra directa.
+ Materia prima e insumos.
COSTOS INDIRECTOS:
Mano de obra indirecta.
+ Gastos de administración.
+ Gastos financieros.
+ Gastos de mantenimiento.
+ Depreciaciones y amortizaciones
COSTE DE PRODUCCION
+ GASTOS DE VENTA
COSTE DE VENTAS

Lo anterior concluye que:

COSTOS DIRECTOS + COSTOS INDIRECTOS = COSTE DE PRODUCCIÓN
COSTE DE PRODUCCIÓN + GASTOS DE VENTAS = COSTE DE VENTAS

Meyers simplifica la estructura de costos de la siguiente manera:[16]

Costo	Concepto	% Típico
Manufactura 50%	Mano de obra	8
	Material	25
	Indirectos	17
Operación 43 %	Distribución y venta	15
	Publicidad	5
	Administración	20
	Ingeniería	3
Ganancias	Utilidad neta	7
Precio básico de venta	Total	100

Tabla 2.18. Elementos típicos del coste de manufactura ágil

Otros sistemas de costeo

Un desarrollo reciente para mejorar la asignación de costos se denomina *cálculo de costos* basados en actividades (ABC). Al respecto, un estudio detallado de este sistema se presenta en la sección 3 capítulo 3 de la quinta edición del *Manual de Ingeniería Industrial* de Maynard.

Un nuevo enfoque derivado de la teoría de restricciones denominado: *Throughput Accounting (TA)*, literalmente contabilidad del rendimiento, tiene las siguientes características:

- Está alineada en gran parte con la filosofía JIT
- Asume que un gerente tiene los siguientes recursos:
  - Edificios
  - Capital
  - Mano de obra
- El uso de estos recursos, los materiales comprados y las piezas deben ser procesados para generar los ingresos por ventas
- El objetivo no es determinar el "coste unitario" perfecto.
- Además del coste de material directo (valuado por el coste de compra), no hay otros costos que están asignados a los productos.
- La atención se centra más en los "costos del periodo ", que es más acorde con el flujo de caja real.
- A medida que los tiempos de entrega son menores y producimos mejor con base en la demanda (real), los resultados de TA son más similares al costeo de absorción de costos.

La TOC utiliza tres medidas fundamentales:

- Inversiones (I).
- Gastos de explotación (OE).
- Rendimiento (*Throughput T*).

Para tomar una decisión de acuerdo con TOC, uno necesita cuantificar el impacto de la decisión sobre esos tres indicadores, para luego traducirlo al beneficio neto (PN) y la rentabilidad sobre la inversión (ROI).

De manera general, la contabilidad sobre el rendimiento (TA) considera:

Rendimiento (*Throughput T*) = ventas – costos variables
Inversión (I) = inventarios + maquinaria + edificios
Gastos de operación (OE) = costos de conversión

Los parámetros de decisión son:

Ganancia neta (NP) = *Throughput (T)* - gastos de operación (OE)
Retorno sobre la inversión (ROI) = (NP) / (I)
Productividad = (T) / (OE)
Rotación de la inversión = (T) / (I)
Para una descripción más detallada de esta técnica con ejemplos, habrá que consultar:

http://www.nerc.imanet.org/files/IMA%20Throughput%20Accounting%2009-21-10.pdf del Instituto Goldrath

Comentarios:

La contabilidad tradicional (costeo por absorción), que se utiliza para informes externos, no es el mejor método para la toma interna de decisiones.



Para los propósitos de gestión de contabilidad es mejor utilizar contabilidad de rendimiento (TA) (con los mismos datos de entrada básicos como la contabilidad financiera).

Con la finalidad de cuantificar los beneficios financieros, mientras se aplica LEAN necesitamos un modelo de costos de cadena de valor, como el (TA), para no tomar decisiones basadas en la sub-optimización.

Un modelo de coste de flujo de valor, como el (TA), ofrece conocimientos legibles y completos sobre la estructura de costos.

2.3.3 Administración de operaciones

Dos de las principales áreas en cualquier tipo de empresa, tanto si se trata de un negocio privado como del gobierno u otras, son la producción y la administración de operaciones.

Cuando varias personas se unen para conseguir objetivos mutuos, su eficacia crece de manera impresionante si su trabajo está coordinado. En las empresas, se da el nombre de gerente al tipo de empleado que lleva a cabo tal coordinación, de ahí que el gerente sea el responsable de la obtención de un objetivo que exige los esfuerzos de otros.

En la IV dinastía egipcia, hace más de 4000 años, los faraones, que se creían o sentían divinos, de tres generaciones edificaron la gran pirámide de Khufu, estructura situada en la ribera occidental del Nilo, que ocupa más de 12 acres, para cuya construcción se necesitaron 10 años para terminarla y 100,000 personas que trabajaron en ella por más de 20 años para concluir la tumba. Cada costado de la pirámide se extendía 350 metros y su altura era, majestuosamente erguida, de 220 metros. Cuando nos plantamos frente a esta proeza de la ingeniería y la administración, para analizarla en su esplendor, nos damos cuenta de que la administración es tan antigua como la civilización. En este sentido también es la arqueología el área donde se inició la administración como un arte con base científica.

Las aportaciones de pioneros de la administración como Taylor, Gantt y los Gilbreth, por mencionar sólo unos pocos, muestran que su interés era en gran parte mejorar la productividad y elaborar productos de un modo más eficiente, aunque siempre reconociendo, como lo hicieron, la importancia del factor humano como un insumo indispensable.

En el pasado, la *administración de la producción* era el concepto que se usaba para hacer referencia a las actividades necesarias para manufacturar productos. Sin embargo, en años recientes, el área se ha ampliado en general para incluir actividades como compras, almacenaje, transportación y operaciones que van desde la adquisición de las materias primas hasta que el producto queda a disposición del comprador. El concepto *administración de las operaciones* se refiere a las actividades necesarias para producir y entregar un servicio o un producto físico.

Una empresa típica lleva a cabo otras actividades esenciales. Además de la producción, estas funciones de la empresa incluyen con frecuencia:

- Investigación y el desarrollo,
- Ingeniería,
- Mercadotecnia y ventas,
- Contabilidad y finanzas.

Este capítulo solo se relaciona con lo que ha llegado a ser llamado *administración de las operaciones* o *administración de la producción*, aunque con más frecuencia se le conoce como *producción y administración de operaciones* (PAO).

Sistemas de administración de operaciones

La administración de operaciones se tiene que contemplar como un sistema. La figura siguiente proporciona una visión general de la función de operaciones.

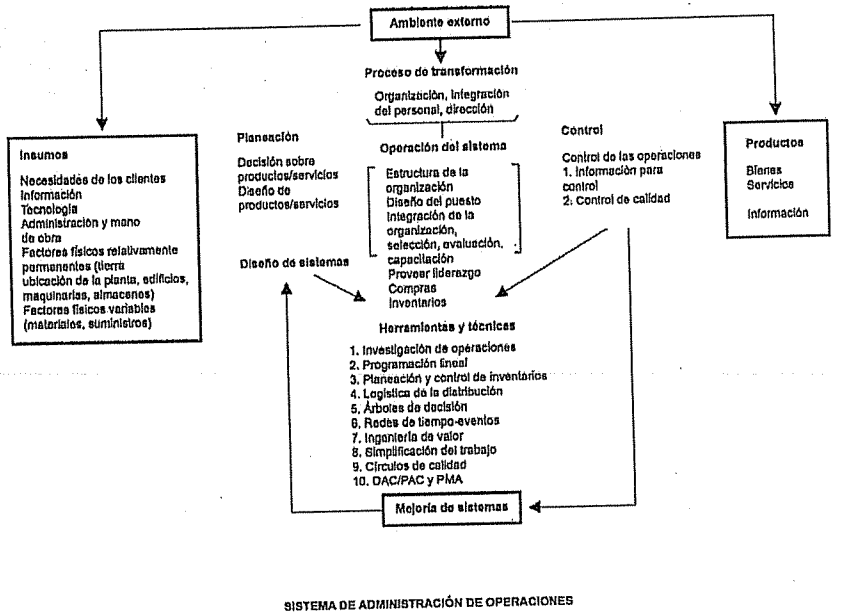


Figura 2.15. Modelo de la función de operaciones

En el modelo de la administración de operaciones, los insumos incluyen:

- Las necesidades de los clientes.
- La información.
- La tecnología.
- El trabajo y la administración.
- Los activos fijos y los activos variables.

elementos que son relevantes para el proceso de transformación.

Los gerentes y trabajadores usan la información y los factores físicos para obtener productos.

Algunos elementos físicos tales como el terreno, la ubicación de la planta, los edificios, las máquinas y los almacenes son relativamente permanentes. Otros, como los materiales y los suministros, se consumen en el proceso para obtener productos.

El *proceso de transformación* incluye la planeación, la operación y el control del sistema. Hay muchas herramientas y técnicas disponibles para facilitar el proceso de transformación, pero el modelo en cuestión también refleja una preocupación constante por la mejoría del sistema.

Los *productos* consisten en bienes y servicios, incluso llega a ser información como la que proporciona una organización de consultoría.

La última parte del modelo muestra que las operaciones reciben la influencia *de factores externos*, tales como las regulaciones de seguridad o las prácticas justas de trabajo. El punto importante aquí es que la administración de operaciones tiene que ser un sistema abierto que se interrelacione con su ambiente.

La relación estrecha entre este modelo de administración de operaciones se considera un subsistema del sistema de administración total.

Planeación de operaciones. Los objetivos, las premisas y las estrategias de una empresa determinan la búsqueda y la selección del producto o servicio. Los conceptos también se aplican a la prestación de servicios. Después de seleccionar el producto final se determinan las especificaciones y se considera la posibilidad tecnológica de producirlo.

En este sentido, el diseño de un sistema de operaciones requiere de decisiones relacionadas con la ubicación de las instalaciones, el proceso a utilizar, la cantidad a producir y la calidad del producto.

	Insumos	Transformación	Productos
1.	Planta, maquinaria de fábrica, personal, materiales	Ensamble de bicicletas	Bicicletas terminadas
2.	Estudiantes con conocimientos, habilidades y actitudes limitados	Conferencias, casos prácticos, ejercicios experimentales, trabajos escritos	Estudiantes con mejores conocimientos, habilidades y actitudes
3.	Intereses especiales en una decisión del producto con el cliente	Consultoría: análisis de recopilación de datos, evaluación de alternativas, selección de la alternativa, recomendación	Informe de consultoría recomendando el curso de acción a seguir

Tabla 2.19. Ejemplos de sistemas de operaciones

Una de las decisiones básicas que toma una empresa es seleccionar el producto o los productos que piensa producir y comercializar, lo cual requiere reunir ideas sobre el producto que satisfagan las necesidades de los clientes y contribuyan a las metas de la empresa, siendo consistentes con la estrategia interna. En una decisión de producto se habrán de tomar en cuenta los diversos intereses de los gerentes funcionales. Por ejemplo, un gerente de producción tal vez quiera un producto que se manufacture sin dificultad, a un coste razonable y con largas corridas de producción. Los ingenieros pueden compartir algunas de estas metas, pero, con frecuencia, buscan el perfeccionamiento de la ingeniería en lugar de la forma de elaborar el producto a un coste razonable.

El interés del gerente de ventas o mercadotecnia es probable que sean las necesidades de los clientes y su meta sea aumentar las ventas de los productos mediante su fácil disponibilidad y precios competitivos. Más aún, los gerentes de ventas tal vez deseen ofrecer una línea de productos amplia sin tomar en cuenta los costos y problemas de ingeniería, producción, transportación y almacenaje. Las preocupaciones del gerente de finanzas posiblemente sean los costos y las utilidades, el alto rendimiento sobre la inversión y bajos riesgos financieros. Los intereses opuestos de estos gerentes y profesionales con orientación funcional influyen sobre qué productos se fabricarán y comercializarán, pero es el gerente general es el encargado de integrar los diversos intereses y equilibrar los ingresos con los costos, las utilidades con los riesgos y el crecimiento a largo plazo con el de corto plazo.

Diseño de producto y la producción. El diseño de un producto y su producción requieren de varias actividades. Con frecuencia se han sugerido los siguientes pasos:

1. Crear ideas de productos investigando las necesidades del consumidor y depurando las diversas alternativas.
2. Seleccionar el producto con base en diversas consideraciones, incluyendo información del mercado, análisis económicos y un estudio general de factibilidad.
3. Preparar un diseño preliminar mediante la evaluación de diversas alternativas, tomando en cuenta los requerimientos de confiabilidad, calidad y mantenimiento.
4. Llegar a una decisión final desarrollando, probando y simulando los procesos para ver cómo funcionan.
5. Decidir si las instalaciones actuales de la empresa son adecuadas o si se requieren nuevas o hay que modificar las existentes.
6. Seleccionar el proceso para elaborar el producto; además, considerar la tecnología y los métodos disponibles.
7. Una vez diseñado el producto preparar la disposición de las instalaciones a usar, planear el sistema de producción y programar las diversas tareas que se tienen que hacer.

Diseño de sistemas. Para elaborar un producto, las compañías tienen que tomar en cuenta varios tipos básicos de distribución de la planta. Una alternativa es ordenar las

instalaciones de acuerdo con cómo se *produce o monta* el producto. Por ejemplo, una línea de ensamble de camiones se puede colocar en forma tal que los ejes delanteros y traseros, preensamblados, estén unidos al bastidor, para ser seguido por la instalación del mecanismo de dirección, el motor y la transmisión. Después se conectan las líneas de frenos y los cables eléctricos, luego se montan y pintan las demás piezas. Por último se prueba el camión en la carretera.

Una segunda alternativa es preparar el sistema de producción de acuerdo con el *proceso* utilizado. Por ejemplo, en un hospital es probable que se sigan pasos específicos, comenzando con la recepción del paciente, el tratamiento del paciente, lo que por lo general incluye subprocesos específicos, facturar los servicios y darle de alta.

Quizás a esto le siga un tratamiento posterior a la hospitalización.

En un tercer tipo de arreglo (llamado algunas veces *disposición de posición fija)* el producto permanece en un lugar para su ensamble, cuya disposición se utiliza para artículos extremadamente grandes y voluminosos como son las prensas de impresión, las grandes máquinas excavadoras para minas o los barcos.

El cuarto tipo de disposición se ordena según la naturaleza del *proyecto.* La construcción de un puente o un túnel normalmente es un proyecto de una sola vez diseñado para que cumpla con requerimientos geográficos específicos.

En el quinto tipo de disposición, el proceso de producción se establece para facilitar la *venta* de los productos. En un supermercado los artículos alimenticios básicos, como son los productos lácteos, normalmente están ubicados lejos de las cajas registradoras, lo cual hace que los clientes tengan que recorrer los largos pasillos y, según se espera, seleccionen otros artículos en su camino hacia la sección de lácteos.

Un sexto enfoque básico de la disposición de la planta tiene que ver con diseñar el proceso en forma tal que facilite el *almacenamiento* o el *movimiento* de los productos.

El espacio de almacenamiento es costoso y un diseño efectivo y eficiente puede mantener bajos los costos de almacenamiento. También para llegar a un artículo no debe ser necesario tener que mover muchos otros.

Operación del sistema. Después de seleccionar los productos, así como de diseñar y establecer los sistemas para producirlos, el siguiente paso importante es operar el sistema, lo cual requiere establecer una estructura de organización, integrar los puestos y capacitar a las personas. Se necesitan gerentes que proporcionen la supervisión y el liderazgo para llevar a cabo las actividades necesarias para obtener los productos o brindar los servicios deseados. En la operación del sistema también se utilizan actividades como compras y mantenimiento de existencias. La finalidad es obtener la mejor razón de productividad dentro de un periodo tomando en cuenta siempre la calidad.

El papel de los sistemas de información en la administración de operaciones. Al igual que en cualquier caso de control gerencial, el control de las operaciones requiere fijar criterios de desempeño, medir el desempeño con respecto a ellos y tomar acciones para

corregir las desviaciones indeseables. Con ello, es posible controlar la producción, la calidad del producto y los niveles de confiabilidad, los niveles de inventarios y el desempeño de la fuerza de trabajo. Para hacerlo se han desarrollado diversas herramientas y técnicas, debido a que su aplicación va más allá de las operaciones o de la producción que se han ya estudiado. Sin embargo, algunas son importantes para las operaciones; aquí se examina el papel de los sistemas de información en el control de operaciones.

Un tipo de sistema de planeación y control, que ha estado disponible durante varios años, integra la información sobre una base prácticamente instantánea, con lo que se reducen en forma considerable las demoras que, por lo general, dificultan el control efectivo. Con el desarrollo de los equipos y programas de computación, ahora es posible informar prácticamente cualquier dato medible según ocurren los eventos, pues se dispone de sistemas para recopilar rápida y sistemáticamente los datos relacionados con la operación total, para mantener disponible de inmediato estos datos e informar sin demora en el momento deseado la situación de cualquiera de un gran número de proyectos. Son sistemas de información diseñados sobre todo para facilitar una planeación y un control efectivos.

Es evidente que tales sistemas y otros que usan la tecnología de la computación rápida prometen apresurar el día en que la planeación sea más precisa en todas las áreas de producción y el control más efectivo. El inconveniente no es el coste, sino más bien que los gerentes no dedican tiempo y esfuerzos mentales para conceptualizar el sistema y sus relaciones o para hacer que alguien más en la organización lo haga. A pesar de ello, la disponibilidad de información rápida llega a proporcionar verdaderos controles de tiempo real en las demoras de cualquier sistema de retroalimentación. Solo un sistema de información adelantada superará estas demoras.

Varias técnicas utilizadas en muchos tipos de planeación y control son especialmente útiles en la administración de operaciones, lo cual es comprensible, puesto que la mayor parte de las técnicas especiales que se han desarrollado se basan en modelos matemáticos y en el uso de información cuantitativa. En muchas áreas se dispone de modelos conceptuales y de información cuantitativa bastante exacta para la producción y la administración de operaciones. Estas técnicas se analizarán en los siguientes capítulos.

2.4 RESUMEN

La Ingeniería Industrial convencional se ha encargado del análisis, el diseño, el control y la administración de sistemas, que se caracterizan por la necesidad de integrar las capacidades de los seres humanos junto con todos los otros aspectos del diseño del sistema. Los problemas van desde el diseño de un método de trabajo, y la estación de trabajo, hasta un plan maestro, que incluye el diseño de métodos de control de

adquisición de materiales, flujo de materiales en el piso de la fábrica, producción, inventario y distribución. Los sistemas que faciliten la toma de decisiones efectiva y la aplicación en áreas como la planificación, el inventario y el control de calidad son típicos de la Ingeniería Industrial convencional, todo orientado a incrementar la productividad de dichos sistemas, puesto que la única posibilidad para que una empresa o un negocio crezcan y aumenten su rentabilidad es incrementar la productividad. El mejoramiento de la productividad se refiere al aumento de la producción por hora-trabajo o por tiempo utilizado.

Por costumbre, economistas, ingenieros industriales, administradores y ejecutivos han confiado en las medidas parciales de productividad. La de mayor uso entre ellas es la medida de productividad de la mano de obra, expresada como producción por hora-hombre o producción por empleado. La *producción* se ha expresado ya sea en términos monetarios o bien en unidades físicas. Existen medidas parciales parecidas respecto tanto del capital en sí como de la materia prima.

Para un mejor análisis se han desarrollado índices como el de productividad total operativa y un conjunto de cinco medidas de productividad parcial, que consideran la producción y los insumos tangibles. El índice se puede aplicar en cualquier empresa manufacturera u organización de servicio.

Para lograr avances en productividad, una combinación de herramientas del sistema y del proceso hará que estas rindan mejor, mientras que la mayoría de las mejoras garantizarán otros resultados en la ejecución. Las ventajas de reaccionar al cambio no solo permiten saber cuándo ocurrió ese cambio, pero también cómo afecta otras tareas relacionadas. La ventaja competitiva de un sistema interconectado proporciona esa visibilidad, por lo que es importante considerar el concepto de competitividad.

La Ingeniería Industrial se aplica en general donde se busca la optimización de los recursos comenzando con el factor humano, los materiales, la maquinaria, el equipo, las instalaciones, la energía, los recursos financieros, la información, etcétera, en los sistemas de manufactura o servicios, para generar bienes y servicios, de manera competitiva, que satisfagan las necesidades de los consumidores.

En general, las aplicaciones de la Ingeniería Industrial convencional, de manera práctica y simplificada, se clasifican en las áreas de análisis y diseño, control y administración de operaciones de sistemas de producción o servicios.

Por tradición, las técnicas enfocadas al análisis y el diseño de sistemas de producción se han usado para mejorar la productividad humana en general y la productividad de la mano de obra directa en particular. Al estudiar cada una de ellas, se tendrá en mente que no se puede pasar por alto su impacto sobre los otros cuatro factores de insumo (capital, materiales, energía y otros gastos) si se espera evaluar con certeza el cambio en el coste total de manufactura de un producto o de proporcionar un servicio.

Las técnicas principales de Ingeniería Industrial convencional, aquí consideradas, aplicables a los sistemas de producción o servicios son:

Para el análisis y diseño

1. Ingeniería de métodos y simplificación del trabajo.
2. Medición del trabajo.
3. Diseño del trabajo.
4. Diseño de la seguridad en el trabajo.
5. Ingeniería de factores humanos (Ergonomía).
6. Ingeniería de manufactura.
7. Disposición de planta.
8. Manejo de materiales.

Las técnicas de control se clasifican en:

1. Control de inventarios.
2. Control de producción.
3. Control de calidad.
4. Control de costos.

Administración de operaciones se clasifica en las funciones:

1. Planeación.
2. Diseño del producto, de producción y de sistemas.
3. Operación del sistema.
4. Mejora del sistema.
5. Control de operaciones.

Varias técnicas utilizadas en muchos tipos de planeación y control son especialmente útiles en la administración de operaciones para integrar el sistema, es decir, la integración del sistema no es, y no se debe considerar, la única herramienta disponible para lograr avances en productividad; una combinación de herramientas del sistema y de la operación hará que estas rindan mejor, mientras que la mayoría de las mejoras garantizarán otros resultados en la ejecución.

2.5 PREGUNTAS

2.1 Describa la meta de la Ingeniería Industrial.
2.2 Explique cómo se determina la productividad total de una empresa.
2.3 Defina insumo o recurso.
2.4 Explique la diferencia entre productividad parcial y productividad total.
2.5 Mencione porqué no es conveniente confiar exclusivamente en medidas de productividad parcial.
2.6 Explique qué relación hay entre el aumento de productividad y el nivel de vida.
2.7 Justifique la razón por la cual la productividad en las empresas requiere continuo mejoramiento.

2.8 Mencione las condiciones que se requieren para aumentar la productividad en una comunidad, compárelas con lo que se requiere en su comunidad y proponga las acciones pertinentes.
2.9 Defina el concepto de competitividad.
2.10 Describa las tres áreas que considera el índice de competitividad global y los factores (pilares) que integran cada uno.
2.11 Consultando el reporte del Foro Mundial de Competitividad identifique las acciones que se requiere emprender para aumentar la competitividad del país.
2.12 Mencione las áreas de alcance que incluye la aplicación de la Ingeniería Industrial convencional en los sistemas de manufactura o servicios.
2.13 Indique y defina las técnicas principales de la Ingeniería Industrial que se usan para el análisis y diseño de los sistemas de producción o servicios.
2.14 De las anteriores, ¿cuáles considera las más importantes? ¿Por qué?
2.15 Explique la diferencia entre Ingeniería de Métodos y Simplificación de Trabajo.
2.16 Defina la función del Diseño del Trabajo
2.17 Mencione las cuatro áreas de mejora para la utilización de personas, materiales y máquinas en el trabajo.
2.18 Explique la diferencia entre ergonomía y diseño del trabajo.
2.19 Mencione los 10 objetivos principales de la disposición de la planta.
2.20 Describa las cuatro fases principales de la técnica SLP.
2.21 Considerando el transporte y la distribución como sistema, mencione las actividades de transporte que quedan incluidas en este.
2.22 Mencione la clasificación de los principios del manejo de materiales.
2.23 Indique y defina las técnicas principales que se aplican en el control de sistemas de producción o servicios.
2.24 Mencione las actividades que incluye la administración de la producción o servicios.
2.25 Mencione los elementos del sistema de administración de operaciones.

2.6 EJERCICIOS

2.1 Con los datos siguientes, determine los índices parciales de productividad y la productividad total para la empresa XYZ:

Concepto	$	Productividad parcial	Productividad total
Producción	1000		
Insumo humano	80		
Insumo de materiales	250		
Insumo de capital	100		
Insumo de energía	40		
Insumo otros gastos	470		

2.2 Con los datos siguientes, determine cuál debería ser la producción de la máquina nueva para incrementar 20% la productividad combinada:

Concepto	Máquina original	Máquina nueva
Tasa de producción	100 pzs/hr	120 pzs/hr
Salario / hora ($)	5	5
Productividad de mano de obra ($/$)	100 / 5 = 20	120 / 5 = 24
Índice de productividad de mano de obra	20 / 20 = 1	24 /20 = 1.2
Costo hora-máquina ($)	40	60
Productividad máquina ($/$)	100 / 40 = 2.5	120 / 60 = 2.0
Índice de productividad máquina	2.5/2.5 = 1	2/2.5 = .8
Productividad combinada	100/(5 + 40) = 2.22	120/(5 + 60) = 1.85
Índice de productividad combinada	2.22/2.22 = 1	1.85/2.22 = 0.83

2.3 Si en el ejemplo 2.3, en lugar de un sueldo fijo, se le paga al Ingeniero de métodos la mitad del ahorro anual de mano de obra, determine el efecto en la productividad total y en el coste unitario de manufactura en el sentido marginal.
2.4 En el ejemplo 2.4, determine el tiempo estándar si se logra una tasa de desempeño de 100% y suplementos PDF de 9%, luego calcule las facturas que se capturan por turno de ocho horas.
2.5 En el ejemplo 2.5, determine el cambio en la productividad total y en el coste unitario global, si no se despide a las personas.
2.6 En el ejemplo 2.6, determine el cambio en la productividad total si en el nuevo sistema se considera el coste del analista por mes como la mitad del coste de depreciación del nuevo sistema
2.7 En el ejemplo 2.7, considere que se mantiene el incremento de producción por hora y que el coste del insumo humano es de $12,000 por mes; determine el cambio de la productividad total si los demás insumos se mantienen constantes.
2.8 Aplique de manera simplificada los tres elementos del SLP en su área de estudio, ubicando adecuadamente a sus necesidades sus muebles y equipo.
2.9 En el ejemplo 2.8, considere que en lugar de una depreciación acelerada se aplica una depreciación lineal de 150,000 por mes; determine el efecto de esto en la productividad total.
2.10 Para el ejemplo 2.9, determine los requerimientos si las necesidades son de 250 unidades cada nueve semanas.
2.11 En el ejemplo 2.10, determine la productividad total de los años 14 al 16 si la productividad total mejoró 5% sobre la del año pasado (5) y la productividad total con el nuevo sistema; después de un impacto negativo de 5% los primeros dos años, tendrá una ganancia de 10% anual.

2.12 Para el ejemplo 2.11, elabore la nueva clasificación ABC para el siguiente año si se espera que el uso anual incremente 4% para los productos G, 5% para los productos M y 6% para los productos P, con un incremento general en los costos de 5%.

2.13 Determine el impacto en la productividad total en el ejemplo 2.12 si el insumo humano se incrementó 40% por efecto de la instalación del sistema de calidad, mientras el resto de los insumos se incrementó 20% y el precio del producto se redujo a $9 dólares por unidad.

2.14 La empresa alumxyz elabora una gama de moldes de aluminio. Hasta el mes pasado utilizaba lingotes de aluminio "puro". Este mes los ingenieros industriales aplicaron el concepto de reciclado, mediante el cual por cada 100 kg de material inyectado se utilizan 10 kg de recortes de aluminio reciclado. El material "puro" cuesta $2 el kilogramo, mientras que los recortes se compran en $1.50 el kilogramo.
De cada kilo de material se obtienen 500 moldes.
Los costos de moldes, con el enfoque de Meyers, en $ por millar hasta el mes pasado son:

Mano de obra	1.28
Material	4.00
Indirectos	2.72
Administración	3.20
Distribución y venta	2.40
Publicidad	0.80
Ingeniería	0.48
Utilidad neta	1.12
Precio de venta básico	16.00

Si cada mes se moldean 10,000 kg de material, determine el efecto del reciclado en % sobre el insumo mensual de material.

a) Calcule el ahorro anual por este concepto.
b) Calcule la productividad total y parcial del material para cada mes.
c) Determine el punto de equilibrio entre ingresos y coste total.

Capítulo 3

INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES (IO)

3.1 Introducción
3.2 Naturaleza y alcance de la IO
3.3 Metodología de la investigación de operaciones
3.4 Modelos matemáticos
3.5 Áreas de aplicación de la IO
3.6 Resumen
3.7 Preguntas
3.8 Ejercicios

"La investigación de operaciones se podría denominar: sentido común cuantitativo".

Harold Koontz

COMPETENCIAS DEL CAPÍTULO

Analiza los modelos y las técnicas de la Investigación de Operaciones para resolver los modelos planteados y las posibles implicaciones de la solución del modelo con un enfoque de optimización de recursos en la toma de decisiones.

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analiza la evolución de la Ingeniería Industrial apoyada en los modelos y las técnicas de la investigación de operaciones para resolver los modelos planteados y las posibles implicaciones de la solución del modelo con un enfoque de optimización de recursos en la toma de decisiones.

Incluye los temas:

1. Naturaleza y alcance de la IO.
2. Metodología.
3. Modelos matemáticos.
4. Áreas de aplicación.

3.2 NATURALEZA Y ALCANCE DE LA IO

El concepto de investigación de operaciones

La investigación de operaciones es un producto de la Segunda Guerra Mundial, aunque sus precursores en los métodos científicos, las altas matemáticas y herramientas como la teoría de la probabilidad son mucho más antiguos.

El rápido crecimiento de la investigación de operaciones en los años recientes ha seguido la tendencia de aplicar los métodos de los científicos e ingenieros físicos a los problemas económicos y políticos. También se ha hecho posible por el desarrollo de

máquinas de computación rápidas, en particular las que utilizan la electrónica, puesto que gran parte de la ventaja de la investigación de operaciones depende de la capacidad de aplicar, a bajo coste, fórmulas matemáticas complicadas y utilizar información con relaciones complejas.

Hay casi tantas definiciones de investigación de operaciones como escritores sobre el tema. Para nuestros fines, una definición aceptable es que la investigación de operaciones es *la aplicación de métodos científicos al estudio de alternativas, en una situación de problema, con el propósito de obtener una base cuantitativa para llegar a la mejor solución.* Por lo tanto, se insiste en el método científico, en el uso de información cuantitativa, en las metas y en la determinación de los mejores medios de alcanzar las metas. En otras palabras, la investigación de operaciones se podría denominar "sentido común cuantitativo".

ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

Durante mucho tiempo los gerentes han tratado de solucionar, de un modo científico, los problemas de administración, en tanto que los investigadores de operaciones han proporcionado un elemento nuevo en lo ordenado y completo de su enfoque, además de insistir en la definición del problema y las metas, lo que hacen recopilando cuidadosamente información y evaluándola, desarrollando y probando hipótesis, determinando las relaciones entre los datos, desarrollando y probando las predicciones basadas en hipótesis y creando mediciones para evaluar la efectividad de un curso de acción.

Por lo tanto, las características esenciales de la investigación de operaciones, como se aplica a la toma de decisiones, se resume en la forma siguiente:

1. Insiste en los *modelos* de la representación física lógica de una realidad o un problema. Por supuesto, los modelos pueden ser sencillos o complejos. Por ejemplo, la fórmula contable "el activo menos el pasivo es igual al capital" es un modelo, puesto que representa una idea y, dentro de los límites de los términos usados, simboliza la relación entre las variables involucradas.
2. Reitera en las *metas* en un área de problema y en el desarrollo de mediciones de efectividad con el propósito de establecer si una determinada solución muestra posibilidades de lograr esas metas. Por ejemplo, si la meta es la utilidad, la medición de la efectividad puede ser la tasa de rendimiento sobre la inversión, mientras que cualquier solución propuesta arreglará las variables en forma tal que el resultado final se pondere con esta medida.
3. Incorpora al modelo las *variables* en el problema, o al menos aquellas que parecen ser las más importantes para su solución. Los gerentes pueden controlar algunas variables, pero otros quizá sean factores incontrolables en el problema.
4. Pone al modelo y sus variables, limitantes y metas, en *términos matemáticos* para que se identifiquen con claridad, estén sujetos a la simplificación

matemática y sean fácilmente utilizables para los cálculos mediante la sustitución de las cantidades por símbolos.
5. *Cuantifica* las variables en un problema hasta el grado posible, puesto que en un modelo solo se llega a introducir información cuantificable para que produzca un resultado medible.
6. Complementa mucha información no disponible con dispositivos matemáticos y estadísticos utilizables como las *probabilidades* en una situación, con lo que, frecuentemente, hace que el problema matemático y de computación sea operable dentro de un pequeño margen de error, a pesar de la falta de datos exactos cuantificables.

De todas estas características, quizá la herramienta básica y la principal aportación de la investigación de operaciones sean la construcción y el uso de modelos conceptuales. Hay muchos tipos de modelos:

1. Algunos mantienen las relaciones lógicas entre las variables. A éstos se les denomina "simuladores" o "descriptivos", si están diseñados solo para describir la relación de los elementos en una situación.
2. A los modelos útiles para la planeación se les conoce como modelos de "decisión" u "optimización", los cuales fueron diseñados para conducir a la selección del mejor curso de acción entre las alternativas disponibles.

Una técnica para determinar la combinación óptima de recursos limitados para obtener la meta deseada es la programación lineal, una de las aplicaciones más exitosas de la investigación de operaciones que se basa en la suposición de que hay una relación lineal, o de línea recta, entre las variables, que se pueden determinar los límites de las variaciones. Por ejemplo, en un taller de producción las variables quizá sean unidades de producción por máquina en un tiempo determinado, costos de mano de obra directa o costos de materiales por unidad de producción, número de operaciones por unidad, etcétera. La mayor parte o todas éstas probablemente tengan relaciones lineales dentro de ciertos límites; mediante la solución de ecuaciones lineales es posible establecer el óptimo en términos de coste, tiempo, utilización de máquinas u otros objetivos. Por lo tanto, esta técnica es útil en especial sobre todo en los casos en que los datos de entrada se pueden cuantificar y los objetivos están sujetos a mediciones definidas.

Como se esperaría, la técnica tiene su uso más prometedor en áreas de problemas como la planeación de la producción, las tarifas y rutas de embarque, así como la utilización de las instalaciones de producción y almacenamiento para lograr los costos globales más bajos, incluyendo los costos de transportación. Debido a que depende de las relaciones lineales y que en muchas decisiones no se tienen o no se pueden simular con la suficiente exactitud, se han comenzado a usar sistemas más modernos y complejos de programación no lineal.

Para ilustrar lo anterior se presenta el siguiente ejemplo que se resuelve por el método gráfico:[1]

MÉTODO GRÁFICO PARA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS LINEALES

Ejemplo 3.1: Una planta produce dos tipos de juguetes de madera: soldados y trenes.

Un soldado es vendido por $27 y utiliza $10 del materia prima.

Cada soldado se fabrica a mano y tiene un coste adicional de $14 de mano de obra.

Un tren es vendido por $21 y utiliza $9 de materia prima.

El coste adicional de la mano de obra para cada tren es de $10.

La fabricación de estos juguetes requiere dos tipos de operaciones: carpintería y acabados.

Un soldado necesita 2 horas para acabados y 1 hora de carpintería.

Un tren necesita 1 hora para acabados y 1 hora de carpintería.

Cada semana, la planta puede conseguir cualquier cantidad de materia prima, pero solo dispone de 100 horas de acabados y 80 de carpintería.

La demanda para los trenes es ilimitada, pero las ventas de soldados están en un máximo de 40 por semana.

La planta quiere maximizar su beneficio semanal (ganancias).

Con estos datos, se formula el modelo matemático cuyo objetivo servirá para determinar la maximización del beneficio semanal.

¿Cuántos soldados y trenes deben hacerse por semana?

Los soldados y trenes producidos se representan con las variables:

X1 = el número de soldados producidos por semana
X2 = el número de trenes producidos por semana

Para definir la función objetiva, se consideran la producción y los costes que llegan a expresarse en términos de las variables X1 y X2, además de que se asume que todos los juguetes producidos pueden ser vendidos y que la producción de la semana es igual la producción de los soldados más la producción de los trenes; de esto tenemos que:

Ventas por semana = 27*X1 + 21*X2,
Costos de materia prima = 10*X1 + 9*X2
Costos de mano de obra = 14*X1 + 10*X2

Así que se maximizará:

Z = (27*X1 + 21*X2) - (10*X1 + 9*X2) - (14*X1 + 10*X2)

Al simplificar esta ecuación, obtenemos:

Max Z = 3X1 + 2X2

X1 y X2 están limitados por las restricciones:

1. Cada semana, no más de 100 horas de acabado.
2. Cada semana, no más de 80 horas de carpintería.
3. Limitación de la demanda, no más de 40 soldados por semana.

El siguiente paso es la transformación de estas restricciones en las expresiones matemáticas en términos de las variables de decisión X1 y X2.

Restricción 1, horas de acabado: $2X1 + X2 \leq 100$

Restricción 2, horas de carpintería: $X1 + X2 \leq 80$

Restricción 3, limitación de la demanda de soldados por semana: $X1 \leq 40$

Habremos de tomar otras dos restricciones para la formulación matemática de este problema, de no negatividad, que son los siguientes:

Restricción 4: $X1 \geq 0$
Restricción 5: $X2 \geq 0$

La formulación matemática queda así:

Max Z = 3X1 + 2X2

Sujeta a:

$2X1 + X2 \leq 100$
$X1 + X2 \leq 80$
$X1 \leq 40$
$X1 \geq 0$
$X2 \geq 0$

Resolución del problema por el método gráfico[2]

El primer paso consiste en representar gráficamente cada restricción del problema, lo cual se logra determinando las dos líneas que representan las cantidades de X1 y X2. Por lo tanto, debemos hacer una simple conversión de las desigualdades en ecuaciones (solo se convierten en igualdades las desigualdades.):

Para la primera restricción tenemos:

$2X1 + X2 = 100$;

Considerando que X1 = 0, tenemos X2 =100.
Y si X2 = 0, X1 = 50.

Así que tenemos nuestra primera línea formada por dos puntos, que son:

(50, 0) y (0, 100).

En consecuencia, la gráfica es la siguiente:

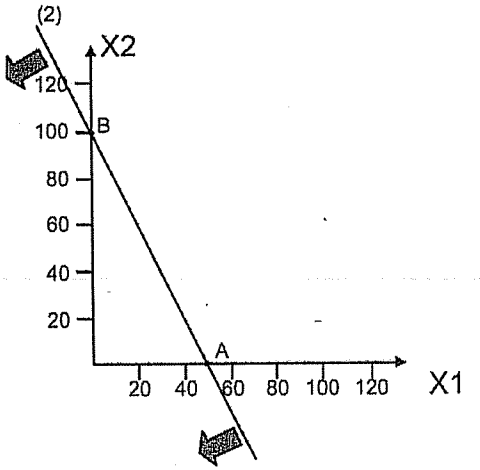


Figura 3.1: Gráfico de la primera restricción

Si hacemos lo mismo para las otras restricciones del problema.

Para la segunda restricción tenemos: $X1 + X2 = 80$

Considerando que X1 = 0, tenemos X2 = 80.

Y si X2 = 0, X1 = 80.

Así tenemos nuestra segunda línea formada por los puntos (80, 0) y (0, 80).

Que se representa en el gráfico a continuación:

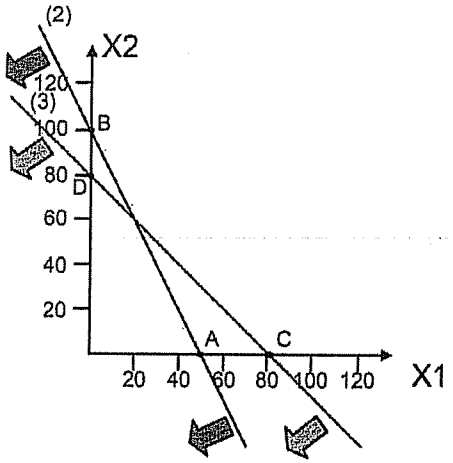


Figura 3.2: Gráfico de la primera y segunda restricciones

Para la tercera restricción tenemos: X1 = 40

Considerando que X2 = 0, tenemos X1 = 40.
Si X2 = 120, X1 = 40

Por lo tanto, nuestra tercera línea está formada por: (40, 0), (40, 120).

El gráfico a continuación es como sigue:

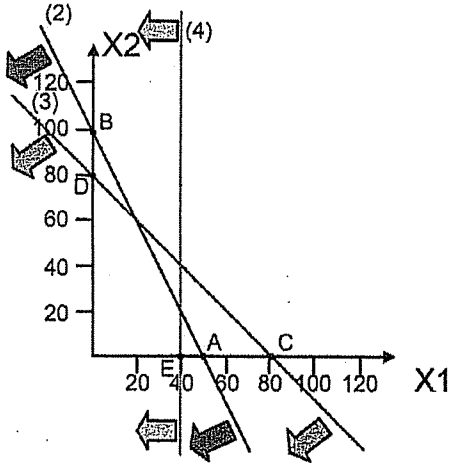


Figura 3.3: Representación gráfica de la primera, segunda y tercera restricciones

Para las dos últimas restricciones, tenemos que su área es el primer cuadrante de la gráfica. Por lo tanto, tenemos la siguiente región de la solución en el gráfico realizado por las restricciones del problema:

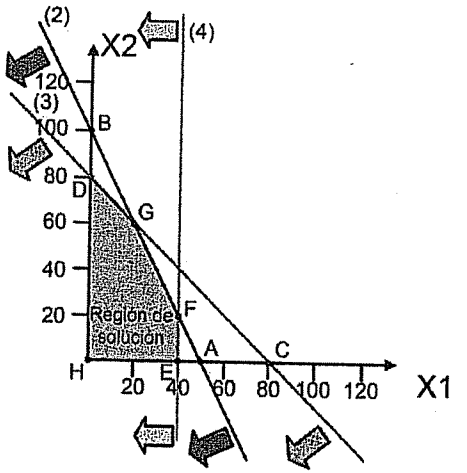


Figura 3.4: Representación gráfica de la solución

El siguiente paso es encontrar todas las soluciones del problema, para lo cual se suele utilizar la representación gráfica impuesta por cada una de las restricciones, es decir, "determinar qué subzona del espacio X1 x X2 sería aceptada por cada restricción.

Hillier y Lieberman (2005, pp. 28-29)[3] observan que para hallar de manera eficiente la solución óptima, hay que manejar el método de ensayo y error.

Esto lo resolveremos por los intentos en los vértices o en puntos seleccionados por el analista.

En consecuencia, se decide iniciar en cualquier lugar de la región de la solución; por ejemplo, (20,0), porque cae en la línea.

Desde (20,0), Z = 3(20) + 2(0) = 60

Ya que tenemos Z = 60, se utiliza el procedimiento siguiente para definir la pendiente de la función del objetivo:

Z = 3X1 + 2X2; 60 = 3X1 + 2X2

Debemos aislar X2, para lo que dividiremos entre 2: X2 = 30 – 3/2X1

Esta ecuación define la pendiente de todas las líneas, que es 3X1 + 2X2 "-3 / 2".

Sabemos también que esta línea pasa por el punto (20, 60), que se calculó, lo que nos permite trazar la línea de solución óptima en el gráfico y adoptar todas las otras soluciones (no óptimas) posibles paralelas.

Véase el gráfico:

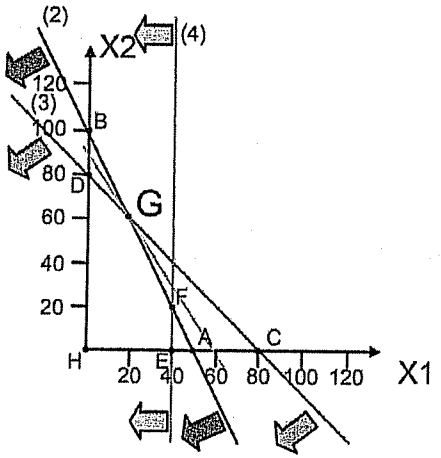


Figura 3.5: Representación gráfica de la línea recta que limita con la función objetivo

Es importante señalar que una vez extraídas directamente de la ecuación que representa la función objetivo, encontraremos todos los demás por el movimiento paralelo a la línea de diseño y obtendremos una visión de las posibles soluciones.

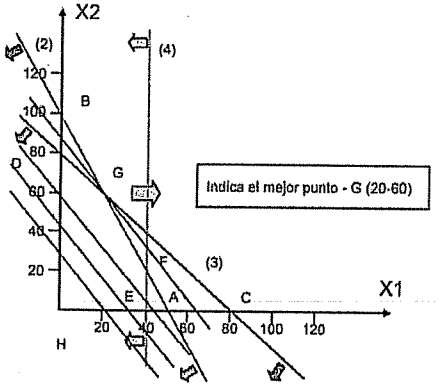


Figura 3.6: Gráfico de la restricción de líneas paralelas con la función objetivo

En la figura 3.6 nos encontramos con que la última línea paralela que toca un punto en la región de solución está en el punto G (20,60) como punto de máximo beneficio. Luego, se calcula el valor del máximo beneficio:

Z = 3X1 + 2X2, para X1 = 20 y X2 = 60, tenemos:
Z = 3*20 + 2 * 60; **Z = 180**

Lachtermacer (2004, pp. 28 y 29)[4] comenta que el método gráfico de solución de problemas de programación lineal puede ser usado solo cuando en el problema afectan dos variables de decisión, donde la solución óptima se encontrará gráficamente.

Por último, la solución para el caso hipotético es:

X1 = 20 y X2 = 60

con un beneficio de 180 unidades monetarias, lo que corresponde a la maximización deseada.

Limitaciones de la investigación de operaciones

Hasta ahora la investigación de operaciones se ha utilizado solo para solucionar un número bastante limitado de problemas gerenciales. Sus limitaciones no se deben pasar por alto. En primer lugar se encuentra la clara magnitud de los aspectos matemáticos y de cálculos. El número de variables e interrelaciones en muchos problemas gerenciales, además de las complejidades de las relaciones y reacciones humanas, requiere de un orden de matemáticas más alto del que tiene la física nuclear.

El finado genio de las matemáticas John von Neumann encontró, en su desarrollo de la teoría de los juegos, que sus capacidades matemáticas pronto llegaron a su límite en un problema de estrategia relativamente sencillo. Sin embargo, los gerentes se encuentran aún muy lejos de utilizar por completo las matemáticas de que se dispone en la actualidad.

En segundo lugar, aunque las probabilidades y las aproximaciones están siendo sustituidas por cantidades desconocidas y el método científico llega a asignar valores a factores que nunca antes se lograron medir, una gran parte de las decisiones administrativas importantes aún incluyen factores cualitativos. Hasta que éstos se puedan medir, la investigación de operaciones tendrá utilidad limitada en estas áreas y las decisiones continuarán basándose en criterios no cuantitativos.

Relacionada con el hecho de que muchas decisiones administrativas incluyen factores no medibles, está la falta de información necesaria para que en la práctica la investigación de operaciones sea útil al conceptualizar un área de problemas.

3.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

En la investigación de operaciones destaca la aplicación del método científico en el análisis y la solución de los problemas de decisión. El *método científico* es un método sistemático racional de enfoque de problemas y se desarrolla en tres fases; a saber: análisis, síntesis y evaluación. Generalmente dichas fases están compuestas por los siguientes elementos:

Fase de análisis:

1. Conocimiento e identificación de las necesidades.
2. Definición en términos específicos y detallados del problema que se ha de resolver y de los objetivos que se han de alcanzar.
3. Recopilación y estructuración de la información.
4. Identificación de las condiciones límite (esto es, qué forma y qué no forma parte del sistema).
5. La identificación de los componentes relevantes del sistema, incluidas:

   a) Las variables de entrada *versus* las de salida.
   b) Las variables controlables *versus* las no controlables.
   c) Los encargados de tomar decisiones y el proceso de toma de decisiones.

Fase de síntesis:

1. Determinación de los criterios que se han de utilizar para medir la eficacia.
2. Construcción de un modelo adecuado.
3. Recopilación de datos.
4. Búsqueda y obtención de soluciones viables a partir del modelo.

Fase de evaluación

1. Evaluación de las soluciones obtenidas a partir del modelo.
2. Elección de una decisión.
3. Implementación de la misma.
4. Su seguimiento para comprobar si se ha resuelto realmente el problema.

Las fases y pasos listados no son en absoluto precisos y completos en sí mismos, ni aparecen siempre en el mismo orden. Todos los pasos representan un esfuerzo continuo a lo largo de un estudio, con una interacción recurrente entre ellos.

La toma de decisiones tiene un carácter iterativo, con un continuo ir hacia delante y hacia atrás entre el carácter general y el detalle, ya que los profesionales intentan de forma continua mejorar su interpretación y su descripción del problema.

Análisis

En la ejecución de un proyecto de IO, la formulación del problema, o su análisis, es con frecuencia la fase más importante de un estudio. Esta tarea consiste en la definición de los objetivos fundamentales y de los subobjetivos, así como en la identificación de las variables que pueden influir considerablemente en el rendimiento o los resultados del sistema. La identificación y consideración de variables incontrolables, como el entorno comercial externo, las acciones de las empresas de la competencia, la reglamentación gubernamental y factores similares también son importantes. Otro aspecto importante es la determinación del alcance del estudio en términos de planificación a corto o largo plazos.

Síntesis

En la segunda fase suele elaborarse un modelo. Un *modelo* es una representación de un objeto, un sistema o una idea en alguna forma que no sea la de la entidad misma. El propósito de este modelo llega a ser facilitar la explicación, interpretación o mejora del sistema en estudio. En la mayoría de los estudios de IO, se utiliza un modelo matemático.

Evaluación

La fase final consiste en un análisis de la sensibilidad de las soluciones propuestas ante ligeros cambios en los supuestos, con circunstancias externas, internas o niveles de operaciones.

Consiste también en ayudar a:

1. Implementar nuevas políticas y procedimientos.
2. Observar y controlar el nuevo sistema, después de su implementación, para asegurarse de que la solución es la correcta y de que está resolviendo el problema cómo se había previsto.

3.4 MODELOS MATEMÁTICOS

Los *modelos matemáticos* están formados por ecuaciones, o fórmulas, que muestran las reacciones entre los factores importantes correspondientes a la operación objeto de estudio. Tales modelos pueden analizarse y manipularse con mayor facilidad que el sistema real, así como llegan a verificarse y evaluarse los cambios y unas hipótesis propuestos utilizando el modelo sin interrumpir el sistema real. Aquellos que pretendan interpretar, controlar o manipular las infinitas complejidades del mundo real, encontrarán en la matemática una herramienta muy poderosa. Sin embargo, no se trata de una simple

herramienta entre muchas, sino de una conceptualmente más poderosa que la mayoría de las restantes. La matemática es el lenguaje más preciso e inequívoco diseñado por el hombre.

Principio subyacente. En la construcción de modelos de IO se emplean varias técnicas matemáticas especiales, muchas de las cuales se expondrán más adelante. Aun cuando los modelos de IO pueden adoptar muchas formas, el principio subyacente a los mismos es relativamente simple.

Mediante una expresión simbólica, la forma básica de la mayoría de los modelos de IO es la siguiente:

$$Z = f(X_i, Y_j)$$

donde el rendimiento global del sistema Z es una función de un conjunto de aspectos controlables del sistema X_i y un conjunto de aspectos no controlables Y_j. En esta simplificación excesiva tan patente llama la atención el hecho de que **el rendimiento del sistema esté influido por variables que quedan fuera del control directivo, así como por otras sobre las que puede hacer algo.** Una vez se ha establecido un modelo, se intentan buscar los valores de las variables controlables X_i que maximizan (o minimizan) el rendimiento Z.

Indicadores de rendimiento o resultados. La fase más difícil de un estudio de IO suele ser el desarrollo de un indicador suficiente del rendimiento del sistema. Por desgracia, normalmente hay varios indicadores posibles, en tanto que la alternativa correcta depende de la pregunta que se plantee. El indicador de un rendimiento debe reflejar la importancia relativa de los muchos objetivos (con frecuencia en conflicto) que intervienen en cada decisión de la dirección. Tales objetivos son de dos tipos: de *conservación* y *establecidos*. Los *objetivos de conservación son aquellos destinados a mantener o preservar los recursos* (por ejemplo, tiempo, energía y habilidades o destreza) *o los estados* (por ejemplo, el confort, la seguridad y los niveles de empleo).

Los *objetivos establecidos están enfocados hacia la obtención de recursos* (por ejemplo, beneficios, personal y clientes) o a alcanzar unos estados (por ejemplo, una cuota o participación de mercado o una posición disuasiva) *que persiguen la organización y el directivo.*

En general, los modelos matemáticos útiles para los estudios de IO pueden clasificarse en *deterministas* y *probabilísticos*. Esta distinción se basa en lo que se sabe de los valores de las variables. En un modelo *determinista* se conocen o se supone que se conocen los valores de las variables. Por consiguiente, los teóricos de las decisiones se refieren tanto a la utilización de tales modelos como a la toma de decisiones en condiciones de certeza. El supuesto de certeza implica que la consecuencia de seleccionar una alternativa concreta es un resultado singularmente determinado.

Los modelos probabilísticos suponen que no se conocen con toda certeza los valores de las variables, pero que pueden asociarse a cada una de ellas unas distribuciones de probabilidad. Estas distribuciones suelen obtenerse a partir de consideraciones empíricas (datos reales o subjetivos de expertos). Los teóricos de la ciencia de decisión se refieren a la utilización de tales como a la toma de decisiones bajo riesgo.

El propósito de un buen modelo matemático es dar a los directivos a entender y evaluar la esencia de las políticas alternativas. Los elementos utilizados para obtener una solución al problema a partir del modelo dependen de las características de éste. Estos procesos pueden ser *analíticos* o *numéricos*.

Los procedimientos analíticos son aquéllos en que se resuelve directamente la ecuación o conjunto de ecuaciones. Por ejemplo, el investigador derivaría la ecuación, igualaría y a continuación despejaría las variables que pasarán a dar la función (o sustituir los valores de las variables directamente en la ecuación y hallar la función).

Los *procedimientos numéricos* tienen un carácter iterativo (método de cálculo por tanteo) que los lleva a denominarse algoritmos. Un *algoritmo* es un procedimiento sistemático que se desarrolla paso por paso, para la obtención de una solución. Las *técnicas numéricas* consisten en dar diferentes valores a las variables del modelo y hallar qué conjunto de valores proporciona la máxima eficacia.

Los *procedimientos analíticos* consisten básicamente de un carácter deductivo, es decir, los procedimientos numéricos básicamente tienen un carácter inductivo.

A continuación se describirán las características de algunos de estos modelos.

3.4.1 Modelos deterministas

Muchos problemas de decisiones se prestan a una solución directa con la utilización de las técnicas matemáticas clásicas. Con frecuencia, suele representarse el sistema que se está estudiando por medio de una ecuación o un conjunto de ecuaciones que se resuelvan directamente a través del cálculo matemático, el álgebra lineal o los métodos de resolución de ecuaciones diferenciales. Por ejemplo, llegan a confeccionarse modelos deterministas para los problemas de control de inventarios en forma de ecuación, que puede ser derivada, igualada a cero, y de allí despejarse de la misma las variables de decisión en que se esté interesado. Del mismo modo, suelen representarse muchos problemas de control mediante un conjunto de ecuaciones diferenciales que luego llegan a resolverse directamente.

Los modelos deterministas se clasifican en:

Modelos analíticos (solución matemática)

1. Cálculo matemático.
2. Álgebra lineal.
3. Ecuaciones diferenciales.

Modelos numéricos (iterativos)

1. Programación lineal:
   a) Algoritmo simplex.
   b) Algoritmo de transporte.
   c) Algoritmo de asignación.
   d) Formación de objetivos.

2. Algoritmos de optimización por redes:
   a) Flujo máximo.
   b) Itinerario más corto.
   c) Itinerario más largo.
   d) PERT/CPM (método del camino crítico).

3. Programación por enteros:
   a) Algoritmo de bifurcaciones y destinos.
   b) Algoritmo cero-uno.

4. Programación no lineal:
   a) Técnicas de búsqueda o exploración.
   b) Programación separable.
   c) Programación cuadrática.
   d) Programación geométrica.

5. Programación dinámica.

6. Algoritmos heurísticos.

7. Teoría de juegos.

La *programación matemática* es quizás el área de metodología de la investigación de operaciones más desarrollada y ampliamente utilizada. Se trata de un concepto genérico que cubre fundamentalmente los temas de la programación lineal, el análisis por redes, la programación no lineal y la programación. Se utiliza para ayudar a resolver aquellos problemas en los que el encargado de tomar las decisiones deba distribuir unos recursos escasos o limitados entre diversas actividades con la finalidad de optimizar algún objetivo específico.

La *programación lineal* se ocupa de los problemas de distribución en los que el objetivo suele expresarse como una función lineal (ecuación) de las alternativas sometidas a un grupo de restricciones que también se expresan en forma de ecuaciones lineales. Si hay múltiples objetivos, se recomienda utilizar la técnica de la *programación por objetivos.* Pese a que existen varios métodos de programación lineal especializados (los métodos de transporte y de asignación) que pueden utilizarse si las características del problema son correctas, el más versátil (o general) es el método simplex diseñado por George C. Dantzig., el cual es un método de cálculo muy potente que permite a los investigadores de IO atacar problemas de distribución o asignación de recursos a gran escala. Pueden obtenerse códigos comerciales de programación lineal de la mayoría de los fabricantes de computadoras y en las empresas de consultoría. Estos programas de computadora hacen frente hasta a 16,000 prescripciones o más sin que haya un límite práctico respecto del número de variables.

Si surge la restricción adicional de que los datos se asignan únicamente en forma de enteros o cantidades enteras, el problema se clasifica para su tratamiento mediante la *programación (lineal) por enteros.* Si los recursos son tales que o se utilizan o no se utilizan (es decir, del tipo sí o no), se trata de un problema que se resolvería con la *programación lineal de cero-uno.*

Muchos problemas de sistemas llegan a representarse en forma de red. Los sistemas de transporte, comunicaciones y distribución estarían claramente dentro de esta categoría. El analista intenta encontrar el itinerario más corto (o el más largo) o el flujo máximo a través de la red. La *técnica de evaluación y revisión de programas* (PERT) y el *método del camino crítico* (CPM) son técnicas de redes muy utilizadas en la planificación, la programación y el control de proyectos de diversos tipos.

Los métodos de *programación no lineal* se utilizan cuando o la función objetivo (meta) y/o una o más de las restricciones se expresan en formas no lineales. Puesto que muchos problemas reales incluyen elementos no lineales, cabría esperar que esta técnica se utilizara ampliamente. Sin embargo, no es el caso, debido a las dificultades de cálculo inherentes en la resolución de problemas no lineales. Se ha desarrollado una gran familia de métodos de *búsqueda o exploración* para hallar la solución a problemas de programación lineal no restringidos. Entre los más comunes están el Fibonacci, Sección Oro, Hooke-Jeeves y las técnicas de búsqueda descendente, los cuales son métodos de búsqueda secuencial que reducen sucesivamente el intervalo en donde habrá de estar situado el valor máximo (o mínimo) de una función no lineal. A pesar de que todas estas técnicas de búsqueda suelen funcionar muy bien, su utilidad está limitada por el hecho de que hay muy pocos problemas de decisiones que puedan representarse mediante una sola ecuación sin restricciones.

Como la mayoría de los problemas reales imponen ciertas restricciones a las variables decisorias, se han desarrollado varias técnicas para los problemas cuya función objetivo y/o restricciones no son lineales, como la *programación separable, la programación cuadrática* y *la programación geométrica., de las cuales* la programación separable es probablemente la más útil hoy. La técnica de programación separable aproxima las funciones no lineales mediante funciones lineales a intervalos y a continuación utiliza

un algoritmo simplex modificado de programación lineal para resolver el problema resultante.

La programación dinámica es una técnica matemática (cuyo desarrollo se debe sobre todo a Richard Bellman) utilizada para resolver los problemas sobre decisiones secuenciales. Básicamente, estos modelos se utilizan con decisiones que afectan a periodos múltiples (las que se han de tomar solo en determinadas fechas denominadas "etapas"). El objetivo básico de la mayoría de los problemas de programación dinámica es proporcionar una política al directivo, es decir, si se observa que el sistema está en una determinada situación en un momento dado, la política obtenida permite saber cuál decisión se ha de tomar. La programación dinámica también se usa para problemas que afectan a un solo periodo, pero que suelen enfocarse como si fueran resueltos a través de una secuencia de decisiones en lugar de mediante una sola, es decir, el proceso de toma de decisiones llega a desglosarse por etapas. Este método es capaz de resolver casos tanto deterministas como fortuitos (probabilísticos). En contraposición a la programación lineal y otros modelos matemáticos, no existe ninguna forma estándar para los modelos de programación dinámica, tampoco un programa de computadora generalizado en el mercado. Por consiguiente, pese a ser teóricamente uno de los útiles analíticos más potentes de la IO, en la práctica su uso queda limitado por las dificultades que surgen en la formulación del problema y las dificultades de cálculo cada vez que se deben resolver problemas con un gran número de restricciones.

Los *modelos heurísticos* son los que utilizan algunas reglas prácticas de sentido común para la búsqueda de una solución aceptable. Estos métodos no garantizan una solución óptima (a pesar de que con frecuencia llegan a encontrarle); en su lugar, aspiran a una solución correcta o a una que esté situada por encima de lo normal.

Las técnicas heurísticas suelen utilizarse con mayor frecuencia cuando el problema son de tal envergadura y complejidad que no se dispone o es imposible obtener algoritmos exactos de optimización. El enfoque heurístico busca soluciones basadas más en las características de aceptabilidad que en las reglas de optimización.

La *teoría de juegos* (desarrollada por J. Von Neumann) ha sido considerada por algunos como el más importante acontecimiento matemático del siglo pasado. Consiste en el estudio de situaciones competitivas en las que dos o más participantes están en conflicto. Cada uno de los implicados controla parte de las acciones que tienen lugar. Se trata de una situación en la que el encargado de tomar las decisiones desea alcanzar algún objetivo y es quien elige una estrategia de entre las varias alternativas disponibles. Esta estrategia, junto con los sucesos probabilísticos o estados de la naturaleza y la estrategia competitiva de contraataque empleada por el oponente, determina el grado en que el individuo está alcanzando o no el objetivo perseguido.

La aportación más práctica y significativa de la teoría de juegos ha sido proporcionar un marco conceptual y racional para el análisis de decisiones. El proceso mismo de analizar una situación competitiva en el contexto de la teoría de juegos servirá para proporcionar un enfoque lógico y un instrumento de auxilio a la interpretación (aun cuando brinde soluciones que solo sirvan para problemas muy simples).

3.4.2 Modelos probabilísticos

Algunas de las técnicas de IO más aplicadas provienen de la teoría de la probabilidad y de la estadística. Entre éstas se encuentran la probabilidad discreta y continua, el análisis combinatorio y la teoría de la renovación[8]. Introduciendo las nociones de los límites de confianza y probabilidad de un suceso, en lugar de utilizar valores medios simples, se presenta una visión mucho más realista de los resultados probables.

Los modelos probabilísticos o heurísticos se clasifican en:

A. Analíticos (teóricos):
   1. Teoría de la probabilidad.
   2. Teoría de colas.
   3. Procesos de Markov.
   4. Procesos de renovación.

B. Numéricos (iterativos y empíricos):
   1. Simulación.
   2. Valor esperado.
   3. Árboles de decisiones.
   4. Análisis de la regresión.

Los procesos estocásticos o fortuitos son aquéllos en los que las probabilidades de determinados sucesos cambian dinámicamente con el tiempo, la distancia y otros parámetros. Uno de los frutos importantes de la creciente capacidad para estudiar los procesos estocásticos es la teoría de colas, la cual se ocupa del estudio de las colas de espera de todo tipo concebible y la necesidad de reducir los embotellamientos y las congestiones, así como la capacidad de una unidad operacional para prestar algún servicio. Las unidades, o elementos de interés, llegan a la instalación donde se presta dicho servicio, esperan en la cola si es necesario, reciben el servicio deseado y abandonan el sistema. Estos modelos son característicos de peajes de autopista, mostradores de venta, salas de herramientas, instalaciones de embarque, etcétera.

Resultan también útiles cuando se lleva el servicio hasta donde está la unidad, como cuando se averían las máquinas y esperan la llegada de un retén de mantenimiento o reparaciones. El objetivo de los estudios realizados basándose en la teoría de colas es determinar el número óptimo de personas o instalaciones necesarias para atender a los clientes que llegan al azar, así como equilibrar el coste del servicio con el de la espera o congestión.

En general, la teoría de colas ofrece información sobre la probabilidad de que un determinado número de unidades (personas, máquinas, etcétera) tenga que esperar en

la cola, durante cuánto tiempo cabe esperar que habría que hacerla y el porcentaje de tiempo inactivo de la instalación que presta el servicio. Tales cantidades se utilizan para determinar si debería aumentarse el tamaño del espacio de espera o la velocidad del servicio.

Otra forma útil de los modelos estocásticos o fortuitos es el denominado *proceso de renovación*. Los estudios afines a la sustitución de lámparas según su esperanza de vida o a la revisión de motores de avión son algunos ejemplos. Los estudios de *procesos de renovación* versan sobre la probabilidad de avería o de desgaste a lo largo del tiempo de algún objeto. Estos conceptos de renovación son similares a los usados por los expertos en estadística en los estudios actuariales de seguros de vida. Los estudios de fiabilidad de sistemas están también estrechamente relacionados y manejan muchos de estos conceptos.

Cuando el futuro estado probable de un sistema depende únicamente del estado actual, recibe el nombre de proceso Markov. En una secuencia de sucesos dependiente de un proceso Markov, el conocimiento del presente hace que el futuro sea independiente del pasado. Si se sabe que el sistema ha alcanzado un determinado estado, no tienen importancia la cadena de sucesos a lo largo de los cuales haya pasado hasta llegar a esta etapa en lo que respecta a la predicción de a qué estado pasará a continuación. O lo que es lo mismo, el sistema no cuenta con una *memoria* que le permita modificar su comportamiento. Una secuencia de sucesos, cada uno de los cuales está sujeto a la propiedad markoviana expuesta, se denomina c*adena Markov*. Las cadenas Markov han sido utilizadas para estudiar los tipos de análisis financiero. Sin embargo, el modelo incluye varios supuestos excesivamente simplificados que limitan su utilidad.

La *técnica del valor esperado* es más un criterio de toma de decisiones que un método de confección de modelos. El valor esperado de una decisión estratégica completa es la suma de los valores de cada uno de los posibles resultados multiplicado por la probabilidad de que ocurra. Por ejemplo, si un individuo lanzara una moneda al aire y recibiera 1 peso cada vez que obtuviera cara y entregara como prenda otro cada vez que saliera cruz, su valor esperado sería igual a 0,5 (1 $) + 0,5 (- 1 $) = 0. Si el encargado de tomar las decisiones considera varias alternativas, una de las cuales tiene periòdos de amortización y distribuciones de probabilidad diferentes, puede calcularse el valor esperado de cada alternativa con la finalidad de seleccionar aquélla con la máxima amortización esperada.

Los *árboles de decisiones* son un caso especial de la programación dinámica, cuando son utilizados para representar situaciones problemáticas que requieran una secuencia de decisiones. En cada árbol hay una secuencia de decisiones para las que, una vez tomada cada decisión, surge un resultado de carácter probabilístico. Una vez se conoce este resultado, existe la necesidad de tomar una decisión adicional, lo cual se presenta en forma de diagrama en la siguiente figura:

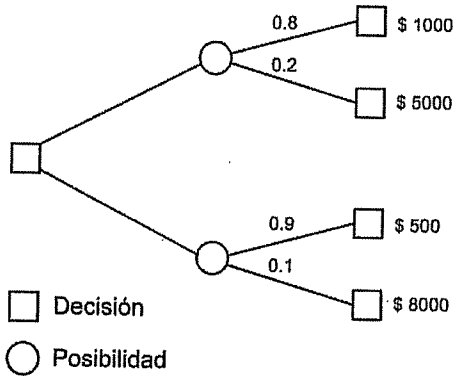


Figura 3.7: Árbol de decisiones

En este árbol hay dos tipos de nodos:

1. Puntos de decisión en los que el encargado de tomar las decisiones decide qué es lo que habrá de hacer a continuación.

2. Nodos probabilísticos en los que otra persona o cosa controla el resultado. Se asigna una probabilidad de ocurrencia a cada rama de los nodos probabilísticos. Al final de cada una de estas ramas se coloca un valor que representa la utilidad de dicho punto.

El enfoque del árbol de decisiones determina posteriormente qué decisiones deberían tomarse retrocediendo desde los extremos de las ramas al primer punto de decisión. Se obtiene el valor esperado para cada decisión alternativa en un punto de decisión mediante la utilización de la técnica del valor esperado.

El análisis de regresión es una técnica estadística ampliamente usada para obtener relaciones de previsión de valores a partir de datos históricos o de pruebas empíricas. Es principalmente una técnica de ajuste de rectas o curvas. Si se sospecha que el valor de una variable es una determinada función de alguna de las variables, es posible utilizar el análisis de la decisión para obtener una ecuación de tipo probabilístico. Las técnicas de la regresión son ampliamente utilizadas por los economistas en los estudios econométricos.

Simulación

De todas las metodologías de confección de modelos disponibles, la más potente y ampliamente utilizada es la de simulación. Un modelo *de simulación* es el que limita el comportamiento y presenta las características del proceso o sistema de interés. La simulación consiste en el desarrollo de un modelo del sistema que muestre las

relaciones lógicas entre los diferentes componentes del mismo, cuya interrelación debe ser capaz de mostrar la conexión entre los estados sucesivos del sistema objeto de estudio. El modelo desarrollado puede ser físico (icónico) o matemático (lógico), formas en las que es confeccionado por una computadora. Este modelo puede utilizarse posteriormente para realizar experimentos con el propósito de interpretar el comportamiento del sistema o de evaluar las diversas estrategias para el funcionamiento del mismo.

Los modelos de *simulación física* pueden ser:

1. Maquetas a escala real, como las utilizadas para formación de pilotos de avión o conductores de automóvil.
2. Modelos a escala reducida, como los utilizados para la verificación de aviones en el túnel de viento. El sistema, ampliamente extendido en el sector químico, de construir una pequeña planta piloto (experimental) de un nuevo proceso, antes de entrar en la producción a escala real, constituye un excelente ejemplo de simulación con el uso de modelos físicos.

Los modelos de *simulación por computadora* utilizan relaciones matemáticas y lógicas para representar e imitar el comportamiento de los componentes del sistema objeto de estudio. Los modelos de planificación de una sociedad mercantil suelen ser de este último tipo, pues se desarrollan en los aspectos de marketing y/o de producción de sus operaciones. Los modelos de simulación por computadora pueden ser de carácter determinista o incluir variables probabilísticas. La simulación se utiliza cuando:

1. Las técnicas matemáticas son inadecuadas.
2. Existe la necesidad de comprender cómo funciona un sistema complejo y de saber el efecto de las diferentes decisiones; además, deben preverse los problemas potenciales y los métodos para resolverlos.

3.5 ÁREAS DE APLICACIÓN DE LA IO

Los siguientes son algunos de los tipos de problemas en los cuales se ha aplicado con éxito la IO:

PRODUCCIÓN

Incluye:

1. Planificación y programación de la producción, incluidas las decisiones sobre combinaciones de productos, confección de secuencias de trabajos, horas extraordinarias, calendario de actividades, etcétera.

2. Distribución de las órdenes de producción a las diferentes plantas o los diversos departamentos según los costos de producción o transporte.
3. Programación de las tareas de mantenimiento (tanto preventivo como de corrección) y la sustitución o renovación de equipos.
4. Balanceo de líneas de ensamble y distribución y asignación de las instalaciones y personal.
5. Gestión de inventario de materias primas y trabajos en curso.
6. Análisis de las colas de espera y embotellamientos.

PLANIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES

Aquí se incluyen:

1. Número y ubicación de fábricas, almacenes, sala de herramientas, talleres de reparación, minoristas, parques de bomberos, ambulancias, escuelas, etcétera.
2. Distribución interna y disposición del espacio.
3. Diseño de sistemas de manipulación de materiales.

ADQUISICIÓN Y APROVISIONAMIENTO

En estas funciones se incluyen:

1. Desarrollo de normas para la adquisición de suministros, ya sea con precios estables o considerablemente variables.
2. Determinación de las cantidades, la periodicidad y la fuente de suministro.
3. Toma de decisiones sobre si se han de comprar unas determinadas piezas o componentes.
4. Toma de decisiones sobre adquisición o arrendamiento de vehículos y equipos.
5. Necesidades de mantenimiento en inventario de piezas de repuesto, así como también los problemas asociados con el deterioro y la merma de productos.

INVERSIÓN Y FINANCIACIÓN

En estas funciones se incluyen:

1. Análisis del flujo de caja.
2. Necesidades de capital a largo plazo.
3. Alternativas de inversiones y fuentes de capital.
4. Desarrollo de sistemas automatizados de proceso de datos.
5. Sistemas de contabilidad y procedimientos de auditoría.
6. Decisiones de diversificación.
7. Selección de la cartera de acciones y obligaciones.
8. Presupuestación, planificación y control.
9. Previsión de necesidades financieras.

MARKETING O COMERCIALIZACIÓN

Dentro de este se agregan:

1. Estrategias publicitarias, incluida la selección de los medios de comunicación, frecuencia de los *spots* publicitarios y la distribución del presupuesto entre los diversos medios.
2. Selección del producto y calendario de lanzamiento al mercado de nuevos productos.
3. Previsión de la demanda.
4. Estrategias de fijación de precios y lanzamiento de ofertas.
5. Número de agentes de venta.
6. Tamaño de las zonas comerciales.
7. Distribución del esfuerzo de venta.
8. Planes de remuneración y de incentivos para los agentes de ventas.
9. Estrategias de garantías y servicio al cliente.
10. Decisiones sobre la titularidad de los puntos de venta por parte de la empresa *versus* la concesión de franquicias.
11. Distribución del espacio para la exhibición y accesibilidad a las existencias.

TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN FÍSICA

En estas funciones se incluyen:

1. Sistemas de control de inventario de nivel múltiple.
2. Sistemas de logística y suministro a nivel mundial.
3. Desarrollo de la política de transporte y asistencia.
4. Determinación de las rutas óptimas que deben seguir los vehículos de distribución y suministros.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

En esta función se engloban:

1. Evaluación de los diseños alternativos.
2. Determinación de las áreas de investigación necesarias y las previsiones tecnológicas.
3. Selección de los proyectos individuales.
4. Distribución de los recursos entre los proyectos de investigación y desarrollo.
5. Procedimientos de coordinación y control de dirección en el caso de que se estudien proyectos complejos de investigación y desarrollo.

PERSONAL

Aquí se consideran:

1. Políticas de selección y contratación de personal, incluida la determinación de las combinaciones de edades y habilidades necesarias.
2. Análisis de factores que influyen en la rotación de personal, absentismo y actitudes negativas ante el puesto de trabajo.
3. Desarrollo de esquemas de incentivos, mejora de la productividad y cálculo de resultados.

ÁREA DE CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS GUBERNAMENTALES

Entre éstos se toman en cuenta:

1. Análisis de los sistemas de transporte por vía aérea, ferrocarril, carretera y marítima, incluidas las rutas.
2. Desarrollo de estrategias de recogida y eliminación de desechos, incluida la fijación de la ruta de los vehículos.
3. Determinación de los distritos educativos y las rutas de los autobuses escolares.
4. Estudios de control del tráfico.
5. Planificación urbana, incluida la utilización de los terrenos, los transportes y las instalaciones comunitarias.
6. Planificación económica.
7. Análisis costo/beneficio.
8. Evaluación de armas y estrategias militares.[5]

EJEMPLOS DE APLICACIONES 6 y 7

La planificación de procesos consiste en el diseño y la implantación de un sistema de trabajo para generar los productos deseados en las cantidades requeridas, en los tiempos previstos y con costos aceptables. Tal transformación de recursos en bienes y servicios de mayor valor es el corazón tecnológico de una operación de producción, la cual fusiona factores del ambiente de mercado (que se muestran en la parte izquierda de la figura 3.8) y la base tecnológica de la organización (que aparece en la parte derecha de la misma figura) en una actividad productiva económicamente eficiente.

Los procesos de transformación actual van desde montaje mecánico, eléctrico y procesos químicos (principalmente en la producción de bienes) hasta procesos médicos, de educación e información (para servicios).

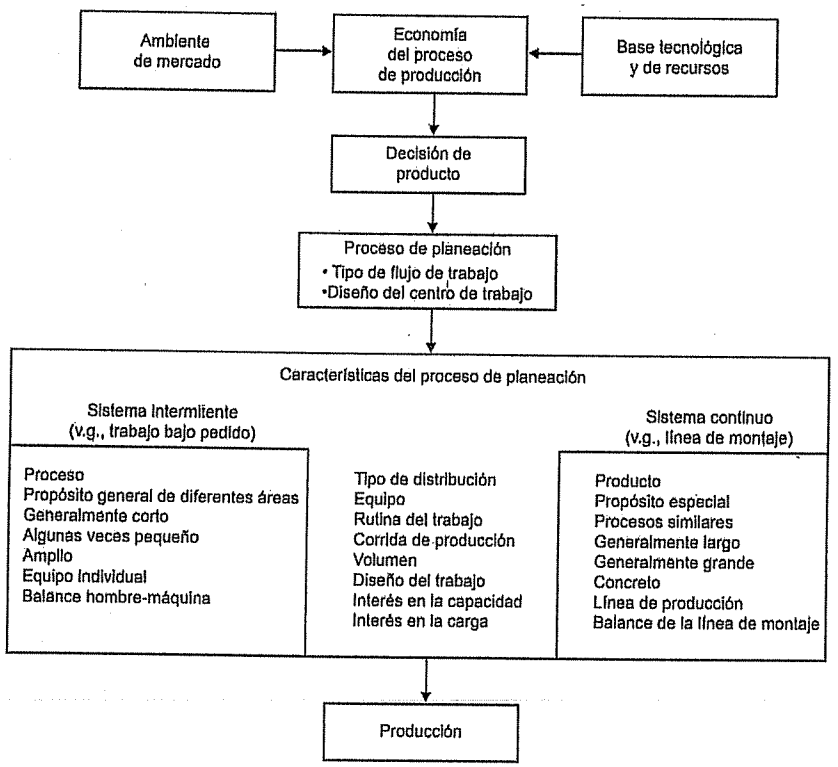


Figura 3.8

Los procesos de planeación con ayuda de la computadora implican el uso de ésta en la preparación de rutinas y en la programación. La preparación de programas para centros de trabajo por grupo tecnológico es menos complicada que para máquinas, debido a que reduce el número de elementos y rutinas. La simulación por computadora también es una manera efectiva de planear un flujo de proceso eficiente. Como se ilustra en la figura 3.8, las actividades de planeación de procesos están concentradas en:

1. El tipo de flujo de trabajo.
2. El diseño de los centros de trabajo.

El flujo de trabajo es una función del tipo de distribución (proceso o producto) que será diseñado para actividades de proceso continuas o intermitentes. En los sistemas intermitentes, los esfuerzos de planeación están enfocados a capacidades individuales de equipo y balance operador-máquina, mientras que en los sistemas continuos los intereses se centran en la capacidad de la línea y en el balanceo de la línea de montaje.

Sistemas de producción intermitentes y continuos

Los sistemas intermitentes son usados para producir pequeñas cantidades (o lotes) de muy diferentes artículos o de uso relativamente general. Más de 50% de toda la producción es hecha en lotes. El equipo de proceso y el personal están localizados de acuerdo con la función que desempeñan, en tanto que el producto fluye a través de las instalaciones por caminos irregulares. Los trabajos son individualmente asignados, programados y controlados en sistemas de *control de órdenes*. Los bienes o servicios son frecuentemente individualizados *o hechos a la orden*.

Los sistemas continuos son usados para producir grandes volúmenes de un solo artículo (o relativamente pocos artículos) en equipo especializado siguiendo un patrón fijo. Los artículos siguen un proceso de producción similar, el cual puede ser cualesquiera desde un ducto (para petróleo) hasta una línea de montaje (para computadoras). La elaboración de rutas y la programación se enfocan a los *controles de flujo que* gobiernan la razón de flujo de materias primas y productos terminados. Para producir grandes volúmenes, las líneas de montaje son generalmente diseños estandarizados y *hechas para inventarios*.

Los sistemas de producción flexibles, una forma más computarizada de sistemas continuos, son usados para producir grandes volúmenes de productos individualizados en equipo altamente automatizado, que es individualmente responsivo a comandos lógicos. Los sistemas flexibles descansan sobre todo en los microprocesasodores para almacenar, manipular y transmitir información para actividades de producción. Con la ayuda de las computadoras en los sistemas de manufactura (CAM), las empresas logran combinar los beneficios de distribuciones intermitentes por proceso con las ventajas de velocidad de distribuciones continuas (líneas de producción). Los sistemas de producción flexibles requieren mayor inversión de capital, pero operan con costos reducidos de mano de obra. La utilización de las máquinas puede incrementarse de 25% a 75% o aun 80%. En algunas plantas, los tiempos de procesado han disminuido en más de 50%.

Selección de equipo (punto crítico de máquinas)

Las decisiones de planeación de procesos suelen implicar la selección de capacidades de equipo que se requiere para satisfacer un determinado nivel de producción. Cuando los costos de proceso para producir de diversas maneras o distintos modos un mismo trabajo pueden ser divididos en sus componentes de costos fijos y variables, la alternativa más económica es aquella que representa los costos totales más bajos para producir el volumen esperado. Una gráfica de costos revelará los puntos críticos de las máquinas.

En este caso, el modelo matemático que representa el coste es:

Coste total (CT) = Coste variable unitario (CV) X cantidad (Q) + coste fijo o de preparación (CF)

Ejemplo 3.2: Los soportes de un motor pueden ser procesados en una de tres máquinas. Los costos, con sus respectivos cálculos, se presentan en la tabla siguiente:

Cálculo de puntos críticos de producción				
Coste	Máquina			Coste Total
	1	2	3	1600
Fijo (preparación) $	100	200	600	1200
Variable unitario	3	2	1	1100
Puntos críticos	0-100	101-400	400-	

Tabla 3.1

Simulación Montecarlo de operaciones

La simulación suele aplicarse cuando la aplicación de modelos matemáticos resulta impráctica. Mediante la simulación se modela la esencia de un sistema para evaluar su comportamiento en el tiempo, lo cual no representa una técnica de optimización, como la programación lineal, pero permite representar problemas complejos, generalmente con el apoyo de una computadora, considerando solo las variables principales o de interés para el problema a analizar.

Los pasos de la simulación son:

1. Definir el problema.
2. Determinar los parámetros, los criterios y las reglas de decisión.
3. Validación del modelo.
4. Diseño del experimento y recolección de datos, para simulación Montecarlo, sobre la o las distribuciones de probabilidad de la actividad analizada, desarrollo de la distribución de probabilidad y distribución de probabilidad acumulada, asignando intervalos de números aleatorios a cada clase de distribución.
5. Simulación: mediante números aleatorios se representa la actividad del sistema.
6. Evaluación de los resultados.
7. Revisión del modelo o, en caso necesario, recolección de datos complementarios.
8. Análisis y registro.

Ejemplo 3.3: Elaboración de planes de producción para un nuevo producto:
Se desea simular la demanda de materia prima para planear adecuadamente el manejo de materiales y las instalaciones de almacenamiento. Con base en el consumo de un producto similar introducido, se desarrolla la distribución de frecuencia de la demanda por día. Con los datos de la tabla siguiente, simule los requerimientos de materia prima para siete días.

Datos		Cálculos para la simulación		
Demanda (ton/día)	Frecuencia (días)	Probabilidad P(X) = frecuencia/ total	Probabilidad acumulativa	Números asignados
10	6	0.10	0.10	00-09
11	18	0.30	0.40	10-39
12	15	0.25	0.65	40-64
13	12	0.20	0.85	65-84
14	6	0.10	0.95	85-94
15	3	0.05	1.00	95-99
	60	1.00		

Tabla 3.2

Simulación:

Día	1	2	3	4	5	6	7	Total	Media	Desv. Estd.
Número aleatorio	27	13	80	10	54	60	49			
Demanda simulada por día	11	11	13	11	12	12	12	82	11.7	0.76

Tabla 3.3

El valor esperado de la distribución de probabilidad empírica es:

$$E(X) = \sum[XP(X)] = 12.05 \text{ ton}$$

lo que sugiere que el número de periodos simulados no fue suficiente, por lo que debe simularse una muestra más grande para obtener resultados satisfactorios que sean usados para tomar decisiones.

Ejemplo 3.4: Un problema sobre inversiones gubernamentales:

Supóngase que en el poblado de Tixtla, Guerrero, Nacional Financiera pretende hacer inversiones cuantiosas en el cultivo de aguacate, lima reina, mango y zapote prieto. Se persiguen dos objetivos, uno es reducir el desempleo rural y otro, aumentar las exportaciones que vendrán a equilibrar la balanza de pagos de la nación. Se sabe que la producción promedio de cada árbol está dada por la siguiente tabla:

Tipo de árbol	Producción promedio anual (unidades)	(kg)	Observación
Aguacate	350	150	Una vez por año
Lima reina	230	200	Una vez por año
Mango	150	50	Una vez por año
Zapote prieto	400	150	Una vez por año

Tabla 3.4

El precio promedio estimado en el mercado mundial es $ 40.00 por kg de aguacate, $16.00 por kg de lima reina, $ 60.00 por kg de mango y $ 28.00 por kg de zapote prieto. Existe una extensión de 250 000 M^2 de tierra de propiedad federal propicia para el cultivo de esos productos. Supóngase que técnicos de la Secretaría de Agricultura han determinado que las siguientes extensiones mínimas son necesarias para el cultivo de esos productos:

Tipo de árbol	Extensión mínima de cultivo por árbol (m^2)	Coste de siembra, compra, cuidado y mantenimiento ($)	Cuidados requeridos (hrs-h / año)
Aguacate	4	2	36
Lima reina	5	0.5	72
Mango	3	1	50
Zapote prieto	6	1.5	10

Tabla 3.5

Nacional Financiera pretende hacer una inversión de 20 millones de pesos, pensando exportar toda su producción a partir del tercer año, que es periodo cuando cada árbol empieza a ser productivo.

El desempleo en Tixtla se ha calculado en 500 personas y el gobierno federal ha delineado que este proyecto emplee al menos 200 personas en forma continua.

Bajo estas circunstancias, ¿cuántos árboles de aguacate, lima reina, mango y zapote prieto deberán sembrarse con objeto de maximizar el valor de la futura exportación anual?

Formulación

Sean:

X_a, el número de árboles de aguacate a ser sembrados.
X_l, el número de árboles de lima reina a ser sembrados.
X_m, el número de árboles de mangos a ser sembrados.
X_z, el número de árboles de zapote prieto a ser sembrados.

El valor promedio de la exportación (VPE) anual lo representamos así:

$VPE = (40)(150)X_a + (16)(200)X_l + (60)(50)X_m + (28)(150)X_z$

La restricción correspondiente a la extensión de tierra laborable está dada por:

$4X_a + 5X_l + 3X_m + 6X_z \leq 250{,}000\ m^2$

Respecto de la inversión inicial se tiene que:

$2X_a + 0.50X_l + 1X_m + 1.50X_z \leq 20{,}000{,}000$

En cuanto la condición de empleo mínimo que el gobierno federal se ha fijado, ésta puede representarse por:

$36X_a + 72X_l + 50X_m + 100X_z \geq 8 \times 200 \times 365,$

Por último, como el número de árboles, de cualquier especie, no puede ser negativo (en vez de sembrar, se destruye), se tiene que:

$X_a \geq 0, X_l \geq 0, X_m \geq 0, X_z \geq 0$

La formulación del problema queda:

Maximizar $6{,}000X_a + 320X_l + 3{,}000X_m + 4{,}200X_z$

Sujeto a:

$4X_a + 5X_l + 3X_m + 6X_z \leq 250{,}000$
$2X_a + 0.5X_l + X_m + 1.5X_z \leq 20{,}000{,}000$
$36X_a + 72X_l + 50X_m + 100X_z \geq 584{,}000$
$X_a \geq 0, X_l \geq 0, X_m \geq 0, X_z \geq 0.$

La solución del modelo anterior llega a generar resultados fraccionarios, que serían imposibles de aplicarse en la realidad. Para evitar unidades fraccionarias se desea que el número de árboles, de cualquier especie, no solo no fuera negativo, sino también entero, es decir:

$X_a \geq 0$ y entero, $X_l \geq 0$ y entero, $X_m \geq 0$ y entero, $X_z \geq 0$ y entero.

Lo anterior haría cambiar el modelo de programación lineal a un modelo de **programación entera**, cuyos métodos de solución son enteramente diferentes.

Ejemplo 3.5: Un problema de distribución (modelo de transporte):

La Fábrica Nacional de Cerveza tiene plantas ubicadas en el Distrito Federal, Guadalajara, Monterrey, Tijuana y Mérida. La Fábrica Nacional de Latas, una subsidiaria de la Fábrica Nacional de Cerveza, cuenta con plantas ubicadas en Puebla, Torreón y Celaya.

La demanda mensual de latas de cerveza se pronostica en:

Planta de cerveza	Demanda mensual en latas
Distrito Federal	2,000,000
Guadalajara	500,000
Monterrey	400,000
Tijuana	100,000
Mérida	100,000

Tabla 3.6

Las latas de cerveza abiertas se retornan a la Fundidora Nacional de Aluminio, en donde se reconvierten en aluminio, y de ahí se mandan a la fábrica de latas.

La producción máxima mensual de latas es:

Planta de latas	Capacidad mensual en latas
Puebla	1,000,000
Torreón	1,500,000
Celaya	750,000

Tabla 3.7

Los fletes son una función de las distancias que existen entre las plantas productoras de cerveza y las plantas productoras de latas. Estos fletes son:

	$ por transportar 1000 latas		
	Puebla	Torreón	Celaya
Distrito Federal	5	20	15
Guadalajara	20	15	2
Monterrey	25	2	10
Tijuana	75	50	40
Mérida	45	80	60

Tabla 3.8

Bajo tales condiciones, ¿qué programa de distribución mensual de latas se debería establecer con la finalidad de satisfacer la demanda mensual en las fábricas de cerveza, sin exceder la producción mensual y todo a coste mínimo? Las unidades del programa de distribución mensual se da en miles de latas.

Formulación

Sea:

X_{ij}, la cantidad de miles de latas que se envían de la fábrica i(i = Puebla, Torreón, Celaya) a la fábrica de cerveza j(j = Distrito Federal, Guadalajara, Monterrey, Torreón y Mérida) en un mes.

Entonces, el coste total de envío es:

$$\text{COSTE} = 5X_{P,D.F} + 20X_{P,G} + 25X_{P,M} + 75X_{P,T} + 45X_{P,ME} + 20X_{TO,D.F,} + 15X_{TO,G} + 2X_{TO,M} + 50X_{TO,T} + 80X_{TO,ME} + 15X_{C,D.F} + 2X_{C,G} + 10X_{C,M} + 40X_{C,T} + 60X_{C,ME}$$

el cual se tiene que minimizar, pero sujeto a las restricciones:

Las expresiones matemáticas que implican que la demanda mensual se satisfaga, son:

a) En el Distrito Federal:
$X_{P,D.F.} + X_{TO,D.F.} + X_{C,D.F.} \geq$ 2,000,000 / 1,000 latas.

b) En Guadalajara:
$X_{P,G} + X_{TO,G} + X_{C,G} \geq 500{,}000 / 1{,}000$ latas.

c) En Monterrey:
$X_{P,M} + X_{TO,M} + X_{C,M} \geq 400{,}000 / 1{,}000$ latas.

d) En Tijuana:
$X_{P,T} + X_{TO,T} + X_{C,T} \geq 100{,}000 / 1{,}000$ latas.

e) En Mérida:
$X_{P,ME} + X_{TO,ME} + X_{C,ME} \geq 100{,}000 / 1{,}000$ latas.

Por otro lado, las restricciones que indican que no se puede exceder la capacidad de producción mensual de latas son:

f) Planta en Puebla:
$X_{P,D.F.} + X_{P,G} + X_{P,M} + X_{P,T} + X_{P,ME} \leq$ 1,000,000 / 1,000 latas.

g) Planta en Torreón:
$X_{TO,D.F.} + X_{TO,G} + X_{TO,M} + X_{TO,T}\ X_{TO,ME} \leq$ 1,500,000 / 1,000 latas.

h) Planta en Celaya:
$X_{C,D.F.} + X_{C,G} + X_{C,M} + X_{C,T} + X_{C,ME} \leq 750{,}000 / 1{,}000$ latas.

Por último, todas las variables X_{ij} (i = P, TO, C; j = D.F., G, M, T, ME) deben ser no negativas, de lo contrario se mandarían las latas de regreso, es decir, de las plantas de cerveza a las fábricas de latas.

Ejemplo 3.6: Un problema de asignación de recursos educativos

Se supone que la Secretaría de Educación Pública se ha trazado un plan a 4 años para entrenar maestros urbanos y rurales de enseñanza primaria. El entrenamiento de ambas clases de maestros tarda un año y los costos de entrenamiento están dados por:

Año	Por maestro rural	Por maestro urbano
1	$10,000	$12,500
2	$10,100	$13,000
3	$10,200	$13,500
4	$10,300	$14,000

Tabla 3.9

La demanda pronosticada de maestros de ambas clases es de:

Año	Maestro rural	Maestro urbano
1	1000	5000
2	1500	6000
3	2000	7000
4	2500	8000

Tabla 3.10

Los salarios anuales percibidos por maestro rural y urbano son de:

Año	Maestro rural	Maestro urbano
1	$10000	$12000
2	$10100	$12200
3	$10200	$12400
4	$10300	$12600

Tabla 3.11

Al finalizar un año de labores se les ofrece la opción a los maestros de continuar en su mismo trabajo o de cambiar de urbano a rural o viceversa, de rural a urbano. De no cambiar, su salario permanecerá regido por la tabla anterior. Quienes cambien de rural a urbano percibirán un salario correspondiente a la tabla vigente para maestros urbanos en ese año. En cambio, maestros urbanos que cambien a rurales percibirán el salario de maestro urbano correspondiente a ese año.

Debido a la capacidad de las instalaciones, el gobierno federal puede únicamente entrenar y graduar a no más de 3,000 maestros en total (urbanos y rurales) por año. Si por la oferta limitada en cierto año es necesario cubrir la demanda esta se hará con maestros jubilados a un coste de $ 15,000 por año por maestro, independientemente a que funcionen en las áreas rural o urbana.

Bajo tales circunstancias, ¿cuántos maestros de cada tipo deberían prepararse por año, cuántos deberían de cambiar de calidad por año y cuántos jubilados habríañ de emplearse por año, tal que el coste total se minimice y se atenga a la demanda pronosticada?

Formulación:

El problema se resolvería mediante una red, como la que se muestra en la figura 3.9 donde el nodo 0 es una fuente inagotable de jóvenes que quieren ser maestros, ya sea urbanos o rurales. Los arcos 0-l, 0-2, 0-3, 0-4 representan a la gente que el gobierno federal empieza a entrenar en los años 1, 2, 3, 4, con la finalidad de que inicien sus servicios un año más tarde. Nótese que el arco 0-5 ya no interesa, pues gente graduada en 1981 cae fuera del plan a cuatro años. La capacidad de cada uno de estos arcos es de 3,000 individuos por arco como máximo. El flujo de jóvenes en los nodos 1, 2, 3 y 4 pueden seleccionar la ruta de maestro rural a cierto coste para el gobierno federal (arcos 1-6, 2-7, 3-8, 4-9) o de maestro urbano a otro coste (arcos 1-10, 2-11, 3-12 y 4-13). La demanda anual rural se da por un mínimo de flujo que debe circular por los arcos 6-14, 7-15, 8-16 y 9-17, mientras que la demanda urbana se da por un mínimo de flujo que debe circular por los arcos 10-18, 11-19, 12-20 y 13-21. Los maestros durante el año que ejerzan percibirán el sueldo anual dado por los arcos 14-7, 15-8, 16-9 para maestros rurales y 18-11, 19-12, 20-13 para maestros urbanos. Al finalizar un año, los maestros urbanos que deseen trabajar como rurales lo harán a un coste para el gobierno federal dado por la cantidad que se muestra en los arcos 18-14, 19-15, 20-16 y 21-17. Los maestros rurales que deseen trabajar como urbanos lo harán a un coste para el Gobierno Federal dado por los arcos 14-18, 15-19, 16-20 y 17-21. Si es necesario cubrir la demanda con maestros jubilados, se haría a un coste dado por los arcos 22-6, 22-7, 22-8, 22-9, 22-10, 22-11, 22-12 y 22-13. Se supone que la cantidad de maestros jubilados que es posible emplear es bastante grande (suficiente para cubrir la demanda). Como el gobierno federal tiene otros planes para después del año 4, todos los arcos que emanan hacia el año 5 no se considerarán.

Año 0 1 2 3 4

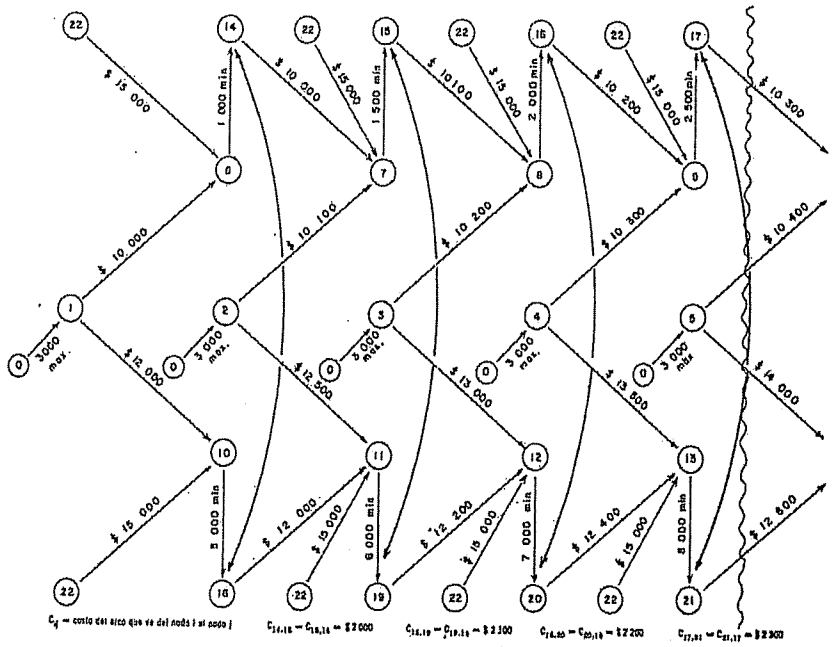


Figura 3.9: A este tipo de modelo se le denomina **red de optimización.**

Estas redes suelen ser análogas a una serie de tuberías de diferentes gruesos por donde en ocasiones no debe fluir más de cierta cantidad y otras veces al menos cierta cantidad y todo a diferentes costos. El problema a resolver sería el de hacer circular el flujo (de maestros en este caso) a coste mínimo sin violar las capacidades mínimas y máximas de cada arco.

Ejemplo 3.7: Un problema de construcción

Se supone que los gobiernos de México y Guatemala han decidido construir una presa en el río Usumacinta para la generación de energía eléctrica que se utilizará, por una parte, para alimentar los parques industriales de Ciudad del Carmen, Campeche; Chetumal, Quintana Roo; Mérida, Yucatán; Tuxtla Gutiérrez y Tapachula, Chiapas, así como por la otra para satisfacer la demanda de las ciudades de Guatemala, Quezaltenango y Puerto Barrios en Guatemala. El lugar de construcción es únicamente accesible por chalana que se toma cerca de Tenozique, Tabasco. El recorrido en este medio de transporte es de aproximadamente 50 km por el río Usumacinta. Se piensan construir 10 chalanas, que transporten cada uno 1,000 m^3 de materiales de construcción. Cada chalana tendrá un compartimiento rectangular

de t_1 metros de largo, t_2 de ancho, t_3, de altura y solamente fondo, pues la parte superior estará al descubierto. Las paredes laterales y el fondo cuestan \$1,000 m^2, mientras que los extremos, que son de otro material más resistente, cuestan \$2,000 m^2. Las chalanas harán el recorrido a un coste de \$ 100.00 por viaje redondo.

¿De qué dimensiones debe ser cada chalana tal que el coste total de cada viaje redondo sea mínimo?

Las dimensiones del río hacen necesario que el ancho de cada chalana no exceda de los 10 m, con una altura de 3 m. Los puertos de embarque y desembarque hacen necesario que el largo t_1 no exceda de los 50 metros.

Formulación:

La figura 3.10 da una idea de la forma geométrica del compartimiento de carga de cada chalana.

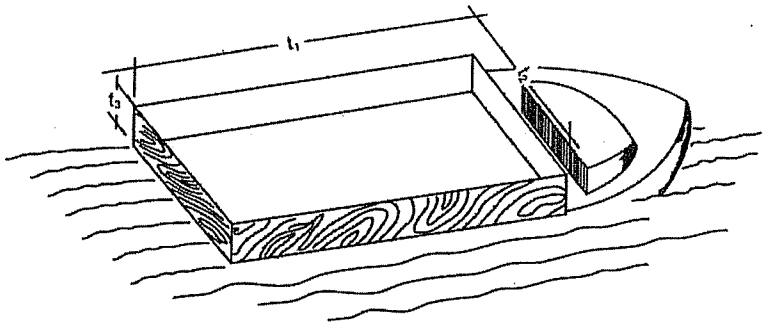


Figura 3.10

El coste de cada extremo es:
2,000\$/m^2 t_2 t_3 m^2
pero como hay 2 extremos, se tiene
4 000\$/m^2 t_2 t_3 m^2

El coste de las paredes laterales más el fondo está dado por:
(2) (1,000\$/m^2) t_1 t_3 m^2+ (1,000\$/m^2) t_1 t_2 m^2

El coste del viaje redondo es:
1,000 m^3 /$t_1t_2t_3$ m^3 (\$100)

El coste total lo escribiremos como:
$C = 4{,}000t_2\,t_3 + 2{,}000\,t_1\,t_3 + 1{,}000\,t_1\,t_2 + 100{,}000\,/t_1t_2t_3$

El problema es minimizar el coste total C, que está sujeto a las siguientes condiciones:

$0 \leq t_1 \leq 50$ metros,
$0 \leq t_2 \leq 10$ metros,
$0 < t_3 < 3$ metros.

A este tipo de modelos se les llama de **programación no lineal.** El modelo descrito arriba es un caso particular de programación no lineal, llamado **programación geométrica.**

Ejemplo 3.8: Un problema de control de aguas

Se supone que la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en coordinación con la Comisión Federal de Electricidad, tiene el problema de optimizar el control de agua de descarga en la hidroeléctrica de Gusanillo Verde que surte de energía eléctrica a toda el área industrial de esa región. Dada la demanda de energía eléctrica y la distribución de probabilidad del gasto de agua que fluye a la presa, se trata de satisfacer la demanda de fluido eléctrico a coste mínimo.

Se tienen datos históricos que le han permitido al personal federal pronosticar ciertas condiciones de la presa para los próximos N días. Denótese por:

S_I (i = 1, . . .,N) la variable que se refiere a la cantidad de agua almacenada en la presa de la hidroeléctrica al principiar el día (i = 1, N);
Y_I (i = 1, N) el gasto pronosticado de agua que llega a la presa durante el día í (i = 1, ., N); di (i = 1, . . ., N) a la demanda pronosticada de energía eléctrica para el día i y por último Xi la variable que se refiere a la descarga de agua durante el día i.

La tecnología del sistema hidroeléctrico es tal que permite evaluar el coste de generación de energía eléctrica durante el día i, como una función de la demanda di, del gasto Yi, de descarga Xi y del agua almacenada Si. Sea esa función de coste para el periodo i:

Gi (Xi, Si, Yi, di), i = 1, N.

El gasto de agua Yi (i = 1, N) solamente puede ser expresado en función de cierta distribución de probabilidad de la forma:

Pi (Yi I Yi - 1), i = 1, ..., N,

lo que significa que el gasto en el día i depende en forma condicional del "gasto" en el día (i-1), i = 1,...,N. La Pi (Yi I Yi- 1) puede tomarse como una función de densidad.

La función de densidad f (x) para una variable aleatoria continua X es una función que satisface:

$$f(x) \geq 0, \quad \int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1 \int_b^a f(x)\,dx = P\{a < x < b\}y \quad ,$$

donde a y b son dos números reales tal que a < b y P significa probabilidad de un evento, en el caso de que X sea una variable aleatoria discreta, f (X) P{X = Y}.

El valor esperado del coste es:

$$VEC = \sum_{i=1}^{N} \int_{-\infty}^{\infty} Gi\,(Xi, Si, Yi, di)\; Pi\,(Yi\,|Yi - 1)\; dYi$$

Obviamente, los técnicos de ambas secretarías de Estado conocen la relación que existe entre el agua acumulada en el día i + 1 en función a la que existe el día i más el gasto durante el día i y la descarga en dicho día. Esta relación bien se escribiría como:

$S_I+1 = S_I + Y_I - X_i$, i=1, ...,N.

El problema es encontrar las descargas $X_1, X_2, \ldots, X_N$ y los volúmenes acumulados $S_1, S_2,\ldots,S_N$ tal que se minimice el valor esperado del coste VEC, sujeto a la restricción:

$S_{I+1} = S_I + Y_i - X_i$, i = 1,...,N.

Este problema se resolvería por métodos de **programación dinámica** para situaciones determinísticas o bien por **procesos markovianos de decisión,** en situaciones estocásticas, como sería el caso para este problema.

Ejemplo 3.9: Un problema de rutas

Se supone que existen N gasolineras en la ciudad de México, que han sido numeradas del 1 al N. La gasolina magna debe ser distribuida y surtida a todas estas gasolineras desde la terminal de abastecimiento de Puebla. Se supone también que la gasolinera i, requiere de q(i) litros de magna y la distancia entre las gasolineras i y j (i, j = 1, . . ., N; i =A j) está dada por d(i, j) kilómetros. Petróleos Mexicanos (Pemex) sólo tiene una flotilla limitada de vehículos tipo "pipa", cada uno con capacidad máxima de Q litros de magna, que tienen que surtir en una determinada ruta antes de regresar a cargar la magna a la terminal de abastecimiento. Por disposiciones sindicales a los choferes no se les permite manejar más de K kilómetros por ruta.

Una programación de rutas especificaría S rutas $R_1, R_2, \ldots, R_S$, donde cada ruta se inicia en la terminal de abastecimiento, visita una cantidad determinada de diferentes gasolineras y regresa por último a la terminal de abastecimiento sin exceder las limitaciones de capacidad de carga Q y de kilometraje K.

El objetivo de Pemex es determinar el mínimo número S de rutas que satisfagan la demanda (diaria, semanal o mensual) tal que el kilometraje total de recorrido, DT, sea mínimo.

Formulación:

Se supone que la ruta R_i tiene que surtir a n_i gasolineras denotadas por $G_i(1)$, $G_i(2)$,..., $G_i(n_i)$. El kilometraje recorrido en esta ruta es:

$$D_i = d(term., Gi(1)) + \sum_{j=2}^{ni} d(d(Gi(j-1), Gi(j)) + d(Gi(ni), term.))$$

El kilometraje total cubierto en todas las S rutas es:

$$DT = \sum_{i=1}^{S} D_i$$

Las variables del problema son obviamente las siguientes:

a) ¿Cuántas rutas S deben existir? En otras palabras, ¿cuál es el valor de S?
b) Dada una ruta i determinada, ¿cuántas gasolineras deberán surtirse en esa ruta, es decir, cuál es el valor de n_i por cada ruta i = 1, ..., S?
c) Sabiendo cuál es el valor de n_i, identifíquense las n_i gasolineras que forman esa ruta, es decir, $G_i(1)$, $G_i(2)$, ..., $G_i(n_i)$.

Las respuestas de (a), (b), (c) deben ser tales que S, el número total de rutas, sea mínimo, la distancia total de todas las rutas sea también mínima y además que se respeten las restricciones de kilometraje dadas por:

$D_i \leq K$, i = 1, ..., S,

y de capacidad, dadas por:

$$\sum_{j=1}^{ni} q(Gi(j)) \leq Q, \text{ para i= 1, ..., S.}$$

Se supone que $Q \geq q(i)$ para toda gasolinera.

Los métodos que resuelven éste tipo de problemas combinatorios se conocen como *heurísticos*:

Ejemplo 3.10: ¿Se compra o se repara la locomotora de ferrocarril?

Se supone que se tiene conocimiento de las utilidades anuales $r_n(j)$, los costos de operación anuales $U_n(j)$ y el coste de reventa anual $S_n(j)$ de una locomotora construida en el año n que ha estado trabajando por j años. También que el precio de compra de una locomotora construida en el año n es C_n.

El problema consiste en determinar en qué años conviene reemplazar la locomotora por una de nueva tecnología a un coste actualizado total mínimo.

Formulación:

Si T reemplazos se hacen en los años X(I), X(2), ..., X(T), y el coste de reemplazo de una locomotora construida en el año n con j años de uso es $C_n(j)$, además de establecerse la definición:

$$Z \quad \begin{matrix} Y & X(i), & i = i,...,T, \\ X(i+i)-i, & & i = i,...,T, \end{matrix}$$

entonces el coste actualizado al tipo de interés bancario d es:

$$G(i) = \sum_{t=y}^{Z} \left(ry(t) - Uy(t)\right)dt - 1 + Cy\left(Z - Y + 1\right)dz$$

El problema de optimización consiste en hallar el número total de reemplazos de locomotora, T, así como los años de reemplazo X(1), X(2),... X(T) tal que se minimice el coste total:

$$\sum_{i=1}^{T} G(i),$$

y sujeto a las restricciones
$T \geq 0$, entero,
$X(1) \geq 0$, entero,
$X(i+1) \geq X(i)$, i = 1,...,T,
X (N) ≤ horizonte de planeación,
$X(i) \geq 0$, entero, i = 2, . . ., T.

Este tipo de problemas se denomina **modelos de reemplazo.**

Como se observa, existe una cantidad muy variada de problemas emanados de múltiples sectores, cuya solución tradicional de tipo intuitivo resulta muy difícil, sino imposible. Para resolver estos problemas conviene formularlos por diferentes modelos matemáticos.

En los libros especializados se trata cada uno de estos modelos con más detalle, proporcionando la teoría necesaria para darle validez al modelo, explicando sus métodos de solución e ilustrándolos con una serie de ejemplos representativos.

Para el estudio de los modelos determinísticos es necesario el conocimiento de cálculo integral y diferencial, así como de álgebra lineal, mientras que para los modelos probabilísticos se requieren conocimientos de probabilidad, estadística, pronósticos, etcétera.

3.6 RESUMEN

Los inicios de lo que hoy se conoce como Investigación de Operaciones se remontan a 1759 cuando el economista Quesnay empieza a utilizar modelos primitivos de programación matemática.

Más tarde, otro economista, este, de nombre Walras, hace uso, en 1874, de técnicas similares.

Los modelos lineales de la investigación de operaciones, tienen como precursores a Jordan, en 1873; Minkowsky, en 1896, y a Farkas, en 1903. Los modelos dinámicos probabilísticos tienen su origen con Markov a fines del siglo pasado. El desarrollo de los modelos de inventarios, así como el de tiempos y movimientos, se lleva a cabo por la década de 1820, mientras que los modelos de línea de espera se originan con los estudios de Erlang, a principios del siglo xx.

Los problemas de asignación fueron estudiados con métodos matemáticos por los húngaros Konig y Egervary en la segunda y tercera décadas del siglo XX. Los problemas de distribución los estudió el ruso Kantorovich en 1939. Von Neuman cimenta en 1937 lo que años más tarde culminará con la teoría de juegos y la teoría de preferencias (esta última desarrollada en conjunto con Morgenstern). Hay que hacer notar que los modelos matemáticos de la investigación de operaciones que utilizaron estos precursores, estaban basados en el cálculo diferencial e integral (Newton, Lagrange, Laplace, Lebesgue, Leibnitz, Reimman, Stieltjes, por mencionar algunos), así como en la probabilidad y la estadística (Bernoulli, Poisson, Gauss, Bayes, Gosset, Snedecor, etcétera).

No fue sino hasta la Segunda Guerra Mundial, cuando la investigación de operaciones empezó a tomar auge. Primero se le utilizó en la logística estratégica para vencer al enemigo (teoría de juegos) y, más tarde al finalizar la guerra, en la logística de distribución de todos los recursos militares de los aliados dispersos por todo el mundo. Fue debido precisamente a este último problema que la fuerza aérea estadounidence, a través de su centro de investigación Rand Corporation, comisionó a un grupo de matemáticos para que resolvieran este problema que estaba consumiendo tantos recursos humanos, financieros y materiales.

Fue el doctor George Dantzig quien en 1947, resumiendo el trabajo de muchos de sus precursores, inventara el método Simplex, con lo cual dio inicio a la programación lineal.

Con el avance de las computadoras digitales se empezó a extender la investigación de operaciones, durante la década de 1950 en las áreas de programación dinámica (Bellman), programación no lineal (Kuhn y Tucker), programación entera (Gomory), redes de optimización (Ford y Fulkerson), simulación (Markowitz), inventarios (Arrow, Karlin, Scarf, Whitin), análisis de decisiones (Raiffa) y procesos markovianos de decisión (Howard). La generalización de la investigación de operaciones han tratado de darla Churchman, Ackoff y Arnoff.

Las fases de un proyecto de Investigación de Operaciones son:

a) Estudio de la organización.
b) Interpretación de la organización como sistema.
c) Formulación de los problemas de la organización.
d) Construcción del modelo.

e) Derivación de soluciones del modelo.
f) Prueba del modelo y sus soluciones.
g) Diseño de controles asociados a las soluciones.
h) Implantación de las soluciones al sistema.

Como se observa, existe una cantidad muy variada de problemas emanados de múltiples sectores, cuya solución tradicional de tipo intuitivo resulta muy difícil, sino imposible. Para resolver tales problemas conviene formularlos por diferentes modelos matemáticos, que se clasifican en determinísticos y probabilísticos.

Para el estudio de los modelos determinísticos es necesario el conocimiento de cálculo integral y diferencial, así como de álgebra lineal, mientras que para los modelos probabilísticos se requieren conocimientos de probabilidad, estadística, pronósticos, etcétera.

Actualmente, la investigación de operaciones no solo se aplica en el sector privado (industrias, sistemas de comercialización, sistemas financieros, transportes, sistemas de salud, etcétera), sino también en el sector de los servicios públicos, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo.

3.7 PREGUNTAS

3.1 Defina con sus palabras la Investigación de Operaciones (IO)
3.2 Mencione las características esenciales de la IO.
3.3 Mencione la herramienta básica de la IO.
3.4 Describa la programación lineal y en qué casos es aplicable.
3.5 Mencione las limitaciones de la aplicación de la IO.
3.6 Bosqueje un ejemplo de aplicación de un modelo sencillo de IO siguiendo cuidadosamente la metodología de la IO.
3.7 Identifique las fases de la metodología de la IO a las que corresponden las siguientes actividades:
a) Identificación de los componentes relevantes del sistema.
b) Construcción de un modelo adecuado.
c) Elección de una decisión.
3.8 ¿Qué son los modelos matemáticos y para qué sirven?
3.9 Describa el principio subyacente de la construcción de modelos de IO.
3.10 ¿Por qué es difícil desarrollar un indicador del rendimiento del sistema?
3.11 ¿Cómo se clasifican y en qué consisten los objetivos que intervienen en las decisiones de la dirección?
3.12 ¿En que se basa la clasificación de los modelos matemáticos útiles para la IO?
3.13 ¿Qué implica el supuesto de certeza en los modelos deterministas?
3.14 ¿Cuál es el supuesto de los modelos probabilistas?

3.15 ¿Cómo se clasifican y en qué consisten los procesos utilizados para obtener una solución al problema a partir del modelo?
3.16 Describa con sus palabras qué es un algoritmo.
3.17 Mencione algunas aplicaciones de los modelos deterministas.
3.18 Haga una lista de los principales modelos deterministas clasificados en analíticos y numéricos.
3.19 Mencione las áreas que abarcan fundamentalmente las técnicas:
a) Programación matemática.
b) Programación lineal.
c) Programación entera.
d) PERT y CPM.
e) Programación no lineal.
f) Programación separable.
g) Programación dinámica.
h) Modelos heurísticos.
i) Teoría de juegos.

3.8 EJERCICIOS

3.1 Determine, por el método gráfico, la utilidad y la cantidad a elaborar de los dos tipos de productos que produce una planta de alimentos, para maximizar la utilidad, con los procesos, los requerimientos y las utilidades indicados en la tabla siguiente:

	Horas requeridas		Horas disponibles
Proceso	Producto X_1	Producto X_2	Por mes
1	2.0	3.0	2,000
2	3.0	2.0	2,000
3	1.0	1.0	630
Utilidad	20.0	24.0	

3.2 Con los datos del ejemplo 1, determine, por el método gráfico, la utilidad máxima y la cantidad a producir de cada juguete si el soldado se vende en $30 y el tren en $42 con los requerimientos dados en dicho ejemplo.

3.3 Investigue en libros de Investigación de Operaciones, Administración o Dirección de Operaciones, Manuales de Gerencia, Manuales de Ingeniería Industrial, etcétera; y proporcione un ejemplo de aplicación de cada modelo determinista y probabilista mencionados en las páginas 16 y 19 del capítulo 3 de este libro.
3.4 Con los datos de la tabla siguiente determine los costos totales y los puntos críticos de cada proceso, aplicando el método del punto de equilibrio entre costos, para conocer los rangos de producción más convenientes para cada uno:

Cálculo de puntos críticos de producción				
Coste	Máquina			Coste total
	1	2	3	
Fijo (preparación) $	600	300	150	
Variable unitario	3	2	1	
Puntos críticos				

3.5 Con los datos de la tabla siguiente simule los requerimientos de materia prima para 15 días.

Datos		Cálculos para la simulación		
Demanda (ton/día)	Frecuencia (días)	Probabilidad P(X) = Frecuencia/ Total	Probabilidad acumulativa	Números asignados
20	6	0.10	0.10	00-09
22	18	0.30	0.40	10-39
24	15	0.25	0.65	40-64
26	12	0.20	0.85	65-84
28	6	0.10	0.95	85-94
30	3	0.05	1.00	95-99
	60	1.00		

3.6 Reformule el problema del ejemplo 3.4 si los precios cambian a: precios promedio estimados en el mercado mundial son $ 80.00 por kg de aguacate, $32.00 por kg de lima reina, $ 120.00 por kg de mango y $ 56.00 por kg de zapote.
3.7 Adecue el modelo del ejemplo 3.5 para una demanda que se incrementa 10%, mientras los costos aumentan 5%.
3.8 Modifique el modelo del ejemplo 3.6 para el caso en que los costos de capacitación se unifican.
3.9 Modifique la formulación del ejemplo 3.7 para el caso de que se requiere duplicar la capacidad de transporte de cada chalana.
3.10 Elabore la gráfica de coste típica para el tipo de problemas del ejemplo 3.10.

Capítulo 4

INGENIERÍA DE SISTEMAS[1]

4.1 Introducción
4.2 Ingeniería de sistemas
4.3 Enfoque de sistemas
4.4 Análisis de sistemas
4.5 Procesos de solución de problemas
4.6 Diseño del sistema
4.7 Desarrollo del sistema
4.8 Implementación o implantación del sistema
4.9 Operación del sistema
4.10 Resumen
4.11 Ejercicios

"Un sistema es más que la suma de sus partes; es un todo indivisible. Se pierde sus propiedades esenciales cuando se toma aparte. Los elementos de un sistema pueden ser ellos mismos sistemas, y cada sistema puede ser parte de un sistema más grande."

Russell Lincoln Ackoff

COMPETENCIAS DEL CAPÍTULO

Valora los modelos y las técnicas de la ingeniería de sistemas enfocada a la solución de problemas de proyectos complejos.

4.1 INTRODUCCIÓN

Para dar soporte a este tema, se presentan a continuación algunas definiciones:

4.1.1 Definiciones

Palabras como ciencia, ingeniería, sistema, contexto, estructura, y comportamiento son ampliamente utilizadas y entendidas. La interpretación específica de cada término varía con el contexto en el cual aparece, así como por la persona y las disciplinas que la utilizan.

Ciencia

> Ciencia es la rama del estudio que se refiere al establecimiento o estrictamente con la formulación cuantificable de leyes generales comprobables sobre todo por la inducción y la hipótesis.
>
> Mirriam-Webster, 1981

La ciencia observa cuidadosamente el comportamiento de las cosas y crea leyes cuantitativas que describen lo que hacen esas cosas bajo las condiciones definidas. Tales leyes son modelos cuantitativos ejecutables y pueden ser evaluadas por las personas o las computadoras para obtener los números que describen las cosas y qué cosas hacer.

Ingeniería

> (La) ingeniería es el arte profesional de aplicar la ciencia a la conversión óptima de los recursos de la naturaleza para beneficio de la humanidad.
>
> La ingeniería es un arte que requiere el juicio necesario para adaptar el conocimiento a los propósitos prácticos, la imaginación de concebir soluciones originales a los problemas, y la capacidad de predecir el funcionamiento y el coste de nuevos dispositivos o procesos.
>
> A diferencia del científico, el ingeniero no es libre de seleccionar el problema que le interesa; él debe solucionar problemas según se presentan; sus soluciones habrán de satisfacer requisitos en conflicto. La eficacia generalmente cuesta dinero; la seguridad agrega la complejidad; el funcionamiento mejorado agrega peso. La solución de ingeniería es la solución óptima, el resultado final que, tomando muchos factores en consideración, es el más deseable.
>
> *Nueva Enciclopedia Británica*, 1980

Las palabras ingeniar e ingenio se derivan de la misma raíz latina, *ingenerare*, cuyo significando es crear.

Los ingenieros solucionan problemas reales usando las leyes de la ciencia, modelos ejecutables, para predecir cuantitativamente el funcionamiento de soluciones alternativas a los problemas reales para crear cosas nuevas que benefician a las personas. La ingeniería es un arte creativo para encontrar mejores sistemas que satisfagan las necesidades de las personas. El modelado cuantitativo tomado de los resultados de la ciencia es el soporte que utilizan los especialistas del ramo.

Modelo

> Un patrón de algo a ser hecho.
>
> Mirriam-Webster, 1981

Un modelo describe la naturaleza esencial de un proceso o de una cosa, pero no son la misma cosa. Se validan los modelos solamente cuando se han verificado por observación y medidos bajo condiciones controladas. Los modelos son inequívocos, utilizan las matemáticas, idiomas gráficos o simbólicos que tienen solamente un solo significado para los símbolos usados. Idiomas naturales como el inglés no califican para modelar. Los idiomas naturales son esenciales para las explicaciones escritas de los modelos.

Sistema

> Un sistema es una unidad compleja formada de muchas piezas a menudo diversas conforme a un plan común o sirviendo a un propósito común.
>
> Mirriam-Webster, 1981

Un sistema es una cosa construida de muchas otras cosas, componentes, que obran recíprocamente para un propósito común. Si un ingeniero debe definir un sistema, de igual manera tiene que describir su contexto, su comportamiento o propósito, y su estructura.

Comportamiento

> Es la manera en la cual un organismo, un órgano o una sustancia actúan, especialmente en respuesta a un estímulo.
>
> Mirriam-Webster, 1981

Cuando describimos el comportamiento de un sistema consideraremos escenarios de su uso bajo una variedad de condiciones y de la respuesta de sistemas a los escenarios. El ingeniero debe describir la respuesta del sistema a las cosas externas bajo todas las condiciones posibles.

Estructura

> Es un arreglo de piezas, o de partículas constitutivas, en una sustancia o un cuerpo.
>
> Mirriam-Webster, 1981

La estructura de los sistemas son las piezas que abarca y las relaciones entre ellas.

Los ingenieros deben describir la estructura del sistema con:

- Lista de todos los componentes que lo abarcan.
- Cómo se interconectan los componentes.
- Qué porción del comportamiento de sistema total es realizada por cada componente.

Contexto

> Un contexto son las condiciones interrelacionadas en las cuales algo existe u ocurre.
>
> Mirriam-Webster, 1981

Un malentendido sobre el contexto es la asunción de que el contexto está dado en un problema particular y no necesita ser analizado en el arte de encontrar una solución cercana a la óptima del problema. Los aspectos más importantes del problema implican muy a menudo observar alternativas en el contexto y evaluarlas.

Optimización

> Óptimo: El mejor grado o la cantidad más favorable.
>
> Mirriam-Webster, 1981

Luego entonces la optimización es el proceso para alcanzar el grado más favorable. En diseño de sistemas, necesitamos considerar la optimización en dos niveles, contextos y sistemas.

Optimización del contexto

- Análisis de alternativas en el contexto del sistema.
- Selección de un contexto cercano al óptimo para el problema.

Optimización de sistema

Análisis de alternativas en la estructura del sistema, qué componentes puede ser utilizados y lo qué cada componente puede hacer.

La opción es un diseño del sistema, de un conjunto de componentes cercano al óptimo y de sus comportamientos individuales.

4.1.2 Inicios

La teoría general de sistemas (TGS) tiene su punto de partida en los mismos orígenes de la filosofía y la ciencia. La palabra *sistema* proviene de la palabra *systêma*, que a la vez procede de *synistanai* (reunir) y de *synistêmi* (mantenerse juntos).

Se dice que el término es introducido en la filosofía entre el 500 y 200 a. C. por Anaxágoras, Aristóteles, Sexto Empírico y los estoicos. Entre los siglos XVI y XIX se trabaja en la concepción de la idea de sistema, su funcionamiento y estructura; se relaciona con este proceso a René Descartes, Baruch Spinoza, Gottfried Wilhem Leibniz, Immanuel Kant, Ettiene Bonnot de Condillac, Augusto Comte y Pepper Stephen Coburn.

Específicamente se le atribuyen a George Wilhem Friedrich Hegel (1770 -1831) el planteamiento de las siguientes ideas:

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

Durante el siglo XX, de manera particular la TGS no estaba ligada solamente a la filosofía, aparecen otras disciplinas que se apoyan en ella o le dan elementos para complementar sus planteamientos.

A continuación se hace una lista de algunas de esas disciplinas y de las personas relacionadas con el proceso:

- Psicología de la Gestalt, Christian von Ehrenfels.
- Teoría de las comunicaciones, Claude Elwood Shannon.
- Cibernética, Norbert Wiener y Ross W. Ashby.
- Sociología, Talcott Parsons.
- Fisiología, Walter Brandford Cannon.
- Bioquímica, Lawrence J. Henderson.
- Teoría de autómatas, John von Newman.
- Economía, Kenneth Boulding.
- Ecología, Eugene Pleasants Odum.
- Administración, Robert Lilienfeld, entre otros.

4.1.3 Avances en sistemas

Con el desarrollo de la computadora digital y de la capacidad de almacenamiento masivo, el ingeniero industrial tuvo la capacidad para calcular rápidamente problemas masivos de sistemas de producción y su reacción al cambio, con lo que logró avances como los que se describen a continuación:

Se puso énfasis en la adquisición de hechos sólidos, mediciones precisas, enfoque objetivos para el análisis y modelado de organizaciones y sistemas humanos.

Avances en el área de comportamiento humano y organizacional.

Adopción de conceptos ergonómicos para el diseño y mejora de sistemas integrados de trabajo.

4.2 INGENIERÍA DE SISTEMAS

El desarrollo de sistemas complejos modernos requiere de ingenieros en todas las ramas y de profesionales de otras disciplinas. En algunas industrias, tales como en la aeroespacial, los ingenieros que se centran en la definición de las partes principales del sistema se denominan ingenieros de sistemas. Se enseña esta función de trabajo como una disciplina separada en un número creciente de universidades. En otros sectores muchos llaman a los ingenieros con estas responsabilidades con diversos nombres y sus trabajos se reconocen o no como una disciplina distinta.

Reconocida o no, la ingeniería de sistemas es una disciplina críticamente importante porque:

- Adecua el producto al mercado.
- Define los componentes de tal manera que los diseñadores lleguen a diseñarlos y construirlos.
- Determina la mayor parte de las opciones del diseño que afectan el coste del sistema y el funcionamiento.
- Se asegura de que los componentes se integren con éxito y funcionen juntos como se requiere.
- Proporciona las especificaciones libres de errores, puesto que los errores son muy costosos de corregir en el estado avanzado de diseño y de producción.
- Debe, por lo tanto, reflejar exactamente un diseño de sistema total que sea factible y eficaz en diseño de componentes.

Además, el diseño del sistema debe ser no solo correcto, también inequívoco. Si no, entonces los componentes no se integrarán correctamente y el comportamiento emergente deseado podría comprometerse. La falla al hacer este trabajo, integral, provoca que el sistema cueste más de lo presupuestado, pierda su nicho de mercado y tenga una posibilidad creciente de la falta de producto en el mercado.

4.2.1 Alcance de la ingeniería de sistemas

El diseño de los componentes es responsabilidad de los expertos de ingeniería en las disciplinas: mecánica, de programas informáticos, de base de datos, civil y similares. La puesta en práctica de estos componentes es la responsabilidad de manufactura, de la construcción de edificios y de otras. El diseño total del paquete de componentes, incluyendo sus correlaciones, es dominio del ingeniero de sistemas. Por supuesto que una compañía se considera un componente de otras como sistema.

El proceso de la ingeniería de sistemas basada en modelos consiste en combinar el modelado riguroso con descripciones del texto para analizar y describir:

1. Necesidades de usuario.
2. El sistema para cubrir esas necesidades.
3. Los componentes que se diseñarán y serán construidos.

Seguir este proceso lleva a una solución cercana a la óptima del sistema. Este proceso, fundamental para la ingeniería de sistemas complejos, es un proceso de optimización.

Encuentra una solución cercana a la óptima fuera de una multitud de soluciones posibles. Se producen descripciones rigurosas de la solución cercana a la óptima, definiendo cuáles son los componentes, lo que hacen y cómo actúan recíprocamente como sistema.

El proceso de ingeniería de sistemas se basa en las mejores prácticas de los técnicos y combina estos con técnicas de modelado modernas.

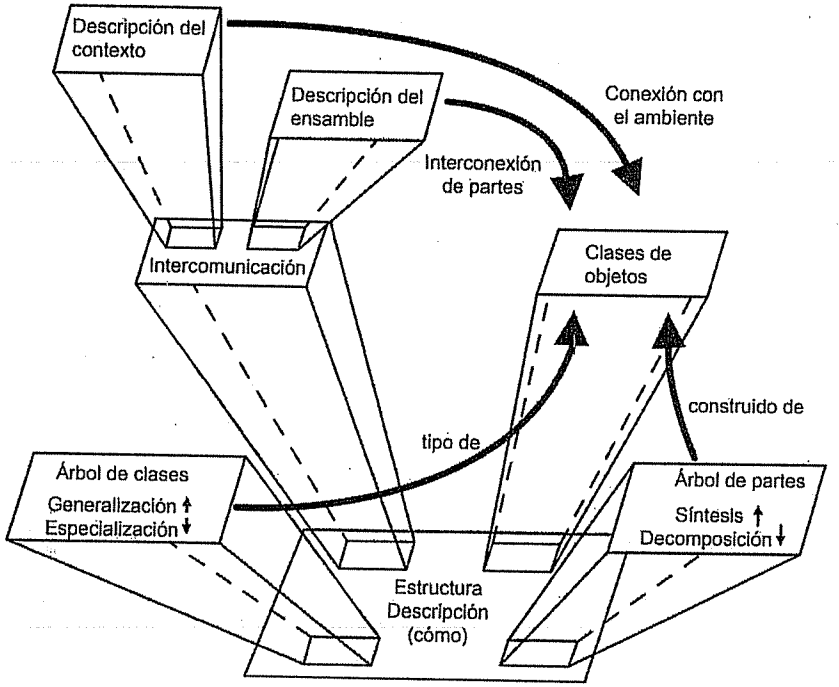


Figura 4.1. Juntas éstas producen un método riguroso para diseñar sistemas complejos

4.2.2 Importancia de la ingeniería de sistemas

El desarrollo de nuevos sistemas grandes y complejos con potencial de ventas global es una contribución importante para cualquier economía.

Ninguna nación puede mantener la producción de partes dentro de sus fronteras si hay una ventaja económica en otra parte. Sin embargo, las naciones industrializadas logran mantener el desarrollo de nuevos sistemas complejos dentro de sus fronteras si cuentan con una fuerza de trabajo y una infraestructura preeminentemente calificadas para definir sistemas competitivos con eficiencia.

Algunas piezas serán proporcionadas por mercados globales y ayudan a abrir mercados de este tipo. La mayoría de las partes, fabricación, el ensamble, y la integración se suelen mantener dentro de las fronteras por la organización que crea el sistema.

Algunos ejemplos de solo una industria son: Boeing 777, el bombardero *Stealth*, el reemplazo del sistema de reservación de boletos de American Airlines y el sistema de mandos de vuelo de FAA. Algunos de estos ejemplos fueron éxitos y algunos fracasos (Gibbs, 1994). Los éxitos proporcionan la experiencia que impulsa el empleo y la formación laboral para los millares de trabajadores. Las fallas pierden los recursos capital y humanos.

La experiencia con los sistemas complejos exitosos, la habilidad profesional de la ingeniería de sistemas y su infraestructura tienen un enorme empuje positivo en la economía.

LA BRECHA (GAP)

La información que es crítica para una definición de sistema moderna viene de usuarios, de operadores, de dueños, de clientes, y de proveedores. Tal información está frecuentemente disponible solamente de manera informal, en lenguaje natural, por ejemplo el inglés. El lenguaje expresa requerimientos sin referirse a conceptos y a términos de la ingeniería. Esta es la entrada de la ingeniería de sistemas, mientras que la salida es un sistema de especificaciones. Éstos se diseminan entre una gran variedad de disciplinas de soporte que necesitan la información específica en sus notaciones y opiniones, disponible para ellas adentro de sus herramientas computarizadas. La información del ingeniero de sistemas requiere ser transformada rigurosamente a los diversos modelos, notaciones y opiniones múltiples de los ingenieros que crean los diseños.

La brecha es el vacío entre las necesidades expresadas en las especificaciones informales, de lenguaje natural y componentes descritas en las notaciones de las múltiples ingenierías. Hasta la fecha este vacío ha sido llenado por las buenas prácticas de la ingeniería de sistemas y por el trabajo duro. Este trabajo da lugar a los

documentos de texto enormes que detallan las especificaciones de los componentes para los diseñadores.

Los ingenieros especialistas en cada una de las disciplinas en el proceso deben leer e interpretar el texto, transformarlo en sus propios modelos y terminología, y después entregarlo en sus herramientas de computadora. Ellas habrán de quitar ambigüedad e inconsistencia entre lo que se ha escrito y lo qué saben trabajará correctamente. En general, este proceso hace que se desperdicie tiempo y está propenso a errores.

CIERRE DEL GAP

El modelado suele llenar la brecha. La tecnología moderna ahora nos da acceso a las computadoras de escritorio y al software de gran alcance, elementos que proporcionan el modelado para llenar la brecha, reducen el esfuerzo para cruzar de especificaciones con las necesidades, a la vez que aumentan el rigor y la corrección. La captura de la información de modelado para los sistemas complejos modernos es importante para la productividad en el trabajo de ingeniería y para comprobar la información para saber si hay inconsistencias, omisiones y errores.

La brecha para la ingeniería de sistemas puede ser llenada por extender las técnicas de modelado que son aplicables para la definición de sistemas.

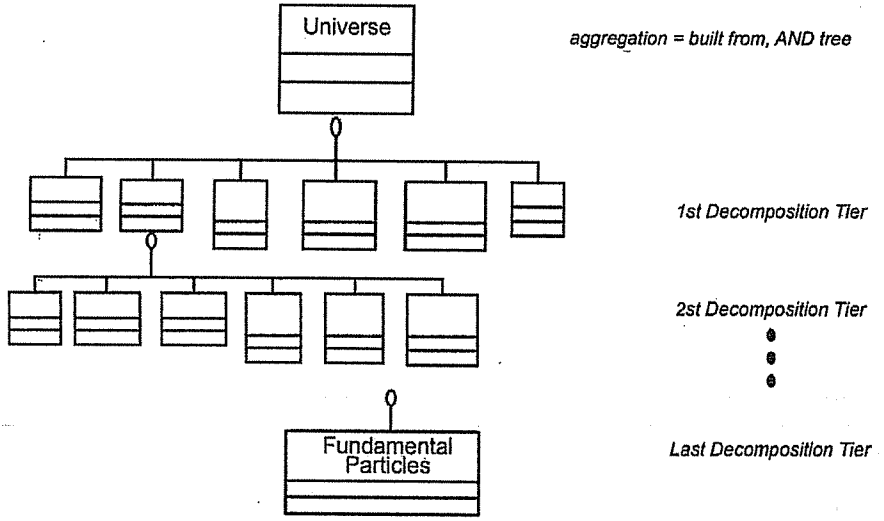


Figura 4.2. Ejemplo de lenguaje de modelado de sistemas

Rigurosamente, los modelos ejecutables del comportamiento (qué cosas hacer) y la estructura (cómo las cosas están construidas) representan la captura de requisitos del sistema y de las especificaciones de los modelos que son ejecutables en la computadora y no son ambiguos.

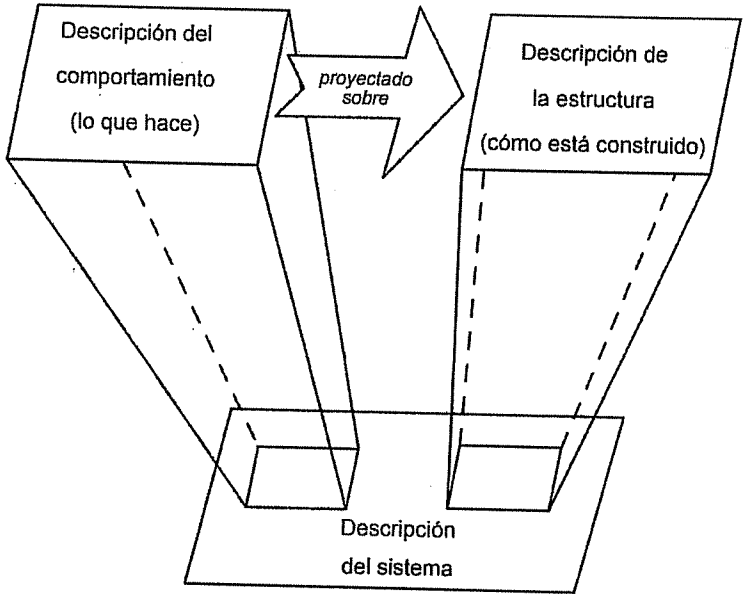


Figura 4.3. Comportamiento y estructura del sistema.

Es posible usar transformaciones automáticas de los modelos de sistemas en vistas exactas de las anotaciones necesitadas por la disciplina de ingeniería de soporte. Este rigor no puede obtenerse con especificaciones no ejecutables escritas en lenguaje de texto natural de idioma solo, lo cual no significa que el texto no es importante. Se utiliza para acompañar los modelos y proporcionar las explicaciones de ellos.

Las herramientas para este trabajo, sin embargo, como fue el caso de la ingeniería mecánica, han sido creadas por proveedores y laboratorios diferentes, los cuales no pueden intercambiar información con otros. Actualmente no hay acuerdo sobre la descripción ejecutable de computadora del trabajo para ser hecha en ingeniería de sistemas y de la información para ser capturada y transformada. Tales descripciones estandarizadas ejecutables de computadora son esenciales para la creación de un ambiente integrado de herramientas.

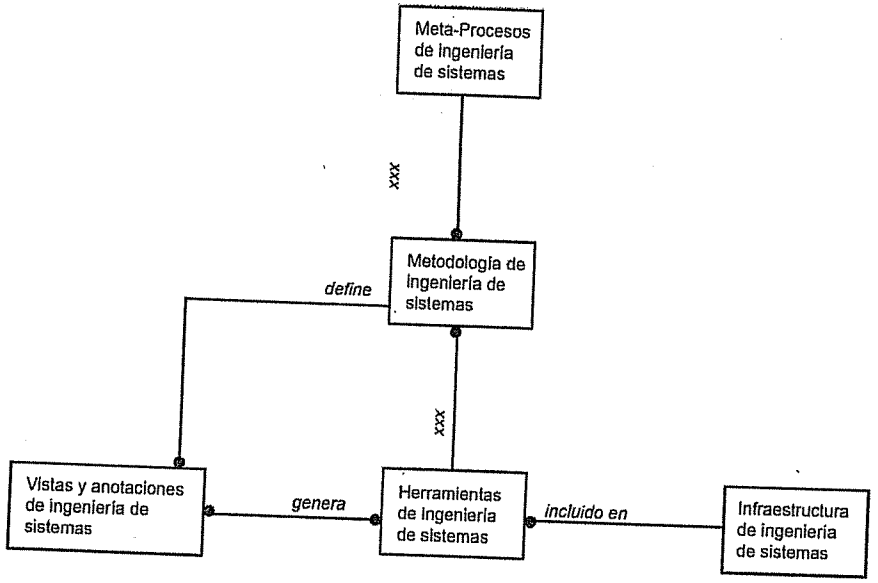


Figura 4.4. Asociaciones entre metaprocesos, herramientas metodológicas e infraestructura

Las mismas técnicas de modelado que son aplicables para los requerimientos y las especificaciones del sistema pueden usarse para definir el trabajo de ingeniería de sistemas, así como la información a ser capturada y transformada a cada paso del trabajo. Es posible para la ingeniería de sistemas definir con mucho cuidado el proceso que usa y rigurosamente definir las mejores prácticas acumuladas como un comportamiento para ingenieros. Un modelo ejecutable del metaproceso proporciona una estructura para su definición. La información capturada y transformada en cada paso del metaproceso suele estar representada en un modelo de información ejecutable que captura la estructura de las relaciones de los datos.

Los metaprocesos sirven para adaptar las metodologías, las anotaciones y los puntos de vista de opciones para negocios y organizaciones individuales.

PROPÓSITOS DEL MODELADO

El modelado se utiliza para:

- Reducir el tiempo y el esfuerzo utilizados por los ingenieros para acortar la duración del ciclo de diseño.

- Comprobar la información para saber si hay consistencia y si está completa, así como para reducir el margen de error.
- Preservar los resultados actuales de ingeniería para su uso durante el mantenimiento, o la mejora del producto, o esfuerzos posteriores de reemplazo del producto.
- Describir de manera inequívoca cada símbolo y número, tal que cada uno tiene uno y solamente un significado.
- Asegurar que al final del proceso toda la información necesaria esté disponible y sea la correcta.

El modelado nó sustituye de ninguna manera el pensamiento creativo de ingeniería y solución de problemas. La creatividad y las nuevas soluciones vienen de los ingenieros.

El modelado reduce su trabajo manual y mejora la exactitud.

4.3 ENFOQUE DE SISTEMAS[2]

SISTEMA

La palabra *sistema* significa diferentes cosas para distintas personas. Para un ingeniero de sistemas de la IBM, un sistema tal vez sea una colección de componentes electromecánicos, como el sistema de control de vuelo o el sistema de balística de un avión de guerra. Para un profesor de matemáticas que imparte un curso de teoría matricial, un conjunto de ecuaciones simultáneas puede denominarse *sistema de ecuaciones*.

Otro aspecto a veces confuso de los sistemas es que todos ellos, con raras excepciones, forman parte de un sistema más grande. La computadora de conducción de tiro en un avión es parte fundamental de los sistemas ofensivo y defensivo de la nave. El avión también es parte de la potencia defensiva u ofensiva de algún segmento de un servicio militar específico. Este servicio también es parte del Sistema Nacional de Defensa, que es un componente principal de la economía nacional. La economía nacional es un componente importante de la economía mundial, por lo que la acción de los gobiernos del mundo puede determinar muy bien el futuro de nuestro planeta como un componente de nuestro universo. ¿Cuántos universos son componentes de universos mayores o del cosmos (o como se les quiera llamar al describir sistemas posiblemente mayores)?

La cinta cinematográfica *Orders of Magnitude* ilustra este rango ilimitado de sistemas dentro de sistemas.[3] El problema, como bien lo saben los ingenieros de sistemas, es la necesidad de establecer cuidadosamente la frontera de un sistema; de otro modo, se debe modelar al mundo para tomar en consideración todos los factores potencialmente

relacionados. Por supuesto, el establecimiento de las fronteras de un sistema es más una simplificación que una realidad.

Churchman inicia su texto clásico *The Systems Approach* de la siguiente forma:[4] [pp. 3 y 4].

> Supongamos que hacemos una lista de los problemas actuales del mundo que "en principio" pueden resolverse mediante la tecnología moderna. En principio, se cuenta con la capacidad tecnológica para alimentar, abrigar y vestir en forma adecuada a cada habitante del planeta. En principio, tenemos la técnica necesaria para proporcionar atención médica adecuada a cada habitante del mundo. En principio, disponemos de la capacidad tecnológica para proporcionar educación suficiente a cada habitante del mundo para que disfrute de una vida intelectual madura. En principio, contamos con la capacidad tecnológica para proscribir la guerra e instituir sanciones sociales que impidan el inicio de una guerra ilegal. En principio, tenemos la capacidad para crear en todas las sociedades una libertad de opinión y una libertad de acción que reduzcan al mínimo las restricciones ilegítimas que la sociedad impone al individuo. En principio, tenemos la capacidad para desarrollar tecnologías nuevas que liberen nuevas fuentes de energía para atender las necesidades físicas y económicas en todo el planeta. En principio, tenemos la capacidad para organizar las sociedades del mundo actual con la finalidad crear planes bien desarrollados para resolver los problemas de pobreza, salud, educación, guerra, libertad humana y el desarrollo de nuevos recursos. Si podemos lograr todo esto, ¿entonces por qué no lo hemos hecho? ¿Es porque carecemos de la tecnología para realizarlo? Si tecnología significa equipo y métodos de producción, la respuesta es no. ¿Entonces podríamos implementar apropiadamente soluciones para estos problemas si contásemos con el capital y el equipo? La respuesta es "quizá". Los sistemas versan precisamente sobre la obtención de resultados. Dicho de otro modo, hoy sencillamente contamos con más artefactos que los que sabemos mejorar. No se trata tanto de inventar una ratonera mejor. Más bien la pregunta pertinente es: dado un rango completo de ratoneras disponibles, ¿cuándo, en dónde y bajo qué condiciones deberán usarse las ratoneras para servir mejor al bien común con los recursos limitados de que disponemos?[5]

El automóvil, el avión, la computadora y el reactor nuclear son ejemplos típicos de sistemas de cosas. Representan lo mejor de la ingeniería del siglo xx. En la segunda mitad de ese siglo se ha producido un cambio hacia un interés adicional en los sistemas humanos (es decir, sistemas en los cuales la habilidad y el desempeño humanos determinan el éxito del sistema). Por ejemplo, ¿quién recoge la basura de usted.

¿Cuándo la recogen? ¿Por qué la recogen? ¿Es un sistema con efectividad de coste? ¿Cuántos sistemas hay en la vida cotidiana de usted que, por falta de un análisis técnico, han pasado de una generación a la siguiente sin un análisis adecuado en cuanto a qué tan eficaces son en lo tocante a quienes pretenden servir? Churchman lo explica de este modo: "El científico optimista de la administración aspira a una era de los sistemas en la cual el ser humano finalmente sea capaz de entender los sistemas que ha creado y dentro de los cuales vive".

El enfoque de sistemas no es nuevo: los políticos lo han estado prometiendo desde hace mucho tiempo. Churchman declara sabiamente:

> La idea de un "enfoque de sistemas" es al mismo tiempo popular y muy impopular. Es popular porque suena bien decir que se está considerando a todo el sistema, pero es impopular porque suena a charlatanería o algo en verdad peligroso; se puede hacer mucho daño bajo la apariencia de que se sirve al todo.

Durante años, la Ingeniería Industrial tradicional ha hecho hincapié en la "eficiencia". ¿Cómo hacer la misma cosa más rápido? ¿Qué dispositivos y herramientas, así como qué secuencia de movimientos manuales fundamentales aumentarán la producción en una estación de trabajo? Sólo recientemente ha habido un cambio hacia el diseño creativo de sistemas. Por supuesto, esto no quiere decir que la eficiencia ya no se necesite. La eficiencia es necesaria, pero no suficiente, para resolver los problemas que Churchman plantea. Las técnicas de control de trabajo puramente autoritarias del pasado son inadecuadas, así como los enfoques "humanistas" permisivos y puramente ingenuos del pasado reciente. Entre estos dos extremos encuentran una combinación y un compromiso adecuados.

OBJETIVOS DEL SISTEMA

La mayoría de los autores de sistemas parecen estar de acuerdo con que el paso más importante en el análisis de sistemas es determinar los objetivos. Churchman declara:

> Los objetivos de todo el sistema son un lugar lógico por dónde empezar, debido a que, como hemos visto, se pueden cometer muchos errores en el razonamiento posterior acerca del sistema si se ignoran los verdaderos objetivos del todo.

Es decepcionante para los estudiantes, los ingenieros y científicos practicantes por igual descubrir que tienen una solución excelente para el problema equivocado. Al respecto, Hall recalca este punto:

> Sin embargo, es mucho más importante escoger los objetivos "correctos" que el sistema "correcto". Escoger el objetivo equivocado es resolver el problema equivocado; escoger el sistema equivocado es sólo escoger un sistema que no es el óptimo.[6]

El problema fundamental al establecer objetivos es que estos implican juicios de valor. Hall dice:

> La operación de establecer objetivos (alternativamente, el diseño de un sistema de valores) es en verdad la clave de la buena ingeniería de sistemas; resume todos los resultados de las guías de investigación ambiental y establece los estándares para todo el trabajo en el futuro; además, proporciona los medios para optimizar sistemas y brinda las reglas para escoger entre sistemas alternativos.

La determinación de objetivos es suficientemente difícil para que con demasiada frecuencia se le dé una atención superficial en los estudios de sistemas. Hall identifica la fuente de dificultad de la manera siguiente:

> Desafortunadamente, no hay una teoría general del valor, aunque muchos individuos y grupos en todos los campos de la vida, ciencia e ingeniería incluidas, pretenden tener una filosofía, un sistema, un código o una fuente confidenciales de información con Dios que les permite emitir juicios finales tan sencillamente como emiten juicios instrumentales.

La falta de una teoría del valor es un importante factor que limita el éxito en los estudios de sistemas; sin embargo, la solución no consiste en evitar por completo este aspecto del problema. El primer examen de un problema de sistemas usualmente saca a la luz una lista breve de objetivos principales. No es raro que haya más de un objetivo fundamental. Generalmente la consideración adicional también da lugar a la identificación de otros objetivos secundarios. Raras veces, por ejemplo, el dinero es la única dimensión del problema. Churchman se refiere a factores secundarios típicos como la estética, la recreación y la salud. Todo depende en realidad de cuáles eran sus valores y sus objetivos.

La ganancia proporciona una medición inadecuada del éxito. Los individuos responsables de las utilidades usualmente tienen aspiraciones muy distintas de la supuesta meta corporativa de elevar al máximo la rentabilidad. Rensis Likert, en su teoría de las relaciones positivas, sugiere que la administración debería intentar desarrollar objetivos administrativos que sean compatibles con los objetivos y aspiraciones de sus empleados[7] [p. 103]. En el grado en que exista incompatibilidad, el conflicto impedirá el resultado deseado tanto a los individuos como a la compañía. En un sentido negativo, la esencia de esta teoría podría parafrasearse así: "Es prácticamente imposible conseguir que alguien haga algo si no quiere". Por lo tanto, el enfoque administrativo no es hacer que la gente haga algo; sino más bien proporcionar un ambiente en el cual lo que los empleados quieran hacer sea congruente con lo que la gerencia quiere que hagan. Numerosos estudios han demostrado que los seres humanos se preocupan por factores como el respeto de los compañeros, el poder y la satisfacción personal, así como que el dinero no se encuentra en el primer lugar de la lista. En los sistemas hombre-máquina es importante encontrar la mejor combinación de todos estos factores motivantes.

El interés por las necesidades nos conduce a la investigación de éstas. Los sistemas humanos normalmente implican la satisfacción de alguna combinación de necesidades.

¿Cómo es posible determinar cuáles son las necesidades que se deben satisfacer?

El sistema óptimo a menudo no es el resultado de operar componentes individuales en lo que parezca ser la forma óptima para cada componente. Por ejemplo, una empresa de servicios públicos fundó el Instituto Battelle en Columbus, Ohio, para dirigir un estudio de sistemas de la cuenca del río Susquehanna,[7][p.103] con la finalidad de determinar el desarrollo futuro óptimo de la cuenca.[8] Se contrataron expertos para estudiar varios aspectos del problema. Las especialidades representadas incluían demografía (población), contaminación del agua, recreación, desarrollo económico, energía hidroeléctrica y otras. Algún tiempo después, estos expertos se reunieron y descubrieron que tenían puntos de vista muy diferentes y a veces contrapuestos de lo que era mejor para la cuenca del río. Un modelo de simulación de dinámica industrial se convirtió en el mecanismo unificador para combinar los datos de las diversas especialidades representadas. Como sucede en muchos estudios de sistemas, la solución óptima para el sistema fue a lo más un compromiso de todos los intereses representados.

Uno de los problemas clave que surgió en el estudio anterior, que es común a muchos estudios de sistemas, fue la necesidad de determinar quiénes eran exactamente los "clientes" en el estudio. La determinación de los clientes puede ser tan difícil que algunos sistemas se estudian mejor sin hacer juicios de valor acerca de los resultados deseados.

Generalmente, identificar resultados esperados sobre la base de entradas supuestas al sistema es un problema mucho más manejable que la evaluación de los resultados.

En un estudio típico de sistemas, como en el ejemplo anterior, debemos manejar un conjunto de resultados (por ejemplo, objetivos múltiples). La tabla 4.2 es un estudio detallado de objetivos múltiples que aparecen en un problema de planificación de políticas en Quade y Boucher. [9, p. 399]. Si un conjunto particular de acciones con respecto a algún sistema produce niveles distintos de logros en relación con estos criterios, hay dos problemas inmediatos: **1.** ¿cómo hacemos las mediciones con respecto a estos atributos? Si pudiéramos medir, ¿cómo definiríamos las escalas que sirvieran para hacer la medición?, y **2.** ¿cómo clasificamos y combinamos valores obtenidos, con respecto a criterios individuales, para proporcionar una medida útil del éxito en lo tocante a la misión global del sistema?

El área específica de la teoría de la decisión que se ocupa de la definición, la determinación, el cambio de escala, la medición y la combinación de medidas de criterios múltiples es una importante frontera de la tecnología. Textos como *Economic and Multiattribute Evaluation of advanced Manufacturing Systems,* por Canada y Sullivan,[10] o la sección 14 del capítulo 7, titulada "Multi-Criteria Decision Making", en la obra *Maynard´s Industrial Engineering Handbook,* por Reeves y Lawrence,[11] están aclarando y ampliando esta área crítica de conocimiento. La tabla siguiente presenta una síntesis de la evolución del proceso de análisis jerárquico:

Autor	Año	Título
Saaty, T.L.	1980	Interaction and Impacts in Hierarchical Systems
Aczel, J. y Saaty	1983	Procedures for synthesising ratio judgments
Aczel, J. y Alsina	1986	On synthesis of judgments
Buede, D. y Maxwell, D.T.	1995	Rank disagreement: a comparison of multi-criteria methodologies
Saaty, T.L. y Vargas, L.G	2003	The Possibility of Group Choice: Pairwise Comparisons and Merging Functions
Saaty, T.L. y Ozdemir, M.	2005	The Encyclicon
Saaty, T.L.	2005	Theory and Applications of the Analytic Network Process
Saaty, T.L.	2006	Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process
Saaty, T.L. y Tran, L.T.	2007	On the invalidity of fuzzifying numerical judgments in the Analytic Hierarchy Process
Saaty, T.L. y Peniwati, K	2008	Group Decision Making

Tabla 4.1. Evolución del proceso de análisis jerárquico (AHP)

Uno de los enfoques más sencillos para determinar valores relativos de los resultados, conocido como el "Procedimiento 1", en Churchman y cols. [12], se proporciona en la tabla 4.3 para cuatro resultados.

El procedimiento anterior indica los tipos de procedimientos o técnicas que se deben desarrollar, aunque solo sea empíricamente, para evaluar los resultados de sistemas.

Al menos cualitativamente, los ingenieros de sistemas de compañías fabricantes de computadoras ofrecen un ejemplo moderno de la necesidad de considerar problemas en un sentido de sistemas. De hecho, un vendedor de sistemas de computación debe tratar con la realidad de un sistema dentro de otro. El primer sistema es la combinación de componentes de computadora (es decir, un sistema de cosas) que satisface los requerimientos del cliente. El segundo sistema, el humano-máquina, habrá de comprenderse en relación con factores como:

1. ¿Cómo se recuperará la inversión inicial?
2. ¿A cuántas personas sustituirá (si sustituye a alguna)?
3. ¿Qué sucederá con la gente a la que sustituya?
4. ¿Será confiable?
5. Si falla la energía eléctrica, ¿qué problemas tendremos?

Núm.	Criterios	Preguntas
1.	Potencial destructivo	¿Qué eficacia tiene la combinación de fuerzas para destruir objetivos?
2.	Reacción	¿Con qué rapidez se puede preparar la combinación de fuerzas para la acción militar?

Tabla 4.2. Criterios múltiples en un problema de planeación política

Continúa

Núm.	Criterios	Preguntas
3.	Despliegue	¿Con qué rapidez se puede mover la combinación de fuerzas a distintos lugares de acción?
4.	Movilidad	¿Con qué rapidez se puede mover la combinación de fuerzas en los escenarios de la acción?
5.	Apoyo	¿Con qué efectividad se puede dar apoyo y mantenimiento a la combinación de fuerzas?
6.	Supervivencia	¿Qué vulnerabilidad tiene la combinación de fuerzas a las acciones del enemigo?
7.	Flexibilidad	¿Cuántas posturas o capacidades distintas pueden utilizar la combinación de fuerzas?
8.	Control	¿Qué nivel de respuesta da la combinación de fuerzas a los requerimientos del comando?
9.	Complemento	¿Qué tan bien se complementa la combinación de fuerzas con las de nuestros aliados?
10.	Versatilidad	¿Cuál es la efectividad de la combinación de fuerzas en diversas crisis militares y político-militares?
11.	Capacidad	¿Cuánto contribuye la combinación de fuerzas a nuestra capacidad para disuadir la agresión?
12.	Ampliabilidad	¿Con qué rapidez se puede movilizar la capacidad adicional para la combinación de fuerzas?
13.	Aceptación nacional	¿Con qué facilidad se aceptará en el país la combinación de fuerzas?
14.	Aceptación internacional	¿Con qué facilidad aceptarán otras naciones la combinación de fuerzas?

Fuente: Quade y Boucher [13, p. 399]

Tabla 4.2. Criterios múltiples en un problema de planeación de política (*continuación*)

En los sistemas humanos sociotécnicos no sólo hay criterios múltiples, sino también clientes múltiples. Como se verá más adelante, hay una complicación adicional en el hecho de que cada individuo posee un conjunto único de "funciones de utilidad" en lo tocante a la satisfacción de sus necesidades. Por ejemplo, considere el valor negativo relativo de una multa de tránsito de 25 dólares en dos situaciones diferentes. Suponga en la primera situación que a un soldado lo detienen el domingo a 400 millas de casa después de conducir durante un día con un permiso de tres días y solamente dispone de 18 dólares. En el segundo caso, consideremos a un millonario detenido por la misma infracción. El primer caso puede representar muy bien un gran problema; el segundo no es más que un inconveniente temporal.

1. Clasifique los cuatro resultados en orden de importancia. Sea R1 el resultado que se considera más importante, R2 el siguiente en importancia, R3 el siguiente y R4 el último.
2. Tentativamente dé el valor 1.00 al resultado de mayor valor, luego asigne valores que de inicio parezcan reflejar los valores con referencia a los otros resultados. Por ejemplo, el evaluador puede asignar 1.00, 0.80, 0.50 y 0.30 a R1, R2, R3 y R4, respectivamente. Se

denominarán V1, V2, V3 y V4, respectivamente, a estos valores tentativos que se considerarán como primeras estimaciones de los valores 'verdaderos" V1, V2, V3 y V4.
3. Ahora haga la siguiente comparación: R1 contra (R2, R3 y R4), es decir, si existiera la posibilidad de obtener R1 o la combinación de R2, R3 y R4, ¿cuál elegiría el evaluador? Suponga que éste afirma que es preferible R1. Entonces se deberá ajustar el valor de V1 para que: V1 > V2 + V3 + V4 Por ejemplo: V1= 2.00, V2 = 0.80, V3 = 0.50 y V4 = 0.30. Observe que se han conservado los valores de R2, R3 y R4,
4. Ahora compare R2 contra (R3 y R4) y suponga que se prefiere a (R3 y R4). Entonces es necesario hacer un ajuste adicional a los valores; por ejemplo: V1 = 2.00, V2 = 0.70, V3 = 0.50, y V4 = 0.30.
5. En este caso, las evaluaciones están completas, pero puede ser conveniente "normalizar' estos valores dividiendo cada uno entre Σvi, que en este caso es 3.50. Estos valores estandarizados se representan mediante V'i: V'1 = 2.00/3.50 = 0.57 V'2 = 0.70/3.50 = 0.20 V'3 = 0.50/3.50 = 0.14 V'4 = 0.30/3.50 = 0.09 Total 1.00

Fuente: Churchman y cols., *op. cit*

Tabla 4.3. Ún procedimiento para determinar los valores relativos de cuatro resultados

En cualquier caso, resultados múltiples, criterios múltiples, clientes múltiples y funciones de utilidad múltiples complican el análisis de sistemas.

El ejemplo siguiente, tomado de Quade y Boucher, se presenta al comienzo de su libro para intentar mostrar algunas de las complejidades que existen en las relaciones entre los principales elementos del sistema: objetivos, alternativas, costos, escalas de eficacia, eficacia y criterios. Este ejemplo bastante corto, antiguo pero valioso, resalta exitosamente algunas de estas complejidades implícitas.

Un ejemplo: Selección de un nuevo motor de avión
E. S. Quade
W. I. Boucher

Como un ejemplo de la forma en que estos elementos del análisis figuran en un problema de decisión relativamente limitado, consideraremos ahora la selección de un nuevo motor de avión, suponiendo que el *objetivo* es acrecentar el rendimiento de la nave. Por lo tanto, las *alternativas* son los distintos tipos de motor que logran este objetivo por medio de combustibles fuera de lo común o un diseño novedoso. Los *costos* serían de dos tipos generales: los recursos totales de capital (como son personal e instalaciones para investigación) que se deben asignar a la investigación y el tiempo que se necesita para lograr un prototipo funcional. En este caso simple, la *escala de efectividad* se relaciona en forma directa con el objetivo y se considera como la diferencia entre el consumo específico de combustible que se usa y el que se logre

mediante la investigación para un peso fijo del motor. La *efectividad* de otro tipo alternativo de motor sería la lectura estimada en esta escala. Mientras más grande sea la diferencia, mejor será el motor, ya que deseamos disminuir el consumo específico de combustible por medio de la investigación. En general, el nivel de mejoramiento dependerá de la cantidad de esfuerzo dedicado a la investigación, de modo que los costos estimados y la efectividad podrían estar relacionados como se muestra en la figura 4.5:

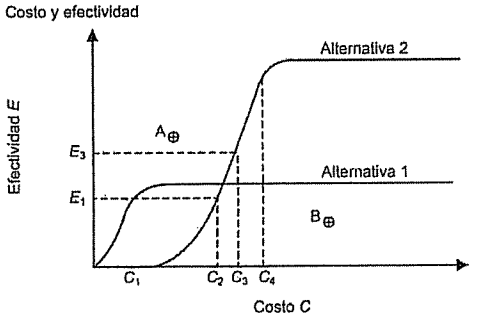


Figura 4.5. Coste y efectividad

Estos distintos niveles de rendimiento serían resultado de una situación [que más adelante se examinará a fondo] en la cual la alternativa 1 corresponde a un mejoramiento muy conservador respecto de los motores operacionales, en tanto que la alternativa 2 corresponde a un avance mayor en la tecnología.

Observe, sin embargo, que si presuponemos que estos dos programas de investigación alternativos pueden terminarse a tiempo y están sujetos al mismo nivel de incertidumbre, aun así no sería fácil decidirnos por uno de ellos. Lo que nos falta es cierto conocimiento de por qué se necesita mayor rendimiento. Así, aunque la alternativa 1 logra únicamente un nivel modesto de efectividad (E_1), lo hace a un tercio del coste de la alternativa 2. Si el nivel E_1 es adecuado, ¿por qué no seleccionar la alternativa 1 y por lo tanto reducir el coste? De hecho, con mucha frecuencia el coste estará limitado por decreto hasta un grado como C_2; en este caso, la alternativa 1 es la elección obvia. Por otro lado, la meta de la investigación sería lograr algún nuevo nivel mínimo de efectividad, como E_3, sin importar cuál sea el coste. Entonces la alternativa 2 es obviamente la elección.

El punto a destacar es que, en general, no es posible escoger entre dos alternativas en forma simple sobre la base de los datos de coste y efectividad que se muestran en la figura 4.5. En general, se debe especificar una efectividad requerida y minimizar su coste o especificar un coste requerido y elevar al máximo la efectividad. Claramente, los resultados del análisis de efectividad habrán de influir en la selección del criterio final.

Por ejemplo, si C_3 es en verdad un coste razonable a pagar, entonces el caso para C es mucho más fuerte, en vista de las grandes ganancias que se lograrían con una inversión

adicional relativamente pequeña. De hecho, este enfoque de establecer coste *máximo* de tal modo que corresponda a la inflexión de la curva de efectividad de costos es muy útil y extendido, ya que las inversiones adicionales dan muy poca efectividad adicional.

ESPECIFICACIÓN EXAGERADA DE CRITERIOS

Por otro lado, no se deben especificar el coste ni la efectividad requeridos; esto sobre especifica el criterio y puede dar lugar a que se planteen alternativas que sean inalcanzables (punto A en la figura 4.5) o que no estén bien diseñadas (punto B en la misma figura). Un caso extremo de sobre especificación del criterio es requerir efectividad máxima a un coste mínimo. Estos dos requerimientos no se llegan a satisfacer simultáneamente, como resulta claro en la figura 4.5, donde el coste mínimo corresponde a efectividad cero y la efectividad máxima corresponde a un coste muy grande.

MAXIMIZACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE EFECTIVIDAD Y COSTE

En algún punto intermedio se encuentran los criterios que aparentemente no especifican ni el coste requerido ni la efectividad. Uno de los más usados requiere la maximización de la razón entre efectividad y coste. Este parece ser un criterio funcional, ya que, en general, queremos incrementar la efectividad y disminuir el coste. Sin embargo, como veremos al examinar la figura 4.6, tiene un defecto grave.

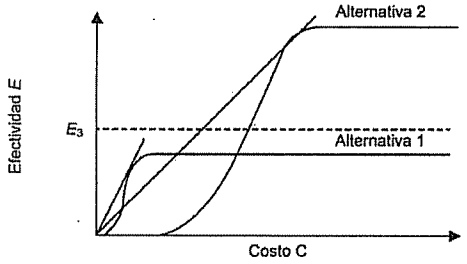


Figura 4.6. Razón de efectividad a coste (líneas tangentes a las curvas)

Como la razón efectividad a coste, para cualquier alternativa, es sencillamente la pendiente de una línea trazada desde el origen hasta un punto dado en la curva para esa alternativa y como en este ejemplo la razón obtiene un máximo en la inflexión de la curva, nuestra elección entre las dos alternativas parece resolverse de inmediato. Así, la alternativa 1 es la preferida con este criterio. Sin embargo, si E_3 es el nivel mínimo de efectividad aceptable de un programa de investigación, entonces la alternativa 2 es la elección obvia. El punto a señalar aquí es que, a no ser que la persona que toma la decisión no se preocupe por los niveles *absolutos* de efectividad y coste, debe evitarse un criterio como éste, que los suprime.

Teóricamente es posible escapar a esta necesidad de especificar el coste o la efectividad requeridos, expresando ambos en las mismas unidades como dólares o vidas salvadas, ya que si se puede hacer esto, entonces es posible restar el coste de la efectividad y tomar como criterio la maximización de esta diferencia, pero el coste y la efectividad raras veces llegan a expresarse en unidades semejantes, por lo que cabe suponer que tiene validez la descripción de un criterio.

DOMINIO

En muy pocas ocasiones sucede que la selección entre alternativas es fácil. Un caso extremo de esto se muestra en la figura 4.7 y se da cuando una alternativa como la 3 es más efectiva que cualquiera otra a cualquier coste.

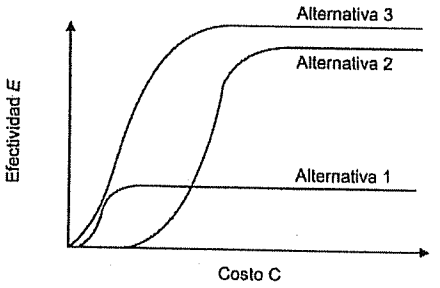


Figura 4.7. Alternativa dominante

En tal caso, es evidentemente ventajoso seleccionar la alternativa 3, por lo que entonces se dice que esta *domina* a las alternativas 1 y 2 en todos los niveles de inversión y efectividad. Observe que todavía no se permite especificar exageradamente el criterio y se requiere efectividad máxima con un coste mínimo. Como la situación de dominio solo nos permite seleccionar la alternativa 3, el coste mínimo todavía corresponde a efectividad cero para la alternativa 3 y así sucesivamente. Sin embargo, cuando la situación de dominio designa la alternativa 3 como la preferida, el nivel requerido de efectividad tiene que especificarse antes de que se seleccione el nivel preferido de inversión.

En este ejemplo de investigación sobre propulsión, como en muchos otros de investigación avanzada o diseño de componentes específicos, el objetivo fue simple y obvio. Además, en tales casos una escala apropiada de efectividad es usualmente evidente y está relacionada de forma directa con la meta. Por último, la medición de efectividad (es decir, la ubicación de una alternativa sobre esa escala de efectividad) es directa en tales casos.

El artículo anterior recalca el hecho de que la selección entre alternativas en un ambiente de criterios múltiples llega a ser una tarea compleja.

4.3.1 Enfoque de sistemas en la solución de problemas y en el diseño[14]

Ahora que ya estamos enterados de la complejidad de los sistemas, nos preguntaremos: "¿Cómo se hace el diseño de tal estructura de partes funcionales interrelacionadas?". En efecto, la mayor parte de los problemas complejos que hemos de resolver plantean la misma pregunta, pues requieren el diseño de un sistema. La respuesta consiste en adoptar una *perspectiva de sistemas* ante el problema desde el principio.

Thome y Willard describen el enfoque de sistemas en los siguientes términos: [15]

> El enfoque de sistemas es una forma ordenada de evaluar una necesidad humana de índole compleja, la cual consiste en observar la situación desde todos los ángulos y preguntarse: ¿cuántos elementos distinguibles hay en este problema aparente? ¿Qué relación de causa y efecto existe entre ellos? ¿Qué funciones es preciso cumplir en cada caso? ¿Qué intercambios se requerirán entre los recursos una vez que se definan?[16]

Los conceptos de sistemas se desarrollaron rápidamente después de la Segunda Guerra Mundial. El extraordinario aumento en la complejidad del equipo y los sistemas de defensa culminaron en una nueva perspectiva de la administración y del diseño de ingeniería. Las dificultades que encuentran la administración de la economía, de la sociedad y de las compañías individuales han obligado a adoptar una perspectiva de sistemas.

4.3.2 Características del enfoque de sistemas

El enfoque de sistemas es una combinación de filosofía y de metodología general. Los aspectos filosóficos son descritos por las siguientes características de este enfoque. El enfoque de sistemas es:

1. *Interdisciplinario.* El enfoque a la solución de problemas y al diseño de sistemas no está limitado a una sola disciplina, sino que todas las pertinentes intervienen en la búsqueda de una solución.

2. *Cualitativo y cuantitativo a la vez.* El enfoque de sistemas se sirve de un enfoque ecléctico, ya que el diseñador no aplica exclusivamente determinados instrumentos. La solución conseguida mediante los sistemas logra ser descrita en términos enteramente cualitativos, enteramente cuantitativos o con una combinación de ambos, según lo exijan las circunstancias.

3. *Organizado.* El enfoque de sistemas es un medio para resolver problemas amorfos y extensos, cuyas soluciones incluyen la aplicación de grandes cantidades de recursos en una forma ordenada. Por lo regular, un equipo de expertos generalistas profesionales (diseñadores de sistemas) y de especialistas (expertos en técnicas y en componentes) analiza el dominio del problema durante un periodo determinado con la finalidad de formular el problema. La formulación del problema es decisiva para todo el proyecto de diseño, ya que los objetivos del sistema se extraen del planteamiento del problema en relación con las necesidades. La administración desempeña parte importante en la identificación y formulación de los problemas. Aunque el desarrollo del sistema en etapas posteriores quizá no proporcione el mejor diseño de los componentes, el sistema servirá para lograr una solución adecuada. Pero si el problema no se diagnostica bien y se establecen objetivos incorrectos, el sistema fallará por muy bien que se haya hecho el diseño detallado.

   El enfoque organizado requiere que los integrantes del equipo de sistemas lo entiendan pese a sus diversas especializaciones. La base de su comunicación es el lenguaje del diseño de sistemas.

4. *Creativo.* A pesar de los procedimientos generalizados ideados para el diseño de sistemas, el enfoque ha de ser creativo y centrarse primero en las metas y luego en los métodos. El sistema definitivo dependerá enormemente de la originalidad y creatividad de los que colaboran en su diseño.

   El enfoque de sistemas debe ser creativo porque:

   - Los problemas son tan complejos y están tan mal estructurados que no hay una, sino varias formulaciones o soluciones.
   - Muchos de los datos disponibles son tan incompletos, inciertos o ambiguos que debe recurrirse a la imaginación de orden superior para formarse un marco de referencia teórico ante el problema.
   - Es preciso generar soluciones alternas para resolver los problemas del subsistema; entre varias soluciones, se harán selecciones que den una aproximación de un sistema total óptimo.
   - Las barreras funcionales y disciplinarías tradicionales quedarán subordinadas a la síntesis de la solución.

5. *Teórico.* El enfoque de sistemas se basa en los métodos de la ciencia. Esta ofrece estructuras teóricas (cuya validación aumenta con el tiempo) a partir de las cuales construiríamos soluciones prácticas de los problemas. La estructura constituye el esqueleto, mientras los datos representan la carne que llena las formas. Cada tipo de datos produce formas distintas, pero es la teoría la que da

el molde. La teoría relevante para el enfoque de sistemas puede deducirse de cualquier disciplina según se requiere, pero también la teoría de sistemas se basa en muchas disciplinas.

6. *Empírico.* La búsqueda de datos empíricos es parte esencial del enfoque. Los datos relevantes han de distinguirse de los irrelevantes y los verdaderos de los falsos. Los datos pertinentes generalmente incluyen no solo hechos relativos a los aspectos técnicos, sino además los que se refieren a prácticas, funciones, interacciones, actitudes y otras características de la organización en los sistemas hombre-máquina.

7. *Pragmático.* En el caso de sistemas reales o empíricos, una característica central del enfoque de sistemas consiste en que genera un resultado orientado a la acción. El sistema ha de ser factible, producible y operable. Sus actividades tienen por objeto cumplir con un conjunto de propósitos o satisfacer necesidades reales. Por ello los diseñadores deben conocer bien la organización para la cual trabajarán. Más aún, el personal de la organización ha de participar en el proceso del diagnóstico, en la implementación y en el diseño.[17]

4.3.3 Metodología general del enfoque de sistemas

El enfoque de sistemas se centra constantemente en sus objetivos totales. Por tal razón es importante definir primero los objetivos del sistema y examinarlos continuamente y, quizá, redefinirlos a medida que se avanza en el diseño.

Una vez fijados los objetivos, se obtiene el mayor número posible de datos con tal que su recolección sea económica. Esos datos comprenden entradas, salidas, criterios, restricciones y la estructura general del sistema.

El siguiente paso requiere mucha creatividad. El sistema es delineado a partir de los elementos y las relaciones principales. Se crean y examinan tanto las alternativas como las modificaciones. Se incluyen analogías tomadas de diversas disciplinas. Este es el primer paso en el diseño conceptual.

El análisis principia cuando el diseñador trata de refinar el sistema al mejorar los componentes y los subsistemas. A medida que se efectúan intercambios entre las salidas de los subsistemas, el diseñador se concentra continuamente en los objetivos totales del sistema. En esta etapa se evalúan y, quizá, se revisan los criterios y las restricciones.

EJEMPLO DEL ENFOQUE DE SISTEMAS

Puesto que este enfoque se centra en el diseño del todo, se ocupa de las relaciones antes de perfeccionar el diseño de los componentes. Para explicar este punto con un ejemplo, pongamos el caso de los salones de baile. En el antiguo enfoque de los componentes la gerencia procuraba:

1. Optimizar la operación del estrado de la orquesta y la pista de baile. 2. Optimizar la operación del área del bar. 3. Optimizar el área de asientos y de servicio.

En este enfoque, el cliente podría tener buen servicio en el bar, pero debía dejar su copa y recorrer el área de asientos para llegar a la pista de baile, situada a 25 metros. Por el contrario, el área de asientos sería espaciosa y cómoda, solo que la cercana pista de baile era pequeña y la banda tocaba muy fuerte a un lado de las mesas.

En el enfoque de sistemas, los salones de baile establecían primero su objetivo. Este consistía en maximizar las utilidades ofreciendo el equilibrio óptimo entre el servicio de bar, el de mesas y el área de baile, de ahí que la pista de baile se pusiera en un lugar central, cuyo perímetro estaba formado por el bar y las mesas. Se hacía que la pista de baile tuviera un tamaño correspondiente al cupo del bar y al área de las mesas. Ambos espacios estaban equilibrados para proporcionar la máxima satisfacción en consideración a los altos ingresos provenientes de los clientes del bar. Así pues, en las noches de máxima concurrencia, se sabía que algunos clientes no quedarían satisfechos del todo, pero podían conseguirse los altos ingresos del bar sin perder clientes durante mucho tiempo.

4.3.4 Enfoque de sistemas aplicado al diseño organizacional

En el pasado, las empresas perdían gran parte de su eficiencia por no relacionar las partes o funciones (subsistemas) entre sí y con el todo. La función de ventas era a veces realizada sin suficiente consideración de la función de producción: el control de la producción no estaba coordinado con la planeación financiera o de personal; el sistema clásico de información administrativa se ocupaba fundamentalmente de la generación de información a *posteriori* destinada a los estados financieros, sin que le interesara la toma de decisiones gerenciales basada en proyecciones.

Este concentrarse en funciones aisladas y el hecho de no integrar las partes en un todo unificado llegan a atribuirse a diversas causas, ante todo a la visión estrecha del especialista (ingeniero, contador, encargado de inventarios) que no puede o no quiere relacionar su especialidad o "caja" en el organigrama con el del resto de la organización.

Entre otras causas, figuran una organización inadecuada, una planeación deficiente o gerentes especialistas demasiado dominantes. En la figura 4.4 se muestra el diseño centrado en el todo, en contraste con el diseño de componentes y subsistemas, un aspecto fundamental en el enfoque de sistemas. La línea llena indica las relaciones de autoridad y la estructura jerárquica de la organización clásica; el interés gira en torno a las relaciones formales de autoridad y la cadena de mando, no en torno a las interrelaciones de las partes. Las líneas punteadas muestran la misma estructura organizacional con las partes unidas en un sistema por medio del flujo de información, así como el enfoque de sistemas ante la organización y la administración.

La figura 4.4 no nos permite concluir que la diferencia entre los enfoques "clásicos" y de "sistemas" es absoluta y definitiva. En efecto, la perspectiva clásica siempre ha admitido el intercambio rutinario de información a lo largo de la cadena de mando. Las copias de los pedidos de venta pasaban a los departamentos de crédito, producción, embarque y cuentas por cobrar. Los presupuestos se planeaban para el futuro y quedaban incluidos en partes individuales de la empresa. Pero estos medios, aunque proporcionaban un poco de coordinación, no favorecían una coordinación estrecha entre los departamentos, ni la subordinación de metas departamentales a las metas globales, ni los intercambios de coste/beneficio entre los departamentos para optimizar la rentabilidad de la empresa.

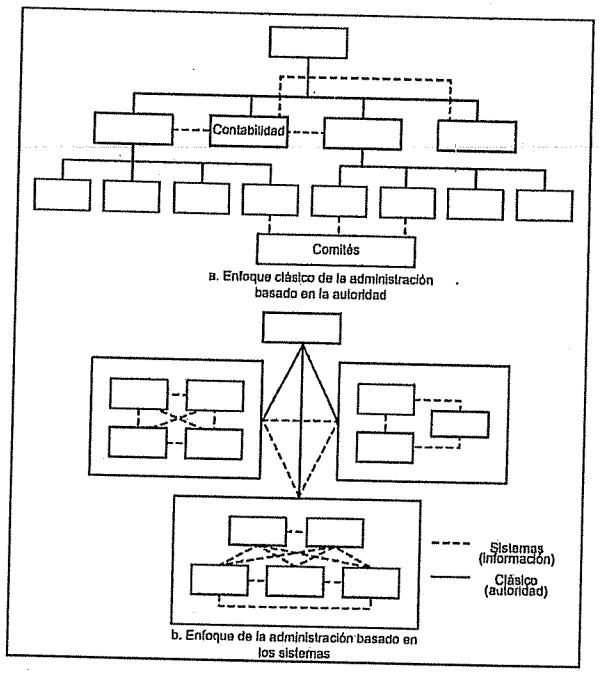


Figura 4.8. Diferencia entre enfoque clásico de administración y enfoque de sistemas

4.4 ANÁLISIS DE SISTEMAS

Una forma útil de obtener la perspectiva de lo que se llega a hacer aplicando la ciencia en las organizaciones es clasificar y analizar lo que los administradores pueden lograr para mejorar sus logros administrativos y las fuentes de asesoramiento científico que tienen a su disposición.

Los administradores manejan *organizaciones*, éstas son un tipo de sistema y un sistema es un grupo de entidades relacionadas entre sí. Las entidades pueden ser abstractas, como el sistema numérico, o concretas, como la persona.

Las organizaciones son sistemas claramente concretos, aunque no todos los sistemas concretos son organizaciones. Estas se distinguen por cuatro características esenciales, cada una de ellas sujeta a manipulación administrativa, de aquí que estas características definan también lo que llamaremos "formas de administración". Las características son las siguientes:

1. *Contenido.* Una organización debe consistir de, por lo menos, dos entidades con un propósito definido que sean capaces de seleccionar los objetivos y los medios para alcanzarlos. Este es el requisito mínimo de contenido. En los tipos de organizaciones que se tratan en este libro, las entidades que tienen un propósito son *personas.* Tales organizaciones normalmente también agrupan a otros tres tipos de recursos: *máquinas (en* las que incluimos plantas, equipo y servicios), *materiales y dinero.*

2. *Estructura.* Las entidades que componen al sistema se dividen, por lo menos, en dos subgrupos, responsables de diferentes clases de actividad, es decir, hay una división funcional del trabajo dentro del sistema: no todos los componentes del sistema hacen lo mismo, pero la mayor parte de lo que hacen (o una parte importante) tiene que usarse para lograr los objetivos totales del sistema. Por sus características, una organización industrial se divide, por lo menos, en funciones de producción, de mercadeo, de finanzas, de personal y de investigación o ingeniería. Las organizaciones militares están divididas de manera similar: por ejemplo, en funciones administrativas, de inteligencia, de operaciones y entrenamiento, y de suministro y logística.

3. *Comunicaciones.* Cada una de estas entidades del sistema debe ser capaz de responder, una a otra y al medio ambiente del sistema (o accionar entre sí). Lo anterior requiere de la habilidad de obtener información, ya sea por observación directa o bien indirectamente mediante la comunicación, que es lo que aglutina a los elementos de una organización.

4. *Control.* El sistema tiene que poder, al menos, autocontrolarse parcialmente, es decir, establecer sus propios objetivos, valorar sus logros en función de estos objetivos e iniciar o modificar el comportamiento orientado hacia el mejoramiento

de sus logros. También debe ser capaz de modificar su propia estructura, comunicaciones y aun su sistema de control. Por lo tanto, una organización habrá de ser *adaptable y autoorganizada.*

Consideremos ahora cada una de estas características desde el punto de vista de lo que los administradores pueden realizar respecto de ellas y lo que la ciencia llega a hacer para ayudar a la administración a que lo haga mejor.

Contenido

1. *Personas*
   - 1.1 *La selección y el adiestramiento* tienen el propósito de incrementar la capacidad de los miembros de la organización, por lo que se espera que mejoren el rendimiento de ellos y el de la organización. La administración puede obtener ayuda de *psicólogos de personal* en el diseño y la operación de dichos procedimientos.
   - 1.2 *El estudio de trabajo* trata de lograr el mejoramiento del personal, indicándoles lo que deben hacer y cómo hacerlo, sin necesidad de cambiar su capacidad. Puede obtenerse ayuda de *ingenieros industriales* a través de estudios de tiempos y movimientos.
   - 1.3 *La motivación* procura inducir al personal a mejorar su trabajo, modificando su medio ambiente (físico y social) o bien proporcionándoles los incentivos apropiados. Los *psicólogos industriales y sociales, los sociólogos* y los *ingenieros industriales* pueden y han ayudado de este modo a los administradores.

2. *Máquinas* (y planta): *el diseño, la construcción* y el mantenimiento de equipo y servicios se usan con los propósitos siguientes:
   - 2.1 *Mejoramiento del funcionamiento de las máquinas específicas.* Esta ha sido la función de lo que llamamos ingeniería "tradicional", mecánica, civil, química, *industrial,* etcétera.
   - 2.2 *Mejoramiento de la eficiencia de los operadores de las máquinas en las instalaciones.* El uso de la *fisiología, psicología* e ingeniería en el diseño de trabajo, equipo e instalaciones en las que los obreros puedan trabajar con eficiencia se conoce como ingeniería humana *o análisis de factores humanos* (Chapanis, 1961).
   - 2.3 *Mejoramiento de los logros del sistema total* hombre-máquina. En este caso se trata de la forma en que las máquinas accionan entre sí y la forma en que los hombres lo hacen con las máquinas. Este tipo de método es característico de la *Ingeniería Industrial y específicamente de la ingeniería de sistemas* (Goode y Machol, 1957; Chestnut, 1965).

3. *Materiales*
   - 3.1 *Mejoramiento de la calidad de lo siguiente:*
     - 3.1.1 *Materias primas o básicas.* En esta área pueden ayudar *los físicos, químicos, metalurgistas* y otros nuevos especialistas en materiales.

     - 3.1.2 *Componentes o productos terminados.* Puede obtenerse ayuda en el diseño de productos o componentes de una gran variedad de *ingenieros. El análisis de valor* es un procedimiento que los ingenieros han encontrado útil recientemente.
   - 3.2 *Mantenimiento de la calidad* de materias primas o básicas y de componentes o productos terminados. En este aspecto el administrador puede tener asesoramiento de especialistas en *control estadístico de la calidad.*

4. *Dinero.*
   Las mejoras en la adquisición, la retención y el uso de recursos financieros competen a quienes trabajan en: *ingeniería financiera, administración financiera, contabilidad, finanzas y economía.* (Estos campos se han fusionado cada vez más, a tal grado que ya no es posible separar sus funciones, particularmente en organizaciones industriales.)

Estructura

El manejo de la estructura de la organización, aún es una cuestión de intuición y arte. Apenas recientemente se dispone de personal con capacidad científica en esta área. La teoría de la organización está surgiendo (por ejemplo, Hairc, 1959), pero todavía no está lo suficientemente desarrollada para aplicarla en forma sistemática a la mayoría de los problemas de la organización. Debido a dos desarrollos recientes, aumenta nuestro conocimiento de la estructura de la organización en particular, en lo que se refiere a la eficiencia con que una organización llega a controlarse a sí misma. Estos desarrollos son: **1.** la aplicación de conceptos *cibernéticos* al diseño de la estructura de la organización (Beer, 1959) y **2.** el uso de la psicología social para inducir a los miembros de una organización a modificar su estructura o superar las limitaciones que ella impone `(Bennis, 1966). Estudios más recientes consideran aspectos como sustentabilidad, redes, crecimiento interorganizacional, etcétera. Entre ellos están:

- Bayraktar, E., Jothishankar, M. C., Tatoglu, E. y Wu, T., 2007, "Evolution of operations management: past, present and future", *Management Research News,* 30(11).
- Labuschagne, C., Brent, A. C. y van Erck, R. P. G., 2005, "Assessing the sustainability performances of industries", *Journal of Cleaner Production,* 13(4).
- White, D. R., Owen-Smith, J., Moody, J. y Powell, W. W., 2004, "Networks, Fields and Organizations: Micro-Dynamics, Scale and Cohesive Embeddings", Computational & Mathematical Organization Theory, 10(1).
- Powell, W. W., White, D. R., Koput, K. W. y Owen-Smith, J., 2005, "Network Dynamics and Field Evolution: The Growth of Interorganizational Collaboration in the Life Sciences", *American Journal of Sociology,* 110(4).
- Guarido Filho, E. R., Machado-Da-Silva, C. L. y Rossoni, L., 2010, "The social and intellectual dimensions in the construction of scientific knowledge: the institutional theory in organizations studies in Brazil", *Brazilian Administration Review,* 7(2).

Comunicación

La capacidad de mejorar la comunicación de la organización a base de métodos y conocimientos científicos apenas empieza a surgir. La teoría matemática de la comunicación, relacionada con Shannon (Shannon y Weaver, 1949) no es aplicable aquí, sino solamente al diseño de los sistemas físicos para el procesamiento de mensajes. El volumen creciente de conocimientos y procedimientos de investigación pertinentes puede encontrarse en trabajos tales como los de Miller (1951), Cherry (1958), Pierce (1961) y Smith (1966).

Por lo tanto, los estudios prácticos de los sistemas de comunicación en una estructura económica son de tipo experimental y de criterio. En primera instancia los desarrollan *analistas en sistemas y procedimientos* (en la Gran Bretaña los llaman *analistas de organización y métodos).* Debido a la importancia creciente de las computadoras electrónicas en los sistemas de comunicación, la ciencia y la tecnología, se usan cada vez más en el diseño de los aspectos físicos de los sistemas de comunicación, lo cual no debe confundirse con los aspectos de organización de esos sistemas que, en gran parte, aún no aprovechan la tecnología moderna.

Control

Se recordará que el control implica el establecimiento de objetivos, la evaluación de los logros y la iniciación o modificación del comportamiento y/o el contenido, la estructura y las comunicaciones de la organización. Todo esto, o por lo menos parte, lo abarca la IO.

Originalmente la IO se ha ocupado de la iniciación o modificación del comportamiento de la organización, es decir, se interesa en la forma en que una organización usa su contenido, estructura y comunicaciones, más bien en lo que son estos aspectos de la misma. La razón es que la IO no ha tenido la capacidad de modelar por separado, con efectividad, estos aspectos de una organización y, por lo tanto, de relacionarlos entre sí y con el comportamiento de la organización. Investigaciones recientes realizadas por expertos en esos métodos y algunos analistas en investigación de operaciones han ido reduciendo las divergencias entre los métodos. Debido a ello, se está volviendo cada vez más difícil clasificar, a base de métodos, trabajos de ingenieros industriales del comportamiento, especialistas en Ingeniería Industrial y humana, de comunicaciones y de sistemas, economistas y analistas en investigación de operaciones. Lo anterior señala la urgencia de una especialidad para tratar en forma simultánea y a base de métodos múltiples los problemas de organización.

El método científico de modos múltiples para problemas de la organización debe enfocarse aún más a los sistemas de lo que ha estado la IO. Debido a que, más que ninguna otra actividad científica, la IO ha incorporado esas características y también porque mucho del impulso para esta ampliación del panorama ha provenido de la IO, estos nuevos avances los está absorbiendo ella misma. Como consecuencia, la IO se desarrolla en los sentidos conceptual, metodológico y tecnológico. Indudablemente que

esto aumentará su capacidad para servir a los responsables de la actividad humana organizada. Por lo tanto, es importante para los que se inician en la profesión de la IO conocer no solamente lo que es ésta, sino también en lo que se *está convirtiendo* y cómo pueden ayudar a dicha realización.

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, comparándolos a la luz de sus consecuencias, usando un marco de referencia apropiado, analítico hasta donde sea posible, para que tanto la valoración de expertos como la intuición se apliquen a la solución del problema" [18, p. 2].

4.4.1 Análisis de sistemas de organización [19, pp. 38 a 44]

El examen de las medidas usadas por la administración para evaluar la realización total de la organización y el funcionamiento de unidades dentro de la misma, también pone de manifiesto objetivos relevantes. Por último, es posible analizar las razones para tomar decisiones previas en el área relevante. En efecto, se puede tratar de averiguar por qué la organización hizo lo que hizo en el pasado. Las razones descubiertas permiten una interiorización de la naturaleza de los objetivos de la organización.

Por lo general, los objetivos necesitan reformularse continuamente durante la investigación, pero una primera formulación tentativa proporciona un criterio valioso que puede usarse para seleccionar información pertinente a partir del volumen ilimitado de información que existe en la mayoría de las organizaciones.

Para determinar:

1. Quién toma realmente las decisiones en lugar de quién está autorizado para tomarlas, o quién adquiere la responsabilidad por tomarlas,

2. Para saber cuáles son las variables controlables y no controlables es esencial un conocimiento detallado del sistema implicado en el problema y su comportamiento.

   La experiencia ha demostrado que dicho conocimiento raramente se puede obtener tan solo preguntando a quienes están relacionados con la operación o administración del sistema. Por lo tanto, los ingeniero industriales deben con frecuencia "partir de cero", así como construir una descripción completa y

precisa de las operaciones del sistema. Dicha descripción es necesaria tanto para formular el problema adecuadamente como para diseñar el arranque y control de la solución que se obtiene eventualmente. Además, los ingenieros industriales necesitan un conocimiento detallado de la forma en que opera el sistema para comunicarse con efectividad con los administradores del mismo acerca de sus problemas.

La forma más eficiente de aprender cómo opera realmente el sistema es efectuar un *análisis de* él, que es un proceso análogo al examen físico que efectúa un médico a su paciente después de la discusión inicial de los síntomas. Es obvio que lo que se busca y la manera de verlo están determinados por la información que se obtiene durante las discusiones iníciales en las que se exploraron los síntomas y los objetivos.

Se puede llevar a cabo un análisis del sistema de la manera siguiente:

1. *Determinar las necesidades de quién o qué deseos externos a la organización se tratan de satisfacer.* Para un negocio, esto generalmente implica la identificación de clientes y el tipo de bienes o servicio que quieren y la compañía puede proporcionar. Para una dependencia gubernamental, sería la necesidad de servicio de una parte de la población (por ejemplo, los ancianos o los granjeros). Para una unidad militar, sería la necesidad de otra unidad para el mantenimiento de su equipo o para pertrechos.

2. *Determinar cómo se comunican a la organización esta necesidad o este deseo.* En un negocio, por ejemplo, la necesidad puede comunicarse en la forma de una orden dada a un vendedor. Entonces, dependiendo de lo que parezca relevante, se determinaría cuántos vendedores y clientes hay, cuántas órdenes se reciben por unidad de tiempo, la distribución de los pedidos u órdenes, la distribución de las órdenes sobre la línea de productos, etcétera. El grado de detalle que se busca en este punto, y los subsiguientes, depende de qué tan relevantes parezcan ser los detalles en la formulación del problema. Como la concepción del ingeniero industrial acerca del problema cambia, pudiera tener que regresar para obtener información que no obtuvo la primera vez.

3. Determinar cómo *se registra y transmite a otros, en la organización, la información sobre las necesidades.* Por ejemplo, una orden o requisición generalmente se prepara con muchas copias. Cada una de estas copias deberá retraerse hasta su último destino: destrucción o archivo permanente. En cada punto en donde se recibe la información, tendrá que hacerse una determinación de qué fue lo que le ocurrió a dicha información al pasar por ahí. En general, suelen sucederle dos tipos de cosas:

Primero, la información se transformaría de algún modo. Puede traducirse a una forma codificada, condensada, expandida, consolidada, etcétera. Por lo general, el resultado es la preparación de una forma nueva, que también, por lo común, se prepara con muchas copias. A la vez, éstas habrán de rastrearse hasta su último destino.

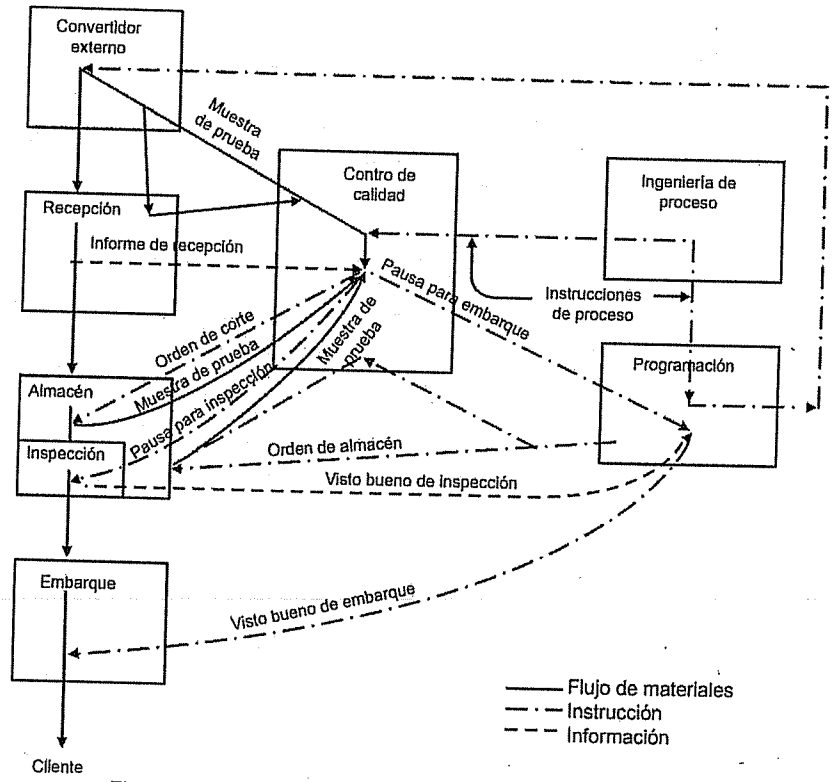
Segundo, en algunos puntos del sistema es posible usar la información para tomar una decisión y emitir instrucciones. En tales puntos las instrucciones deberán obedecerse hasta su ejecución. En la mayoría de los sistemas se genera un tipo de instrucción en el ordenamiento y recibo eventual de recursos (por ejemplo, materias primas o dinero).

Entonces, el flujo de recursos habrá de seguirse a través de su proceso, haciendo notar en cada punto, como en el caso del manejo de la información, la velocidad de cada proceso, la capacidad en ese punto y otra información relevante. Las instrucciones que emanan del flujo de la información darán el procesamiento de recursos en puntos clave, que deberán hacerse notar. Por último, el producto terminado o servicio, será entregado al cliente.

La información obtenida acerca del sistema en los pasos descritos normalmente se registra mejor en una serie de diagramas de flujo, que están liberalmente saturados con notas y complementados con copias de las formas usadas para la transmisión de la información y las instrucciones.

Una vez que esta información se ha recopilado, es posible someterla a un análisis. Primero, todas las transmisiones de información que no producen ninguna acción denominadas "copias informativas" se llegan a eliminar del diagrama. Las operaciones sobre los recursos que ocurren entre los puntos de control se suelen condensar en una operación compuesta. Por medio de una manipulación geométrica del diagrama de flujo resultante es factible hacer mínimas las líneas que se cruzan y frecuentemente pueden suprimirse. Entre menos líneas cruzadas tenga un diagrama de flujo, con mayor facilidad se llega a identificar su naturaleza. La comprensión del flujo se puede facilitar usando símbolos diferentes para los puntos donde se transforman la información, los puntos de toma de decisiones y los archivos. Se llegan a utilizar colores diferentes para distinguir entre los flujos de información, de instrucciones y de recursos, y aun para diferentes documentos o productos.

La figura siguiente muestra un registro de información inicial típico:



El control de calidad para barra y varillas y su relación con otros departamentos

Figura 4.9. Notas iniciales de un análisis de sistemas

El diagrama terminado es un modelo descriptivo de las operaciones de la organización.

La preparación de un diagrama de flujo como ese por lo general revela muchos síntomas que no se pueden dar a conocer adecuadamente en forma oral. También ayuda en la identificación de las variables importantes, controlables o no controlables, de aquellos que toman las decisiones y la información que éstos tienen disponible en el momento de tomar esas decisiones.

La figura a continuación es un diagrama terminado de un proceso de producción.

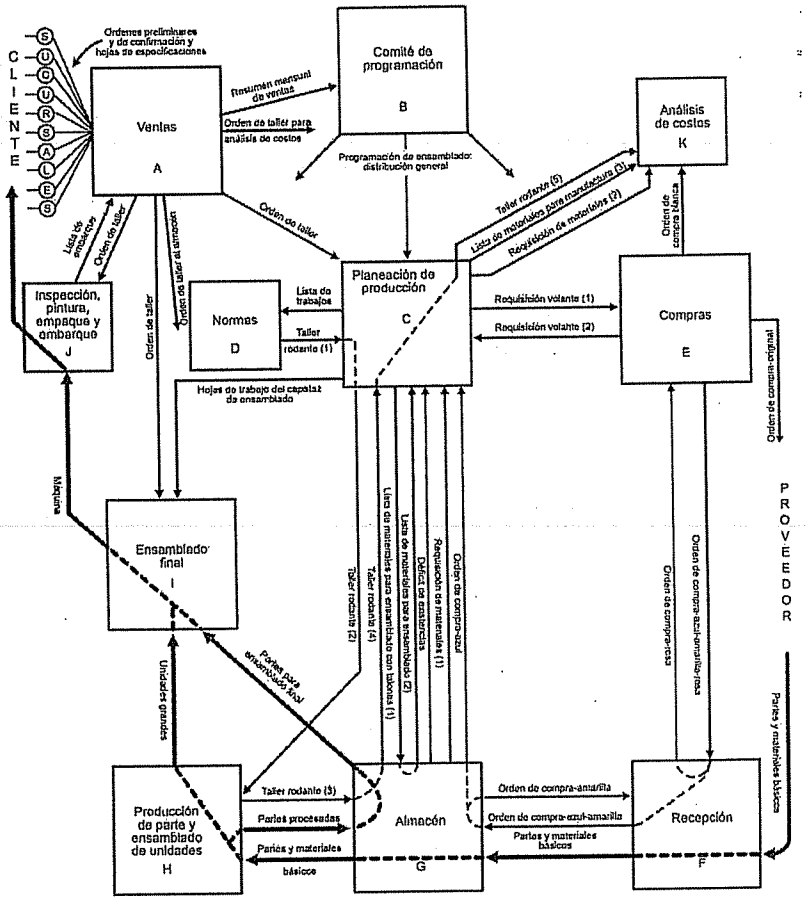


Figura 4.10. Diagrama de flujo y control de materiales

En el análisis del sistema de un proceso de producción se encontró que muchas partes que originalmente no habían sido programadas para producirse, estaban procesándose sobre una base de emergencia debido a que la escasez de ellas retrasaba el ensamble de productos terminados. El análisis también reveló la causa del déficit: el control independiente de las salidas de partes del almacén, tanto ordenadas por el departamento de control de producción como por el de reemplazo de partes. Un cambio en la organización eliminó la causa del déficit y preparó el camino para un sistema integrado de producción y control de inventarios.

En otro caso en el que el déficit de la existencia de las partes estaba retrasando el ensamble de productos terminados, se descubrió que la mayor parte del periodo que transcurría entre la recepción de la orden y el embarque del producto terminado lo consumía el papeleo. Once de los 30 días disponibles normalmente se desperdiciaban en demoras en el papeleo que implicaba la verificación de las órdenes para una identificación adecuada del producto terminado. Por medio de un análisis del sistema se demostró que esta operación era redundante, de aquí que era posible aumentar el tiempo disponible para la producción de partes, para así disminuir el número y la duración de las demoras en el proceso de ensamble.

Estos ejemplos ilustran cómo es que ciertos cursos de acción llegan a aliviar y aun resolver un problema descubierto durante un análisis de sistemas.

El modelo descriptivo del sistema también logra revelar puntos en los cuales el control puede ejercerse, pero no se ejerce. Por ejemplo, en el análisis del sistema de otra sección del proceso de la fabricación de partes se encontró que estas se clasificaban en dos clases: las que se fabricaban en la compañía y las que se compraban a otras empresas tomando como base un estudio que se había efectuado muchos años antes, a pesar de que la mezcla de productos y las instalaciones habían cambiado considerablemente desde entonces. Fue posible desarrollar un proceso por medio del cual la decisión podía revisarse continuamente a la luz de la variación de carga en la fábrica y del coste de compra. Lo anterior produjo una reducción significativa de los costos.

En resumen, un análisis del sistema suele proporcionar la información básica que se necesita para formular el problema y el modelo requerido para su solución. El desarrollo del modelo generalmente hace surgir más preguntas acerca de los objetivos, cursos de acción y variables no controlables. De esta manera, con frecuencia hay interacción entre el análisis del sistema y la construcción del modelo, lo que produce una comprensión mucho más completa del sistema y el problema que se va a resolver se obtiene por otros medios.

El análisis del sistema y el diagrama resultante tienen otros usos importantes. Proporcionan una base para evaluar el tiempo, el coste y el volumen de investigación que se requiere para la resolución de un problema que se formula eventualmente, pero también indican las ventajas potenciales que se tienen al hacerlo así. Además, el diagrama casi siempre es un instrumento útil para la administración, debido a que descubre la operación real de la organización en lugar de cómo se supone que trabaja.

4.4.2 Análisis de sistemas complejos [20, pp. 223 a 230]

El análisis de sistema es el estudio del sistema objeto el cuál será usado por un negocio o negocios. El sistema objeto puede ser un producto, un proceso, o un negocio para ser rediseñado o un plan. El análisis de sistema se precede por el análisis de concepto que establece el valor de los componentes del sistema objeto para el negocio, para sus propietarios y para los usuarios del sistema.

Con base en el valor de los componentes, el análisis de concepto establece el nivel superior del comportamiento del sistema objeto. Ese comportamiento capturado en un modelo es equivalente a los requerimientos de texto para el sistema. Los resultados del análisis de concepto es la información inicial para el análisis de sistema.

El análisis de sistema aplica los pasos del proceso técnico de la ingeniería de sistemas para definir totalmente el contexto del sistema objeto y para descomponer el sistema en subsistemas. El contexto de cada subsistema es totalmente definido en su estructura y en las entradas a cada subsistema. Se define el comportamiento de cada subsistema con respecto a las entradas. Ese comportamiento capturado en un modelo es equivalente a los requisitos de texto para el subsistema.

La aplicación del proceso técnico consiste en desarrollar la información substancial del sistema objeto con el análisis de concepto para pasar al análisis del sistema. Se aplica el proceso técnico de la ingeniería de sistemas para establecer por completo el contexto del sistema objeto y para crear el plan detallado para descomponer el sistema en subsistemas.

De manera general, los pasos del proceso técnico de la ingeniería de sistemas son:

1. Evaluar la información disponible.
2. Establecer las medidas de efectividad.
3. Análisis de la estructura del sistema en el contexto.
4. Análisis del comportamiento (estos pasos son concurrentes y se pueden desarrollar en cualquier orden, según se requiera).
5. Establecer la estructura del sistema en el contexto.

4.5 PROCESOS DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS[21]

Comenzamos por dar una definición general de problema: Un problema[1] se define como una situación en la cual un individuo desea hacer algo, pero desconoce el curso de acción necesario para lograrlo.

También un problema se define como una situación en la que un individuo desea alcanzar una meta utilizando para ello una estrategia particular.

Chi M. T. H. y Glaser R.,
Problem Solving abilities, material mimeografiado, 1983.

La meta o lo que se quiere lograr, hace referencia a la solución y al estado inicial; el diferencial entre ambos se denomina problema.

Mayer [2] considera que los problemas tienen cuatro componentes:

- **Las metas.** Constituyen lo que se desea lograr en una situación determinada. En un problema suelen haber una o varias metas, las cuales pueden estar bien o mal definidas.
- **Los datos.** Consisten en la información disponible con que cuenta el solucionador de problemas para comenzar a analizar la situación problema. Los datos pueden ser pocos o muchos, estar bien o mal, simples o compuestos, explícitos o implícitos. Son conocimiento descriptivo.
- **Las restricciones.** Son factores o normas que limitan el proceso de solución. Pueden estar bien o mal definidos o explícitos o implícitos.
- **Los procedimientos de solución.** Se refieren a los procedimientos utilizados para resolver el problema. Parten del conocimiento previo y requieren de creatividad cuando no hay información preliminar que sea aplicada para resolver el problema.

Tales componentes se representan en la figura 4.11.

[1]Newell A. y Simon H. A., *Human Problem Solving*, Prentice Hall, Englewood Clifs, NJ, 1972.
[2]Mayer R. E., *Thinking, problem solving and cognition*, Freeman, Nueva York 1983.

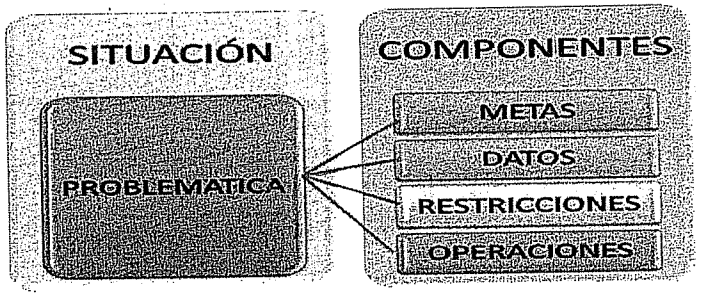


Figura 4.11. Diagrama de los componentes de un problema

Independientemente de que a lo largo de la evolución del hombre se han desarrollado varias definiciones de problema, Ackoff[3] considera que para que exista un problema, deben existir uno o varios individuos que quieren alcanzar un objetivo. Para alcanzar dicho objetivo se habrán de tener diferentes alternativas, las cuales cuentan con diferentes eficiencias para alcanzar el objetivo; el problema se resume a que no se sabe cuál alternativa elegir.

Aunque muchos problemas (crisis) son obvios, hay otros que quizá no se detecten.

Algunos tipos de problemas actuales[4] o inminentes se describen como sigue:

- Cuestión que se trata de aclarar.
- Algo que se interpone en el "camino" entre la realidad actual de una persona y lo que desea.
- Desacuerdo entre los hechos.
- Situación que es nueva para el individuo a quien se le pide resolverla.
- Desacuerdo entre el pensamiento y los hechos.
- El desempeño no está cumpliendo actualmente con los objetivos.
- Se prevé que más adelante el desempeño no continuará alcanzando los objetivos.
- Los objetivos serán cambiados y los procedimientos no darán por resultado la obtención de los nuevos objetivos.
- Los objetivos serán cambiados y *las operaciones* que se prevén no los alcanzarán.

[3]Ackoff Russell L. , *El arte de resolver problemas*, Limusa; 3a edición, México 2005.
[4]Murdick, Robert y Munson, John. *Solución de problemas y toma de decisiones en sus sistemas de información administrativa*, México, Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A., 1988.

4.5.1 Formulación del problema

La formulación del problema es la base de la solución. Comprender qué es un problema no es tarea fácil y saber formularlos es más complicado de lo que pensamos, por ello iniciamos en la formulación del problema con lo que René Descartes,[5] en su discurso del método, propuso: la **duda metódica**, que consiste en dudar de todo lo dado y aceptado erróneamente como verdadero conocimiento, ya que se trata de descubrir una evidencia que resista todo tipo de objeción:

Avanzar lentamente y con tanta circunspección en todas las cosas antes que guardarse de caer.
No rechazar bruscamente, ni por completo, ninguna de las opiniones, sin haber introducido en ellas la razón y formar el proyecto de la obra que emprende y buscar el verdadero método para llegar al conocimiento de todas las cosas de que el espíritu fuese capaz.

Preceptos:

1. *No aceptar nunca como verdadera ninguna cosa que no conociese con evidencia y que no tuviese ocasión de poner en duda.*
2. *Dividir cada una de las dificultades que examinase, en tantas partes como fuera posible y como requiriese su mejor solución.*
3. *Conducir por orden mis pensamientos, comenzando por los objetos más sencillos y más fáciles de conocer, para ascender poco a poco, como por grados, hasta el conocimiento de los más compuestos, e incluso suponiendo un orden entre los que no se preceden naturalmente.*
4. *Hacer, en todo, enumeraciones tan completas y revisiones tan generales que adquiriese la seguridad de no omitir nada.*

Como se mencionó, la formulación del problema es fundamental para la solución del mismo. Albert Einstein, refiriéndose al planteamiento del problema, expresa:

A menudo, el puro planteamiento de un problema es mucho más esencial que la solución, que puede ser solamente una cuestión de habilidad matemática o experimental. Plantear preguntas nuevas, suscitar nuevas posibilidades, ver viejos problemas desde un ángulo nuevo, son cosas que exigen imaginación y señalan verdaderos adelantos de la ciencia.

[5]Descartes, René, *Discours de la méthode, 1637.* En Gison E., edición comentada por Vrin, París 1925.

Por lo tanto la formulación del problema, para buscar una solución, consiste en identificar, definir y especificar sus componentes, es decir, el individuo o los individuos que deciden, los objetivos, las restricciones, los datos y la información que conducen al conocimiento requerido para la búsqueda de la solución.

Las restricciones cognitivas que tenemos los individuos limitan la comprensión de la realidad. Dichas restricciones se clasifican en tres categorías: biológicas, psicológicas y ambientales.

Aunado a lo anterior, el siglo pasado se caracterizó principalmente por el surgimiento de sistemas cada vez más complejos, es decir, compuestos por un número cada vez mayor de elementos y con creciente interactividad. Por ejemplo, el formidable crecimiento demográfico, el asombroso desarrollo de las telecomunicaciones y la precipitada tendencia hacia la globalización.

Tales hechos provocaron cambios revolucionarios dentro de la humanidad, a través de la imponente multiplicación de las interrelaciones entre individuos, entre individuos y grupos, entre individuos y máquinas y entre máquinas (computadoras, facsímiles, servidores, cajeros, etcétera). Y tuvo como consecuencia una gran cantidad de situaciones conflictivas y problemáticas, muy difíciles de resolver con los métodos tradicionales.[6]

Para enfrentar las limitaciones individuales y los cambios ambientales, se requiere un nuevo tipo de pensamiento "complejo", a la vez sistémico, holístico, multidimensional y ecológico, así como más global (menos local), más circular (menos lineal) y más integral (menos parcializado). Que tome, asimismo, en cuenta el contexto, las interconexiones, las estructuras y los procesos, la dinámica del todo.

Complementario del "viejo", este "nuevo" pensamiento se focaliza en las interrelaciones (en vez de las separaciones) y en las interdependencias (en vez de las concatenaciones causa y efecto). Acentúa, de la misma manera, la idea de movimiento, de flujo, de proceso en permanente construcción y reconstrucción (en vez de instantáneas de la situación). Es, por otro lado, total, inclusivo, relacional, abierto a lo inesperado y a lo imprevisible y se autoorganiza a partir de las nuevas conexiones y relaciones que va descubriendo.[7]

La cognición[8] denota al fenómeno de "hacer emerger" el significado a partir de retroalimentaciones sucesivas entre el organismo y su medio ambiente próximo (tanto físico como cultural); surge a partir de una interacción "dialéctica" entre ambos protagonistas. El conocimiento depende, entonces, de las experiencias vividas que, a la vez, modifica las propias percepciones y creencias.

[6]François, Charles, *La teoría general de sistemas y la cibernética*, artículo del GESI, Buenos Aires 2005.
[7]Moraes, María (s/d): *Tejiendo una red, pero ¿con qué paradigma?* Núcleo de Informática Aplicada a la Educación (NIED), Portal de la Universidad Estatal de Campinas (Unicamp).
[8]Varela, Francisco; Thompson, Evan y Rosch, *Eleanor, de cuerpo presente*, Editorial Gedisa, 2° edición, Barcelona 1997.

También se cuestiona la hipótesis de que el entorno local existe de antemano, está fijado y terminado. El medio ambiente próximo se considera como un trasfondo para la experiencia del organismo y se modela continuamente a través de los actos que aquél efectúa.

El entorno próximo de los seres vivos, su "área de influencia", su "contexto", está constituido por las condiciones reducidas que le son relevantes ("recortadas" del continuo) y está determinado por sus actividades.[9]

En otras palabras, los organismos no "se adaptan" a un "nicho" exterior autónomo, sino que "lo construyen" a través de sus propias actividades. En consecuencia, los organismos vivos, y el ecosistema habitado por ellos, se encuentran en un estado de fluidez, en donde ambos se modifican y reconstruyen de continuo al interactuar entre sí, "acoplándose estructuralmente" de forma mutua y recíproca.

Considerando lo anterior, para formular el problema se requiere aplicar el enfoque de sistemas propuesto por Churchman, quien menciona varios puntos de vista:

- El enfoque de sistemas comienza cuando primero usted ve el mundo mediante los ojos de otro.
- El enfoque de sistemas va a descubrir que cada visión del mundo está terriblemente restringida.
- No hay peritos en el enfoque de sistemas.
- El enfoque de sistemas es una buena idea.

Además, para formular los problemas a partir del enfoque de sistemas se requiere aplicar lo que se conoce como enfoque reduccionista, en el cual se describe un fenómeno complejo a través del análisis de sus elementos o componentes. En vez de escoger elementos aislados dentro de una situación, se toma en cuenta la situación como un todo. Después, los diversos aspectos y las partes son sometidos a un análisis cada vez más específico y detallado, por lo que para describir el sistema con este enfoque se requiere identificar:

1. **El verdadero objetivo del sistema**, detectando la medición de su actuación, las consecuencias y costos importantes de las actividades del sistema en estudio, así como aplicando el principio de primacía al cuestionarse si el sistema puede hacer a un lado los demás objetivos por alcanzar.

2. **El entorno del sistema** que en general está determinado por el problema en estudio y sirve para identificar lo que queda fuera del sistema, pero que influye en el logro del objetivo determinando o afectando la conducta del sistema, que

[9]Lewontin, Richard, *Genes, organismo y ambiente*, Editorial Gedisa, Barcelona 2000.

se identifica aplicando el principio de control al determinar lo que queda fuera del control del sistema y que se requiere considerar para el logro del objetivo cuestionándose:

   A. ¿El sistema puede hacer algo frente a esto? Y contestar no.
   B. ¿Tiene importancia o afecta el logro del objetivo? Y contestar sí.

3. **Los recursos del sistema**, detectando lo que sí controla el sistema para alcanzar su objetivo, aplicando las dos preguntas anteriores cuyas respuestas serán ahora sí en ambos casos.

4. **Los componentes o funciones**, aplicando el principio de función para identificar el valor para el sistema total en lo que contribuye al logro del objetivo, observando que en sus actividades se dan las ventajas de la división del trabajo o diferenciación y de la especialización, detectando las misiones o tareas básicas definidas a través de la división racional de las tareas que el sistema debe llevar a cabo para lograr su objetivo. De acuerdo con Katz y Kahn, desde el punto de vista de la teoría de sistemas existen cinco misiones fundamentales de las funciones que habrá de desarrollar el sistema para sobrevivir (misión más importante para el sistema total): [10]

   A. **Producción:** Es decir la conversión de las entradas en bienes o servicios.
   B. **Apoyo:** Funciones que proveen los recursos de entrada al proceso de producción y aquellas que generan la corriente de salida en el entorno, para así originar nuevas corrientes de entrada y funciones de legalización del sistema en su entorno.
   C. **Mantención:** Funciones destinadas a lograr que los componentes del sistema permanezcan en el sistema, cuando este los requiere tanto física como psicológicamente.
   D. **Adaptación:** Funciones destinadas a observar los cambios que suceden en el entorno, predecir las consecuencias que éstos tendrán para el sistema y proponer las medidas necesarias para adaptar al sistema a las nuevas condiciones del entorno.
   E. **Dirección o administración:** Es decir, el gobierno o control del sistema, la coordinación de los componentes o subsistemas, la adjudicación de los recursos a cada uno de ellos, todo esto para cumplir la misión general del sistema total.

[10]Katz y Kahn, *Social Psychology of Organization*, John Wiley and Sons Inc., New York 1966.

5. La **dirección del sistema**, aplicando el principio de decisión para identificar quién toma las decisiones para definir los objetivos de los componentes, distribuir los recursos, controlar la actuación y el comportamiento del sistema, determinado las acciones que lo llevan a lograr su verdadero objetivo.

Para identificar los elementos descritos, se desarrolla el análisis de sistemas siguiendo los pasos que se indican para determinar:

1. Las necesidades de quién o qué deseos externos a la organización se tratan de satisfacer

2. Cómo se comunica a la organización esta necesidad.

3. Cómo se registra y transmite la información de las necesidades dentro de la organización.

La información obtenida se registra en una serie de diagramas de flujo que representan un modelo descriptivo de la operación real del sistema que nos interesa, así como el flujo de información, instrucciones y recursos.

Una vez identificado el modelo que representa el sistema en estudio, se requiere definir una medida de la eficiencia que sirva para determinar cuál es la mejor alternativa de solución. Para esto nos apoyamos en la teoría de decisiones que clasifica los criterios de decisión de acuerdo con los tipos de problemas en situaciones de:

- **Certidumbre:** Conduce a un solo resultado.
- **Riesgo:** Tiene resultados alternos cuyas probabilidades se conocen o se pueden determinar.
- **Incertidumbre:** No se saben los resultados y no se pueden asignar probabilidades.

A continuación se presenta un ejemplo de diagrama de flujo:[11]

[11]http://www.toyota-global.com/company/vision_philosophy/toyota_production_system/illustration_of_the_toyota_production_system.html,

Sistema de Producción Toyota

Ilustración del sistema de producción Toyota Produciendo y entregando los vehículos ordenados de manera oportuna

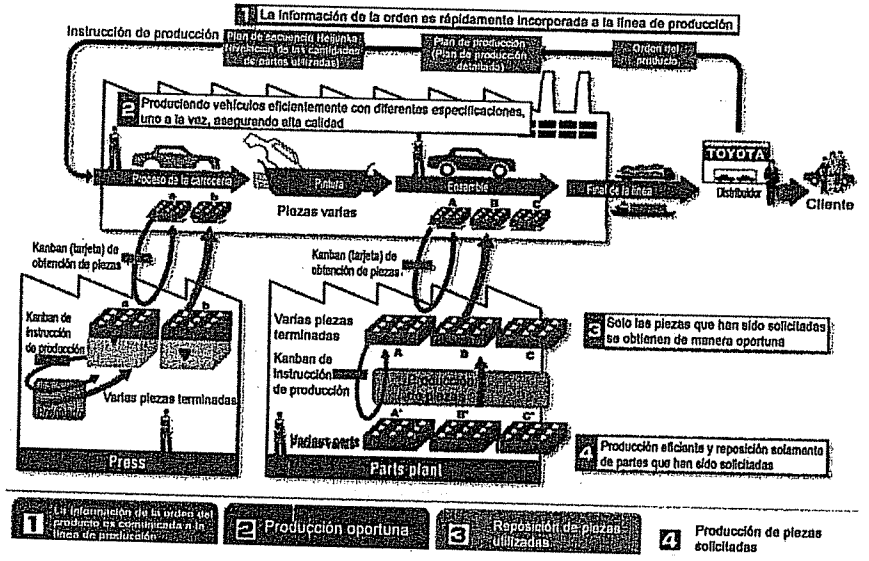


Figura 4.12. Diagrama de flujo

La resolución de problemas[12] es un proceso cognoscitivo complejo que involucra el conocimiento almacenado en la memoria, así como actividades mentales, conductuales y factores de naturaleza cognoscitiva, afectiva y motivacional.

Dice Werner Ulrico: "La solución de problemas, desde el punto de vista de los sistemas, ha de considerarse como un complejo proceso cognoscitivo-afectivo de formación y reorganización de los sistemas conceptuales...".[13] La expresión "cognoscitivo-afectivo" designa la estrecha relación de los procesos del pensamiento con las emociones y los motivos.

Acoff (1991) analiza cuatro enfoques en la solución de problemas: *Absolución*, ignora el problema y espera que desaparezca, lo cual pocas veces es un buen enfoque.

consultado el 16 de Junio de 2014.

[12]Dijkstra S., *Instruccional design models and the representation of knowledge and skills.* Educational Technology 31, 6, 1991.

[13]Werner Ulrico, "The Design of problem-Solving Systems", *Managment Science*, junio de 1977.

Resolución, encuentra una solución aceptable usando el sentido común; es más aceptable que la absolución, pero la respuesta puede no ser buena. *Solución*, utiliza métodos cuantitativos y experimentales para obtener la "mejor" respuesta bajo las condiciones actuales. *Disolución*, rediseña el sistema para eliminar la causa del problema. Este enfoque, si es posible y no muy costoso, es el preferido.

El proceso de resolución de problemas[14] puede describirse a partir de los siguientes elementos:

1. **La situación.** En la cual se quiere hacer algo, pero se desconocen los pasos precisos para alcanzar lo que se desea.
2. **El conjunto de elementos.** Estos representan los conocimientos relacionados con el problema.
3. **Un individuo.** Quien analiza el problema, sus metas y sus datos, a la vez que representa el problema en su memoria.
4. **Una secuencia de operaciones.** Que se enfoca a transformar los datos en metas.
5. **La información a utilizar.** Que se clasifica en:
   a) Esquemas almacenados en la memoria.
   b) Procedimientos heurísticos.
   c) Algoritmos o representaciones de procesos de solución.
   d) Relaciones con otras representaciones.
6. **El proceso de búsqueda de la solución.**
7. **Solución del problema** o determinación de que el problema es insoluble.

Al aplicar la mejora continua para incrementar la productividad, nos enfrentamos a la necesidad de resolver diversos problemas internos de la operación de la empresa; de manera simplificada, dichos problemas los clasificamos en:

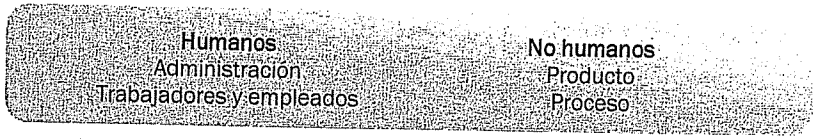


Figura 4.13. Clasificación de problemas de la productividad interna en las empresas

[14]Andre T., *Problem solving and education. In:* Phye D. H. and Andre T., *Cognitive classroom learning. Understanding thinking and problem solving.* Academic Press, Nueva York 1986..

Para enfrentar estos problemas, que se caracterizan por no disponer de toda la información necesaria ni tener bien identificadas las restricciones que intervienen, se aplican diversos procesos de solución que de manera general se clasifican en dos categorías: Los que se basan en el razonamiento lógico y los que se basan en la imaginación. En el primer caso, su fundamento es el método científico de donde surge el procedimiento universal de solución de problemas, que a la vez da lugar al procedimiento sistemático de la ingeniería de métodos.

4.6 DISEÑO DEL SISTEMA

El diseño de sistemas difiere del mejoramiento de sistemas en su perspectiva, métodos y procesos de pensamiento. En la tabla 4.4 se presenta una comparación de estos dos métodos para obtener un cambio.

	Mejoramiento de sistemas	*Diseño de sistemas*
Condiciones del sistema	El diseño de implanta	Se cuestiona el diseño
Intereses	Sustancia	Estructura y proceso
	Contenido	Método
	Causas	Propósito y función
Paradigma	Análisis de sistemas y subsistemas componentes (el método analítico o paradigma de ciencia)	Diseño del sistema global (el enfoque de sistemas o paradigma de sistemas)
Proceso de razonamiento	Deducción y reducción	Inducción y síntesis
Salida	Mejoramiento de sistema existente	Optimización del sistema global
Método	Determinación de causas de desviaciones entre operación intentada y real (costos directos)	Determinación de la diferencia entre el diseño real y el diseño óptimo (costo de oportunidad)
Énfasis	Explicación de desviaciones del pasado	Predicciones de resultados futuros
Perspectiva	Introspectiva: del sistema hacia el interior	Extrospectiva: del sistema hacia el exterior
Papel del planificador	Seguidor: satisfacer las tendencias reinantes	Líder: influir sobre las tendencias y modificarlas

Tabla 4.4. Comparación entre mejoramiento de sistemas y diseño de sistemas

Cuando se aplica el mejoramiento de sistemas, las preguntas que surgen se relacionan con el funcionamiento apropiado de los sistemas: generalmente se establece el diseño de los sistemas y se pone énfasis en asegurar que éste opere de acuerdo con la especificación. Por otro lado, el enfoque de sistemas es básicamente una metodología de diseño y, como tal, cuestiona la misma naturaleza del sistema y su papel en el contexto de un sistema mayor. La primera pregunta que surge, cuando se aplica el enfoque de sistemas, se refiere al propósito de la existencia del sistema; este requiere una comprensión del sistema en relación con todos los demás sistemas mayores y que están en interface con este mismo. A esta perspectiva se le llama *extrospectiva*, debido a que procede del sistema hacia el *exterior*, en contraste con el mejoramiento de sistemas que es *introspectivo*, ya que procede del sistema hacia el *interior*.

También se expresó que el mejoramiento de sistemas es el englobamiento del método analítico, por el cual se estudian la condición de los sistemas componentes y sus elementos respectivos, mediante *deducción y reducción*, para determinar la causa de las desviaciones de los resultados esperados o intentados.

Diseñar el sistema total significa crear una configuración de sistema que sea óptimo. No estamos intentando en este punto explicar dónde y cómo se logra lo óptimo, esto se explica en el capítulo de optimización global del sistema.

4.7 DESARROLLO DEL SISTEMA[22]

La primera fase de acción se verifica cuando la gerencia suministra los recursos y asigna la prioridad para el proyecto. Esta terminará cuando se haya comprobado por lo menos un prototipo de producción en el terreno, se hayan hecho las modificaciones finales y acepte oficialmente el cliente el sistema. La meta para los que atendieron el trabajo del diseño se complementa con los distintos juegos de información:

1. Los dibujos detallados y las especificaciones necesarias para la manufactura en grande.
2. Las instrucciones para el cliente, indicando la mejor forma de instalación, mantenimiento y operación, así como los trabajos técnicos bajos las diferentes variaciones que puedan rodear su aplicación en el terreno.

Entre tanto, el trabajo consistirá en las etapas principales siguientes;

- Iniciación de operaciones.
- Diseño y construcción de prototipos técnicos.
- Prueba y evaluación de prototipos técnicos.
- Obtención de la patente de protección.
- Diseño y fabricación de modelos de producción.
- Pruebas y valoración de estos modelos.

- Modificaciones finales y terminación del diseño.
- Preparación de informes para la factoría y para el terreno.
- Terminación del proyecto.

INICIO DE LAS OPERACIONES

Muchas providencias son necesarias antes de que el ingeniero de desarrollo pueda iniciar el trabajo detallado del diseño. Aun cuando se cuente con una conveniente organización para el desarrollo, habrá necesidad de asegurar la cuidadosa ejecución del prospecto del plan.

La unificación de todas las etapas de acción se lograría con la designación de un *gerente de desarrollo del proyecto* que sea el responsable para la organización y prosecución del mismo. A veces se le denomina *coordinador del proyecto* con la finalidad de hacer resaltar una de sus principales funciones. Sirve como centro de comunicaciones de todos los asuntos, entre todos los grupos de desarrollo que participen, y al mismo tiempo es el punto de contacto con el jefe del grupo de ingeniería de sistemas para el proyecto. Puesto que constantemente hemos hecho hincapié en la distinción entre las dos funciones, no será peligroso considerar también dos organizaciones por separado, sobreentendiéndose que nos hemos avocado necesariamente a un tipo en particular de estructura orgánica.

La categoría efectiva del gerente de desarrollo dependerá del mayor número de personal de desarrollo previsto por el prospecto y por la filosofía de la organización. Pero cualquiera que sea la categoría, la acción se inicia principalmente bajo la iniciativa del gerente del proyecto, con el apoyo de la gerencia general y de la ingeniería de sistemas.

La iniciación de operaciones la efectúa el mismo gerente, posiblemente con un pequeño grupo a sus órdenes, que esté familiarizado con el plan del prospecto. De ese prospecto, y con el conocimiento de sus propios integrantes, prepara sus *planes de trabajo*. Estos planes mostrarán la forma en que se reparte el trabajo en pequeñas tareas que puedan ser asignadas a grupos pequeños o a individuos.

La cantidad de trabajo técnico que tengan que desarrollar durante esta etapa, tanto el gerente como su grupo inmediato, dependerá de los detalles del prospecto. Algunas veces solo se darán los requisitos generales del sistema en el prospecto. En este caso, el gerente necesitará desarrollar los requisitos para los subsistemas componentes, distribuyendo los requisitos generales entre estos. No importa cuál sea el nivel de los detalles del prospecto, será posible hacer la distribución de los requisitos a niveles todavía inferiores de los subsistemas.

De estos estudios iniciales el gerente:

- Traza los programas detallados para todas las etapas.
- Distribuye la mano de obra entre todas las tareas.
- Distribuye las operaciones del proyecto entre las tareas.
- Toma providencias para asegurar la mano de obra y otros recursos.
- Suministra a los diferentes grupos (posiblemente a subcontratistas) las órdenes de conducción.
- Se pone de acuerdo con el grupo de ingeniería de sistemas sobre la frecuencia de las "revisiones del diseño" para discutir su progreso, la realización de objetivos, programas, consideraciones sobre cambios en el plan del prospecto, etcétera.

Tales planes de trabajo estarán sujetos a la dirección y aprobación del gerente de ingeniería, quien debe tener muy amplias responsabilidades sobre muchos proyectos.

Uno de los principales problemas en este nivel es la *disposición a* tiempo, puesto que las fluctuaciones en las necesidades para recursos de laboratorio con diferentes proyectos habrán de ser organizadas para producir una demanda nivelada, siempre conservándose dentro de los recursos totales del laboratorio. Los requisitos de niveles superiores originan normalmente modificaciones en el plan del gerente.

Con muy buenos planes de trabajo, el esfuerzo para el desarrollo se llega a extender con seguridad hasta incluir gran número de personal. El gerente mantiene y controla este esfuerzo, comparando constantemente los resultados contra lo planeado, así como estando atento a las dificultades que se presenten por un cambio en sus planes de trabajo o en el plan del prospecto.

La importancia de esta "atención a las dificultades", o *supervisión*, no debe pasar desapercibida. Un plan del prospecto para un sistema complejo incorpora un conjunto de convenios bien equilibrados entre los objetivos en conflicto y las técnicas. Algunas veces, aun las menores alteraciones de los requisitos del diseño suelen romper este equilibrio y dar lugar a resultados muy desfavorables. Esta es la razón por la que el grupo de ingeniería de sistemas tiene que auxiliar al gerente en sus funciones de supervisión, suministrándole toda la información suplementaria que se requiera sobre la planeación.

Hay técnicas especiales que resultan una ayuda efectiva en la función de supervisión, así como para programar el trabajo, hacer la distribución de los recursos y para controlar el tiempo y los costos del desarrollo. Técnicas como la evaluación de programas y revisión técnica (PERT)[23] y la planeación y programación de ruta crítica (CPM)[24] requieren que se organice la información disponible en una gráfica de flujo reticular, en la cual los nodos representan fechas meta u otros eventos, en tanto que los ramales indican las actividades como las de desarrollo de subsistemas particulares.

Empleando la experiencia de ingenieros que hayan desarrollado actividades semejantes, se hace la estimación del tiempo probable y del coste, los cuales quedan asociados con cada ramal de la gráfica. Luego, empleando los métodos prescritos por la técnica, es posible analizar la gráfica con varios fines, como el de calcular la

probabilidad de que el desarrollo quede terminado de acuerdo con el programa, o, para una supervisión más cuidadosa, el de localizar el paso crítico, a través de la gráfica, que prevenga una fecha más próxima para la terminación del proyecto. A medida que avancen la planeación y el desarrollo, así como que las actividades queden subdivididas, el análisis de la gráfica demandará a veces el empleo de computadores digitales.

CICLO DE DESARROLLO

En principio, el desarrollo del sistema comprende las mismas etapas básicas expuestas: interpretación del problema, síntesis, análisis, tomar decisiones y comunicar resultados. La mayor parte del esfuerzo de planeación consiste en experimentos en el gabinete (ahora mediante simulación apoyada en la computadora). Los trabajos de desarrollo tienen rasgos nuevos fuera de éstos: fabricación efectiva y pruebas de artículos metálicos. La figura 4.14 indica cómo se relacionan estos rasgos con el resto en el flujo de información alrededor del "ciclo del desarrollo".

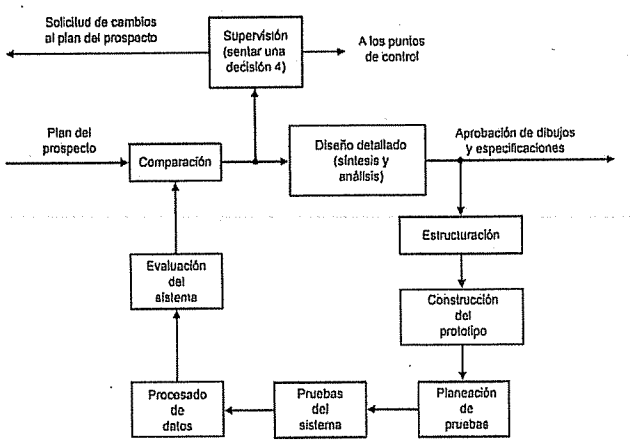


Figura 4.14. La estructura de este ciclo es la del sistema dinámico de control de liga cerrada

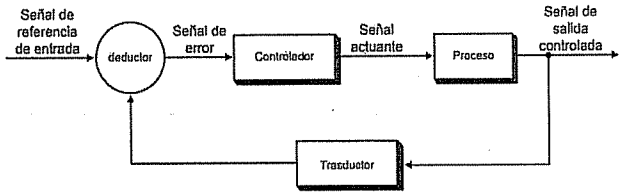


Figura 4.15. Ciclo de control

Existe una analogía entre los bloques marcados "comparación' y "estructuración' de este ciclo con las porciones de comparador y muestreo de los elementos de retroalimentación en el sistema de control, respectivamente. El bloque marcado con "diseño detallado" es análogo a la función anterior de transferencia. Los cinco bloques escalonados en la base son análogos al paso de retroalimentación: éstos reciben parte de la información que aparece después del diseño detallado, los transforman varias veces y los comparan con la información que aparece en la salida del ciclo. Una parte de un segundo sistema de retroalimentación se extiende desde la entrada, a través de los bloques de comparación y supervisión, de regreso a la fase de planeación.

Sucintamente, la secuencia del desarrollo es la siguiente: El primer trabajo realizado por los grupos de desarrollo no es diferente en clase al que realizan los grupos de ingeniería de sistemas, sólo es más detallado. La idea es crear un modelo de laboratorio o prototipo técnico que cumpla con los requisitos funcionales del plan del prospecto.

Durante este periodo, los grupos de desarrollo deben mantener un contacto íntimo con la investigación aplicada, o desarrollo fundamental, para estar seguros de que se logra ventaja con la nueva tecnología.

A veces se termina un primer prototipo hasta en sus últimos detalles. No hay caso para construir un elemento o un subsistema cuando exista incertidumbre sobre su posibilidad, o que no presente adelantos en el estado de la fabricación en cualquier forma, a menos que sea necesario para la comprobación de otros elementos. Generalmente estos elementos se pueden simular por medio de computadoras, maquetas, ligas humanas y otros medios, ahorrando así recursos de laboratorio. Si el sistema tiene muchas entradas idénticas, como las líneas telefónicas en una estación central, se necesitará suministrar equipo duplicado para manejar solo unas cuantas. El efecto de las restantes se simula en caso que sea necesario. Desde luego, no será posible simular ciertos elementos críticos del sistema que son requeridos, en virtud de las múltiples entradas.

El prototipo técnico construido efectivamente se dice que está estructurado o sea, es un bosquejo de su forma final.

El personal que se emplea en esta etapa se irá elevando rápidamente hasta su máximo, a medida que se van incorporando grupos especializados del diseño. Para la construcción, se requieren dibujos, literalmente toneladas de ellos, en el caso de sistemas de aeronáutica; para esto se requieren departamentos completos de dibujo, También será necesario mucho personal de laboratorio: maquinistas, alambradores, carpinteros. La aceleración de los esfuerzos comprueba los planes de trabajo del gerente de proyectos, etcétera.

La comprobación del prototipo técnico puede ser un experimento crucial de la ciencia objetiva. La verificación del plan del sistema solo requerirá noticias sobre si el sistema produce un sonido suave o explota al conectar la energía por primera vez. Por lo general, se requiere un programa de pruebas, en caso complicado, para determinar si el sistema cumple con sus objetivos. Hasta este punto, se ha incorporado a la etapa de planeación y diseño, una cadena bastante larga de consideraciones; por lo tanto, la

única forma de asegurarse de la confianza del plan es por medio de un cuidadoso ensayo.

El número de variables necesarias para describir la operación de un sistema complicado, el número de valores que se pueden tomar para cada una de estas variables, y el número y clase de las interacciones entre las variables son todas tan grandes que la única forma de asegurar con cierto éxito la prueba del sistema es planeándolas con todo cuidado. Además, para un conocimiento completo del mismo sistema, la única herramienta disponible son la *teoría* y el *diseño de experimentos* conocidos. El nombre de esta herramienta al mismo tiempo que amplio, es vago, pero su campo de acción está casi bien definido en el contenido de los mejores libros sobre la materia.[25] Las variables que requieran mediciones, y la exactitud con que se deban realizar éstas, se deben incluir o suplir en los requisitos del prospecto. A continuación se dan algunos puntos que por lo general se requieren para el plan de las pruebas:

- Una lista de las variables del sistema y de los integrantes que requieran mediciones.
- La amplitud y el número de valores que pueda asumir cada variable.
- Una lista de las interacciones conocidas o previstas entre las variables.
- Un procedimiento de operación para hacer las observaciones que resultan de los tres puntos anteriores.
- Una lista de los equipos de medición y de prueba.
- La precisión requerida de las medidas.
- El diseño estadístico que haga mínimo el número de observaciones para la precisión necesaria: una serie de observaciones de dos variables simples, diseño de bloques al azar, análisis factorial fraccionario, etcétera.
- Métodos de registro y procesado de datos: tarjetas perforadas, computadoras analógicas o manuales, etcétera.
- Estimación del tiempo y del coste requeridos para las pruebas.
- Programas de entrenamiento o adiestramiento del personal.

La lista de supervisión anterior es bastante importante para sugerir que la planeación de las pruebas del sistema se debe iniciar con mucha anticipación. Con esta anticipación de las pruebas en la fase de planeación de desarrollo es posible tener una bonificación con las sugerencias de hechos que pertenezcan al sistema, con la finalidad de facilitar las pruebas y su mantenimiento. La planeación puede experimentar un retardo por la iniciación de la construcción inmediata de mecanismos de prueba o por ordenar elementos difíciles de conseguirse pronto. La planeación de las pruebas suele indicar también cómo programar la prueba para que la evaluación del sistema preliminar y el rediseño se efectúen antes de que se termine la prueba completa. La experiencia indica que es muy conveniente expedir un informe principal sobre los planes de la prueba y periódicamente informes sobre el progreso de la misma.

Las funciones de los bloques de proceso de datos y evaluación del sistema, en la figura 4.14, requieren un análisis de varianza u otro procedimiento analítico. Los resultados de la evaluación se comparan con los requisitos del prospecto.

Las diferencias entre los requisitos y los resultados logrados realmente presentan problemas sobre decisión a los diseñadores y al supervisor, los cuales quedan comprendidos dentro de cinco categorías:

1. Problemas que se pueden resolver por un ensayo adicional sobre del lazo de retroalimentación.
2. Problemas que se derivan de los requisitos y que empiezan a mostrarse como fracasos cuando se examinan bajo el punto de vista de las dificultades del diseño.
3. Problemas que se hacen más fáciles o se eliminan efectuando el cambio de un requisito por otro.
4. Resultados que superan la satisfacción de los requisitos.
5. Problemas que no pueden resolverse en forma alguna.

Es evidente que cualquiera de estos resultados demandará consideración por parte del grupo de ingeniería de sistemas, puesto que puede alterar el plan del prospecto. Si se presenta el caso (5), se tiene que diferir o detener el proyecto, hasta que por el conocimiento de nuevas investigaciones se indique cómo resolver el problema. En todos los casos anteriores, excepto los dos últimos, se necesitará un recorrido más, por lo menos, alrededor del lazo de retroalimentación.

¿CUÁNTOS RECORRIDOS SE PUEDEN HACER EN EL LAZO DE RETROALIMENTACIÓN?

Una forma de obtener una medida de la calidad, tanto en ingeniería de sistemas como en el desarrollo de sistemas, es contando el número de veces que necesita recorrerse el lazo antes de que surja un prototipo aprobado. En nuestra lista de los nueve pasos principales del desarrollo del sistema se indicaba que únicamente se requerían dos recorridos, lo cual sería lo ideal, porque con una firme planeación en la práctica se aproxima uno muy estrechamente. El primer (o primeros) recorrido se conoce como desarrollo *de exploración*. Cuando el trabajo esté orientado directamente hacia la manufactura, se le puede denominar *desarrollo estándar* o final; este trabajo comprende el último (o últimos) recorrido alrededor del ciclo. En ocasiones, diferentes grupos de diseño deben manejar dos clases de desarrollos, lo mismo que grupos por separado de la ingeniería de sistemas verifican la planeación exploratoria y la planeación de desarrollo.

Para estudiar este alojamiento de lo ideal, consideraremos dos formas generales en las que es posible emplear el ciclo de desarrollo:

1. El plan del prospecto, muy completo, con la previsión de todas las contingencias, se aplica al ciclo del desarrollo. En respuesta a este mando fijo, se examina la salida para determinar la bondad de la concordancia con la entrada. En este caso, el ciclo está actuando como un regulador o gobernador.

2. Si se aplica un plan incompleto del prospecto, éste actuará ahora como un amplificador típico de retroalimentación o un servomecanismo, en el cual el mando de entrada sufre cambios con el tiempo. Este es el caso más general.

Algunas veces, el ciclo de desarrollo se inicia antes de que se trace el prospecto. En este caso, los dos lazos de retroalimentación actúan en conjunto para producir un plan estable del prospecto, lo que puede expresar que los dos grupos de ingeniería de sistemas y de desarrollo han trabajado conjuntamente para estabilizar el plan. Esta es la situación que se presenta en la figura 4.16.

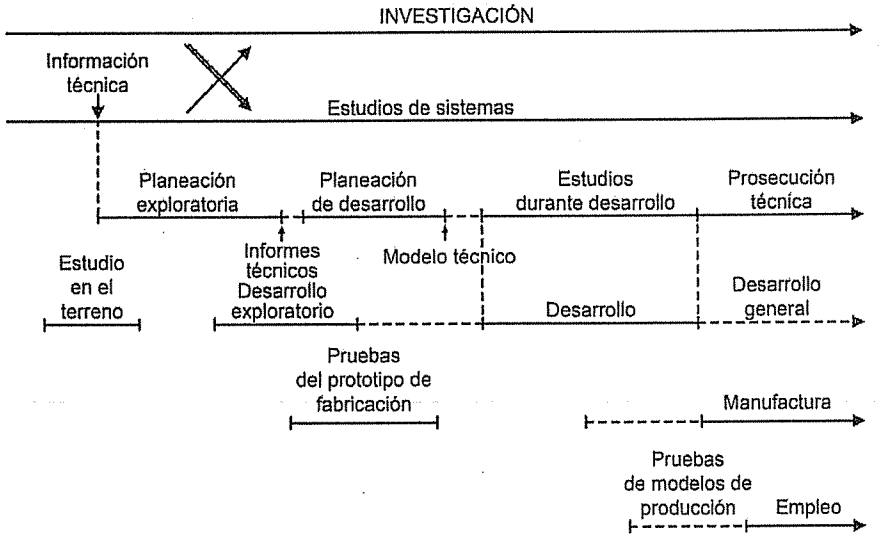


Figura 4.16. Ciclo de desarrollo del sistema

Lo que resulta del proceso anterior es lo siguiente: Cuando se hace evidente que los estudios en el papel, durante el curso de la planeación, no presentan una posibilidad de establecerse totalmente en formas técnica y económica, o que las características del sistema no se lograrán con suficiente exactitud, entonces se recomienda el desarrollo exploratorio. El desarrollo exploratorio se efectúa por el grupo de desarrollo del sistema con la cooperación del grupo de ingeniería de sistemas. Su intención no debe ser la de producir un prototipo de fabricación, sino la de pensar en los problemas que habrán de resolverse antes de formular un plan final. A veces sucede que los resultados de la exploración en el laboratorio son tan favorables que el trabajo continúa dentro del desarrollo para su manufactura. En este caso, el grupo de ingeniería de sistemas puede preparar un prospecto formal que cristalice el plan. Por otra parte, el trabajo del laboratorio suele descubrir problemas técnicos no previstos, en cuyo caso es posible abandonar el proyecto o posponerlo hasta obtener nuevos conocimientos técnicos por medio de la investigación.

Pruebas en el terreno (o ensayos). Como se deduce de la figura 4.16, el desarrollo exploratorio llega a dar lugar a ensayos en el terreno. Puesto que el prototipo técnico generalmente no se debe llevar al terreno antes de probarse en el laboratorio, todo ensayo en el terreno conduce a otro recorrido por el lazo de retroalimentación.

Los ensayos en el terreno son necesarios cuando todas las condiciones integrantes no se representan en el laboratorio. Condiciones extremas, como fuertes nevadas, huracanes, aumento de tránsito vehicular en días de fiesta y la exasperación del personal de mantenimiento a veces son inconvenientes que es posible obtener por mandato en el laboratorio.

Los ensayos en el terreno requieren que se agreguen algunos puntos en la lista de supervisión anterior para el plan de pruebas:

- La localización o localizaciones de los ensayos para obtener el margen de condiciones deseadas.
- Arreglos con el consumidor o con sus representantes técnicos sobre el espacio, mano de obra y otras aplicaciones por emplear, así como los periodos durante los cuales sean necesarias.
- Planes de transportación para el personal y el equipo.

Desarrollo estándar. El último recorrido por el sendero de la retroalimentación está dirigido hacia la creación del diseño para su empleo en la manufactura. En tanto se conserva el comportamiento funcional del modelo del laboratorio y/o del ensayo en el terreno, se incorporan todos los cambios que se indicaron como necesarios durante el desarrollo exploratorio.

Se ha dicho que el desarrollo estándar "... es una tarea de pulimento. Como el alfarero que emplea su torno para modelar y darle forma a la primera pieza de alfarería desbastada a mano, así el proceso del diseño del sistema, por medio de la repetición de sus etapas, modela y da forma al sistema final". Aún resta mucho por decirse.

La principal diferencia entre los desarrollos exploratorio y estándar radica en la introducción *de los factores de* producción. Los problemas sobre facilidades de manufactura se presentan desde mucho antes, y quienes deben resolverlos o hacerlos a un lado son los ingenieros de sistemas y los de desarrollos. Pero ahora el diseñador final se encara con la necesidad de satisfacer todos los requisitos detallados para la manufactura, al menor coste, en consonancia con el cumplimiento de todos los objetivos.

Al satisfacer los requisitos de producción, el grupo de desarrollo es el foco de otro grupo de esfuerzos trifurcados estrechamente integrado por los ingenieros de producción, como intérpretes y contribuyentes al diseño de forma óptima para la manufactura, y por los ingenieros de sistemas, como los intérpretes de los demás requisitos (por ejemplo, operación y mantenimiento) que son esenciales para implantar un sistema óptimo en general.

El diseñador dispone de muchas técnicas para lograr el coste mínimo de producción y otros requisitos: empleo de módulos estándar intercambiables con otros sistemas, empleo al máximo de un gran volumen de producción y/o componentes de baja precisión, óptimo número de opciones del comprador y otros métodos.

Resulta casi cierto que los factores de producción ejercerán en lo futuro una influencia lejana y poderosa sobre el diseño, debido al incremento de talleres automáticos. La automatización requiere un grado más alto de cooperación entre los ingenieros de diseño y de manufactura, tanta que en algunas organizaciones muchos de los grupos normales de desarrollo se han cambiado de lugar en la organización. Este es el caso de los Laboratorios de la Bell Telephone.

El producto final de un desarrollo estándar es un *prototipo de producción*, o sea un modelo de preproducción. En este momento existe poca o ninguna estructuración, por lo que la prueba del sistema deberá hacerse bajo condiciones reales de empleo. Para los sistemas comerciales lo anterior incluye a veces las condiciones reales de ventas. El manufacturero produce varios sistemas, que van desde unos cuantos hasta varios cientos, con las herramientas preliminares. Son probados estos prototipos en servicio por un equipo coordinado por los ingenieros de sistemas, incluyendo a los representantes del comprador, del manufacturero y los grupos de desarrollo.

Todas las consideraciones mencionadas respecto del primer recorrido alrededor del paso de retroalimentación, se aplican en este último recorrido.

Todos los cambios que se tomaron como necesarios durante el ensayo de la producción del prototipo, se incorporan en el equipo, lo mismo que las modificaciones en las pruebas del terreno. A veces se vende este equipo al comprador, pero se conserva en los lugares de pruebas para su manejo. La parte técnica, el coste y la investigación de mercados de las muestras, así como la experiencia del manufacturero durante la producción de los modelos se emplean como antecedentes para estabilizar el diseño.

Mientras el manufacturero hace sus planes y herramientas para la producción en cantidad, los grupos de desarrollo del sistema preparan los dibujos finales del diseño y sus especificaciones. En el caso de los productos comerciales o los servicios, se deben diseñar los planes finales para el mercado.

4.7.1 Información para la fábrica y para el terreno

Es indudable que todo sistema nuevo tendrá muy poco éxito en tanto que se le provea con las instrucciones y especificaciones completas para su manufactura y para las aplicaciones técnicas, así como para su instalación, operación y mantenimiento. La preparación de esta información es una parte de las obligaciones de los ingenieros de sistemas y de desarrollo.

El volumen y el número de formas de información necesarias para apoyar un sistema completo siempre es alarmante. Es tan pesado este trabajo que en muchas organizaciones hay que crear grupos especializados de escribientes técnicos, de dibujantes ilustradores, de preparadores de desplegados y de redactores.

4.7.2 Consideraciones sobre patentes

Los procesos de ingeniería de sistemas y de desarrollo son el resultado de, o dan lugar a, un invento patentable. La patente es un derecho de propiedad de suma importancia, en Estados Unidos:

> El Congreso tiene la facultad... de promover el progreso de la ciencia y la artesanía que sea de utilidad, garantizando por un tiempo limitado a los autores o inventores sus derechos exclusivos sobre sus respectivos escritos o descubrimientos.

El párrafo anterior pertenece al artículo 1, sección 8, de la Constitución estadounidense.

Una patente determina los derechos exclusivos que sobre su invento tiene el desarrollador por un periodo de 17 años, a la vez que prohíbe que otros lo manufacturen, lo empleen o vendan, pero no le garantiza al inventor la facilidad para venderlo o utilizarlo, es decir, solo evita que otros se beneficien con el invento. Por estos derechos, el inventor se compromete a darlo a conocer en favor del público usuario.

Estos hechos establecidos firmemente en las leyes sobre patentes explican lo dicho sobre las mismas; a saber:

1. Proteger las invenciones empleadas en el nuevo sistema.
2. Determinar si el uso del sistema por la organización viola los derechos de terceros.

Correspondiendo a estas consideraciones, se necesitarán dos clases de estudios sobre patentes antes de enviar a la manufactura los dibujos y especificaciones:

1. Un estudio sobre derecho de patentes.
2. Un estudio sobre "autorización para su uso".

Como estos estudios podrían requerir bastante tiempo, se deben programar lo más pronto posible y con seguridad, pero no después de la iniciación del desarrollo estándar o cuando el diseño final esté todavía estabilizado.

Siendo el estudio sobre derechos de patente la mejor forma de protección que se pueda obtener, dependerá principalmente de la forma en que los ingenieros de sistemas y de desarrollos realicen ciertos deberes y responsabilidades. Lo anterior se refiere a la manera de conservar los registros, de la clase de esos registros que se conserven y de los métodos para preparar la información (lo que se debe indicar en los registros), así

como las precauciones sobre publicidad e información prematura que se habrán de manejar ante las organizaciones ajenas. Importa que tanto el que diseña como el que planea tengan conciencia sobre patentes y que conozcan las leyes correspondientes, así como que se relacionen con sus deberes, tanto para su beneficio personal como para el de la organización.[26]

4.7.3 Conclusión del proyecto

Resulta innecesario decir que cuando el proyecto haya alcanzado sus metas, debe darse por terminado, pero en algunas ocasiones determinados acontecimientos influyen para mantener el ciclo de desarrollo en marcha, con revisiones continuas y con mejoras.

A veces el rendimiento del nuevo sistema se debe al afán de perfeccionismo del diseñador que no puede abandonarlo hasta que no quede una sola gota que exprimir del mismo. Otra causa puede ser que el cliente va revisando sus demandas a medida que avanza el proyecto hacia su terminación. También quizá sean el ingeniero de sistemas o el de desarrollos que han venido trabajando en el proyecto desde hace tiempo y le han aportado mucho de sí mismos, por lo que están recelosos de que los asignen a un nuevo proyecto. Una causa final se deberá al gerente del proyecto que depende de un subcontratista sobre quien no ejerce ningún control. Es probable que haya circunstancias atenuantes en cada caso de los anteriores que justifique un retardo, lo cual rechaza cualquier crítica que se quiera hacer al proyecto.

Generalmente, las condiciones del contrato especifican una fecha determinada para la terminación, las metas especificadas que se deben lograr, la cantidad de dinero por invertir, etcétera. Desde luego que son obvias las ventajas de la terminación para ambas partes contratantes. Cuando se logra el punto de conformidad, si las condiciones aún garantizan, o sí posteriormente se presentan nuevas demandas, se reconsideraría de nuevo el proyecto.

4.7.4 Prosecución técnica[15]

La última fase de la ingeniería de sistemas se inicia cuando se han terminado las instalaciones para las pruebas, cuando el diseño ha quedado aceptado para su empleo, cuando se da por concluido el ciclo de desarrollo o finaliza el contrato. Esta fase continúa por todo el tiempo que el sistema esté en servicio en la planta.

---

[15] En ingles, *Current Engineering* (N. del T.)

El término "prosecución técnica" no es muy apto ni tampoco descriptivo, pero se ha aceptado y se sobreentiende en muchas organizaciones. No está constituido por etapas en determinada secuencia, como en otras fases de la ingeniería de sistemas. Más bien consiste en diversas clases de trabajos, los cuales se clasifican escuetamente como sigue:

1. "Supervisar" la operación del nuevo sistema bajo los integrantes del terreno, como base para una mejor aplicación y para información en el diseño de futuros sistemas. Esta fase cierra el lazo de retroalimentación en el proceso de la ingeniería de sistemas (véase figura 4.17).

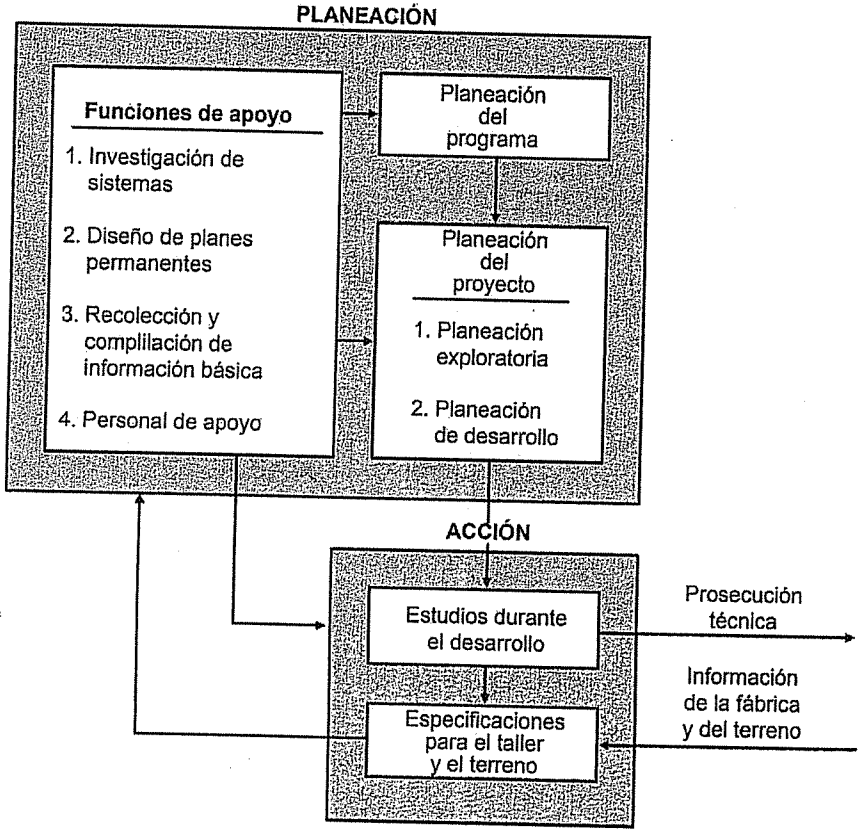


Figura 4.17. Cierre del ciclo de ingeniería de sistemas

Las mejoras que se hicieron al TD-2 son un ejemplo de esta clase de trabajos:

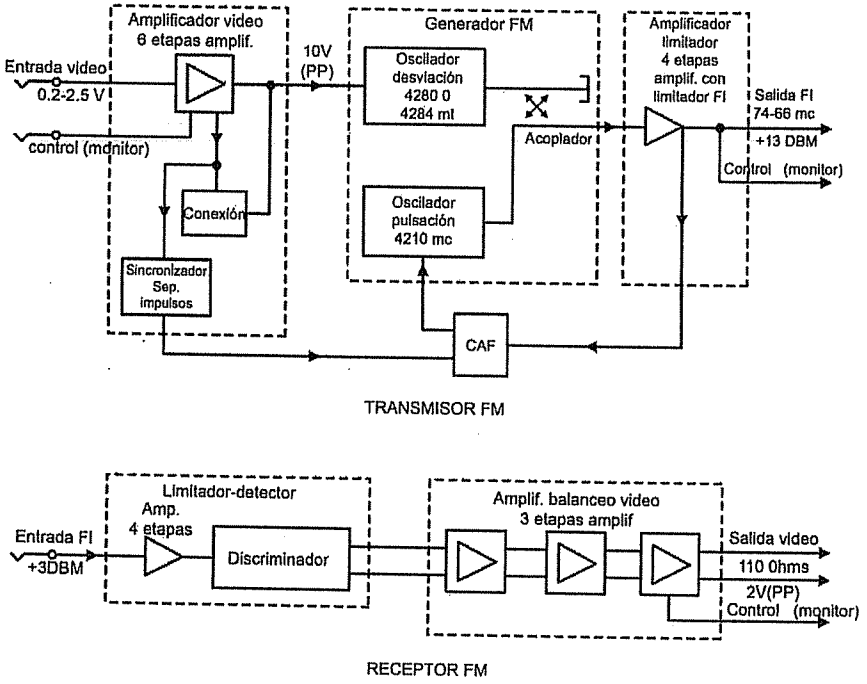


Figura 4.18. Proyecto de desarrollo general

2. Adaptación del sistema para satisfacer nuevos objetivos, lo que llega a incluir otros usos o nuevos mercados para el sistema. El sistema TD-2 se amplió en esta forma para manejar la televisión a color y suministrar automáticamente un canal sustituto en caso de fallas.

3. Corrección de debilidades o fallas imprevistas del diseño.

4. Adaptación del sistema para cambios y/o nuevas condiciones de integrantes, es decir, conservar el sistema al día. Desde el desarrollo estándar del TD-2, se ha hecho una completa sucesión de mejoras. Una de estas reformas fue la nueva antena cuerno reflector, inventada para sustituir a la antena lenticular de retardo, lo que permite a la vez recibir señales en tres bandas de frecuencias espaciadas ampliamente.

5. "Ayuda especial" para el cliente.

La necesidad de cualquiera de estas clases de trabajo sería suficiente para reconsiderar el proyecto en una forma oficial, lo cual dependerá de la cantidad de trabajo, por lo que la cantidad de proyectos para prosecución técnica variará extensamente. La "ayuda especial" suele comprender solo un aviso telefónico o la expedición de algunas instrucciones sobre cómo satisfacer requisitos no comunes. En algunas ocasiones se requerirá un estudio por tres o cuatro meses. A veces estos estudios conducen a un desarrollo menor en el laboratorio. Estos proyectos se denominan proyectos de "desarrollo general" (figura 4.18). Ocasionalmente un proyecto de prosecución técnica da lugar a un proyecto de importancia y conduce a un nuevo sistema o a grandes modificaciones en el sistema antiguo, lo cual ocurrirá si la exploración demuestra que el problema es de interés general o de importancia para el consumidor.

En ningún sentido, la prosecución técnica es una fase inferior de la ingeniería de sistemas. La mayor parte de las organizaciones de desarrollo consideran que su prosperidad está relacionada con el grado de responsabilidades que demuestran hacia su cliente después que él ha adquirido el nuevo sistema. El ingeniero de sistemas, vulnerable al cliente y a sus operaciones en esta fase, tal vez "viviendo sus propios errores" es posible que llegue a ser un proyectista más *responsable* y más *realista*.

En todos los problemas semejantes que se presenten en el lugar de utilización, el ingeniero de sistemas es el punto natural de las entradas y de la liga para los organismos operativos dentro de la totalidad de recursos del laboratorio. Él está solo para esto, o bien para el grupo del cual forma parte, que son quienes han seguido la planeación creativa y el proceso de diseño desde el principio hasta el fin.

La figura 4.19 es una representación gráfica donde se han recopilado varios de los conceptos y proposiciones ya expuestas: el orden jerárquico de los planes, los sistemas, las metas y las decisiones; la naturaleza de los sistemas abiertos de los procesos de ingeniería de sistemas conforme cambian de energía, la información y los materiales con respecto a sus integrantes; el papel de algunos de los muchos pasos de retroalimentación; y otros puntos.

Para el momento, todo el simbolismo debe ser ya familiar, posiblemente con la excepción de los dos círculos, símbolos que indican que ya sea la planeación exploratoria o la de desarrollos conducen al desarrollo del sistema, pero no al mismo tiempo ambas. La elección la hará el encargado de la toma de decisiones en el punto 2.

En esencia, ha quedado establecida la extensa filosofía de la ingeniería de sistemas. Ha sido muy difícil evadir la forma autorizada por la costumbre para la descripción, en un campo en que cada participante se considera a sí mismo un experto, pero esto seguirá sucediendo. Cuando la verdad se puede demostrar de una manera convencional o real, simplemente se tiene que ser un genio para ser invulnerable cuando se prescriba el mejor método en la ingeniería de sistemas.

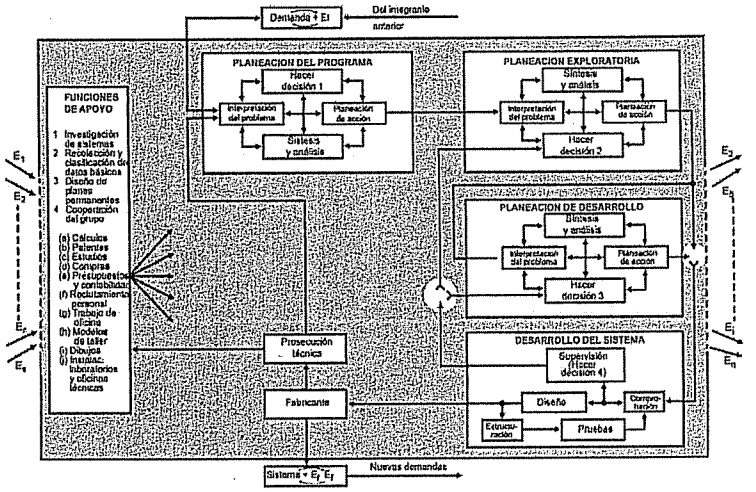


Figura 4.19. Ciclo de ingeniería de sistemas

4.8 IMPLEMENTACIÓN O IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo también examinaremos los problemas que confrontan los agentes de cambio.

No puede realizarse la implementación sin perturbar el *status quo*. Por lo tanto, en las mejores circunstancias, de seguro también se encontrará resistencia. La teoría de implementación busca explicar las fuentes de la resistencia, encontrar formas de enfrentarlas y explicar los mecanismos por los cuales se acepta el cambio.

La primera parte de este capítulo trata sobre la confrontación entre el ingeniero industrial y el administrador. Su confrontación representa la que enfrentan el agente y el receptor de cambio. Se espera que las conclusiones acerca de esta relación mejoren las probabilidades de éxito de la implementación en el caso general.

La matriz de implementación, que se introduce más adelante, representa las cuatro posiciones que se piensa existen en la confrontación. La posición de "comprensión mutua" es la que ofrece las condiciones más favorables hacia la adopción del cambio.

En este capítulo se dedican varias secciones a la implementación de cambios organizacionales y de innovaciones.

4.8.1 El axioma de sistemas: "La gente es el problema"

La implementación es el uso o adopción del cambio. Los ingenieros industriales están interesados en mejorar la proporción de cambios recomendados que se adoptan. Por lo tanto, es de suma importancia conocer los factores que afectan las oportunidades de implementación. El "hombre organización" no es ni el "hombre económico" típico ni el "hombre racional" típico. Si fuera el modelo de "hombre económico", esperaríamos que adoptara soluciones que maximizaran su ganancia económica o su utilidad. Si fuera el modelo de "hombre racional", adoptaría soluciones que siguieran axiomas estrictos de razonamiento. Desafortunadamente, no es ninguno de los dos. Debemos, por lo tanto, preguntar: ¿Qué reglas deben utilizarse para llevar a cabo las soluciones? ¿Qué enfoques habrán de perseguirse para realzar las oportunidades de adopción de cambio? La teoría de implementación busca responder algunas de estas preguntas.

Comienza considerando la relación existente entre el ingeniero industrial (científico) y el administrador, que investigaron Churchman y Schainblatt.

El ingeniero industrial y el administrador tipifican las dos partes involucradas en el proceso de implementación. El ingeniero industrial es el especialista y el administrador es el hombre en "gestión". El ingeniero industrial trabaja en un mejoramiento o una innovación que piensa le será útil al administrador. Aunque consideramos el enfrentamiento ingeniero industrial-administrador, el análisis de implementación puede trasponerse a cualquier situación en la cual dos partes: diseñador y cliente, planificador y beneficiario, intervienen en la constitución de algo. La situación entre los agentes de cambio surge en todas las situaciones de trabajo y no trabajo, en la mayoría de los oficios, tanto en empresas privadas como gubernamentales.

Para establecer la relación entre el ingeniero industrial y el administrador, Churchman y Schainblatt[16] diseñaron una matriz de implementación que explica el tipo de confrontación que tiene lugar en el enfrentamiento ingeniero industrial-administrador.

En ella, se consideran cuatro tipos de relaciones representadas por las cuatro celdas de la matriz en la figura 4.20.

A la posición A'B' se le llama la *posición de función separada.* Esta posición representa el enfoque que considera que es responsabilidad del ingeniero industrial presentar un mejoramiento con instrucciones detalladas de cómo introducirlo. El diseño del método nuevo debe ser adecuado y completo para permitir al administrador aplicarlo sin más comunicación o interpretación. La función del ingeniero industrial es generar la idea y

16 * C.W. Churchman y A.H. Schainblatt, "The Rescarcher and the Manager: A Dialectic of Implementation", *Management Science, 11*, núm. 4, pp. B-69-B-87, 1965, The Institute of Management Sciences.

diseñar el sistema para usarla. El administrador toma el plan del ingeniero industrial y tiene que aplicarlo, si las instrucciones dadas son adecuadas. La función de las partes son totalmente separadas: el trabajo de uno comienza cuando termina el del otro.

A la posición A'B se le llama *posición de persuasión.* Esta sostiene que la implementación se basa, en gran parte, en la habilidad del ingeniero industrial para comprender los problemas del administrador. De acuerdo con esta posición, el ingeniero industrial debe poder "vender" su adelanto al administrador, persuadirlo de lo aconsejable de adoptar su recomendación. La persuasión impone la comprensión de la persona del administrador para vencer su resistencia. Cambiar las actitudes de un individuo, reducir "disonancia e inconsistencias entre los componentes cognoscitivo, afectivo y conductual de actitud", que afectan las dinámicas y normas de grupo para lograr la participación del administrador, se encuentran todas dentro del alcance de la posición de persuasión, una que pone énfasis en los factores psicológico y social de la implementación.

	B	B'
A	Comprensión mutua	Comunicación
A'	Persuasión	Función separada

Fuente: De C.W. Churchman y A.H. Schainblatt, "The Researcher and the Manager", *Management Science*, 11, num. 4, B-70, 1965, The Institute of Management Sciences. Utilizado con permiso.

Figura 4.20. Matriz de implantación

La celda AB' es la *posición de comunicación,* la cual argumenta que el problema de la implementación debe resolverse si el gerente fuera a comprender el lenguaje del ingeniero industrial. Esta posición sostiene que las soluciones sugeridas por el personal no se aceptan, porque "el hombre en operaciones" no "las comprende". Con el propósito de hacerlo así, el administrador debe estar entrenado para comprender el lenguaje utilizado por el personal o ser educado para comprender el lenguaje de los diseñadores del cambio.

Aquí la brecha entre los dos lados se cubre debido al acercamiento del gerente con el ingeniero industrial, en tanto que en la posición anterior es al ingeniero industrial a quien se le impuso acercarse al administrador. La posición de comunicación es adaptada por todos aquellos que defienden los cursos de entrenamiento "masivos" para todo el personal operante, con la finalidad de ayudarles a "comprender" un nuevo programa o un nuevo método.

La cuarta posición AB es llamada *la posición de comprensión mutua.* Churchman y Schainblatt nos advierten que, a pesar de su nombre engañosamente simple y natural,

conocemos muy poco acerca de esta posición. A continuación se proporcionan algunas interpretaciones de su significado.

LA NATURALEZA DE LA COMPRENSIÓN MUTUA

La comprensión mutua como "confianza" entre los agentes de cambio.

La implementación es una función muy parecida al tipo de relación que existe entre las dos partes involucradas en el intercambio de conocimientos. Los elementos principales de la relación han sido resumidos en el concepto de "confianza" estudiado por Benni, así como por Churchman y Schainblatt.

La confianza surge cuando:

1. Cada una de las partes tiene fe en las recomendaciones de la otra parte.
2. Cada parte es sensible a la motivación, aspiraciones y valor de la otra parte.
3. Cada parte comprende su propio proceso de toma de decisiones, así como el de la parte opuesta.
4. El "implantador" está involucrado en la formulación de objetivos, con la idea de que sus recomendaciones y programas tengan relación con las necesidades de los clientes.
5. Los clientes están involucrados en la preparación de planes y programas, de manera que éstos tengan relación con su propia percepción de necesidades y escala de valores.
6. El agente que promueve el cambio es capaz de colocarse en la posición de los clientes y de "pensar" como ellos.

Sin embargo, sería pertinente preguntar: "¿No sería mejor emplear el tiempo variando las condiciones que hacen necesaria la confianza, en vez de desarrollar las condiciones para estructurar confianza?" "¿No sería mejor emplear nuestro tiempo desarrollando métodos por los cuales pudiéramos desafiar en forma máxima a nuestros expertos (es decir, planificadores, ingeniero industriales) en lugar de desarrollar confianza en nuestros expertos? Si [nosotros] desafiamos en forma máxima a un experto, tenemos menor necesidad de confiar en él".

COMPRENSIÓN MUTUA COMO LEGITIMIZACIÓN DEL PAPEL DEL INGENIERO INDUSTRIAL

La legitimización es el proceso por el cual se acepta la autoridad. En la relación "superior-subordinado", el subordinado concede a su superior el derecho de ejercer autoridad. El subordinado acepta las órdenes del superior, debido a que "cree" en el valor de su autoridad. El valor se atribuye por varios medios:

1. Por tradición o culto, como la autoridad reivindicada por los jefes de tribus, debido al hábito o al consentimiento divino.

2. En virtud de algún estado legal o institucionalización, como se les otorga a los que ocupan un puesto por elección o nombramiento.
3. Por respeto, como se le atribuye al jefe de la casa.
4. Por puntuación, debido al dominio de un arte u oficio especial, etcétera.

La relación entre el ingeniero industrial y el administrador, o entre el planificador y el cliente, llega a caracterizarse de una forma similar a la que existe entre el superior y el subordinado. El cliente no aceptará ningún plan o política a menos que "crea" en la legitimidad de su fuente. En este caso, el proceso de legitimización parte de la confianza y seguridad que el cliente adquiere después de una larga participación y asociación con el planificador. Vimos en la sección anterior cómo la confianza suele ser fructífera entre dos partes que se creen entre sí.

COMPRENSIÓN MUTUA COMO LOS FACTORES POLÍTICO E INCONSCIENTE EN EL CAMBIO

De acuerdo con Churchman y Schainblatt, la "política" y el "inconsciente" son los mejores términos que describen la comprensión mutua.

En general, el ingeniero industrial no comprende cómo el administrador toma decisiones:

> Para la mente conscientemente observadora del ingeniero industrial, una gran parte de la actividad administrativa es política, en tanto que las razones proporcionadas para las decisiones rara vez son razones reales, es decir, casi siempre son inconscientes... La ciencia sabe muy poco acerca de esta toma de decisión básica... Sin duda, la ciencia está orgullosa de los misterios de su vida inconsciente.[4]

Si la posición de comprensión mutua va a prevalecer, debe hacerse un firme esfuerzo para superar la brecha descrita. Hacerlo, requeriría atraer el dominio de la ciencia –pensamiento racional– al proceso de toma de decisiones político e inconsciente de los administradores, "trayendo un pequeño rayo de ciencia" a los sombríos "corredores del poder". A la vez, tendrá que dilucidarse el proceso creativo "apolítico", pero "inconsciente" del ingeniero industrial.

> La cuarta posición... requiere un ataque intelectual sobre los misterios de la administración y la ciencia. Por el lado de la administración, éste requiere comprender las políticas de toma de decisiones y por el lado de la ciencia, requiere una comprensión del proceso creativo.[5]

En el análisis final, el ingeniero industrial y el administrador -el agente y receptor de cambio- están involucrados en actividades que incluyen tanto la investigación científica como habilidades administrativas. La implementación permanecerá estéril mientras se encuentren separadas estas dos funciones: "Los dos hombres pueden muy bien crear una síntesis más elevada en la implementación, que lo que cada uno esperaría abarcar solo".[9]

Análogo al enfrentamiento ingeniero industrial-administrador, puede ofrecerse ejemplificar la relación entre los agentes de cambio en otros contextos. La situación suele incluso extenderse a la mayoría de las situaciones de aprendizaje, en las cuales el educador o instructor trata de modificar la conducta del alumno o entrenado. Aunque aparentemos saber mucho sobre educación, todavía existen muchos "factores inconscientes", poco comprendidos, que desempeñan un papel en el proceso de aprendizaje.

ESTILOS COGNOSCITIVOS

Estudios recientes sobre la teoría de implementación han confirmado la importancia del efecto de los estilos cognoscitivos en los interesados en el diseño y establecimiento del cambio.

La noción de estilo cognoscitivo o psicológico se refiere a "la forma de un individuo de realizar actividades perceptuales e intelectuales" y llega a determinarse por "sus factores genéticos y ambientales, así como por la educación y la experiencia.

Posteriormente, pasamos a describir las investigaciones sobre cómo los estilos cognoscitivos afectan el pensamiento y la toma de decisiones del administrador. El papel del estilo cognoscitivo en la implementación está directamente relacionado con esos temas.

Heany caracterizó la relación entre científicos y administradores de acuerdo con el nivel en la organización en la cual ésta se llevó a cabo. En los niveles altos de una organización, los administradores tratan en su mayor parte con problemas mal estructurados. En los niveles inferiores de la organización, los problemas están mejor estructurados, suelen formularse más claramente, a la vez que se vuelven más repetitivos y rutinarios. La ciencia de la administración se ha concentrado, a la fecha, en desarrollar soluciones o problemas administrativos de niveles bajos, donde se intenta obtener soluciones exactas. Sin embargo, si los ingenieros industriales van a mejorar la tasa de implementación habrán de volcar su atención hacia los problemas mal estructurados enfrentados por ejecutivos, donde será mucho más difícil lograr soluciones exactas y óptimas. IO, la ciencia de la administración, se ha dedicado a la consideración de los problemas mal estructurados.

Huysmans clasificó a los individuos en un espectro que va de lo "analítico" a lo "heurístico" que corresponde a su estilo de razonar. Identificó como "razonamiento

analítico" al ingeniero industrial, el técnico, el analista que "reduce las situaciones de problema a un núcleo de relaciones causales subyacentes". El individuo dotado con este tipo de razonamiento generalmente utiliza un "modelo más o menos explícito, a menudo expresado en términos cuantitativos, el cual forma la base de cada decisión"; por otro lado, "es extremadamente difícil, si no imposible, descubrir los mecanismos que conducen a una decisión bajo razonamiento heurístico. [*]... el sentido común, la intuición y las "sensaciones" no cuantificadas de desarrollos futuros desempeñan un papel importante, al punto que el razonamiento heurístico considera la totalidad de la situación como un todo orgánico, más que una estructura construida de partes claramente identificables".[10]

Los problemas de la implementación se derivan directamente de la ausencia de un "vínculo directo de comunicación" o "vínculo directo de comprensión... entre personas que difieren, de manera importante, en su estilo cognoscitivo".[10 y 11] Huymans probó tres hipótesis que confirman este enunciado que puede relacionarse con la matriz de Churchman y Schainblatt, donde la posición de "comprensión mutua" abarca el concepto de mutualidad de estilos cognoscitivos.

Hamilton *et al.* también han hipotetizado que el "desajuste de estilos cognoscitivos", entre las partes involucradas en la implementación, afecta los resultados obtenidos. Después de realizar experimentos, concluyeron que "tanto el estilo de presentación, de la proposición y recomendaciones de investigación, como el estilo cognoscitivo del administrador sí afectan las probabilidades de implementación". Sin embargo, plantean "cierta duda sobre la importancia de emparejar el estilo informativo y el estilo cognoscitivo... para realzar el éxito de la implementación". El estudio de Hamilton *et al.* se basa en una taxonomía de estilos cognoscitivos similar a la de Churchman y Schainblatt y Huysmans. Los estilos de razonamiento "analítico" y "heurística" de Huysmans son llamados "lógico-analítico" e "intuitivo-sintético", respectivamente.

El proceso lógico-analítico se caracteriza como un análisis, formando conceptos de clases, jerarquías, silogismos, actividades programadas, rigidez, reglas generales, comparación y discriminación. El proceso intuitivo-sintético se caracteriza como la asociación de referencias, heurística local y flexibilidad... El análisis lógico es el proceso por el cual se diferencia un todo en partes y se definen las relaciones estructurales entre las partes creadas. Intuición-síntesis es el proceso por el cual se integran en un todo un grupo de elementos con una relación estructural definida *a priori*.[13]

La matriz de Churchman-Schainblatt de la figura 4.20, puede volverse a dibujar, como en la figura 4.21, para tomar en cuenta esta nueva descripción, la cual muestra que en la posición A'B' (la posición de función separada) el ingeniero industrial se caracteriza por el estilo cognoscitivo "lógico-analítico" (LA) y el administrador, por el estilo cognoscitivo "intuitivo-sintético" (IS).

En otras posiciones, se han "transformado", ya sea el administrador o el ingeniero industrial, para adoptar el estilo de su contraparte. Por consiguiente, en la posición de

persuasión (A'B) el ingeniero industrial ha adoptado "una inclinación" IS para volverse LA/IS, mientras que en la posición de comunicación (AB') el perfil cognoscitivo del administrador es IS/LA, lo que demuestra una "inclinación cognoscitiva" LA por encima de su estilo cognoscitivo inherente IS. En la posición de comprensión mutua, el ingeniero industrial y el administrador tienen "estilos idénticos" (LA/IS o IS/LA). En tanto que estas designaciones son muy claras, surge una pregunta obvia en cuanto a la habilidad de un agente para adoptar una tendencia cognoscitiva menor de otro agente." Esta cuestión es fundamental para todo el problema de la implementación.

"El *razonamiento heurístico*, como se explica aquí, no debe confundirse con la *programación heurística*. Sin duda los dos están relacionados. La *programación heurística* es un *método de formalizar* el razonamiento heurístico en una serie de pasos reconocibles, que pueden utilizarse en forma sistemática para tomar una decisión. Se espera, pero no necesariamente, que los pasos lleguen a programarse con computadora, para facilitar el proceso. La *programación heurística* suele considerarse un "híbrido", es decir, un "cruce" entre los estilos "analítico" y "heurístico" de Huysmans y llega a servir para cubrir la brecha entre los dos. Ofrece potencial en este aspecto.

		B	B'
A		Comprensión mutua Investigador = LA/IS Administrador = IS/LA	Comunicación Investigador = LA Administrador = IS/LA
A'		Persuasión Investigador = LA/IS Administrador = IS	Función separada Investigador = LA Administrador = IS

Fuente: Adaptado de R.H. Doktory W.F. Hamilton, "Cognitive Style and the Manager-Management Scientist Interface in Implementation". Artículo presentado en la junta nacional del Institute of Management Sciences, Los Ángeles, California, octubre, de 1970. Utilizado con permiso.

Figura 4.21. Matriz de implantación con estilos cognoscitivos

McKeeney y Keen idearon una hipótesis y han realizado trabajo empírico para mostrar que los estilos cognoscitivos pueden clasificarse a lo largo de dos dimensiones que dependen de los requerimientos impuestos por la información o estímulos presentados, es decir, "reunión de información" o "evaluación de información". Al realizar el proceso de reunión de información, los individuos se caracterizan como "preceptivos" o

"receptivos", en tanto que en el proceso de evaluación de información como "sistemáticos" o "intuitivos". Por lo tanto, en su categorización particular, los estilos cognoscitivos aparecen como cuatro cuadrantes de un plano, dividido entre dos coordenadas ortogonales. El tipo de personalidad de un individuo suele encajar en cualquiera de estos cuatro cuadrantes o en combinaciones de éstos. Los autores del estudio postularon y probaron su modelo. Encontraron tareas, papeles y clases de problemas compatibles con cada estilo. Concluyen que Ss con diferentes estilos cognoscitivos tiende a resolver problemas mediante la utilización correspondiente de enfoques diferentes. "Lo cual está de acuerdo con los estudios de los que se ha informado anteriormente, donde se categorizan los SS de acuerdo con la nomenclatura LA/IS". Como un corolario, es evidente que las maneras de abordar los problemas conducen a una variación de estrategias para la implementación y, por lo tanto, tal estudio tiene relación con el tema estudiado aquí.

En otra investigación relacionada, se muestra cómo las variables de personalidad que impactan los estilos cognoscitivos influyen en las estrategias utilizadas en la implementación de decisiones. En este estudio particular, se reconocen los siguientes cuatro tipos jungianos de personalidad:

1. Sensación-pensamiento (SP)
2. Sensación-sentimiento (SS)
3. Intuición-pensamiento (IP)
4. Intuición-sentimiento (IS)

Los autores notan que estos tipos no solo describen modos de toma de decisiones, sino también "forma diferentes de diseños de organización", "así como formas diferentes de ciencia".[16]

Se ha demostrado que los estilos cognoscitivos impactan el diseño de sistemas de información administrativa y, por lo tanto, afectan su establecimientos El autor está involucrado en un estudio que intenta hallar una relación entre tipos de personalidad y la forma en la cual los individuos utilizan la información para la toma de decisiones, además de cómo conceptualizan la función de pertenencia de conjuntos borrosos típicos.

Doktor se aparta de los estudios comunes al investigar, con registros de EEG (electroencefalograma), la relación entre los tipos de problemas presentados para su solución (analítico-verbal contra intuitivo-espacial) y la porción del cerebro utilizada por los individuos sujetos a tales problemas. El estudio de Doktor confirma los hallazgos de McKeeney y Keen, de acuerdo con los cuales la característica cognoscitiva de cada individuo debe considerarse adecuada para resolver diferentes componentes de problemas. Por lo tanto, una organización requiere los dos tipos de individuos -científico-analistas y administradores-ejecutivos- para "resolver todos los componentes cognoscitivos de problemas". Lo anterior se aplica también al grupo encargado de la implementación.[19]

Huysmans nos recuerda la necesidad de tomar en cuenta los problemas de la implementación cuando se diseña el sistema y no independientemente de éste, es

decir, debemos hacerlo parte y parcela de la proposición de diseño, lo cual demanda que el analista de sistemas esté consciente de las restricciones "técnicas", así como de las "psicológicas" que pueden impedir la adopción eficaz del diseño de sistemas. A lo largo de este libro, hemos tratado de pintar un cuadro del diseñador y analista de sistemas que posea ambos atributos, tanto el estilo cognoscitivo "heurístico" como el "analítico".[10] Que estos dos estilos tienen que unirse no se discute. Es más difícil visualizar que existan en uno y el mismo individuo.

El método analítico y el paradigma de la ciencia no son adecuados para estudiar "todos los irreducibles". El estudio de sistemas "flexibles" y el paradigma de sistemas se fían en los procesos de pensamiento, similares a los procesos "intuitivo-sintético" ya descritos. El "mejoramiento de sistemas" y "mejoramiento de sector" aconsejan lo mismo. El problema del establecimiento de sistemas es el problema de obtener la relación apropiada entre los dos estilos (analítico y heurístico), puesto que se necesitan ambos para obtener resultados significativos, combinación que puede estar más próxima a la realidad que lo que pensamos, como lo muestra el nuevo concepto de desarrollo de organización llamado "normativismo situacional", el cual, en efecto, sintetiza el "conocimiento analítico" y el "conocimiento heurístico" de la situación de decisión.

COMPRENSIÓN MUTUA COMO INSTITUCIONALIZACIÓN DEL CAMBIO

Lograr la posición de comprensión mutua en la matriz de implementación puede también considerarse como un progreso hacia modelos de organizaciones más completos.

Al lado de Vollmer, compararemos la posición de función separada con el modelo burocrático de organizaciones, de acuerdo con el cual los deberes y las responsabilidades de cada trabajo y posición se definen claramente. Los miembros de la organización instituyen los objetivos de ésta en el curso normal de la realización de deberes y responsabilidades que se les asignan. La condición para mantener un trabajo reside en la condición implícita de que las responsabilidades se cumplirán con respeto. En este modelo, la implementación no es un problema.

El modelo de relaciones humanas de una organización implica la realización de que el modelo burocrático no logró explicar la resistencia a la implementación, a pesar de la formulación de reglas estrictas y descripción de trabajos. El movimiento de relaciones humanas llega a relacionarse con la posición de comunicación en la matriz de Churchman y Schainblatt. Este último reconoce que la motivación para la implementación es una función del individuo y de la influencia del grupo social al cual pertenece. En consecuencia, un factor clave para obtener resultados es influir en las normas del grupo y establecer "comunicaciones" significativas entre empleados y administradores, así como entre ingenieros industriales y administradores.

La posición de persuasión se refiere como un proceso por el cual el ingeniero industrial busca influir en el administrador y vencer las barreras psicológicas que impiden la implementación.

Por sí mismas, la función separada y la de persuasión, así como las posiciones de comunicación son modelos imperfectos. De hecho, no son mutuamente exclusivos. Las comunicaciones y la persuasión son solamente pasos en el proceso de dirigirse hacia la comprensión mutua.[27] En el análisis final, el objetivo de comprensión mutua involucra el proceso de "institucionalización... la separación de la investigación y funciones administrativas características de los ambientes corporativos burocráticos modernos, que pueden superarse sólo mediante la institucionalización de las relaciones ingeniero industrial-administrador".

¿Qué quiere decir realmente institucionalización? Cuando se adoptan nuevos métodos, rutinas o procesos, éstos crean perturbaciones en los antiguos y trastornan la estabilidad prevalente y el *status quo.* Se establecerá un nuevo nivel de estabilidad cuando los nuevos métodos aceptados por el medio se integren a éste. Este proceso de adaptación es esencial para la implementación y se ilustra en el estudio descrito al final de este capítulo, donde se consideraron constituidos nuevos programas de la lucha contra la pobreza, cuando se "implantaron" en la comunidad, es decir, cuando se "institucionalizaron".

IMPLEMENTACIÓN DE CAMBIOS ORGANIZACIONALES

El problema de la implementación está relacionado con el tema de la aplicación de cambios organizacionales.

Leavitt reconoció cuatro importantes variables en organizaciones:

1. Variables de tarea que se refieren a las diferentes asignaciones de trabajo.
2. Variables tecnológicas, relacionadas con los métodos e implementos utilizados en el diseño del trabajo.
3. Variables estructurales que se refieren a los sistemas de comunicaciones, los sistemas de autoridad, sistemas de flujo de trabajo, etcétera.
4. Variables humanas directamente relacionadas con los individuos en la organización.

Pueden reconocerse por lo menos tres tipos de enfoques al cambio organizacional, dependiendo de cuál de los tipos anteriores de variables se afecta por el cambio:

a) Tecnológico.
b) Estructural.
c) enfoques a "personas".

Los enfoques tecnológicos son los que buscan afectar tanto la tarea como las variables tecnológicas. Frederick Taylor y la administración científica son los primeros exponentes de este enfoque, incluidos en campos tales como la Ingeniería Industrial, la ingeniería de factores humanos, la psicología industrial, los administradores de producción; etcétera.

Promover la difusión y los procesos de transferencia de tecnología a los cuales se hace referencia posteriormente en el capitulo, habrá de considerarse del dominio de los enfoques tecnológicos al cambio organizacional, como lo entendió Leavitt.

Sin duda, los cambios en el diseño de organización, que ocurren en una de las variables, influirán necesariamente en las demás. Por ejemplo, avances tecnológicos como el advenimiento de la computadora, los sistemas de control automático y las plantas procesadoras industriales moderna afectan no solo la asignación de tareas, sino también la estructura de la organización y las variables humanas. En tanto que las variables son bastante independientes, no se comprende claramente la dirección de las "cadenas causales" entre ellas; como resultado, los diseñadores y planificadores del cambio se echan a cuestas resultados no predecibles ni deseables.

Los enfoques tecnológicos al cambio organizacional son los menos populares. La crítica también se dirige a sus proponentes por omitir el elemento humano. "Y así es que las nuevas utopías retienen su indiferencia hacia los problemas humanos y sociales presentados, por el hecho de la amenaza que presentan los sistemas de máquinas y la automatización... Estas utopías... frecuentemente son totalmente visionarias en concepto y frustrantes en su ejecución."[26]

Leavitt quizá consideraría injusta esta crítica: "La resistencia a mejores soluciones es solo la prueba de la pobreza de nuestra educación; ciertamente, no es una indicación de que las soluciones 'óptimas' son menos que óptimas".[21]

Planear el cambio organizacional, a través de enfoques tecnológicos, plantea el más serio problema de la implementación.

Los enfoques estructurales afectan la configuración de la organización al centrarse en elementos tales como la relación de trabajos, los canales de autoridad, la localización de puntos de toma de decisiones, etcétera.[21 y 29] Deben categorizarse diferentes configuraciones de centralización y descentralización en este grupo. Una de las recientes innovaciones más exitosas en el diseño de organizaciones ha sido el concepto de administración del proyecto (*project management*), que superimpone una jerarquía horizontal sobre la vertical.

La administración del proyecto suele clasificarse como un enfoque estructural al cambio organizacional. Ésta se ha aplicado con éxito a organizaciones dedicadas a la defensa y aeronáutica. Sin embargo, se duda que logre el éxito en áreas de interés social.[10]

"Los enfoques de personas" son los que intentan establecer el cambio a través de las variables humanas. El campo total de las ciencias del comportamiento se dedica a este fin. Entre los métodos y las técnicas más recientes que han logrado su aplicación están el entrenamiento de la sensibilidad (*sensitivity training*), el método de Delfos, el método de la red administrativa (*management grid method*) y el desarrollo organizacional (*organizational development*).

El entrenamiento de la sensibilidad toma al grupo como la herramienta básica de cambio; además, intenta alterar la estructura de poder estimulando la intercomunicación directa e íntima entre sus miembros. Por confrontación directa en el grupo, los individuos aprenden a conocerse a sí mismos y cómo los perciben los demás, con fundamento en el cambio eventual.

El método de Delfos sustenta opiniones divergentes a la vista y somete los puntos de vista de cada experto a varias rondas críticas de los demás, hasta que se logra un consenso.

La red administrativa es un intento de integrar las preocupaciones de carácter humano y técnico con la finalidad de mejorar la competencia interpersonal, las decisiones y la realización de tareas.

Los métodos de desarrollo organizacional involucran el examen de las interacciones de un grupo, actividades, sentimientos y relaciones, para realzar la eficacia organizacional.

El énfasis se encuentra en la autoexaminación por parte del actor y los agentes.

De todos los "enfoques de personas", la participación y la administración participativa ofrecen las mejores oportunidades de contribuir al establecimiento del cambio organizacional. La participación ha mostrado vencer la resistencia al cambio y motivar a los individuos a dedicarse a los objetivos de la organización. Es reconocido que una de las claves del cambio organizacional, se centra en la distribución de poder, lo cual se ha vuelto "un objetivo inicial, un predecesor necesario para el cambio creativo en estructura, tecnología, una solución e implementación de tarea".[14] Que la introducción de la igualdad de poder es un prerrequisito para cualquier otro cambio, se documenta vívidamente en el estudio descrito al final de este capítulo y en las versiones popularizadas de la teoría participativa.[31]

EL PAPEL DE LA INFORMACIÓN, TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

Cuando nos referimos a la implementación, debe ponerse especial atención en los procesos por los cuales se transfiere la información a través de canales. Uno es el *proceso de difusión,* que se relaciona con la trasmisión primaria de actividades innovativas del inventor al usuario, y la *transferencia de tecnología,* que se refiere al uso de actividades inventivas por usuarios secundarios, es decir, por grupos para quienes la idea no fue dedicada originalmente. No se mencionará aquí la literatura sobre procesos de difusión, ya que el lector encontrará numerosas referencias sobre la materia. El tema de la transferencia de tecnología no se conoce bien aún, pero merece atención en este punto.

Creighton, Jolly y Denning han descrito los elementos de un modelo que explica los factores formal e informal que desempeñan una parte en la transferencia de tecnología. A este modelo se le ha llamado el *modelo de enlace de información y* consiste de lo siguiente (véase la figura 4.22):

1. *Factores formales.* Procedimientos para la distribución de almacenamiento, indizado y recuperación de conocimiento.
   Documentación, que se refiere al formato, la organización y el lenguaje de los informes en los cuales se describe la innovación.
   Distribución, que trata los canales físicos utilizados para distribuir la información.

Organización, que se refiere a "la estructura de poder, naturaleza de los negocios, recursos, actitudes, tendencias burocráticas y estado de equilibrio" en cuyo contexto debe tener éxito o fallar la transferencia de tecnología.
Selección de proyecto, que se interesa en "quién inicia, aprueba, autoriza, monitorea y es consultado sobre el proyecto".

2. *Factores informales.* Comunicaciones y contactos interpersonales, creencias y sentimientos personales, sobre la fuente de conocimiento, percepciones sobre la organización en la cual uno se desempeña, supervisores y compañeros.

Capacidad, que se refiere a las características de los individuos en la organización que usa la tecnología.
El enlazador, que es probablemente el factor más importante. El "enlazador" no es un individuo. Este término se refiere al "efecto sinergético de todas las personas incluidas en la cadena de comunicación del transmisor al receptor".
Credibilidad de la fuente.
Buena voluntad del receptor para recibir ayuda.
Recompensas percibidas por el receptor.

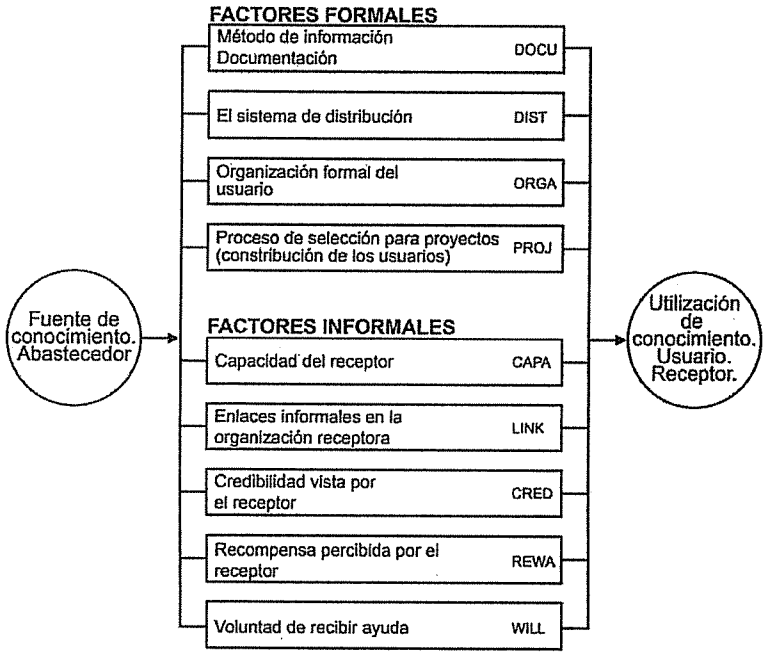


Figura 4.22. Modelo de enlace de información

Fuente: De J. W. Creghton, J. A. Jolly, S. A. *Denning, Enhacement of Research and Development Output Utilization Efficiencies: Linker Concept Methodology in the Technology Transfer Process,* Monterey, California: Naval Postgraduate School, junio de 1972.

Jolly y Creighton han comprobado la habilidad predictiva de su modelo y del mecanismo de enlace descrito en varias organizaciones.

No todos los integrantes en el sistema social adoptan la innovación al mismo tiempo.

Rogers y Shoemaker proponen categorizar adaptaciones e implantaciones de acuerdo con la dimensión "de innovación", que refleja el tiempo en el cual un individuo adopta una innovación. Los que adoptan pueden, por lo tanto, caracterizarse como "innovadores (emprendedores), primeras adaptaciones (respetables), mayoría temprana (premeditados), mayoría tardía (escépticos) y rezagados (tradicionales)". Cada uno de estos grupos corresponde a diferentes porciones del área bajo la curva normal en forma de campana.

Los autores estudiaron las características socioeconómicas, variables de personalidad y la comunicación de cada grupo para predecir su capacidad de innovación e implementación.

Mencionaremos a Havelock por su tipología que vincula papeles abarcando los siguientes tipos: *conductor, consultante, entrenador, líder, innovador, defensor, estructurador de conocimiento, como vinculadores,* así como *practicante como vinculados y usuario como enlazados.* Estos papeles son "tipos ideales". Juntos "cubren todas las funciones importantes que son necesarias para establecer y mantener el vínculo entre las fuentes de conocimiento, por un lado, y usuarios, consumidores y clientes, por el otro... Deben verse unidos, formando entre sí una cadena que engrana y aseguran la adopción de información, así como, por extensión, su establecimiento.[40]

OTRAS VARIABLES

El éxito de las estrategias para la implementación varía según el grado en el cual los objetivos son "operacionales", es decir, "cuando acciones en la práctica son percibidas para relacionar un objetivo o criterio particular con posibles cursos de acción. Las diferencias de éxito en la implementación en las empresas privadas y organizaciones gubernamentales se atribuyeron al hecho de que los objetivos pueden hacerse más operacionales en las primeras que en las últimas.[41]

Starr ha sugerido que la posición de comprensión mutua puede no existir necesariamente en todos los niveles de la organización. Indica tres niveles de problemas que deben considerarse cuando se decide si la comprensión mutua será útil: táctico, estratégico y global. En el nivel táctico, se han implantado amplios delineamientos de acción como políticas. En este nivel, un intento para la comprensión mutua habrá de ser innecesariamente costoso y consumidor de tiempo. Por lo tanto, en niveles tácticos, el enfoque de función separada suele ser el mejor enfoque para la implementación. En el nivel estratégico, o nivel medio de administración, "el administrador carece de precedentes suficientes para dar por hecho el trabajo del ingeniero industrial -tiene que ser convencido". En el "nivel global", o alto nivel de administración, sin embargo, los problemas generalmente están pobremente estructurados, son vagos y muy inciertos.[41]

El éxito de la implementación, en ciertos casos, puede muy bien depender de la motivación o el tipo de necesidad que conduce a esta. Alderson diferencia entre motivaciones que muestran "necesidades directas" y aquellas "sin necesidades directas".

Entre las primeras encontramos situaciones en las cuales el administrador tiene un problema de decisión y busca una solución. Estas también suelen cubrir casos en los cuales el administrador, ya sabiendo la respuesta a un problema, emplea a un consultante como medio para que el resto del grupo acepte su solución propuesta.

Alderson llama a estas necesidades "búsqueda de decisión" y "conciliatoria", respectivamente. También señala que ninguna "necesidad directa" es realmente evidente en casos de estudios realizados como cortesía o servicio, o los realizados para simbolizar que "se está por resolver un problema, aun cuando el ejecutivo autorizado tiene muy poca esperanza de encontrar una respuesta exitosa". A estos estudios se les ha llamado "ritualistas".[44] Las oportunidades a la implementación se afectan cuando las motivaciones del administrador no son intentos genuinos para resolver los problemas existentes.

IMPLEMENTACIÓN DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA:

OPORTUNIDAD

Para que ocurra la implementación del cambio, habrá de ser oportuna. La oportunidad es una variable olvidada. Sin embargo, no se adoptará la innovación, a menos que estén correctas las condiciones sociales, económicas y psicológicas. Aaron argumenta que "mientras la economía estadounidense [continúe] su rápida expansión, la aceptación de mejoramientos tecnológicos [está] virtualmente asegurada, ya que éstos resultan en elevados beneficios para los innovadores. Puede alegarse... que la resistencia calculada a la innovación tecnológica en este país es más una función del ciclo de negocios que una filosofía básica y continua de la empresa".[41] También, "la aceptación o el rechazo de innovaciones tecnológicas dependen en gran medida de si estas se introducen cuando una economía está estática, en contracción o en expansión..."[46]

Desde los puntos de vista social y psicológico, el ser humano no puede ajustarse a la tasa de cambio de avances tecnológicos.

De acuerdo con Morrison, una innovación:

> Pronostica un cambio en los arreglos de su sociedad... Las rutinas diarias, hábitos mentales, organización social, acomodaciones físicas, convenciones, ritos, lealtades, se han condicionado... Aún no somos emocionalmente una sociedad adaptiva, aunque tratamos sistemáticamente de desarrollar fuerzas que terminarán haciéndonos. Una de estas. Estimulamos la investigación de nuevas invenciones... aunque permanecemos, en parte, aterrados por las consecuencias de nuestra ingenuidad, y, muy frecuentemente, tratamos de encontrar seguridad al minimizar convenciones antiguas e irrelevantes, la extensión de salvaguardas puramente físicos o la transferencia de decisiones que nosotros mismos deberíamos a una autoridad superior como la del Estado.[47]

CONCLUSIÓN

En vista de los efectos que produce el cambio sobre el individuo y la sociedad, es natural que no se acepte el cambio sin recelo. La industrialización ha logrado una generación de riquezas sin paralelo y un estándar de vida que no se hubiera obtenido mediante cualquier otro sistema. Sin embargo, nos preguntamos con todo el derecho si todo es para el bien. Se ha enajenado al trabajador de la sociedad y del producto de su trabajo. Ha perdido poder sobre los métodos y las decisiones que afectan sus tareas. La industrialización puede culparse en parte por la tendencia a la urbanización en nuestra población y por el lamentable estado de nuestros centros urbanos. ¿Será éste el resultado de nuestros éxitos, de innovar y establecer procesos siempre mejores y más avanzados? Ya sea que se culpe o no a la industrialización, es tiempo de que nos demos cuenta del hecho de que debemos complementar nuestros éxitos en el campo industrial con éxitos en el campo social. Lo anterior habrá de incluir una reversión de las tendencias a la contaminación, la delincuencia y el deterioro de la vida humana. En lo sucesivo, la implementación tendrá que significar el uso o la adopción del cambio, con la debida consideración para la integridad del individuo y de la sociedad.

PROGRESO DE LAS CIENCIAS SOCIALES

Todo lo anterior nos recuerda una vez más que, ya sea que nos involucremos o no en los cambios social, político o tecnológico, debemos siempre planear la implementación al lado de una comprensión de los temas subyacentes, así como de una anticipación de las consecuencias de nuestros planes para el cambio.

Moynihan nos advierte de la dificultad para introducir planes que pueden ser incomprensibles para los que los hayan de aprobar, lo cual es similar a la posición de comunicación en la matriz de implementación estudiada por Churchman y Schainblatt.

No es la intención de Moynihan tratar tanto la implementación como el "papel institucional que se puede esperar que las ciencias sociales desempeñen en los asuntos públicos". Moynihan no cree que las ciencias sociales posean aún el conocimiento que les permitirá, "mediante el control de ciertas entradas, realizar un cambio en el comportamiento masivo". Por lo tanto, admite que "el papel de las ciencias sociales no consiste en la formulación de la política social, sino en la medición de sus resultados. Si aprendemos cómo medir un problema "también se hace posible aumentar el interés político para resolverlo".[14]

Estaríamos de acuerdo con Moynihan y afirmar que las ciencias sociales solas no pueden "realizar un cambio en el comportamiento masivo". Sin embargo, creemos que la brecha entre la teoría y la acción está disminuyendo. Las ciencias sociales en las últimas décadas "han aumentado sustancialmente su conocimiento científico" al punto de participar en forma significativa en la formulación de la política social. Al mismo tiempo, se hará cada vez más imperativo que acepten la responsabilidad de los cambios que ayudarán a implantar.

4.9 OPERACIÓN DEL SISTEMA

Como se dijo, todo sistema se puede considerar como parte de un sistema mayor. Así sucede con la función de producción de las operaciones de una empresa. Considérese pues que la función de operación, con todas sus complicaciones internas, es solo un bloque del sistema mayor, que es la empresa. La propia función de operación suele estar representada internamente por una compleja red de procesos, como en la figura 4.23; pero se le va a representar como un solo bloque con sus propias entradas y salidas.

La figura 4.23 es un diagrama esquemático básico que sitúa la muy amplia función de operación dentro de un contexto. El diagrama está sumamente aglomerado, tanto en el aspecto de los flujos como el de las funciones que se realizan, pero muestra la naturaleza de los cursos que siguen en el flujo y los puntos principales en que ocurren las transformaciones de una u otra clases. Obsérvese que se han señalado ciertos límites al sistema, estableciendo fuera de él las fuentes de mano de obra, materiales, de energía, equipo, servicios externos y recursos financieros. Tales funciones son parte del medio que rodea al sistema, pero además existen flujos tanto entre ellas como desde ellas hacia el sistema.

Como se indica en el diagrama, los flujos son de seis clases diferentes. La línea con círculos representa el flujo de los pedidos. Se ve que estos se originan en los alrededores del sistema que se estudia. Suelen originarse como entradas para el sistema o ser una respuesta a la información que se origina en el sistema y emana de él (como sería el caso de una empresa vendedora que solicita frecuentes pedidos). Los pedidos ingresan al sistema a través de la función profesional o de servicios. Es el área de inteligencia del modelo. Con base en las decisiones que adopta esta función, los pedidos se pueden enviar a un vertedero, es decir, "archivarlos", o bien, después de ciertas transformaciones, remitirlos a la función de operación, al inventario o a la sección de presupuestos y/o ventas.

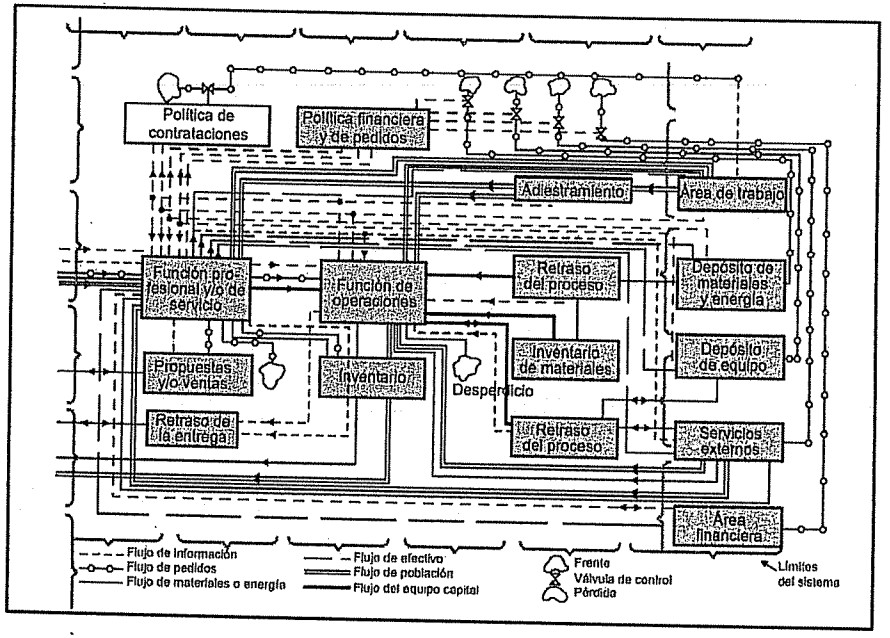


Figura 4.23. Diagrama esquemático básico

Si lo que se solicita es presupuesto, el pedido va al grupo correspondiente, de donde se remite una proposición en forma de información (línea interrumpida). Por lo contrario, si se solicitan artículos, servicios o energía, que no sea posible tomar del inventario, la función de operación surte el pedido a través de producción. Si, no obstante, se toma la decisión de surtir el pedido con artículos de inventario, se remitirá a dicho departamento. Si se envía una orden a operaciones, el área de inteligencia, o sea la función profesional o de servicios, debe suministrar a operaciones la mano de obra, los materiales, la energía, el equipo y los servicios externos necesarios, todo en el momento justo y de la clase adecuada. (La mano de obra mencionada puede ser altamente

profesional, como en el caso de hospitales y universidades.) Así pues, la información se habrá de enviar a través de las funciones de contratación, finanzas o compras, para que la orden llegue a las distintas fuentes.

Al recibirse el pedido, la fuente de mano de obra envía trabajadores al sistema (doble línea continua). El flujo penetra por la función de entrenamiento, donde se procesa para remitirlo luego a la función de operación o tal vez a la profesional. De igual modo, las fuentes de materiales y energía envían sus recursos al sistema a través de procesamiento, de donde se remiten ya sea al inventario de materiales o directamente a la función de operación. El depósito de equipo lo envía a través de procesamiento y de ahí a operaciones (línea gruesa).

La fuente de servicios externos hace lo que su nombre indica, es decir, proporciona servicios que no se pueden obtener dentro del sistema por falta o limitación de capacidad, etcétera.

La fuente financiera representa a los bancos o al sector inversionista de la economía. Allí se origina todo financiamiento externo. Provee el capital necesario para el sistema y es a la vez el lugar donde se guarda el efectivo excedente (línea interrumpida con el signo de dólares). Por supuesto, el dinero entra también al sistema procedente del medio general, en pago de los artículos producidos y de los servicios prestados: después, por las mismas razones, sale del sistema para ir a otras secciones. Nótese que no hay flujo de efectivo entre los segmentos del sistema interno. La razón está, desde luego, en que el departamento de fabricación no paga en efectivo, ni siquiera con cheque, los materiales que recibe del inventario de la planta, ya que estas transacciones quedan cubiertas por el flujo interno de información.

Los flujos de la información (línea interrumpida) son de varias clases. Pueden ir en forma de reportes o memoranda, o en forma verbal; ser una solicitud de mayor información o consistir en órdenes e instrucciones. Además, suelen contener la rutina de operaciones, inventario, remesas, procesamiento, etcétera. El flujo de la información llega a mostrar todas las características del flujo físico, es decir, la información se habrá de generar, almacenar, transformar y divulgar, cuyo flujo prosigue por inercia.

Los artículos y la energía pueden entrar primero a la función profesional y/o de servicio. Una vez que se realizan las operaciones de inteligencia, se remiten a los departamentos o al inventario, según las necesidades.

El flujo de materiales e información

Los bloques detallados de la figura 4.23, que indican funciones, lo mismo que los flujos, se llegan a descomponer por medio de diagramas, hasta el grado de detalle que se requiera en cada caso.

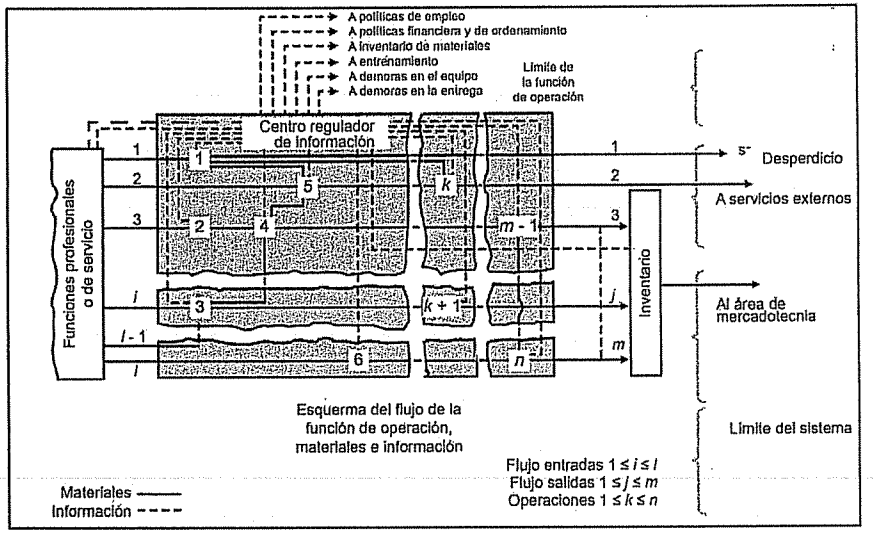


Figura 4.24. Diagrama de flujo de materiales e información

La figura 4.24 muestra el flujo de materiales e información correspondiente a la función de operaciones, en relación con otras funciones pertinentes. Dentro de los límites de la función de operación cada bloque pequeño representa ya sea una transformación (física, química o de otra clase) o un elemento del flujo, como transportación o almacenamiento. Esos bloques pequeños representan además los modos o puntos de conjunción del sistema de flujo y son el punto central del análisis que se puede efectuar en el sistema. Nótese que los nodos van numerados desde uno hasta n. La interconexión de todos los diagramas de flujo similares al de la figura 4.24, de acuerdo con la estructura general de la figura 4.23, representa el sistema completo conteniendo el diagrama de flujo de las seis distintas clases.

La ventaja de la construcción de modelos, delineados según la forma general de las figuras 4.23 y 4.24, en sustitución de sistemas específicos y reales, consiste en que es posible someterlos a un riguroso análisis. Dicho análisis puede ser matemático, puesto que es posible plantear ecuaciones que describan la naturaleza de los flujos que ocurren o se permite simular la operación del sistema por medio de computadoras a gran escala.

Subsistemas de control

El concepto de sistemas ayuda a entender de qué manera funcionan los subsistemas de control en relación con el sistema de producción. Para el control diario de este último hay un circuito que comprende las mediciones efectuadas en el sistema. Esas mediciones se alimentan al sistema de procesamiento de datos, para su interpretación y comparación con los resultados previstos, tomándose diariamente las medidas necesarias para la función de control. Con las facilidades actuales en materia de medición automática, procesamiento de datos y mecanismos activadores es concebible que el control diario sea enteramente automático (como lo es en la mayor parte de las instalaciones de refinación del petróleo).

Mientras prosigue el proceso diario de control, hay un sistema más amplio que busca el grado óptimo de operación. El sistema óptimo de control se alimenta con los datos del sistema de control diario (a corto plazo), así como con la información correspondiente a pronósticos, planeación y políticas, para establecer un criterio de comportamiento de mayor alcance (un horizonte quizá más amplio). Tal sistema de control implicaría la modificación o la corrección de los estándares. Sin embargo, el sistema óptimo de control desempeña otra función cuando la idea de optimalidad no se aplica a las operaciones diarias. La producción es un ejemplo. Para desarrollar un sistema óptimo de control de los programas de producción se requieren un horizonte y un criterio mucho más amplios. Esos programas pueden comprender modelos complejos que equilibren el coste de inventarios y el de los cambios introducidos en los niveles de producción, de acuerdo con el pronóstico de ventas. El programa diario suele estar lejos de ser óptimo; pero los programas de producción a largo plazo se llegan a aproximar mucho a la optimización.

Ejemplo de un sistema a gran escala

La disponibilidad de computadoras de alta velocidad ha fomentado la creación y el uso de los sistemas a gran escala que a menudo se utilizan para simular operaciones. Estas simulaciones proporcionan una base para evaluar los efectos de las políticas y los planes alternos. Puesto que en tales sistemas los efectos interactuantes son muy complejos, el análisis sería la base de decisiones muy importantes. Se dará un vistazo a uno de esos grandes sistemas: Potlatch Forests, Inc.

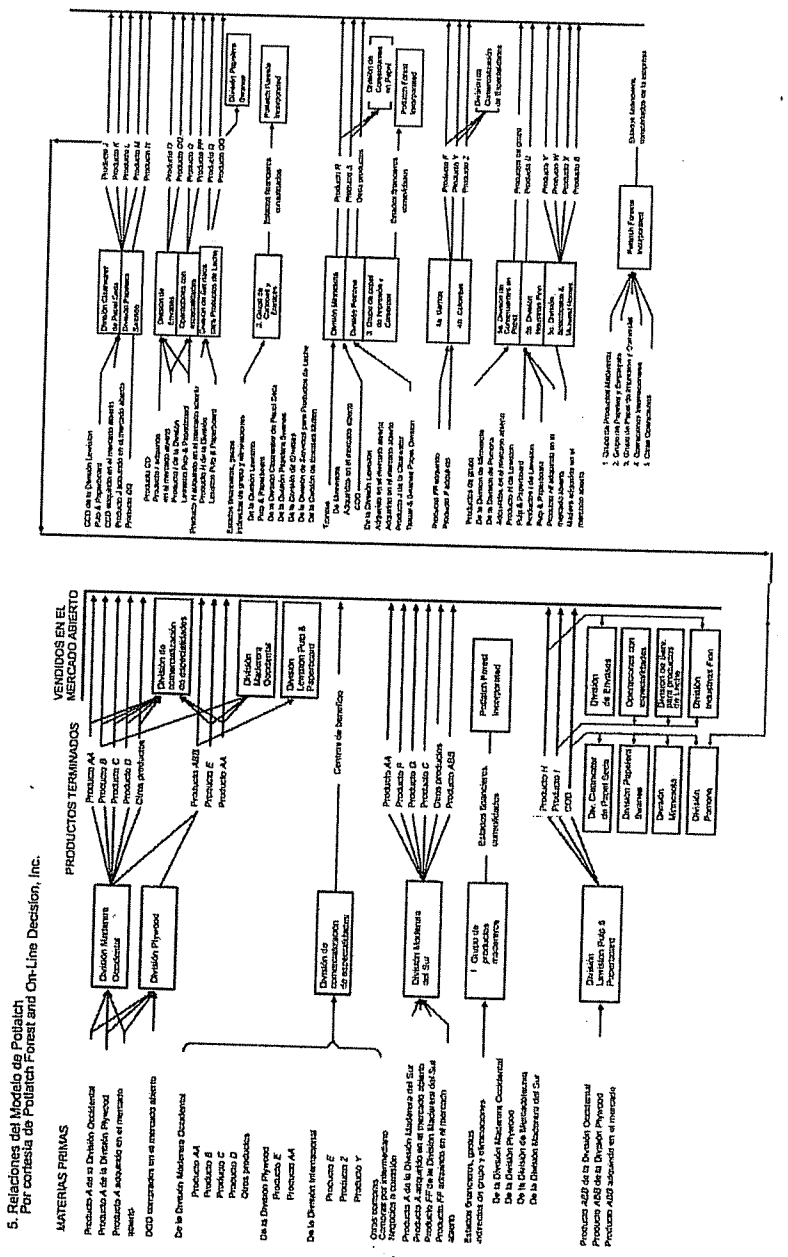


Figura 4.25

Potlatch Forests, Inc. [3, 4]

Se trata de una gran empresa de productos forestales cuyas ventas anuales son del orden de los $ 335 millones y da empleo a 12,000 personas, en 44 plantas y 36 oficinas de ventas, esparcidas por todo el país. La compañía desarrolló 22 modelos interconectados, basados en la computadora, para describir las diferentes operaciones, grupos y compañías subsidiarias. En la figura 4.25 aparece la estructura general de las relaciones de entrada y salida de las varias divisiones, grupos y subsidiarias. Cada bloque principal de dicha figura representa en sí mismo un sistema de tamaño apreciable. Antes de que se crearan los modelos del sistema corporativo, se ocasionaban grandes retrasos en la evaluación por parte de la administración de los efectos financieros de la interacción de compras y ventas entre plantas y del cambio en la combinación de productos. Sin embargo, el sistema de computación redujo en gran medida el esfuerzo que se requería para evaluar los planes alternativos, ya que la lógica de los 22 modelos toma en cuenta los complejos flujos financieros que ocurren entre las divisiones y los grupos.

4.10 RESUMEN

La palabra *sistema* proviene de la palabra *systêma*, que a la vez procede de *synistanai* (reunir) y de *synistêmi* (mantenerse juntos).

Varios autores han trabajado en la concepción de la idea de sistema, su funcionamiento y estructura, en diferentes épocas. Específicamente se le atribuye a George Wilhem Friedrich Hegel (1770 –1831) el planteamiento de las siguientes ideas:

- El todo es más que la suma de las partes.
- El todo determina la naturaleza de las partes.
- Las partes no pueden comprenderse si se consideran en forma aislada del todo.
- Las partes están dinámicamente interrelacionadas o son interdependientes.
- Con el desarrollo de la computadora digital y de la capacidad de almacenamiento masivo, el ingeniero industrial tuvo la capacidad para calcular rápidamente problemas masivos de sistemas de producción y su reacción con el cambio. Logrando avances como los que se describen a continuación:
- Se hizo énfasis en la adquisición de hechos sólidos, mediciones precisas, enfoque objetivos para el análisis y modelado de organizaciones y sistemas humanos.
- Avances en las áreas de comportamiento humano y organizacional.
- Adopción de conceptos ergonómicos para el diseño y la mejora de sistemas integrados de trabajo.
- Etcétera.

El desarrollo de sistemas complejos modernos requiere de ingenieros generalistas y de varias disciplinas. En algunas industrias, tales como en la aeroespacial, los ingenieros que se centran en la definición de las partes principales del sistema se denominan ingenieros de sistemas.

La Ingeniería de Sistemas es una disciplina críticamente importante porque:

- Adecua el producto al mercado.
- Define los componentes de tal manera que los diseñadores pueden diseñarlos y construirlos.
- Determina la mayor parte de las opciones del diseño que afectan el coste del sistema y el funcionamiento.
- Se asegura de que los componentes se integren con éxito y funcionen juntos como se requiere.
- Proporciona las especificaciones libres de errores, puesto que los errores son muy costosos de corregir en el estado avanzado de diseño y de producción.
- Debe, por lo tanto, reflejar exactamente un diseño de sistema total que sea factible y eficaz en diseño de componentes.

Además, el diseño del sistema debe ser no sólo correcto, también inequívoco. Si no entonces los componentes no se integrarán correctamente y el comportamiento emergente deseado podría comprometerse. La falla al hacer este trabajo, integral, causa que el sistema cueste más de lo presupuestado, pierda su nicho de mercado y hace surgir una posibilidad creciente de la falta de producto en el mercado.

El proceso de la Ingeniería de Sistemas basada en modelos consiste en combinar el modelado riguroso con descripciones del texto para analizar y describir:

1. Necesidades de usuario.
2. El sistema para cubrir esas necesidades.
3. Los componentes que se diseñarán y serán construidos.

Seguir este proceso lleva a una solución cercana a la óptima del sistema. Este proceso fundamental para la Ingeniería de Sistemas complejos es un proceso de optimización.

Encuentra una solución cercana a la óptima fuera de una multitud de soluciones posibles. Se producen descripciones rigurosas de la solución cercana a la óptima definiendo cuáles son los componentes, lo que deben hacer y cómo actúan recíprocamente como sistema.

El proceso de Ingeniería de Sistemas se basa en las mejores prácticas de los técnicos y combina éstos con técnicas de modelado modernas.

El modelado se utiliza para:

- Reducir el tiempo y el esfuerzo utilizados por los ingenieros acortando la duración del ciclo de diseño.
- Comprobar la información para saber si hay consistencia, está completa y para reducir el margen de error.
- Preservar los resultados actuales de ingeniería para su uso durante el mantenimiento, o la mejora del producto, o esfuerzos posteriores de reemplazo del producto.
- Describir de manera inequívoca cada símbolo y número tal que cada uno tiene uno y solamente un significado.
- Asegurar que al final del proceso toda la información necesaria esté disponible y correcta.

El modelado no sustituye de ninguna manera el pensamiento creativo de ingeniería y solución de problemas. La creatividad y las nuevas soluciones vienen de los ingenieros.

El modelado reduce su trabajo manual y mejora la exactitud.

De manera general, los pasos del proceso técnico de la Ingeniería de Sistemas son:

1. Evaluar la información disponible.
2. Establecer las medidas de efectividad.
3. Análisis de la estructura del sistema en el contexto.
4. Análisis del comportamiento, (estos pasos son concurrentes y se pueden desarrollar en cualquier orden, según se requiera).
5. Establecer la estructura del sistema en el contexto.

Un análisis del sistema suele proporcionar la información básica que se necesita para formular el problema y el modelo requerido para su solución. El desarrollo del modelo generalmente hace surgir más preguntas acerca de los objetivos, los cursos de acción y las variables no controlables. De esta manera, con frecuencia hay interacción entre el análisis del sistema y la construcción del modelo, lo que produce una comprensión mucho más completa del sistema y el problema que se va a resolver se obtiene por otros medios.

El análisis del sistema y el diagrama resultante tienen otros usos importantes. Proporcionan una base para evaluar el tiempo, el coste y el volumen de investigación que se requiere para la resolución de un problema que se formula eventualmente, pero también indican las ventajas potenciales que se tienen al hacerlo así. Además, el diagrama casi siempre es un instrumento útil para la administración, debido a que descubre la operación real de la organización en lugar de cómo se supone que trabaja.

Una vez determinado lo anterior se procede a aplicar el proceso de solución de problemas que de manera simplificada consiste en:

Formulación del problema. Para formular los problemas a partir del enfoque de sistemas se requiere aplicar lo que se llama el enfoque reduccionista, en el cual se describe un fenómeno complejo a través del análisis de sus elementos o componentes.

En vez de escoger elementos aislados dentro de una situación, se toma en cuenta la situación como un todo. Después los diversos aspectos y partes son sometidos a un análisis cada vez más específico y detallado. Por lo mismo, para describir el sistema con este enfoque se requiere identificar:

1. El verdadero objetivo del sistema.
2. El entorno del sistema.
3. Los recursos del sistema.
4. Los componentes o funciones, misiones fundamentales de las funciones:
   a) Producción.
   b) Apoyo.
   c) Mantención.
   d) Adaptación.
   e) Control.
5. La dirección del sistema

Una vez formulado el problema se desarrolla el proceso de resolución de problemas, que es un proceso cognoscitivo complejo que involucra el conocimiento almacenado en la memoria, así como actividades mentales, conductuales y factores de naturaleza cognoscitiva, afectiva y motivacional. Puede describirse a partir de los siguientes elementos:

1. **La situación.** En la cual se quiere hacer algo, pero se desconocen los pasos precisos para alcanzar lo que se desea.
2. **El conjunto de elementos.** Estos representan los conocimientos relacionados con el problema.
3. **Un individuo.** Quien analiza el problema, sus metas, datos y representa el problema en su memoria.
4. **Una secuencia de operaciones.** Que se enfoca a transformar los datos en metas.
5. **La información a utilizar.** Que se clasifica en:
   a) Esquemas almacenados en la memoria.
   b) Procedimientos heurísticos.
   c) Algoritmos o representaciones de procesos de solución.
   d) Relaciones con otras representaciones.
6. **El proceso de búsqueda de la solución.**
7. **Solución del problema** o determinación de que el problema es insoluble.

Lo anterior involucra el diseño, basado en el enfoque de sistemas, y el desarrollo del sistema. El enfoque de sistemas es básicamente una metodología de diseño y, como tal, cuestiona la misma naturaleza del sistema y su papel en el contexto de un sistema mayor. La primera pregunta que surge cuando se aplica el enfoque de sistemas, se refiere al propósito de la existencia del sistema; éste requiere una comprensión del sistema en relación con todos los demás sistemas mayores que están en interfaz con este mismo. Tal perspectiva se conoce como *extrospectiva*, debido a que procede del sistema hacia el *exterior*, en contraste con el mejoramiento de sistemas que es *introspectivo*, ya que procede del sistema hacia el *interior*.

Diseñar el sistema total significa crear una configuración de sistema que sea óptimo. La meta para los que atendieron el trabajo del diseño se complementa con los distintos juegos de información:

1. Los dibujos detallados y las especificaciones necesarias para la manufactura en grande.
2. Las instrucciones para el cliente, indicando la mejor forma de instalación, mantenimiento, operación, así como los trabajos técnicos bajo las diferentes variaciones que rodean su aplicación en el terreno.

Entre tanto, el trabajo consistirá de las etapas principales siguientes:

- Iniciación de operaciones.
- Diseño y construcción de prototipos técnicos.
- Prueba y evaluación de prototipos técnicos.
- Obtención de la patente de protección.
- Diseño y fabricación de modelos de producción.
- Pruebas y valoración de estos modelos.
- Modificaciones finales y terminación del diseño.
- Preparación de informes para la factoría y para el terreno.
- Terminación del proyecto.

Es importante que tanto el que diseña como el que planea tengan conciencia sobre patentes y que conozcan las leyes correspondientes, así como que se relacionen con sus deberes, tanto para su beneficio personal como para el de la organización, considerando:

1. Proteger las invenciones empleadas en el nuevo sistema.
2. Determinar si el uso del sistema por la organización viola los derechos de terceros.

Como estos estudios llegan a requerir bastante tiempo, se deben programar lo más pronto posible y con seguridad, pero no después de la iniciación del desarrollo estándar o cuando el diseño final esté todavía estabilizado.

La implementación es el uso o la adopción del cambio. Los ingenieros industriales están interesados en mejorar la proporción de cambios recomendados que se adoptan. Por lo tanto, es de suma importancia conocer los factores que afectan las oportunidades de implementación. Debemos, por lo mismo, preguntar: ¿Qué reglas deben utilizarse para llevar a cabo las soluciones? ¿Qué enfoques habrán de perseguirse para realzar las oportunidades de adopción de cambio? El ingeniero industrial y el administrador tipifican las dos partes involucradas en el proceso de implementación. El ingeniero industrial es el especialista y el administrador es el hombre en "gestión". El ingeniero industrial trabaja en un mejoramiento o una innovación que piensa le será útil al

administrador. Aunque consideramos el enfrentamiento ingeniero industrial-administrador, el análisis de implementación puede trasponerse a cualquier situación en la cual dos partes: diseñador y cliente, planificador y beneficiario, intervienen en la constitución de algo. La situación entre los agentes de cambio surge en todas las situaciones de trabajo y no trabajo, en la mayoría de los oficios, tanto en empresas privadas como gubernamentales. La implementación tendrá que significar el uso o la adopción del cambio, con la debida consideración para la integridad del individuo y de la sociedad.

Cuando se implementan cambios organizacionales se consideran tres tipos de enfoques, dependiendo del tipo de cambio:

a) Tecnológico.
b) Estructural.
c) Enfoques a "personas".

Sin duda, los cambios en el diseño de organización, que ocurren en una de las variables, influirán necesariamente en las demás.

De todos los "enfoques de personas", la participación y la administración participativa ofrecen las mejores oportunidades de contribuir al establecimiento del cambio organizacional. La participación ha mostrado vencer la resistencia al cambio y motivar a los individuos a dedicarse a los objetivos de la organización.

Cuando nos referimos a la implementación, debe ponerse especial atención en los procesos por los cuales se transfiere la información a través de canales. Uno es el *proceso de difusión,* que se relaciona con la transmisión primaria de actividades innovativas del inventor al usuario, y la *transferencia de tecnología,* que se refiere al uso de actividades inventivas por usuarios secundarios, es decir, por grupos para quienes la idea no fue dedicada originalmente.

El éxito de la implementación, en ciertos casos, puede muy bien depender de la motivación o el tipo de necesidad que conduce a esta.

Para que ocurra la implementación del cambio, habrá de ser oportuna. Sin embargo, no se adoptará la innovación, a menos que estén correctas las condiciones sociales, económicas y psicológicas.

Para la operación del sistema, se toma como ejemplo un sistema de producción, mientras que para desarrollar un sistema óptimo de control de los programas de producción se requieren un horizonte y un criterio mucho más amplios. Esos programas pueden comprender modelos complejos que equilibren el coste de inventarios y el de los cambios introducidos en los niveles de producción, de acuerdo con el pronóstico de ventas. El programa diario suele estar lejos de ser óptimo; pero los programas de producción a largo plazo se llegan a aproximar mucho a la optimización.

4.11 EJERCICIOS

4.1 Mencione la función de la ciencia y de la ingeniería, explicando la diferencia entre estas y desarrollando ejemplos de aplicación de cada uno.
4.2 Describa las características y diferencias entre modelo y estructura, como se aplican en sistemas.
4.3 Defina con sus palabras: sistema, contexto, comportamiento, óptimo, componente.
4.4 Mencione algunas disciplinas que interactúan y se apoyan en la teoría general de sistemas y sus respectivas funciones.
4.5 Mencione cuando menos seis criterios que se consideran para proporcionar una medida útil del éxito de la misión global del sistema.
4.6 Aplique la metodología descrita en el ejemplo de la página 192 a la selección de una especialidad de su carrera, considerando las dos mejores alternativas seleccionadas *a priori*.
4.7 Aplique la metodología del enfoque de sistemas para identificar el sistema estudiado.
4.8 Mencione las siete características del enfoque de sistemas, justificando cada una.
4.9 Explique por qué las empresas tienen perdidas al no considerar el enfoque de sistemas en sus funciones.
4.10 Explique cómo es posible lograr: una coordinación estrecha entre funciones, subordinar metas departamentales a las metas globales, intercambios de costo/beneficio entre departamentos, para optimizar la rentabilidad de la empresa.
4.11 Describa las cuatro características esenciales de las organizaciones y las formas aplicables de administración en cada una.
4.12 Defina con sus palabras el análisis de sistemas y explique su función.
4.13 Mencione los pasos que se aplican para efectuar un análisis de sistemas de una organización productiva de bienes o servicios.
4.14 Elabore un diagrama de flujo de información para su actividad de aprendizaje, identificando de manera clara los elementos principales que intervienen; por ejemplo: motivación, estímulos, percepción, proceso, filtrado, internalización de modelos, selección, transmisión, memorización, organización de la información, proceso de razonamiento, intuición, creatividad, evaluación, comprensión, aplicación, toma de decisiones, solución de problemas, etcétera.
4.15 Elabore un diagrama de flujo y control de materiales para un proceso sencillo en una empresa de manufactura o de servicio.
4.16 Mencione las etapas del proceso de análisis de sistemas complejos mediante la Ingeniería de Sistemas.
4.17 Describa con sus palabras por qué es importante la Ingeniería de Sistemas.
4.18 ¿Cuál es el alcance de la Ingeniería de Sistemas?
4.19 Mencione los elementos principales de las técnicas de diseño de sistemas complejos.

4.20 ¿Cuál es la importancia de aplicar la Ingeniería de Sistemas en un país?
4.21 ¿Para qué se utiliza el modelado de sistemas complejos?
4.22 Defina qué es un problema y describa sus componentes principales, de acuerdo con Mayer.
4.23 Describa con sus palabras la metodología de formulación de problemas que propuso René Descartes en su concepto de duda metódica.
4.24 De acuerdo con Einstein, ¿por qué es tan importante la formulación del problema?
4.25 Describa los elementos que se requiere identificar para aplicar el enfoque reduccionista de sistemas.
4.26 Mencione las cinco funciones fundamentales que tendrá que desarrollar el sistema, desde el punto de vista de la teoría de sistemas.
4.27 En qué teoría nos podemos apoyar para determinar la medida de eficiencia que servirá para elegir la mejor alternativa de solución para el sistema y cómo clasifica dicha teoría los criterios de decisión de acuerdo con los tipos de problema que se presentan.
4.28 Mencione los elementos del proceso de resolución de problemas de acuerdo con Andre T.
4.29 Haga una comparación entre el mejoramiento de sistemas y el diseño del sistema basado en el enfoque de sistemas.
4.30 Mencione las etapas principales del desarrollo del sistema.
4.31 Mediante un diagrama de bloques de elaboración personal, sintetice el ciclo de la Ingeniería de Sistemas.
4.32 Describa como identificar y enfrentar el problema de la resistencia al cambio en la etapa de implementación del sistema.
4.33 ¿A qué se refiere el axioma de sistemas: "la gente es el problema" y qué acciones se pueden emprender para manejarlo y enfrentarlo?
4.34 Mencione los atributos que se recomienda deben poseer el diseñador y analista de sistemas para facilitar la etapa de implementación del sistema.
4.35 Describa los tipos de enfoque y las técnicas que se pueden considerar cuando se implementan sistemas organizacionales dependiendo de las variables que se afectan por el cambio.
4.36 Describa en qué consiste el modelo de enlace de información aplicado en la transferencia de tecnología.
4.37 Mencione de que factores depende el éxito de la implementación del sistema.
4.38 Describa en qué consiste la operación del sistema y mencione los seis flujos principales de recursos que tienen lugar en el proceso.

Capítulo 5

TEORÍAS DE SISTEMAS, DE DECISIONES, DE LA COMUNICACIÓN Y DE LA INFORMACIÓN

5.1 Introducción
5.2 Teoría general de sistemas
5.3 Teoría de decisiones
5.4 Teoría de la comunicación y de la información
5.5 Resumen
5.6 Preguntas

"La experiencia sin teoría es ciega, pero la teoría sin experiencia es mero juego intelectual".

Immanuel Kant

COMPETENCIAS DEL CAPÍTULO

Valora los modelos y las técnicas que emanan de las teorías de sistemas, de decisiones, de la comunicación y de la información enfocadas a la solución de problemas relacionados con la totalidad del sistema.

5.1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la década de 1940 y hasta la de 1960 se desarrolló una gran diversidad de aproximaciones en las diferentes ciencias. Tales aproximaciones tenían un número de características en común. Una de las primeras personas que identificaron una nueva "ciencia" fue Norbert Weiner en su *Cibernética* (1948), que estudiaba los sistemas, en especial los sistemas recursivos con la noción central del *feedback* o retroalimentación.

En los años siguientes se desarrollaron muchos otros "sistemas", los cuales incluían: la teoría clásica de sistemas, informática y simulación (incluido el trabajo pionero de Turing), la teoría de compartimentos, la teoría de conjuntos, la teoría de gráficas, la teoría de redes, la teoría de jerarquías, la teoría de información (Shannon y Weaver) y la teoría matemática de juegos (Von Neumann y Morgenstern). La Society for General Systems Research se organizó en 1954.

En este capítulo se estudian, con un enfoque práctico orientado a la Ingeniería Industrial, las teorías de sistemas, de decisión y de información y comunicación.

5.2 TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS

El biólogo y epistemólogo Ludwing von Bertalanffy presenta, en la década de 1950, los planteamientos iníciales de la teoría general de sistemas (TGS). Bertalanffy trabajó el concepto de sistema abierto e inició el pensamiento sistémico como un movimiento científico importante. Desde sus planteamientos rechazó:

- La concepción mecanicista de las ciencias exactas que tienden al análisis de cada fenómeno en sus partes constituyentes.

- La identificación de la base de la vida como un conjunto de mecanismos físico-químicos determinados.
- La concepción de los organismos vivientes como autómatas que solo reaccionan cuando son estimulados.

La idea de Bertalanffy surge a partir de la no existencia de conceptos y elementos que le permitieran estudiar los sistemas vivos (posteriormente se consideran a los sistemas sociales también), ya que estos son sistemas complejos con propiedades particulares y diferentes a las de los sistemas mecánicos. Igualmente, consideró la tendencia hacia la integración de diferentes tipos de ciencias naturales, sociales e incluso exactas, con la finalidad de dar soluciones más integradas a los problemas presentes en los sistemas; en oposición a la creciente especialización del conocimiento que se había dado hasta ese entonces y seguía en aumento. Bertalanffy consideró que el objeto de estudio de todas las ciencias debían ser los sistemas.

Van Gigch (1987)[1] relaciona las justificaciones que Bertalanffy tenía para desarrollar está teoría:

- Existencia de principios isomorfos similares que gobiernan la conducta de entidades en muchos campos.
- Necesidad de una nueva ciencia exitosa en el desarrollo de la teoría de la complejidad organizada. Lo anterior puede conducir a una muy necesitada integración en la educación científica.
- Elaborar una teoría interdisciplinaria para trascender problemas exclusivos de cada ciencia.
- Proporcionar principios y modelos generales para que descubrimientos en cada ciencia sean utilizados por otras.
- Desarrollar una teoría totalizante que no considere el análisis aislado y exclusivo de cada parte, pero sí considere la comprensión de la dependencia recíproca de las disciplinas.

Como material complementario al anterior, se muestra a continuación un resumen de Chiavenato (1999)[2] del enfoque de la TGS (sistémico) en oposición al enfoque clásico (mecanicista-cartesiano):

Enfoque clásico Reduccionismo	Enfoque sistémico Síntesis
Reduccionismo: Descomposición y reducción de algo a sus elementos fundamentales y simples Consecuencia: Diversidad de ciencias VISIÓN ORIENTADA A LOS ELEMENTOS	Expansionismo: Todo fenómeno forma parte de uno mayor; evalúa el desempeño del sistema en relación con el que lo contiene; no niega la constitución en partes VISIÓN ORIENTADA AL TODO

Tabla 5.1. Comparación entre enfoque clásico y enfoque sistémico

Continúa

Enfoque clásico Reduccionismo	Enfoque sistémico Síntesis
Pensamiento analítico. Análisis: Descomponer el todo en sus partes simples, independientes e indivisibles, permite explicar las cosas con más facilidad y luego integrar la descripción de cada una de las partes	Pensamiento sistémico. Síntesis: Un sistema se explica como parte de uno mayor y en términos del papel que desempeña; el interés de su utilización consiste en unir las cosas
Mecanicismo: El principio de la relación causa-efecto es necesario y suficiente para explicar un fenómeno	Teleología: El principio de la relación causa-efecto es necesario, pero no suficiente para explicar un fenómeno
Determinismo: Explicación del comportamiento por la identificación de las causas.	Probabilismo: Estudio del comportamiento orientado al logro de objetivos, relación entre variables y fuerzas recíprocas; considera el todo como diferente de sus partes

Tabla 5.1. Comparación entre enfoque clásico y enfoque sistémico (continuación)

Para complementar las ideas que soportan la TGS, no dejaremos de mencionar el aporte específico de Boulding para la organización de la misma, que es referenciado en la mayoría de los libros sobre el tema.

Boulding concibe dos enfoques:

- *Enfoque empírico*: Examinar el universo empírico, tomar fenómenos particulares en diferentes disciplinas y plantear modelos teóricos generales particular => general.
- *Enfoque epistemológico*: Plantear una jerarquía de sistemas y aplicarla según el caso específico de estudio general => particular.

La jerarquía está formada por los siguientes niveles:

Nivel 1 Sistemas estáticos.
Nivel 2 Sistemas dinámicos simples.
Nivel 3 Sistemas cibernéticos simples.
Nivel 4 Sistemas abiertos.
Nivel 5 Sistema genético-societario.
Nivel 6 Sistema animal.
Nivel 7 Sistema humano.
Nivel 8 Sistema social.
Nivel 9 Sistemas trascendentes.

Estos enfoques plantean como premisas básicas que:

- Los sistemas están dentro de otros sistemas.
- Los sistemas son abiertos.
- Las funciones del sistema dependen de su estructura y consideran que es posible crear:
  - Un marco de referencia general para diferentes especialistas.
  - Un vocabulario general.

En la actualidad se considera que el enfoque de sistemas más que una teoría es una forma de pensar el mundo, que la complejidad del mundo natural y social, por lo que la relación entre sociedad y medio ambiente necesita nuevos enfoques para su comprensión.

Igual, el enfoque reduccionista es limitado y erróneo para obtener la solución de problemas y adquirir conocimiento, en la medida que no permite el análisis de una gran parte de las variables involucradas.

Se considera importante introducir la forma en la cual Capra (1998)[3] hace referencia a los orígenes de la TGS en el libro la *Trama de la vida*. Él considera que en 1930 se plantean los criterios o las características principales del pensamiento sistémico, cuyo campo de acción son los sistemas vivos (partes de organismos, organismos y comunidades de organismos) que deben ser estudiados en términos de conectividad, relaciones y contexto.

A continuación se muestran las características que Capra considera son las principales de la TGS:

- Cambio de las partes al todo.
- Habilidad para focalizar la atención alternativamente en distintos niveles sistémicos.
- Percepción del mundo viviente como una red de relaciones.

Adicionalmente, concibe el pensamiento sistémico como una forma de ver la realidad, que se diferencia del paradigma científico cartesiano que plantea la certeza del conocimiento. El pensamiento sistémico a la vez maneja la idea del conocimiento aproximado, ya que todos los conceptos y las teorías científicos son limitados y aproximados; no es posible obtener una comprensión completa y definitiva de los fenómenos, ya que no se podrán incluir en su estudio todos los aspectos relacionados con los mismos.

Capra agrega un hecho que no es mencionado por ninguno de los otros autores revisados en lo que tiene que ver con los orígenes de la TGS. El desarrollo por parte de Alexander Bogdanov, médico, investigador, filósofo y economista ruso de lo que denominó *Tektología*; ciencia de las estructuras. A continuación se relacionan los principales aspectos de esta ciencia, en los cuales es posible observar la semejanza con algunos de los planteamientos de Bertalanffy en este material referenciados:

- Clarificar y generalizar los principios de organización de todas las estructuras vivientes y de las no vivientes.
- Formulación sistémica de los principios de la organización operantes en los sistemas vivos y no vivos.
- Ciencia universal de la organización.
- Forma organizadora: Totalidad de conexiones entre elementos sistémicos.
- Mecanismos organizadores básicos: Formación y regulación.
- Dinámica de formación: Conjunción de complejos a través de varios tipos de vínculos.
- Crisis organizadora: Colapso del equilibrio sistémico existente, transición organizadora hacia un nuevo estado de equilibrio.
- Sistema vivo: Sistema abierto lejos del equilibrio, con procesos de regulación y autorregulación.

La TGS ha sido objeto de controversia por varias razones: la primera tiene que ver con la falta de elementos formales que permitan validar los análisis que se hacen sobre un determinado sistema; la segunda, consecuencia de la anterior, es la posibilidad de hacer innumerables análisis de un mismo sistema, debido a que corresponde a un proceso subjetivo realizado por las personas; la tercera, corresponde a la contradicción entre en planteamiento absolutista de considerar todo lo que existe como un sistema y lo relativo a la aplicación del concepto mismo.

Tomando en cuenta lo anterior, uno de los aspectos que se deben revisar como parte, no de la definición de sistema, sino como elemento de la aplicación del concepto, es lo referente a la perspectiva, el enfoque, el punto de vista y la cosmovisión del análisis.

En este caso cada uno de los términos anteriores será definido por separado, ya que no necesariamente se encuentra que sean sinónimos.

La *perspectiva* es el aspecto que presentan, en relación con el lugar desde donde se miran, los objetos vistos a distancia o considerados como un todo.

El *enfoque* es analizar, estudiar o examinar un asunto para adquirir una visión clara de él y resolverlo acertadamente.

El *punto de vista* es el criterio, así como la manera de juzgar o considerar algo.

La *cosmovisión* es la manera de ver e interpretar el mundo.

Para O'Connor y McDermott (1999)[4] la perspectiva es un punto de vista, además de que consideran que existe la perspectiva objetiva, consistente en mirar desde afuera del sistema hacia adentro; la perspectiva subjetiva que implica mirar desde adentro del sistema hacia afuera; y la perspectiva sistémica (pensamiento sistémico) conformada por la combinación de las dos anteriores.

Bertalanffy (1968)[5] identificó muchos de estos y, bajo el "paraguas" de una "teoría general de sistemas", comenzó, con la ayuda de otros tales como David Rapaport, a organizar un modelo comprensivo.

Los fines principales de la teoría general de sistemas según Bertalanffy:

- Hay una tendencia general hacia una integración en las varias ciencias, naturales y sociales.
- Tal integración parece centrarse en una teoría general de sistemas.
- Tal teoría llega a ser un medio importante para apuntar hacia la teoría exacta en los campos no físicos de la ciencia.
- Desarrollando principios unificadores que vayan "verticalmente" por el universo de las ciencias individuales, esta teoría nos acerca más a la meta de la unidad de la ciencia.

5.2.1 Enfoque de sistemas aplicado

El enfoque de sistemas procede de lo particular a lo general, a la vez que infiere el diseño del mejor sistema mediante un proceso de *inducción y síntesis.*

Es suficiente comparar la jerarquía limitada del mejoramiento de sistemas con la panorámica ilimitada del enfoque de sistemas.

El enfoque de sistemas es un método de investigación, una forma de pensar, que enfatiza el *sistema total,* en vez del de sistemas componentes; se esfuerza por optimizar la eficacia del sistema total, en lugar de mejorar la eficiencia de sistemas cercanos.

El enfoque de sistemas calcula el mejoramiento de sistemas, el cual busca las causas del mal funcionamiento que hay dentro de los límites de los sistemas, rehusándose a agrandar los limites en los sistemas y extender la investigación con diseños alternos más allá de los límites de los sistemas inmediatos. Restaurar un sistema a su especificación de diseño no es cuestionar los supuestos y objetivos originales que impulsaron el diseño original del sistema. Los supuestos y objetivos pueden ser erróneos u obsoletos.

Además, el enfoque de sistemas coloca al ingeniero industrial en el papel de líder, en vez de seguidor, y considera el rediseño y las configuraciones de sistemas, mediante el intento de eliminar barreras legales y geográficas que impiden la internalización de los efectos secundarios de difusión.

En contraste con la metodología de cambio, a la que llamamos mejoramiento de sistemas, el enfoque de sistemas es una metodología de diseño caracterizada por lo siguiente:

1. Se define el problema en relación con los *sistemas superordinales*, o sistemas a los cuales pertenece el sistema en cuestión, y está relacionado mediante aspectos comunes en los objetivos.

2. Los objetivos del sistema generalmente no se basan en el contexto de subsistemas, sino que deben revisarse en relación con sistemas mayores o al sistema total.

3. Los diseños actuales deben evaluarse en términos de costos de oportunidad o del grado de divergencias del sistema del diseño óptimo.

4. El diseño óptimo generalmente se encuentra incrementado cerca de las formas presentes adoptadas. Este involucró la planeación, evaluación e implantación de nuevas alternativas que ofrecen salidas innovadoras y creativas para el sistema total.

5. El diseño y el paradigma de sistemas involucran procesos de pensamiento como inducción y síntesis, que difieren de los métodos de deducción y reducción utilizados para obtener un mejoramiento de sistemas a través del paradigma de la ciencia.

6. El planeamiento se concibe como un proceso por el cual el ingeniero industrial asume el papel de líder en vez del seguidor. El ingeniero industrial habrá de animar la elección de alternativas que alivien e incluso se opongan, en lugar de reforzar los efectos y las tendencias no deseados de diseños de sistemas anteriores.

EL PROCESO DE DISEÑO DE SISTEMAS: EL PARADIGMA DE LOS SISTEMAS

El ciclo de toma de decisiones por el cual el involucrado convierte las pruebas en planes y estrategias, es solo un punto de vista parcial del paradigma de sistemas.

El diseño de sistemas o la solución de problemas de sistemas no pueden encapsularse en una "lista de verificación" ya elaborada que quizá vaya seguida en secuencia cada vez, para obtener resultados similares. El paradigma de sistemas consiste de una serie de funciones de diseño que constituyen un método de investigación en los problemas del dominio de los sistemas flexibles. A esto se le llama *en marcha, cibernética y fluido.*

Es en marcha, debido a que es continuo y no muestra principio ni final; es cibernética, debido a que muestra retroalimentación, y fluido, porque los estados de los sistemas están siempre cambiando y no logran definirse en forma exacta.

El ciclo de toma de decisiones suele dividirse en tres fases distintas y aplicarse al proceso del diseño de sistemas, como se muestra en la figura 5.1:

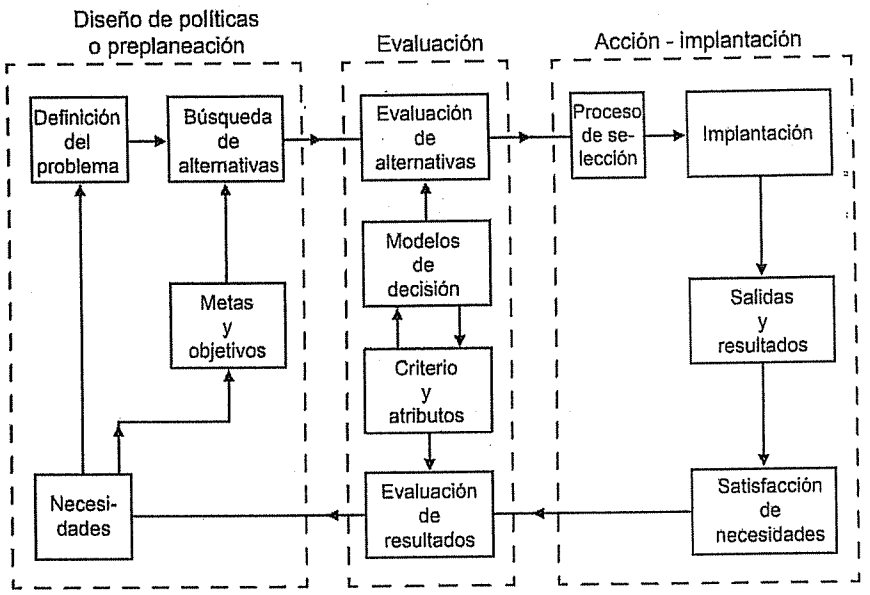


Figura 5.1. Fases del ciclo de toma de decisiones aplicado al proceso de diseño de sistemas

Estas fases son como sigue:

1. Fase de diseño de políticas o preplaneación.
2. Fase de evaluación.
3. Fase de acción-implantación.

Fase 5.1. Diseño de políticas o preplaneación es la fase durante la cual:

1. Se llega a un acuerdo de lo que es el problema.
2. Los tomadores de decisión llegan a una determinación de sus cosmovisiones (premisas, supuestos, sistemas de valor y estilos cognoscitivos).
3. Se llega a un acuerdo sobre los métodos básicos por los cuales se interpretarán las pruebas.
4. Se llega a un acuerdo sobre qué resultados (metas y objetivos) esperan los clientes (expectativas) y los ingeniero industriales (promesas).
5. Se inicia la búsqueda y generación de alternativas.

Fase 5.2. La evaluación consiste en fijar las diferentes alternativas propuestas, para determinar el grado en el cual satisfacen las metas y los objetivos implantados durante la fase anterior. La evaluación incluye:

1. Una identificación de los resultados y las consecuencias derivados de cada alternativa.
2. Un acuerdo de que los atributos y criterios elegidos con los cuales se evaluarán los resultados, representan verdaderamente las metas y objetivos preestablecidos a satisfacer.
3. Una elección de la medición y modelos de decisión, los cuales se usarán para evaluar y comparar alternativas.
4. Un acuerdo en torno al método por el cual se hará la elección de una alternativa en particular.

Fase 5.3. La implantación de la acción es la fase durante la cual el diseño elegido se realiza. La implantación incluye todos los problemas "malos" de:

1. Optimización, que describe donde está la "mejor" solución.
2. Suboptimización, que explica por qué no puede lograrse la "mejor" solución.
3. Complejidad, que trata con el hecho de que, de tener solución, debe simplificarse la realidad, pero para ser real las soluciones deben ser "complejas".
4. Conflictos, legitimación y control son problemas que afectan, pero no son exclusivos de la fase de implantación del diseño de sistemas.
5. Una auditoría o evaluación de los resultados obtenidos del implemento del diseño de sistemas, lo cual significa optimismo o pesimismo sobre si los objetivos, pueden realmente satisfacerse y proporcionar los resultados prometidos.
6. Reciclamiento desde el comienzo, el cual ocurre a pesar de si los resultados obtienen éxito o fracaso.

Los pasos detallados en el diseño de sistemas

Cada una de las fases delineadas pueden, posteriormente, dividirse en pasos que constituyen el proceso total del diseño de sistemas o paradigma de sistemas, como se muestra en la figura 5.2. Los números en la figura están codificados en cuanto a los pasos descritos en seguida.

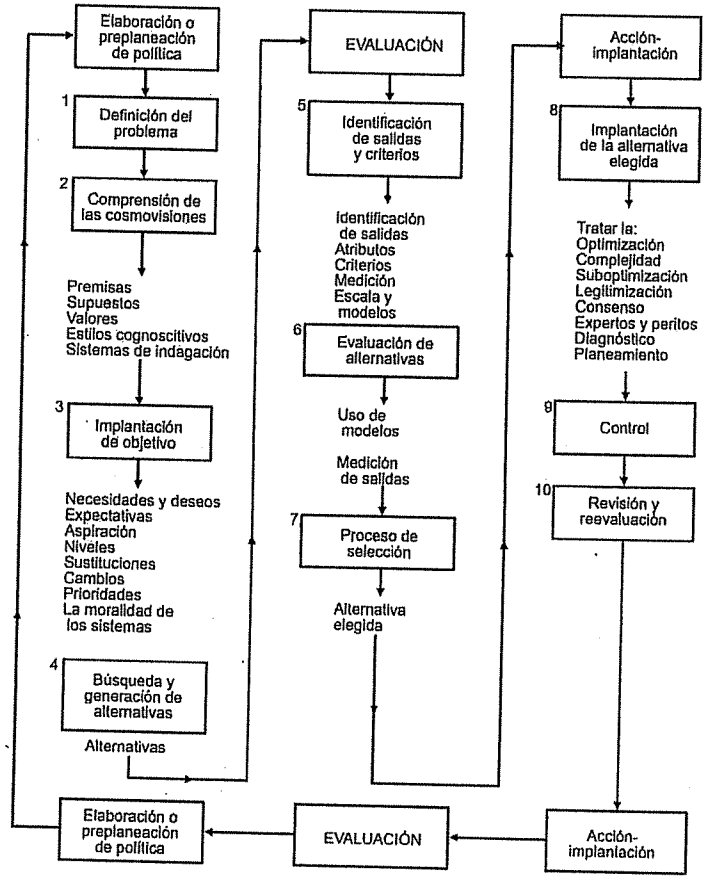


Figura 5.2. Pasos del proceso total de diseño de sistemas

***Paso 5.1.** Definición del problema.*

El lector apreciará inmediatamente que tratar de captar las dificultades, que son inherentes a cada uno de estos pasos, trae consigo una gran sobre simplificación. El paso de *definición del problema* ofrece un buen ejemplo de algunos de los obstáculos que deben superarse. Definir un problema suele ser uno de los pasos más críticos en todo el proceso, uno sobre el cual se basará el resto del diseño. En capítulos anteriores se ilustraron los puntos de vista divergentes acerca de las causas y condiciones fundamentales prevalentes bajo tres definiciones diferentes de la guerra contra la pobreza. Dependiendo de si se concibe la situación como un problema económico, social o cultural, los ingenieros industriales y tomadores de decisión buscarán diferentes

soluciones: económica, social y cultural, a la cuestión. Con la finalidad de argumentar, comentamos sobre alternativas y caminos más complejos, derivados de combinaciones de esas posibles estrategias. Desafortunadamente, como todos lo sabemos, la realidad no es tan simple.

La definición del problema se ve afectada por la cosmovisión del ingeniero industrial y depende de su interpretación de las pruebas, a través del ciclo ya identificado *prueba-cosmovisión-sistema de indagación-verdad.* Los grupos de cosmovisiones variables difieren en sus percepciones de pruebas idénticas y, correspondientemente, en su definición del problema.

El enunciado de la definición del problema no se da en forma aislada. Éste se encuentra inextricablemente relacionado y depende de las demás funciones de diseño del paradigma de sistema, que se explican en seguida. Solo para facilitar lo propuesto, se menciona que esas funciones de diseño son llamadas pasos y que ocurren en secuencia, en vez de en forma concurrente.

Otra manera fructífera para comprender el proceso de diseño de sistemas es visualizar la existencia de algunos pequeños ciclos dentro de otros más grandes, donde el procedimiento principal se ve interrumpido para desarrollar tareas subsidiarias. Este modelo, sacado de la metodología de programación de una computadora, encaja bien en el paradigma de diseño de sistemas, donde algunos ciclos de ejecución (como los que se requieren para determinar la cosmovisión del participante), se "anidan" dentro de ciclos de ejecución mayores (como los que se usan para interpretar los datos en la curva *prueba-cosmovisión-sistema de indagación-verdad),* lo que, a la vez, existe en el contexto del ciclo más grande llamado la *fase de la elaboración de políticas o preplaneación,* en sí misma una parte del ciclo de diseño de sistemas total. Para continuar esta analogía posteriormente, también nótese la existencia de subrutinas de acceso, las cuales, al requerirse, proporcionan información almacenada en varios registros y memorias. Para recapitular, la *definición del problema* es un enunciado bastante extenso que identifica lo siguiente, para todos los lectores.

a) *Los receptores o clientes* cuyas necesidades deben satisfacerse.
b) *Las necesidades* a satisfacerse.
c) Un enunciado de *alcance,* para explicar el grado en el cual se satisfarán las necesidades.
d) *Los agentes,* diseñadores, ingeniero industriales, tomadores de decisión y todos aquellos que estarán involucrados en el proyecto o influyen o son influidos por éste. Habrá de mostrarse una referencia específica a los intereses de cada uno.
e) Una evaluación de las cosmovisiones o la filosofía del agente, resultante del paso 2 en el proceso de diseño de sistemas (véase en seguida).
f) *Los métodos,* una descripción general (sin detallar en este punto), de los métodos que se utilizarán para resolver el problema.
g) *Los límites* del sistema que deben explicarse, así como cualesquier supuesto o *restricciones* que afectarán la solución o su implantación.
h) Un recuento de los *recursos* disponibles, comparado con los recursos necesarios.

i) Una negociación para delimitar las esperanzas de los que creen que el diseño de sistemas contestará las oraciones de todos.

Paso 5.2. *Comprensión de las cosmovisiones de los clientes y de las de los ingenieros industriales.*

Puesto que la cosmovisión del diseñador desempeña un papel tan preponderante en la formulación de su versión de la realidad, es esencial que sus premisas, supuestos, estilos cognoscitivos y sistemas de indagación sean delineados y comprendidos. Como hemos tratado de hacer evidente, el *Weltanschauungen* del tomador de decisión actúa como los "cristales de color" a través de los cuales se examina y organiza la prueba.

En forma correspondiente, los tomadores de decisión deben estar conscientes de la cosmovisión del receptor, con la finalidad de ofrecer un plan que esté en consonancia con sus necesidades y expectativas.

Ponemos énfasis en los requerimientos para un consenso antes de iniciar el diseño y a toda iteración del proceso, como se hizo evidente en el ejemplo de la figura 5.2.

El lector reconocerá la inadecuación del modelo estático de la figura 5.2, donde la cosmovisión sigue a la *definición del problema.* Como en todas las fases en el paradigma de sistemas, todos los factores interactúan uno en otro: la definición del problema depende de la cosmovisión del ingeniero industrial, las necesidades nutren los objetivos que llegan a la vez a afectar la definición del problema, etcétera. El orden de las funciones de diseño es muy relativo y solo puede referírsela como una forma, a lo mejor conveniente, de describir un *proceso de fluido cibernética dinámico en* marcha, que no muestra principio ni final.

Paso 5.3. *Establecimiento de objetivos: la moralidad de los sistemas.*

El proceso por el cual se determinan las metas y los objetivos toma en cuenta:

1. *Necesidades y deseos.*
2. *Expectativas y niveles de aspiración.*
3. *Sustituciones, intercambios y prioridades.*
4. *La moralidad de los sistemas.*

El proceso de establecimiento de objetivos involucró a todos los diseñadores, agentes y clientes, quienes en alguna forma conllevan los costos o beneficios (o ambos) del sistema terminal.

Mediante un proceso de convergencia deben sopesarse todos los intereses, con la finalidad de que los objetivos acordados, representen un concepto viable en el cual puedan suscribirse todos.

Las misiones, las metas y los objetivos suelen diferenciarse solo por su grado de abstracción. Las misiones pueden expresarse en términos muy abstractos, en tanto que los

objetivos son "operacionales"; es decir, su definición debe implicar métodos por los cuales logren medirse.

El proceso de establecimiento de objetivos implica una consideración de las aplicaciones finales del sistema diseñado, es decir, una evaluación de sus efectos sobre los clientes para quienes se intenta.

El tema de la *moralidad* de los sistemas, trata sobre la responsabilidad social de los agentes y los ingenieros industriales para explicar los resultados de su diseño. Los temas éticos surgen en conexión con una evaluación de los posibles beneficios y perjuicios que traigan esos diseños. Es importante sopesar esos resultados conflictivos con un punto de vista que realce el primero y minimice el último. El criterio de honradez y justicia se invoca para asegurar que los beneficiarios no se recompensen demasiado a expensas de los perjudicados.

Paso 5.4. Búsqueda y generación de alternativas.

Dependiendo del problema que se considera, se necesitan *soluciones, programas, procesos o sistemas alternativos,* para satisfacer nuestros objetivos. La búsqueda y generación de alternativas dependen de las restricciones de tiempo, coste y recursos dedicados al proyecto. Además, la búsqueda de alternativas está limitada por el conocimiento de los diseñadores del sistema y por el hecho de que solo unos cuantos diseños logran compararse a la vez.

5.4.1. Alternativas de programa y relaciones de agentes. En todos los tiempos deben compararse los sistemas o programas propuestos con base en un enfoque de sistemas, es decir, tienen que considerarse todos aquellos agentes, tomadores de decisión o receptores que se vean afectados, o cuyas acciones dañen los sistemas y subsistemas bajo diseño. Se generan matrices de programas-agentes, que proporcionan las relaciones entre programas y tomadores de decisión, programas y receptores, programas y fuentes de gastos, gastos y beneficiarios, etcétera.

5.4.2. Determinación de resultados. Con la finalidad de evaluar la superioridad de una alternativa sobre otra, deben averiguarse consecuencias o resultados de todas las alternativas factibles. Habrán de obtenerse de preferencia las probabilidades de su ocurrencia.

5.4.3. Consenso. El proceso de "legitimación" por el cual los ingenieros industriales reciben aprobación de sus clientes, requiere que los receptores participen en la determinación de objetivos, así como en la formulación de alternativas. Se atrae la atención a la necesidad de asegurar esta participación tan pronto como sea posible en el ciclo de diseño.

Fase 5.4: Evaluación

Paso 5.5. Identificación de salidas, atributos, escalas de medición y modelos.

5.5.1. Identificación de salidas. Las alternativas conducen a resultados y salidas. La identificación de salidas es uno de los aspectos más difíciles y críticos del proceso de diseño de sistemas, en particular cuando se trata de salidas de sistemas "flexibles".

Recientemente, todas las salidas, además de las "rígidas", eran olvidadas en la premisa de que si éstas no podían medirse, no tendrían que considerarse. Creemos que cualquier salida que se identifique habrá de medirse.

5.5.2. Identificación de atributos y criterios. La identificación de salidas no debe aislarse del problema de buscar atributos por los cuales tengan que medirse, aunque las salidas y sus mediciones respectivas (que también son llamadas *mediciones de eficacia)* habrán de mantenerse diferentes. Las mediciones se usan para evaluar el grado en el que los programas y las alternativas satisfacen objetivos preestablecidos. Las mediciones de eficacia proporcionan el enlace necesario entre la fase de preplaneación y la fase de evaluación del ciclo de diseño. Es trabajo del diseñador de sistemas encontrar las mediciones apropiadas de eficacia para cada salida. Los atributos suelen, por supuesto, medirse "por poder", es decir, a través de la medición de la salida del proceso que representan. De aquí, la temperatura no puede medirse *per se;* medimos los efectos de los cambios de temperatura en una columna de mercurio. La tensión puede medirse quizá directamente por el incremento en el ritmo cardiaco o la presión sanguínea. La medición indirecta, en términos de sus efectos en el hombre, llega a ser igualmente significativa. Cada atributo debe revisarse en forma crítica para determinar si es que la medida elegida será apropiada para el conjunto de objetivos. Medir el contenido de alquitrán y nicotina en los cigarrillos no tiene significado, a menos que al público se le dé una prueba directa de la causalidad entre la acción de fumar y el cáncer del pulmón, así como un método para convertir miligramos de alquitrán y nicotina en el número de meses que se alega se reduce los años de vida por consumir cigarrillos.

5.5.3. Determinación de la escala de medición. Una vez identificados, deben medirse los atributos. El concepto de "fuerza de escala" se refiere a los grados de libertad implícitos en la escala del método utilizado. Si pueden describirse y explicarse los eventos y sus atributos, estos generalmente están sujetos a algún nivel de cuantificación. Se afirma que siempre hay una escala disponible para la medición. La sola clasificación implica el uso de la más débil de todas las escalas (la escala nominal). Si se categorizan los eventos y sus atributos, avanzaremos a la escala ordinal. El progreso más allá de la escala ordinal, depende de la imposición de restricciones posteriores en los grados de libertad de las variables involucradas.

5.5.4. Modelos de medición. *Los modelos de medición se utilizan para ir de observaciones a funciones numéricas, que representan las propiedades bajo estudio. Estos modelos también incluyen la explicación de eventos y fenómenos que permiten la formulación y validación de decisiones políticas.*

5.5.5. Determinación de la disponibilidad de datos. *Implícito en la mayoría de los pasos descritos, se observa el supuesto de que se encuentran fácilmente disponibles los datos que es posible manejar para apoyar ya sea la elección de atributos o su evaluación. Muy temprano en el proceso de diseño de sistemas, el analista debe:*

a) *averiguar qué fuentes de datos -literatura, informes y documentación- están a la mano.*
b) *evaluar su importancia en términos de los objetivos proyectados.*

Paso 5.6. Evaluación de alternativas.

5.6.1. Uso de modelos. Es imposible especificar por adelantado cómo se evalúan y comparan las diferentes soluciones propuestas para un problema. En este aspecto, el uso de los modelos ha mostrado ser fructífero al forzar a los tomadores de decisión a formalizar su problema. Un modelo puede ser una sola lista de verificación que recuerde a los ingenieros industriales proceder en una secuencia de pasos o una elaborada estructura matemática que represente el problema abstractamente. De cualquier manera, un modelo se considera una conceptualización del problema por la cual se adelantará una solución. Habrá de tenerse presente que el uso de modelos como una metodología para buscar soluciones, trae consigo un mayor temor de que los tomadores de decisión finalizan los modelos como "sustitutos" de "lo real".

Ningún texto llega a abarcar todos los modelos o métodos de solución existentes.

1. *Modelos de medición.*

2. *Modelos de decisión* que permiten que se evalúen las diferentes alternativas y sus correspondientes resultados de una manera consistente, en el contexto de un marco de trabajo formal, que suele aplicarse a todas las alternativas y los resultados, proporcionan un procedimiento o una lógica uniformes, por lo que habrán de contarse y compararse entradas y salidas, costos y reembolsos, costos y beneficios y otros atributos relacionados con la eficacia del sistema. Los modelos de decisión suelen ser de objetivo único o de objetivos múltiples, dependiendo de si la función del objetivo implica un objetivo único o múltiple. Los modelos de objetivo único, como los *modelos de costo-beneficio,* se remplazan rápidamente por modelos más sofisticados, *multidimensionales y de atributos múltiples.*

3. *Los modelos de intercambio* ayudan a evaluar las ventajas relativas de objetivos y fines conflictivos.

4. *Modelos multidimensional y de atributos múltiples.* Se reservan en general para evaluar el mérito de alternativas complejas en varias dimensiones, aparentemente inconmensurables.

5. *Los modelos de optimización* son una clase especial de modelo de decisión que incluye generalmente la formulación de sistemas totales, pero conducen a óptimos locales.

6. *Modelos de evaluación y juicio, que* son una forma especial de los modelos de decisión de atributos múltiples mencionados. Estos se aplican en particular a la cuantificación de juicios, así como a la integración de indicadores e información dentro de clasificaciones compuestas y globales.

7. *Los sistemas de investigación o modelos epistemológicos* describen cómo validar la verdad en el contexto de un método particular de razonamiento.

8. *Modelos de diagnóstico,* que describen procedimientos de investigación sistemática en el caso de un mal funcionamiento de los sistemas. Estos pueden formar una transición de dominio, aguda o gradual. Están relacionados con el campo más extenso de los *modelos taxonómicos.*

5.6.2. Medición de salidas de sistemas flexibles. Deben diseñarse específicamente nuevos procedimientos de razonamiento, métodos y enfoques para el dominio de los sistemas flexibles. La evaluación de alternativas y salidas de los sistemas flexibles requiere que las premisas en las cuales se basan el método científico tradicional y el paradigma de ciencia, se reevalúen epistemológicamente a la luz de las diferencias de dominio que hay entre las ciencias física y social.

Paso 5.7. Proceso de elección.

Hacer una elección involucró una acción y debe listarse en la siguiente fase del paradigma de sistemas. Sin embargo, se coloca aquí como la piedra coronaria de la fase 2, para indicar que las diferentes alternativas y diversos resultados convergen hacia un diseño único. El proceso de convergencia es el resultado de integrar el "razonamiento político", "técnico", "económico" y "social" en un diseño, para hacerlo práctico, factible y aceptable.

Fase 5.3. Fase de acción-implantación

Paso 5.8. Implantación.

5.8.1. La implantación de una solución llega a ser la fase más difícil y frustrante del diseño de sistemas. En este libro sostenemos que el diseño de sistemas sociales es incompleto, a menos que se ejecute. No tiene caso adelantar soluciones elegantes, si no se usan. Este punto de vista concuerda con:

a) el rechazo de la filosofía de la neutralidad de la ciencia.
b) la involucración del ingeniero industrial-diseñador experto en la administración de sistemas.

El objetivo de los diseñadores es optimizar la función objetivo o las mediciones de eficacia en su diseño. Sin embargo, la *optimización* sólo es posible en el contexto de un modelo cerrado del sistema, donde están claramente definidos los supuestos y las restricciones. Además, los objetivos conflictivos y la inhabilidad para formular los modelos de sistemas abiertos que capten la *complejidad* del mundo real evitan que los diseñadores de sistemas logren el óptimo predicado en el modelo. Quizá logren un óptimo local, que no satisface todos los criterios del sistema. Por último, determinan la

suboptimización o un compromiso que involucró una combinación de subóptimo concertado, que satisface una función sopesada de consenso.

5.8.2. Legitimización y consenso. La aceptación e implantación de un diseño de sistemas comienzan por promover la aceptación de objetivos y de posibles alternativas en las fases de diseño de políticas y preplaneación (véase los pasos 3 y 4.3). Obtener un acuerdo involucró un proceso de legitimización y modelos de consenso por los cuales se integran los supuestos de los ingenieros industriales y las necesidades de los clientes, así como que se resuelven sus conflictos. Se usan métodos especiales para medir la exactitud y la confiabilidad de los expertos, así como su progreso hacia el acuerdo.

5.8.3. Expertos y pericia. Ya sea que se atribuya a una teoría de consenso elitista o a una pluralista, los expertos desempeñan un papel central en el diseño y la implantación del diseño de sistemas. El diseño de sistemas flexible demanda una nueva generación de expertos, cuyos sistemas de indagación combinen la formulación explícita del conocimiento inarticulado, con la evaluación de la evidencia intuitiva, para provocar "la verdad". El *diagnóstico* de mal funcionamiento de sistemas requiere una clase especial de pericia.

Paso 5.9. Control de sistemas.

El control de sistemas involucró la comparación de salidas y resultados contra los estándares. También incluye la reglamentación y el apareamiento de movimientos del sistema con contramovimientos, de manera que se promueve la estabilidad del sistema y su progreso hacia los objetivos.

Paso 5.10. Evaluación de salidas, revisión y reevaluación.

La revisión de resultados conduce a una reevaluación del diseño de sistemas. Como se muestra en las figuras 5.1 y 5.2, el proceso de diseño de sistemas o paradigma de sistemas, involucró la preplaneación, evaluación e implantación de la acción, así como un ciclo atrás de la fase acción-implantación a la de preplaneación, después de que ha tenido lugar la evaluación de los resultados.

5.2.2 Optimización del sistema global[6,7]

Definiciones:

Óptimo: El mejor grado o más favorable, en cantidad o número" (Mirriam-Webster, 1981). Entonces la optimización es el proceso para alcanzar el grado más favorable. En el diseño de sistemas necesitamos considerar la optimización en dos niveles, contextos y sistemas.

Optimización del contexto
Análisis de alternativas en el contexto del sistema.

Selección de un contexto cercano al óptimo para el problema.

Optimización del sistema
Análisis de alternativas en la estructura del sistema, qué componentes pueden ser utilizados y qué llega a hacer cada componente.
Opción de un conjunto de componentes y de sus comportamientos individuales, cercano al óptimo, un diseño del sistema.

Optimización del sistema de valía[1]
Todo lo que se relaciona con los objetivos no termina solo al formar la lista de mercancías o acontecimientos que se desean. Los objetivos se deben seguir trabajando hasta que se note con claridad cómo los diferentes conjuntos de salidas que van asociadas con los objetivos se combinan para optimizar y seleccionar el mejor sistema físico. De acuerdo con lo que se hizo notar desde un principio, estas operaciones se realizan conjuntamente con el diseño del mismo sistema físico. La razón de esto es que los datos que se requieren para el diseño de un sistema de valía efectivo, habrán de retroalimentarse para la interpretación del problema, para la síntesis del sistema, para el análisis del mismo y para ensayar las decisiones. Otras de las razones es que algunos objetivos logran ser reemplazados por otros y no se ven con claridad los términos de este cambio, sino durante el proceso.

No existe un camino único para lograr un buen conjunto de objetivos. Aun cuando se disponga de algún conjunto de objetivos, no hay una forma de prueba para asegurarse de que el conjunto sea bueno. La carencia de un método que sea comprensible para fijar los objetivos no es ninguna excusa para no enfrentarse al problema de su establecimiento. Jamás esta carencia justificará una arbitrariedad, una imposición, el positivismo y la carencia de lógica con que se tropieza frecuentemente durante los trabajos sobre los objetivos.

Por fortuna hay algunas teorías y filosofías de utilidad, ampliamente aceptadas para guiar el trabajo con los objetivos. La naturaleza de la teoría disponible, más bien que guiarnos hacia los mejores objetivos, es para ayudar a descubrir aquellos objetivos que en algún sentido estén equivocados o, por lo menos, aquellos muy diferentes de otros y que también sea posible seleccionar para producir la misma acción. Por lo tanto, hay ayudas que son casi deficientes, pero es muy seguro decir que se pueden lograr mejores resultados empleando estas que atacando el problema de fijar los objetivos en forma ciega.

---

[1] Hacer óptimo un sistema físico significa alterar sus variables hasta que se logre el mejor sistema. con respecto a un conjunto de objetivos. Hacer óptimo un sistema de valía significa realizar ciertas operaciones conocidas para lograr lo mejor, o bien lo óptimo, de acuerdo con un gran conjunto de criterio. En el primer caso, se usa un procedimiento matemático solo para sistemas relativamente simples, o subsistemas. Excepto para valores económicos, un sistema de valía raramente se somete a una optimización matemática. Es muy útil manejar los términos del encabezado para hacer resaltar el desarrollo paralelo entre los sistemas de valía y el físico.

A continuación se inserta una lista de algunas sugestiones que se deducen del estado actual de conocimientos sobre el diseño de los sistemas de valía.

a) Hacer la anotación de los objetivos en una hoja de papel. Convencerse de que las palabras empleadas son neutrales y ajenas a todo prejuicio.

b) Identificar los medios y los fines. Si esto da como resultado diferentes ligas entre los medios y los fines, "colocar" estas cadenas en orden para localizar objetivos de un mismo nivel de jerarquía, así como para identificar los diferentes grados del sistema de valía.

c) Tratar de determinar si son consistentes los objetivos de un cierto nivel con los objetivos de un nivel más elevado, lo cual es necesario para decidir sobre la importancia relativa de diferentes conjuntos de objetivos.

d) Comprobar que el subconjunto de objetivos en cada nivel sea lógicamente consistente. Los objetivos inconsistentes señalan la existencia de relaciones de reemplazo. Todas estas relaciones necesitarán en forma eventual de una cuidadosa especificación para permitir las transiciones.

e) Definir los términos de intercambio para variables relacionadas. A veces será necesario buscar la etimología de una variable con respecto a otra, así como fijar los límites para las variables, entre los cuales es posible efectuar este cambio.

f) Formar el conjunto completo de objetivos. Para satisfacer este criterio se puede aplicar la experiencia que se tenga en problemas similares. Sin embargo, esta operación se prosigue hasta el final del diseño, puesto que es imposible prever todas las consecuencias del sistema físico y protegerlas con los objetivos.

g) Dar a cada objetivo el más alto nivel de medición que sea posible. Reconocer que algunos objetivos no pueden medirse con escalas de medición del más alto nivel. Por lo general, partes de determinados subconjuntos de objetivos se llegan a ordenar, por lo menos, de acuerdo con su importancia.

h) Comprobar todos los objetivos para asegurarse si cada uno de ellos es posible física, económica y socialmente. Fijar los factores limitativos.

i) Tomar en consideración los riesgos y las indecisiones de las diferentes técnicas de que se disponga, así como con la selección de un criterio apropiado para decisión.

j) Aislar los problemas lógicos y reales, de los puramente estimativos, como una etapa para fijar conflictos de importancia, lo cual requerirá generalmente el auxilio de los expertos.

k) Establecer los conflictos de importancia. Cerciorarse de que todos los intereses queden representados. Eliminar el dogmatismo, los métodos dictatoriales y los dictámenes prematuros.

METODOS DE OPTIMIZACIÓN

Excepto cuando existen limitaciones, cada vez queremos llegar al *summum bonum*.[2]

En seguida, se describen métodos simples de optimización a otros más complicados. Considerando que, en la mayoría de las situaciones, no es posible lograr lo óptimo, se decide aceptar, en la mayoría de los casos, el mejor resultado factible cercano al óptimo.

Los métodos y modelos de optimización formal. En general, siguen los pasos que se mencionan:

1. Se define el problema, es decir, se nos asegura que el problema consiste ya sea en maximizar beneficios, minimizar costos totales, maximizar el valor, minimizar la fluctuación total, etcétera.

2. Se proporciona un modelo por el cual se describe o formula el sistema. Por ejemplo:
   a) Funciones que resumen la información que se conoce acerca de la situación.
   b) El coste total de manejar el inventario, así como el concepto de intercambios entre costos que se incrementan y disminuyen según la cantidad del pedido.
   c) El sistema se representa con una función objetivo, que describe nuestro objetivo de maximizar el valor recreacional, sujeto a limitaciones del presupuesto y los factores de abastecimiento y demanda.
   d) En la programación de ruta critica, el sistema se describe en términos de actividades, su duración, tiempo de iniciación y de terminación, y costos.

3. Se proporciona una medida de eficacia que abarque el objetivo que debe optimizarse.

En resumen, los modelos de optimización tienen en común lo siguiente:

1. Se define un problema.
2. Se formula un modelo de optimización.
3. Se expresa un objetivo.
4. Se elige una medida de eficacia para expresar el objetivo.
5. Se utiliza un procedimiento llamado algoritmo, para resolver el modelo y proceder al óptimo.

---

[2] *Summum bonum* (en latín, "el mayor bien") es una expresión utilizada en la filosofía, sobre todo en la filosofía medieval y en la de Immanuel Kant, para describir la importancia definitiva, el fin último y lo más singular que los seres humanos deben seguir. El "sumo bien" es generalmente considerado como un fin en sí mismo, a la vez que contiene todos los demás bienes. En la filosofía cristiana, el bien supremo define generalmente a la vida de los justos, la vida que llevan en la comunión con Dios y de acuerdo con sus preceptos.

MODELOS DE OPTIMIZACIÓN

La bibliografía sobre modelos de optimización crece a pasos agigantados. Es difícil estar al tanto de todo. En seguida se listan las áreas de estudio más conocidas:

1. Cálculo diferencial.

2. La técnica multiplicativa de Lagrange, que utiliza el cálculo diferencial, pero toma en cuenta restricciones o condiciones limitantes con la finalidad de encontrar soluciones aceptables.

3. Análisis de valor total. La función de costos totales utilizada para resolver problemas con base en un análisis de valor total. Éste también maneja el cálculo diferencial para encontrar puntos extremos.

4. Análisis de incremento, similar al análisis de valor total. Algunos problemas pueden resolverse mediante el análisis de incremento. Por ejemplo en problemas de inventarios, la solución se encuentra donde el coste de ordenamiento marginal o de incremento es igual al coste de mantenimiento marginal, es decir, al punto donde el coste adicional de llevar o mantener una unidad extra en el inventario se equilibra por los ahorros correspondientes en costos de ordenamiento.

5. Técnicas de programación lineal. Se usan donde fallan las técnicas de optimización del cálculo diferencial. Estas involucran la maximización (minimización) de una función objetivo, sujeta a restricciones de disponibilidad (o demanda). La programación lineal, como su nombre lo implica, siempre involucra igualdades y desigualdades lineales, es decir, la fuerza o el exponente de las variables es igual a 1. La programación lineal es un modelo utilizado para asignar recursos en forma óptima.

6. El método del transporte o problema del transporte pertenece a la clase de programación lineal de problemas, donde se pretende encontrar las rutas óptimas, desde su origen a su destino, de una cantidad limitada de artículos en demanda fija.

7. Programación de objetivos. Puede considerarse una extensión de la programación lineal. La programación de objetivos ofrece las ventajas de permitir al tomador de decisiones expresar preferencias entre varios objetivos. Este es un enfoque realista que ya se ha incorporado en la programación ordinal. Las formulaciones de programación de objetivos proporcionan cierta flexibilidad al elegir objetivos no existentes en la programación lineal, mientras que se retienen su rigor y metodología de solución. Como la programación lineal, la programación de objetivos llega a resolverse mediante el poderoso método simplex. El método fue introducido por Charnes, Cooper y Ferguson, aunque recientemente lo refinaron Lee y otros. La bibliografía ofrece algunos ejemplos recientes de formulación de programación de objetivos que suelen ser un incentivo para el lector y una información más detallada.

8. La programación de clasificación es el nombre tentativo proporcionado a otro método de aproximación que se compara en forma ventajosa con la programación de objetivos y proporciona una "clasificación satisfactoria" a la formulación de programación lineal. Una de las dificultades de la aplicación de la programación de objetivos es el análisis de intercambios entre objetivos, cuando con el tiempo cambian las prioridades asignadas a los diferentes objetivos conflictivos.

9. La programación interactiva proporciona un modo interactivo por el cual el autor de decisiones puede optimizar el problema de criterios múltiples en términos de su función de preferencia. "El autor de decisiones debe proporcionar información relacionada con los intercambios locales entre criterios de puntos específicos y ejecutar optimizaciones unidimensionales... Se ha formulado un algoritmo que requiere interacción con el autor de decisiones, con la finalidad de obtener cierta información, en relación con su función de utilidad, definida sobre valores permisibles de criterio."[8] La interacción entre el autor de decisiones y el modelo, logra efectuarse mediante una terminal de computadora.[9]

10. La programación de números enteros se refiere a un problema de asignación de recursos en el cual solo se pueden aceptar soluciones de números enteros. Se han desarrollado varios algoritmos para resolver este problema, que a menudo se considera en la categoría de programación no lineal.

11. La programación dinámica toma su nombre del procedimiento usado para lograr el óptimo, no del tipo de problemas considerados. Los problemas cuyas soluciones se obtienen mediante la programación lineal, también es posible calcularlas en la forma de programación dinámica. La necesidad de manejar una u otra, depende del tipo de problema. La programación dinámica se usa más eficientemente en problemas que involucran pasos donde los resultados obtenidos en una etapa afectan los resultados de la etapa siguiente. Un ejemplo de un problema en el que la programación dinámica se presenta en una situación de inventario, que involucró tres periodos.

    La cantidad de inventarios requeridos al principio de cada periodo es fija, es decir, se conoce el patrón de demanda durante los tres periodos. El problema consiste en determinar las cantidades óptimas que deben producirse en cada periodo para satisfacer los requerimientos de demanda e inventario, en tanto que se minimiza el coste total.[10]

12. La programación cuadrática no lineal se refiere a modelos más complicados, donde las funciones objetivo y otras no necesariamente son lineales.

13. Modelos de filas o líneas de espera. Intentan resolver el problema de optimizar el diseño, así como la utilización de instalaciones de llegada y servicio. Generalmente, el problema es de naturaleza probabilística, el cual involucra el equilibrio de los costos de esperar en la cola, con los que se agregan por las

instalaciones de servicio. Al proporcionar un servicio adicional, se reduce el coste de espera, pero se incrementaron el coste del servicio, así como la posibilidad de que las instalaciones de servicio tengan un tiempo no utilizado.

14. Los modelos de sistemas involucran modelos que tratan flujos y la secuencia crítica de actividades a lo largo de un proyecto.

15. El algoritmo de descomposición de programación lineal. Es una formalización del proceso de ajuste por el cual operan los centros divisionales para ajustar sus soluciones, con la finalidad de obtener una solución que satisfaga sus requerimientos (restricciones) impuestos tanto a nivel divisional como a nivel de sistema total. El algoritmo de descomposición nos permite seguir la cuestión de optimización-suboptimización en el contexto estricto de un modelo.

SUBOPTIMIZACIÓN

Aquí consideramos el problema de resolver problemas complejos del mundo real sobre la base de las limitadas herramientas de razonamiento del hombre. Por un lado, rechazamos los enfoques que solo tratan "partes" del problema, debido a que sabemos que "el incrementalismo desarticulado" y la filosofía del "mejoramiento de sector" solo conducen a soluciones parciales que incluso no garantizan que ha encontrado las soluciones del sistema total. Por otro lado, reconocemos que la suboptimización puede ser el único enfoque factible; por lo tanto, nos decidimos a buscar las mejores suboptimizaciones.

EL ESPACIO DE DECISIÓN

Braybrooke y Lindblom han caracterizado decisiones, de acuerdo con dos características importantes:

1. El grado de cambio que llega a proporcionar la decisión.
2. La cantidad de comprensión y de información que los autores de decisiones poseen sobre el área en la que se toma la decisión.

De acuerdo con esto, el espacio de toma de decisiones suele dividirse en cuatro cuadrantes, como se muestra en la figura 5.3. Estos cuatro cuadrantes se han descrito como sigue.*

Cuadrante I. Gran oportunidad y elevada comprensión. "Las decisiones que efectúan un gran cambio y están guiadas por información y comprensión adecuadas." El cuadrante 1 pertenece al dominio de "los autores de decisiones superhumanas... que requieren... prodigiosas hazañas o un análisis sinóptico, por encima de las capacidades humanas".

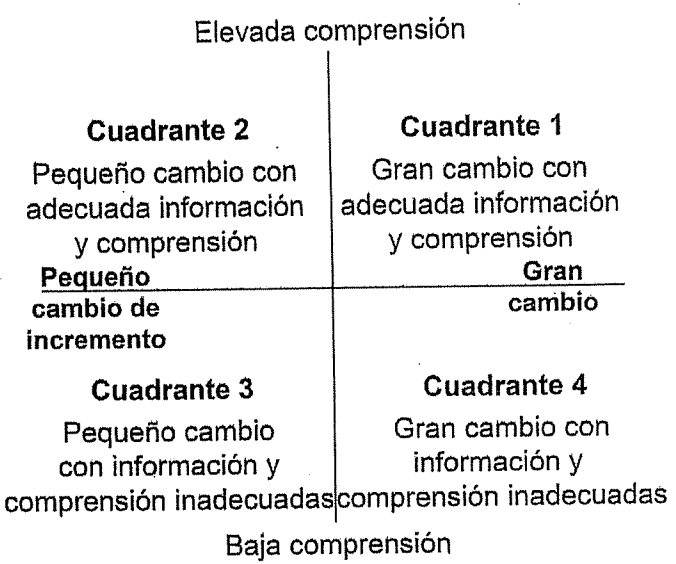


Figura 5.3. Espacio de toma de decisiones

Cuadrante 2. Cambio pequeño y elevada comprensión. "Las decisiones que efectúa un cambio pequeño, que además están guiadas por información y comprensión adecuadas." El dominio de los "asuntos diarios del gobierno".

Cuadrante 3. Cambio pequeño y poca comprensión. "Las decisiones que efectúan un cambio pequeño, pero que no están guiadas por información y comprensión adecuadas." Las decisiones aquí están "sujetas a reconsideración y redirección constantes. Estas decisiones son típicas de la vida política ordinaria".

Cuadrante 4. Un gran cambio y poca comprensión. "Las decisiones que efectúan un gran cambio y no están guiadas por información y comprensión adecuadas." El dominio de "decisiones ciegas o impredecibles... claramente no son del área o contexto de la política de todos los días".

De lo anterior, es fácil deducir que el cuadrante 2 representa el mundo de las decisiones diarias, en el cual hacemos movimientos cautelosos, basados en lo que creemos una información suficiente. Obviamente, también nos movemos en el espacio representado por el cuadrante 3, donde con osadía damos pequeños pasos sin contar siempre con una información completa. Braybrooke y Lindblom llaman a este proceso "incrementalismo desarticulado". Ellos proponen la teoría en la que las decisiones políticas de la vida diaria están basadas, en su mayor parte, en pequeños cambios incrementales. Los programas establecidos continúan y son desarrollados en nuevos

programas "como una secuencia de decisiones". Un nuevo programa "no es para nada un programa; no es una política de amplio alcance y coordinada". Más bien "es el producto de algunos pequeños movimientos específicos, por los cuales se modifican los programas antiguos... y fluyen sinfín de... decisiones".

Perseguir cambios de incremento es dirigir la política hacia males específicos -la naturaleza de los cuales se reexamina continuamente- más que hacia reformas completas; es también buscar cambios a largo plazo, a través de una secuencia de movimientos por los cuales tratamos de alejarnos de los males sociales conocidos, más que dirigirnos hacia un objetivo conocido y relativamente estable.'

Necesariamente, el "incrementalismo desarticulado" conduce a una suboptimización, un concepto que describe todas las consecuencias de perseguir objetivos menos que óptimos, con resultados menos que óptimos. El "incrementalismo desarticulado" es contrario al enfoque de sistemas y al "enfoque sinóptico".

El "enfoque sinóptico" a la toma de decisiones que se atribuye a March y Simon. De acuerdo con este modelo, recordamos que "hacer política es elegir entre alternativas, después de un estudio cuidadoso y completo, de todos los cursos de acción posibles y de todas sus posibles consecuencias". Comprender un problema "requiere comprensión de información y análisis". Un problema debe considerarse como un todo, en relación con la totalidad de sistemas y subsistemas que tienen una relación con éste.

La disparidad entre el modelo de "incrementalismo desarticulado" y el "modelo sinóptico" puede atribuirse al hecho de que el primero es un modelo descriptivo y el segundo un modelo prescriptivo de toma de decisiones. Uno expresa cómo se toman realmente las decisiones; el otro, cómo deberían tomarse.

Estamos dolorosamente conscientes de nuestra incapacidad para optimizar y de nuestra tendencia a suboptimizar. Por lo tanto, necesitamos buscar las razones existentes que impiden la optimización. Las dificultades con la optimización conducen a la suboptimización.

LA FILOSOFÍA DEL MEJORAMIENTO

Como el "incrementalismo desarticulado", la "filosofía del mejoramiento" limita el horizonte de solución de los autores de decisiones a alternativas que solo se aplican al sistema inmediato. Churchman critica el punto de vista que prevalece, cuando se considera comúnmente el "mejoramiento" de un sistema:

Es natural esperar que el mejoramiento llegue a ocurrir en ciertos sectores del sistema, sin haber penetrado profundamente en las características del sistema total. Por ejemplo, existe una tradición en el pensamiento occidental sobre qué partes del sistema total logran estudiarse y mejorarse más o menos en forma aislada del resto del sistema.

Este concepto de mejoramiento social está tan profundamente inculcado en el pensamiento occidental, que naturalmente pensamos que es apropiado subdividir nuestra sociedad en elementos funcionales. También pensamos que es apropiado que cada elemento desarrolle su criterio de mejoramiento y que los elementos estén tan libres como sea posible de la interferencia de las demás partes de la estructura social... Los hombres han olvidado un problema muy serio al definir el concepto de mejoramiento. El problema es muy simple: ¿cómo diseñar un mejoramiento en grandes sistemas sin comprender el sistema en su totalidad? Si la respuesta es que no podemos, ¿cómo es posible comprender el sistema en su totalidad?

Cualquier mejoramiento de un sistema, diseñado aisladamente de otros sistemas, puede ser óptimo para ese sistema en particular. Sin embargo, al olvidar interacciones con, y los efectos de, otros sistemas, un mejoramiento aislado no resulta sino en una solución subóptima, en el contexto de un horizonte más amplio. Buscar "mejoramientos", mediante el análisis de partes del sistema total, conduce a las trampas del "incrementalismo desarticulado" por el cual, como ya se mencionó, "nos alejamos de los males sociales" en vez de considerar soluciones globales. Como un ejemplo, a través de esfuerzos diligentes, "mejoramos" los sistemas de bienestar social existentes. Quizá hacemos al pobre menos pobre, pero nunca vencemos en realidad el problema de la pobreza. Además, a través de "tales mejoramientos de sector", un término utilizado para referirse al concepto tradicional de mejoramiento de las partes, nos olvidamos de considerar la moralidad del sistema total. Quisiéramos "juzgar sistemas" al "observar las consecuencias de los cambios que aportamos" al sistema en su totalidad y no solo a un "sector" de la sociedad. . . El problema de los mejoramientos de sistemas, es decir, el de juzgar la excelencia ética de nuestros cambios y soluciones propuestas, es el problema de la "ética del sistema global".

El enfoque de sistemas consiste en mejorar, más allá de los subsistemas. Resolver el problema del crimen y la delincuencia consiste no solo en administrar y hacer cumplir la ley de la manera más estricta, aumentando las funciones de prevención, detección y custodia, sino de reducir los cuellos de botella en las cortes, así como de asegurar claras adjudicaciones y disposiciones, además de mejorar la influencia de la rehabilitación de las instituciones correccionales. Considerados en el contexto limitado del subsistema en el cual tienen lugar esos procesos, cualquiera de estos objetivos y logros suelen ser deseables y recomendables. Sin embargo, para evitar *suboptimizaciones costosas*, cada una de estas acciones debe integrarse en el cuadro más amplio y evaluarse en relación con su contribución que llevan a satisfacer los objetivos de mayor alcance de sistemas mayores. Estos sistemas mayores son el "sistema total", pero más allá de éste, el "sistema global".

OBTENER "LO ÓPTIMO" EN EL MUNDO REAL

Los "límites de razonamiento" son limitaciones inherentes al individuo que lo mantienen lejos de considerar todas las alternativas y consecuencias factibles de un problema, además de que impiden calcular dónde se encuentra la solución óptima. Podría parecer que, aun cuando el problema es lo suficientemente simple, el individuo no está

motivado para elegir lo óptimo, lo cual se reveló durante los llamados experimentos de Churchman y Ratoosh. Durante estos experimentos, que tomaron la forma de una simulación de gestión, se examinaron grupos de sujetos para determinar el grado de deseo y voluntad de obtener y adoptar la solución óptima de un problema relativamente fácil de analizar.

Como se hizo evidente, la optimización en el sentido absoluto es posible solo en el contexto de un modelo cerrado, como por ejemplo un modelo matemático, donde logran definirse y controlarse variables, parámetros y supuestos. Tenemos soluciones óptimas de modelos que solo son aproximaciones de pequeñas porciones de problemas del mundo real, no siempre bien comprendidas. En el contexto del sistema total, estas soluciones constituyen suboptimizaciones, que suelen, quizás, apuntar en dirección a la alternativa más deseable. Estamos de acuerdo con Fisher, quien expresa: Supongo, como analista, que siempre debemos querer tratar de llegar a "soluciones preferidas" cuando se estudian futuros cursos de acción alternativos. En forma ideal, esto significa determinar lo óptimo, es decir, el punto en alguna superficie bien definida, donde todas las derivadas parciales son igual a cero y prevalecen las condiciones apropiadas de segundo orden. Sin embargo, me permito agregar que en la mayoría de los problemas de decisión de planeamiento de amplio alcance rara vez es posible acercarse a algo que se parezca a una optimización real. Lo más probable, si tenemos suerte, es que obtengamos alguna noción de los signos de las derivadas parciales para saber si nos movemos en forma ascendente hacia el punto óptimo en un problema de maximización o si nos alejamos de éste. De hecho, podría incluso alegarse que, en la mayoría de los estudios en los que he trabajado en años recientes, a menudo es difícil determinar en qué lugar nos encontramos o deberíamos estar.

EL PROBLEMA DEL CRITERIO

La optimización absoluta requiere la maximización de la función de utilidad total U, en cuyo contexto deben compararse simultáneamente todas las alternativas posibles, estados de naturaleza y estrategias competitivas, para el conjunto total de variables o criterios alternativos. Es obvio que este problema de optimización no puede ni formularse ni resolverse en su totalidad. A lo más, se compara un número seleccionado de alternativas, dado un número limitado de criterios. La siguiente es una lista de los errores de criterios más comunes cometidos en la suboptimización como se han reunido de varias fuentes, en particular de McKean'O-I' y Hitch y McKean."

1. *Criterio aproximado contra final*
   No considerar el conjunto total de alternativas y criterios, así como decidirse por un criterio "aproximado" en vez de utilizar los "finales". Los "criterios aproximados" son sustitutos prácticos de los "finales", que nunca se logran.

2. *Ignorancia de los valores absolutos*
   Utilizar valores relativos de logro (eficacia, desempeño) a costo e ignorar los *valores absolutos* de logro o de coste. En ocasiones, es necesario considerar las

restricciones de la situación para eliminar una de las alternativas e imponer un requerimiento sobre el valor absoluto del desempeño o un límite en el coste total.

3. *Omisión del ingreso marginal*
   Dadas dos o más alternativas, es importante comparar el ingreso que puede obtenerse de cada inversión, así como calcular el *beneficio marginal* que llega a obtenerse de *la inversión al margen* o de la inversión de incremento. Un ejemplo ilustrará el punto. Partiendo de la misma posición inicial, una entidad considera dos posibles inversiones.

   Una primera alternativa involucró un coste de capital $55,000 con ahorros anuales, resultantes de la inversión, de $11,000 por año durante diez años. La entidad considera el coste del capital al 10%.

   Una segunda alternativa involucró un capital de $85,000, con un ahorro anual de $15,000 por año, durante 10 años. No existe valor de recuperación. En seguida se proporciona el cálculo de los costos anuales equivalentes.

   La ganancia se obtiene en tablas de factores que convierten los valores presentes a sumas equivalentes anuales, o viceversa.

   Alternativa I. Igualando los ahorros de operación anual a la suma anual equivalente de la inversión de capital,

$$11\,000 = 55\,000\left[\left(\frac{a}{p}\right)^{i}_{10}\right]$$

donde $(a/p)^{i}_{10}$ es el factor de conversión utilizado para encontrar el valor de pagos anuales, a, dado el valor presente de la anualidad.
Aqui, el factor de conversión[13]

$$\left(\frac{a}{p}\right)^{i}_{10} = 0.199$$

Por tanto, la tasa de interés es

$$i = 15 \text{ por ciento}$$

Alternativa 2

$$15\,000 = 85\,000\left[\left(\frac{a}{p}\right)^{i}_{10}\right]$$

donde $\left(\frac{a}{p}\right)^{i}_{10}$ es el factor de conversión utilizado para encontrar el valor de pagos anuales, a, dado el valor presente de la anualidad.

Factor de conversión:[13]

$$\left(\frac{a}{p}\right)^{i}_{10} = 0.177$$

Tasa de interés:

$$i = 12\%$$

Ambas inversiones dan más del coste de capital establecido del 10%. ¿Invertiría la agencia $55,000 u $85,000? La respuesta está en calcular el ingreso de la inversión adicional de $30,000 -la diferencia o incremento requeridos, para pasar de la alternativa 1 a la 2. El incremento en inversión debe producir $4,000 en ahorros adicionales por año. Un cálculo similar al anterior revela que la inversión de incremento da menos del 6.0%, claramente por debajo de la tasa aceptable de 10%.

Ganancia de inversión incremental

$$4\,000 = 30\,000\ \left[\left(\frac{a}{p}\right)^{i}_{10}\right]$$

Factor de conversión:[13]

$$\left[\left(\frac{a}{p}\right)^{i}_{10}\right] = 0.133$$

Tasa de interés:

$$i = 6\% \text{ (aproximadamente)}$$

Por lo tanto, la empresa cometería un error si invirtiera los $30,000 extras, para obtener solamente una ganancia del 6.0%.

La figura 5.4 ilustra los conceptos de la ganancia marginal sobre la inversión. La ganancia puede calcularse como:

$$55\,000\ (0.15) + 30\,000\ (0.06) = \$10\,050$$

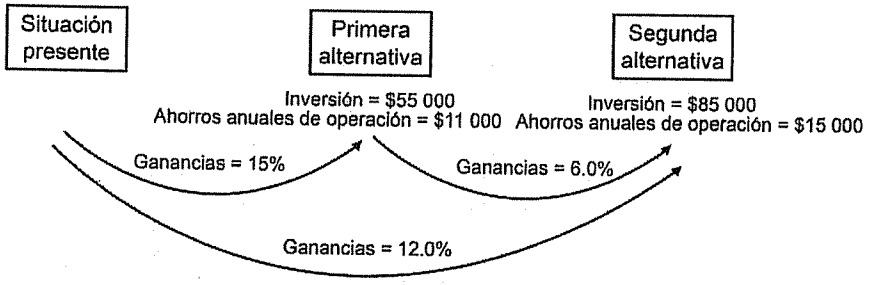


Figura 5.4 Ganancia sobre inversión marginal

Tasa de ganancias sobre $85,000:
10,050 / 85,000 = 0.12 (es decir, 12%)

4. *Optimización restringida*
   Debemos ya sea maximizar la ganancia (o la salida) que puede obtenerse dado un presupuesto fijo o minimizar el coste de obtener un nivel fijo de ganancia (o de salida). En el contexto del mismo modelo, la maximización o minimización restringidas producen los mismos resultados. Sin embargo, no es posible perseguir simultáneamente ambos objetivos.

5. *Implicaciones a corto plazo contra a largo plazo*
   En muchas situaciones omitimos el elemento tiempo debido a nuestra incapacidad para anticipar los efectos de nuestras decisiones. Nuestra incapacidad para predecir exactamente explica por qué procedemos a suboptimizar a corto plazo, con "criterios aproximados", en vez de optimizar a largo plazo con criterios finales. Debemos reevaluar de continuo las decisiones del pasado, para determinar su validez, a la luz de las condiciones cambiantes.

6. *Trampas con el cálculo de clasificaciones*
   Debemos evitar las trampas y falacias comunes de los que erróneamente manipulan las mediciones ordinales, como si fueran de intervalo, o de los que suman, multiplican o normalizan clasificaciones o intervalos como si fueran números cardinales. Esto es un problema de la medición y los métodos de combinar evaluaciones y pesos relativos.

EL DILEMA ENTRE LA OPTIMIZACIÓN Y LA SUBOPTIMIZACIÓN

Hay quienes nos exigen optimizar y quienes querrían que suboptimizáramos. Contar con una solución óptima, pero no factible, no tiene significado. Una aproximación usada es mucho mejor que una solución exacta que no se usa. Las suboptimizaciones son tanto necesarias como inevitables. Dadas las limitaciones de tiempo y potencial humano, una suboptimización sería el único enfoque factible.

¿QUÉ HAREMOS?

El dilema entre la optimización y la suboptimización no necesita producirse, si se mantiene claramente la dicotomía entre el mundo de los modelos y el mundo real. Toda prueba indica que:

1. Lo óptimo y la optimización se usan para expresar lo "imperativo de la ciencia", lo imperativo cognoscitivo.
2. Lo óptimo solo puede definirse y obtenerse cuando se expresa un problema como un modelo de optimización.
3. La optimización se define como la maximización de utilidad, en el marco de trabajo de modelos, y la suboptimización, como la maximización de utilidad en el marco de trabajo de las decisiones del mundo real. La "utilidad" representa aquí el compuesto de metas y objetivos perseguidos.
4. Cualquier cosa menor que lo óptimo es claramente un subóptimo.
5. En el mundo real de las decisiones, lo óptimo no puede ni encontrarse ni calcularse. Por lo tanto, por definición trabajamos con suboptimizaciones o subóptimos.
6. Con la finalidad de tener un objetivo en el mundo real de las decisiones, debemos postular la existencia de un óptimo que represente la naturaleza de la "mejor solución". En este contexto, optimizar es trabajar en la dirección de la mejor solución.
7. Existen suboptimizaciones buenas y malas. Definimos las buenas suboptimizaciones como las que contribuyen al desarrollo y la implementación de lo que se considera entonces como la mejor solución. Las malas suboptimizaciones son las que conspiran contra el logro de la mejor solución.

¿CÓMO PROMOVER BUENAS SUBOPTIMIZACIONES?

Si aceptamos la noción de que estamos limitados a suboptimizar, debemos utilizar ciertos principios que pueden dirigirnos en la lucha por mejores suboptimizaciones.

Principio 1: Cuando se trata de un sistema jerárquico, los objetivos de sistemas más bajos deben estar de acuerdo con los objetivos de niveles más elevados. Este principio también puede expresarse como los criterios de sistemas más bajos habrán de concordar con los criterios de sistemas más elevados. El problema consiste en elegir un criterio apropiado al nivel en el cual se toma la decisión y, al mismo tiempo, asegurar que los criterios de bajo nivel nos lleven a decisiones que trabajen en favor del bienestar del sistema en su totalidad. A niveles más elevados, el problema es seleccionar los criterios totales correctos, que satisfagan el mayor número posible de objetivos de sistemas bajos. Es el problema de reducir objetivos múltiples en objetivos agregados, así como de reconciliar los objetivos de sistemas de niveles bajo y elevado.

Sin embargo, surge un problema: no es posible comprobar que, al satisfacer los objetivos de nivel elevado, satisfacemos los objetivos de todos, o la mayoría de los sistemas de bajo nivel. Ni asegurar que, satisfaciendo los objetivos de nivel bajo, siempre se mejoren o maximicen los de nivel elevado.

Principio 2: Optimalidad de Pareto. Las suboptimizaciones deben puntualizarse y clasificarse de acuerdo con el grado en el que estas incrementan la utilidad de cada subsistema sin, al hacerlo, reducir la utilidad de cualesquier otros sistemas y del sistema total. Este principio no invalida la posibilidad de intercambios entre sistemas, que pueden también conducir a un mejor óptimo total. Distintas tasas marginales de sustitución significan que una cierta dimensión en la utilidad de un sistema logra incrementar, proporcionalmente más, la utilidad de otro sistema. Negociar entre los sistemas llega incluso a dejarlos en mejores condiciones que cuando comenzó el intercambio. El análisis de costo-beneficio está "fundamentado" en el principio del "mejoramiento de Pareto". en el cual las ganancias logran distribuirse en tal forma que suministren un beneficio a cada uno de los involucrados.

Principio 3: El peligro de suboptimizaciones costosas se reduce al extenderse el alcance del sistema considerado. La influencia de los efectos externos o de la propagación disminuirá al "interiorizarlos" e "integrarlos" en un sistema mayor.

Principio 4: La envergadura del sistema debe extenderse hasta el punto donde las ventajas, derivadas de la internalización de los efectos externos y de propagación, excedan en importancia a las desventajas de tratar un sistema cuya complejidad puede "exceder la competencia analítica". La figura 5.5 muestra el intercambio entre la complejidad del sistema, así como el peligro de olvidar las externalidades y los efectos de propagación.

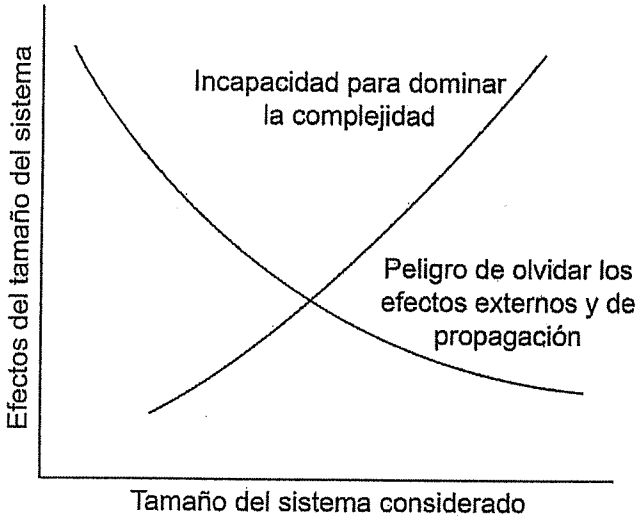


Figura 5.5 Intercambio entre la complejidad y el riesgo de omitir interacciones con otros sistemas.

Principio 5: El alcance y las ramificaciones de ciertos problemas son tales que no se puedan tratar a otro nivel, excepto el más elevado. Mientras más bajo sea el nivel en el que se considere un sistema, mayor será la probabilidad de que falten o se omitan interacciones importantes con otros sistemas.

Principio 6: Al clasificar las suboptimizaciones, deben preferirse las que satisfacen los requerimientos del enfoque de sistemas a las que resultan del "incrementalismo desarticulado" o "mejoramiento de sector".

Principio 7: Al principio de razonamiento limitado lo interpretan Miller y Starr como sugerente de que no debiéramos "suponer un extremo irracional del razonamiento", es decir, puede ser más fructífero considerar "óptimos inmediatos" en nuestra búsqueda por el "óptimo final" y revisar varias veces nuestros objetivos y valores, a lo largo del camino", lo cual conduce al principio 8.

Principio 8: "Puede mejorarse el grado de suboptimización con el tiempo si se toman decisiones que permitan una amplia variedad de eventualidades." Nuestro conocimiento actual del proceso de decisión no nos permite expresar cuál camino tomar en el árbol de decisión para llegar al óptimo global. Este problema se ha estudiado en el contexto del proceso de investigación y desarrollo (R & D).

Principio 9: Buscar el óptimo global es algo parecido al modelo de "medios-fines". No sabemos si debemos trabajar hacia adelante o hacia atrás en la cadena de medios-fines; sin embargo, siempre habremos de esforzarnos por establecer medios (fines intermedios) que están de acuerdo con los fines.

5.2.3 Diferencias entre el diseño real y el óptimo (costos de oportunidad)

Un coste no es únicamente un desembolso de dinero para realizar algún pago. Un coste también suele ser no recibir algún beneficio. A estos costos se les conoce como costos de oportunidad. Los costos de oportunidad se presentan en los proyectos de inversión cuando la empresa debe usar recursos que ya tiene para realizar dicho proyecto. Por ejemplo, imagine que una empresa cuenta con un edificio que se usó como almacén hace algunos años, pero que ahora está vacío. Por su ubicación y otras características, ahora se está considerando la posibilidad de acondicionar el antiguo almacén para utilizarlo como sala de exhibición de los productos de la empresa, lo cual requeriría una inversión relativamente pequeña.

Desde luego, si se lleva a cabo el proyecto no se produciría un desembolso de efectivo por concepto de la compra o construcción de un nuevo edificio, puesto que ya se tiene uno. Sin embargo, el uso del edificio no es gratuito, ya que se estaría usando un recurso valioso que se tiene en el proyecto de la sala de exhibición. Aun cuando la empresa no lo está usando para sus operaciones ni lograría usarlo en el futuro, el edificio se podría vender. En consecuencia, el uso del almacén para convertirlo en sala de exhibición representa un coste de oportunidad, que es un coste relevante que habrá de considerarse al evaluar el nuevo proyecto.

Suponga ahora que el edificio del almacén tuvo un coste original de $500,000 y que por su antigüedad cuenta con un valor contable en libros de $200,000. ¿Deberían considerarse los $500,000 o los $200,000 como el coste de oportunidad de este edificio? En realidad ninguna de estas dos cantidades habría de ser tomada como el coste de oportunidad. Los $500,000 pagados originalmente por el edificio son un coste hundido, mientras que los $200,000 son solo un valor en libros con fines de registro y otros propósitos. El coste de oportunidad real del edificio sería el valor de mercado que se obtendría si se vendiera en este momento.

Consideremos un último caso. Imagine que el edificio se está arrendando a otra empresa que lo usa como bodega. Si se realiza el proyecto de acondicionar el antiguo almacén como sala de exhibición, el edificio se dejaría de rentar y, por lo tanto, la renta que se recibe por este concepto ya no se obtendría. Este dinero no percibido sería, desde luego, un coste de oportunidad que debería considerarse.

El hombre económico contra el hombre organización

Han surgido serias preguntas en cuanto a si el director de negocios o el hombre de negocios puede perseguir seriamente el objetivo de maximizar beneficios. Según las palabras de H. Simon, "en tanto que el hombre económico maximiza... el hombre administrativo [hombre organización] satisface. Los seres humanos... satisfacen, debido a que no cuentan con la imaginación para maximizar".

El hombre de negocios no es el "hombre económico" de la teoría microeconómica que cuenta con información "perfecta" y opera en mercados perfectos. Más bien, él es el "hombre organización" atrapado en la trama y complejidad del medio imperfecto de negocios. El supuesto de "maximizar beneficios" habrá de descartarse por la idea más plausible de una "recuperación satisfactoria".

Beneficios a discreción

Los "beneficios a discreción" describen la desviación entre los beneficios o reembolsos máximos que un director podría declarar disponibles para los accionistas y la cifra real que se pone a disposición para ese propósito. La diferencia que puede utilizarse para incrementar la entrada anual neta, muestra la "discreción" que tiene el director al poner estos reembolsos a disposición de los dueños de la empresa o de los accionistas.

EVALUACIÓN DE INTERCAMBIOS

Equilibrio de costos, encuentro del punto de intercambio

Como lo ilustran los casos que se acaban de describir, muchas situaciones involucran costos que tienden hacia direcciones opuestas, es decir, algunos costos aumentan con un incremento en la variable independiente, en tanto que otros disminuyen. Debe encontrarse un óptimo en el cual se minimice la suma de esos costos, como se muestra en los ejemplos que siguen.

Costos de inventario de lotes comprados bajo certidumbre

Ejemplo de modelo de inventario para artículos comprados. Bajo condiciones de certidumbre, con demanda constante y por anticipado, el coste total de mantener un inventario de lotes comprados consiste de: *a)* coste de compra de los artículos, *b)* coste del pedido, y *c)* coste de almacenamiento y transporte de los artículos. En este caso se supone que los costos de déficit son cero. Entonces, el coste total es:

CT = coste de compra + coste de pedido + coste de transporte y almacenamiento

Matematicamente,

$$CT = D^* c + D/Q^*S + Q/2^*c^*I$$

donde

CT = coste total
D = tasa anual de demanda
C = coste por unidad
Q = cantidad de artículos pedidos
S = coste de colocación del pedido
I = coste del capital, en porcentaje del valor del inventario promedio

Como se muestra en la tabla, el coste de compra es constante con Q, en tanto que los otros dos costos tienden hacia direcciones opuestas.

Costos	Expresión	Tendencia
Coste de compra	*D*c*	Constante con Q
Coste de pedido	D/Q*S	Disminución con incremento de Q
Coste de manejo	*Q/2*c*I*	Aumento con aumento de Q

Llega a encontrarse una cantidad óptima Q*, donde la función del coste total *CT* se minimiza. Las desviaciones en cada lado de Q* conducen o bien a no ordenar lo suficiente (e incurrir en altos costos de pedido, pero costos bajos de transporte) o a pedir demasiado (e incurrir en bajos costos de pedido, pero costos proporcionalmente elevados de transporte). Q* se denomina el "punto de cambio" donde la suma de los "costos de tendencias opuestas" se minimizan. (Véase la figura 5.6.)

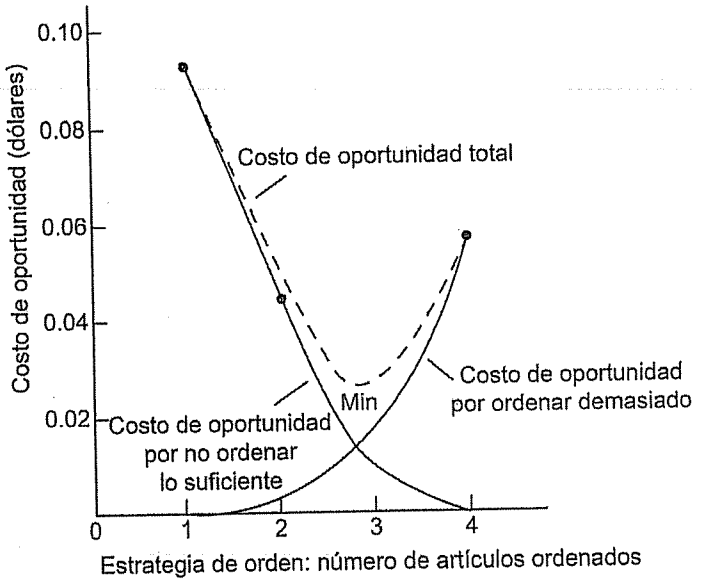


Figura 5.6. Encontrar el punto de intercambio para costos de inventario bajo riesgo.

Costos de inventario de lotes comprados bajo riesgo

El problema: Un muchacho vendedor de periódico tiene que decidir cuántos periódicos comprar, puesto que la información acerca del número de clientes se expresa en forma de una distribución de frecuencia de la demanda, se maneja como sigue:

a) Matriz de pago neto

		Estados de naturaleza			
Probabilidades		0.05	0.25	0.50	0.20
Demanda		1	2	3	4
	1	0.05	0.05	0.05	0.05
Estrategia de pedido	2	0.00	0.10	0.10	0.10
	3	-0.05	0.05	0.15	0.15
	4	-0-10	0.00	0.10	0.20

b) Matriz de coste de oportunidad

		Estados de naturaleza			
Probabilidades		0.05	0.25	0.50	0.20
Demanda		1	2	3	4
	1	0.00	0.05	0.10	0.15
Estratégia de pedido	2	0.05	0.00	0.05	0.10
	3	0.10	0.05	0.00	0.05
	4	0.15	0.10	0.05	0.00

Cantidad de periódicos	1	2	3	4
Probabilidad de venta	0.05	0.25	0.50	0.00

Tabla 5.2. Matriz de pago y de coste de oportunidad para una situación de inventario con riesgo

El muchacho paga $0.05* por cada periódico que compra y luego lo vende en $0.10. No recibe nada por periódicos comprados y no vendidos.

Matriz de pago

La solución a este problema de decisión involucra el cálculo de una matriz de pago, como se muestra en la tabla 5.2 a, que indica el pago neto por cada posible alternativa. El pago depende de la estrategia de decisión (número de periódicos comprados) y el estado de naturaleza (número de periódicos demandados). Por lo tanto, si el vendedor de periódicos compra un periódico, su ganancia neta es de solamente $0.05, ya sea que la demanda sea de 1, 2, 3 o 4 periódicos. Otras ganancias netas llegan a calcularse en forma similar.

Las mejores estrategias para cada estado de naturaleza

Para cada estado de demanda, existe una estrategia de decisión óptima:

Si la demanda es de 1, la mejor estrategia es ordenar 1 periódico. La ganancia neta es:

Utilidad – coste = 0.10- 0.05 = + 0.05

Matriz de coste de oportunidad

Para cada estado de demanda, cualquier decisión tomada, además de la mejor estrategia, implica una pérdida o un *coste de oportunidad.* Por lo tanto, si la demanda es de 1 y el vendedor de periódicos ordena 2, su ganancia neta es cero, cuando podría haber sido de $0.05. Éste es el *coste de oportunidad al que se incurre por ordenar demasiado.* Si, por otro lado, ordena 1 cuando la demanda es de 2, su ganancia neta es de $0.05, cuando la estrategia óptima para esta demanda podría haberle dado $0.10 (véase antes). A la diferencia de $0.05 se le llama *coste de oportunidad al que se incurre por no ordenar lo suficiente.* La matriz de coste de oportunidad de la tabla 5.1b muestra para cada estado de demanda y para cada estrategia de decisión el coste de oportunidad por no adoptar la estrategia óptima. Las entradas en las celdas por arriba de la diagonal principal son los costos de oportunidad a los que se incurre por no ordenar lo suficiente; los que se encuentran por debajo de la diagonal, son los costos de oportunidad en los que se incurre por ordenar demasiado. El valor esperado de esos costos de oportunidad es posible calcularlos como se muestra en la tabla 5.2.

Estrategia de pedido / Cantidad ordenada	Valor esperado del coste de oportunidad al no ordenar lo suficiente	Valor esperado del coste de oportunidad al ordenar demasiado	Valor esperado del coste total de oportunidad
1	$0.0925	$0.0000	$0.0925
2	0.045	0.0025	0.0475
3	0.010	0.0175	0.0275 Min
4	0.000	0.0575	0.0575

Tabla 5.3 Valor esperado de costos de oportunidad

Si la demanda es de 2, la mejor estrategia es ordenar 2, con una ganancia neta de $0.10.

Si la demanda es de 3, la mejor estrategia es ordenar 3, con una ganancia neta de $0.15.

Si la demanda es de 4, la mejor estrategia es ordenar 4, con una ganancia neta de $0.20.

La figura 5.6 ilustra la tendencia opuesta de cada coste de oportunidad. Dada esta situación con riesgo, la estrategia de decisión óptima se encontrará minimizando la suma de los dos costos de oportunidad. En este caso, tal condición ocurre para una estrategia de compra de 3, donde se incurrió en un coste de oportunidad total mínimo de $0.0275.

Ejemplo: La decisión de no controlar los precios del petróleo

Una evaluación formal de intercambios involucra una consideración de:

El impacto de la decisión en todas las partes involucradas.

Los costos de oportunidad que surgen de elegir una alternativa sobre la otra.

La decisión de retirar el control sobre los precios del petróleo o mantenerlo, proporciona un ejemplo de cómo la evaluación de las consecuencias y la de alternativas puede realizarse. El ejemplo se basa en un hecho verdadero, aunque todas las consecuencias listadas no estuvieron realmente documentadas. El lector también se dará cuenta que para facilitar el tratamiento de la situación se ha sobresimplificado a la consideración de dos alternativas.

En 1975, la administración Ford, en Estados Unidos, consideraba la posibilidad de retirar el control doméstico en el precio del petróleo. Las consecuencias de tal decisión son múltiples.

La tabla 5.4 lista los impactos bajo dos categorías:

1. Impactos del retiro de los controles
2. Impactos del mantenimiento de los controles y cómo afectarán a los siguientes sectores: consumidores, compañías petroleras, fabricantes de automóviles, otros fabricantes, transporte público, diseminación urbana y uso de terrenos, fuentes de energía, además de petróleo, comercio del consumidor, empleo y desempleo.

	Alternativa 1	*Alternativa 2*
	Eliminación de controles sobre los precios del petróleo	*Los controles sobre los precios del petróleo son mantenidos*
Sobre consumidores	Precios más elevados de la gasolina; cambio de ingresos disponibles; se gasta más en gasolina, menos en otros bienes como viajes, actividades de ocio, etcétera	Con los precios relativamente bajos, los consumidores tienden a la complacencia; hacen usos extravagantes sin considerar el desperdicio. Ignorancia del coste real.

En las compañías petroleras	Aumento de beneficios; estimulo al crecimiento y desarrollo de nuevas fuentes	Con el precio del petróleo mantenido artificialmente bajo, las compañías petroleras venden el petróleo al extranjero, lo que conduce a déficits domésticos; puede desanimar a los productores marginales con bajo nivel de productividad
Sobre los fabricantes de automóviles	Los consumidores conscientes del precio de la gasolina cambian su preferencia a autos más pequeños, con un menor consumo de combustible; los fabricantes de automóviles fabrican autos pequeños más eficientes	Se desaprueba el desarrollo de automóviles más potentes
Sobre otros fabricantes	Aumentan los beneficios de las industrias dependientes del petróleo (temporalmente), transporte público y proveedores alternativos de energía	Algunos fabricantes fuera de la industria del petróleo se perjudican debido a los bajos precios del petróleo mantenidos en forma artificial
En el transporte	Se estimula el interés por los métodos de transporte público	Los consumidores prefieren la comodidad de su propio auto al transporte público
Sobre la tendencia a la expansión suburbana y el uso de terrenos	Con el incremento en el coste del transporte en automóvil, las personas reevalúan el éxodo en masa a los suburbios y se ven alentados a vivir más cerca de su lugar de trabajo; el centro de la ciudad se vuelve más popular que los suburbios	Los consumidores viajan cada vez más lejos desde el hogar al trabajo, sin considerar el coste
Sobre otras fuentes de energía	Los precios del petróleo más elevados pueden fomentar fuentes alternas de energía	El desarrollo de fuentes de energía que no son el petróleo carecen de fomento; el país se basa en una sola fuente de energía
Sobre el comercio del consumidor	La cantidad de ingresos disponibles gastados en artículos para el consumidor disminuye en proporción al mayor-gasto individual en gasolina y petróleo	El ramo del consumidor se beneficia a expensas de las compañías en lubricantes e industrias relacionadas

Sobre el empleo y desempleo	Ocurren cambios de empleo y desempleo relacionados directamente con los cambios mencionados	

Tabla 5.4. Impacto de las alternativas

	Alternativa 1 *Eliminación de controles sobre los precios del petróleo*	*Alternativa 2* *Los controles sobre los precios del petróleo son mantenidos*
	A lo que se renuncia cuando se elige la alternativa 1 en lugar de la 2	A lo que se renuncia cuando se elige la alternativa 2 en lugar de la 1
Por los consumidores	Artículos de consumo y de ocio que deben comprarse con dinero adicional, no dedicado a pagar gasolina	
Por las compañías petroleras	Ganancias por el comercio con el extranjero (se supone que los precios más elevados del petróleo fomentan el incremento de ventas en el país)	Ganancias en el mercado nacional (se supone que los precios bajos nacionales fomentan las ventas al extranjero)
Por los fabricantes de automóviles	Un beneficio más elevado por unidad de autos grandes; deben emplearse fondos para desarrollar nuevos autos pequeños (un costo de oportunidad aparece si la compañía no planeaba emplear fondos en diseño, ingeniería y desarrollo)	Nuevas ventas a consumidores que cambian de autos más grandes a más pequeños
Por otros fabricantes	Aquellos que se perjudicarán por los cambios en las preferencias de los consumidores	Las industrias que sufren debido a falta de interés en el transporte público y fuentes alternativas de energía

Tabla 5.5. Costos de oportunidad de las alternativas

	Alternativa 1 *Eliminación de controles sobre los precios del petróleo*	*Alternativa 2* *Los controles sobre los precios del petróleo son mantenidos*
Por el transporte público		Este sector se priva de inversiones e ingresos que hubiera ganado si el interés en el transporte público se hubiese mantenido
Por la tendencia a la expansión suburbana y el uso de terrenos	Negocios afectados si las personas abandonan los suburbios	Los citadinos sufren la desbandada de capital y residentes
Por los que fomentan otras fuentes de energía		Pérdida de interés, actividad de inventiva y capital invertido por los capitalistas de fuentes alternas de energía; pérdida de la capacidad de defensa debido a la confianza desmedida en una sola fuente de energía como el petróleo
Por el consumidor	Pérdida de entradas que se utilizan para pagar los precios más elevados de la gasolina	
Por el empleo y desempleo	Pérdidas en sectores de bajos ingresos debido a cambios en la demanda del consumidor	Pérdida de oportunidades en sectores que deben beneficiarse de los precios más elevados del petróleo, como la industria relacionada a éste y productores de energía alternativa
	Costos totales de oportunidad debido a la renuncia a la alternativa 2	Costos totales de oportunidad debido a la renuncia a la alternativa 1

Costos netos de oportunidad: Calcúlese la diferencia entre los costos totales de oportunidad de arriba.

Selección: Elíjase la alternativa con el costo oportunidad *más bajo*; es decir, elíjase la alternativa 1 si los costos totales de oportunidad en la columna 1 son *más bajos* que los costos totales de oportunidad en la columna 2, y viceversa.

Tabla 5.5. Costos de oportunidad de las alternativas (*continuación*)

Sin duda el lector pensará en otros grupos afectados, que se pasaron por alto o se omitieron, con propósito de simplificación. Después de elaborar una tabla que lista todos los efectos posibles de la decisión, habrá de considerarse su coste. La tabla 5.5 intenta mostrar cómo puede hacerse esto. Los costos de oportunidad para cada alternativa deben identificarse y evaluarse.

Algunas de las oportunidades olvidadas se prestan a cuantificación, otras no. Como un ejemplo, parece ser que el retiro del control sobre los precios del petróleo reducirá la proporción de recreación y de otros artículos que los consumidores deben remplazar en su presupuesto por la elevación del precio de la gasolina. En este punto, la tabla no aclara lo que se requiere dar a entender por "recreación" ni especifica qué artículos se verán afectados. Las respuestas a esas preguntas requieren una investigación colateral.

Nótese también que los cambios de esta naturaleza implican elecciones valorativas como las preguntas en cuanto a que debe proporcionársele al consumidor más "recreación", los pesos diferenciales de varias clases de comodidades y el papel de la comodidad en la calidad de vida, preguntas que tendrán que responderse antes que se evalúen estos impactos. La tabla muestra un agregado a la "proforma" de costos de oportunidad en cada columna. Por último, los costos netos de oportunidad llegan a calcularse y hacer una elección. La regla expresa: elegir la alternativa con el coste total de oportunidad más bajo. Un refinamiento de este procedimiento consiste en considerar en forma diferente varios impactos; por lo tanto, los costos de oportunidad encontrados en un sector logran valuarse más o menos como los de otro sector. Los impactos no cuantificables deben moderar los cuantificables. En caso de eliminar o no los controles en el precio del petróleo, un autor de decisiones, como el presidente de una nación, habrá de considerar los efectos nacionales y los internacionales. La decisión implica más que desviar miles de millones de dólares de un mercado a otro. Lo anterior estimula a algunos sectores y desanima a otros; puede conducir a elevadas ganancias en petróleo y a otras más bajas en las industrias del consumidor. Además, aparte de las consideraciones económicas, nunca se deben descontar los efectos políticos de largo alcance de tales decisiones, las cuales habrán de destacar en la mente de un presidente.

Un ejemplo de programación lineal[3]

La compañía Quality Baking produce dos clases de galletas, que se venden por $0.20 y $0.30 la docena, respectivamente. La panadería no tiene dificultad para vender todas las galletas que produce. El problema que enfrenta la dirección es diferente. Hay solamente 10 horas de trabajo disponibles y la capacidad del horno se limita a 80 docenas de galletas. Para elaborar una docena de galletas se necesita 0.1 hora de trabajo para las galletas de la primera clase y 0.2 horas para las galletas de la segunda clase. Toma la misma cantidad de tiempo hornear cualquier clase de galletas. ¿Cómo se

[3] Enunciado del problema de C. A. Theodore, *Applied Mathematics: An Introduction*, Richard Irwin, Inc. Homewood, Ill, 1965, p.300.

asigna la dirección los recursos limitados de trabajo y capacidad del horno de manera que asegure la ganancia más alta posible?

Formulación matemática

Sea x_1 = una docena de galletas de la primera clase
x_2 = una docena de galletas de la segunda clase
Función objetivo:

Maximizar $Z = 0.2\,x_1 + 0.3x_2$ (1)

Sujeto a
$0.1x_1 + 0.2x_2 \leq 10$ (2)
o
$x_1 + 2x_2 \leq 100$ (3)
y
$x_1 + x_2 \leq 80$ (4)
con
$x_1 \geq 0$ (5)
$x_2 \geq 0$ (6)

Solución gráfica

La figura 5.7 representa el área de soluciones factibles y la familia de líneas de isobeneficio. El área factible está limitada por las cuatro restricciones dadas por las desigualdades (3), (4), (5) y (6).

La función objetivo representa una familia de líneas de isobeneficio. Para cada valor de Z se obtiene una de las líneas de isobeneficio de la familia.

$Z = 0.20x_1 + 0.30x_2$

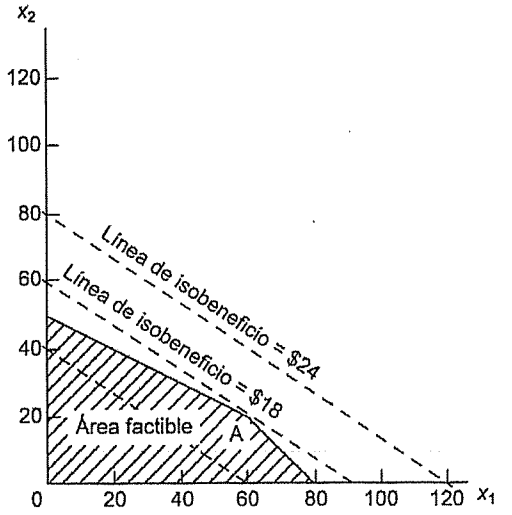


Figura 5.7 Área de soluciones factibles y líneas de isobeneficio

El lugar geométrico de beneficio igual

$Z = 12 = 0.20x_1 + 0.30x_2$ tiene las siguientes intersecciones con los ejes

$(x_1 = 0, x_2 = 40)$ y $(x_1 = 60, x_2 = 0)$ Para $Z = 24 = 0.20\,x_1 + 0.20\,x_2$, las intersecciones son $(x_1 = 0, x_2 = 80)$ y $(x_1 = 120, x_2 = 0)$ Para
$Z = 18 = 0.20x_1 + 0.30X_2$

Se obtiene

$(x_1 = 0, x_2 = 60)$ y $(x_1 = 90, x_2 = 0)$

La solución del problema consiste en encontrar la línea de isobeneficio que es tangente al área de soluciones factibles y que da la ganancia más alta.

El punto de tangencia es el punto A en la intersección de las líneas

$X_1 + 2x_2 = 100$ y $x_1 + x_2 = 80$

Las coordenadas del punto A son

$(x_1 = 60, x_2 = 20)$

La ganancia máxima en ese punto es

$Z = 0.20\,(60) + 0.30\,(20) = \$18$

A la compañía Baking Quality se le aconseja ubicar sus recursos de manera que produzca 60 docenas de galletas de la primera clase y 20 docenas de la segunda clase, con lo cual maximizará su ganancia a $18.

Explicación de los intercambios con la tabla simplex

El problema de la panadería Quality se expresó como

Máximizar $Z = 0.20x_1 + 0.30x_2$

Sujeto a

$$x_1 + 2x_2 \leq 100$$

y

$$x_1 + x_2 \leq 80$$

con

$$x_1 \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

Se pueden escribir las restricciones como

$X_1 + 2x_2 + x_A = 100$ (trabajo)
$X_1 + x_2 + x_B = 80$ (horneado)

donde x_A es una variable de holgura que explica el exceso de capacidad en las horas de trabajo que hay en la compañía Baking Quality y x_B es una variable de holgura que representa el exceso de capacidad de horneado.

Cuando no se producen galletas, es decir, $x_1 = 0$ y $x_2 = 0$, se tiene
$x_A = 100$ y $x_B = 80$

El método simplex de solución es un algoritmo que conduce a la solución óptima en un número finito de pasos. Utilizaremos la primera tabla en la solución simplex (véase la tabla 5.5a) para ilustrar el tipo de cambios que se realizan, con la finalidad de mejorar la solución paso a paso. La mezcla de la solución inicial se estructura por x.4 y *x, en* donde x,= 100 y *x,* = 80, es decir, la capacidad de exceso está al máximo y no se producen galletas (esto equivale a decir x, = 0 y *x2* = 0, ya que no aparecen en la solución).

Para $x_A = 100$ y $x_B = 80$, la ganancia está dada por
$Z = (100 \times 0) + (80 \times 0) = 0$

Tasas físicas de sustitución e intercambios

Los números que aparecen en las últimas dos columnas de la primera tabla en la solución simplex pueden interpretarse como *tasas físicas de sustitución.* Se reproducen en la tabla 5.7. Para cada unidad de x, introducida en la solución, una hora de trabajo y una unidad de capacidad de horneado deben removerse de la capacidad de exceso. Expresado de otra manera: para cada unidad de x_1, que se produce ahí, es una hora menos de trabajo y una unidad menos de la capacidad del horno disponible. Cada unidad de x_1, proporciona $0.20; por lo tanto, el valor neto de cada unidad de x_1 que se introduce en la solución es

$0.\,20 - 1\,(0) - 1\,(0) = \$0.20$

Para cada unidad de x_2, introducida en la solución, deben eliminarse dos unidades de trabajo y una unidad de la capacidad del horno. El valor neto de cada unidad de x_2 incluida en la solución es

$0.\,30 - 2(0) - 1\,(0) = \$0.30$

Este razonamiento muestra que es ventajoso introducir x_2 en la solución, ya que la ganancia neta por unidad de x_2 es mayor que x_1.

El método simplex procede a examinar las mezclas alternativas de productos en forma selectiva, hasta que encuentre la que maximice la función objetivo. De todas las alternativas posibles, una es que $x_1 = 60$ y $x_2 = 20$ proporcione el beneficio óptimo. Con la finalidad de que dé resultado el método simplex de programación lineal, debemos saber: **1.** el ingreso por unidad de cada producto, y **2.** la cantidad de cada recurso

requerido para cada producto. Las cantidades de cada recurso utilizado por unidad de cada producto representan las tasas físicas de sustitución entre productos, en la solución.

Precios sombra y costos de oportunidad de intercambios

El programa lineal y su solución pueden proporcionarle al autor de decisiones posteriores conocimientos sobre el problema de ubicar los recursos y sobre los costos de oportunidad de poner a trabajar más recursos. Si se incrementara la cantidad disponible de cualquiera de los recursos que ahora no son suficientes, el ingreso máximo que se obtendría del programa sería incrementado. Ilustremos este punto.

Problema original:

$$\text{Maximizar } Z = 0.20x_1 + 0.30x_2$$

sujeto a

$$\begin{aligned} x_1 + 2x_2 &\leq 100 \quad \text{(trabajo)} \\ x_1 + 2x_2 &\leq 80 \quad \text{(capacidad de horneado)} \\ x_1 &\geq 0 \\ x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

donde x_1 es el número de docenas de galletas de la primera clase y x_2 es el número de docenas de galletas de la segunda clase. Si la cantidad disponible de horas de trabajo se incrementara en una unidad, el ingreso aumentaría. Resolviendo para

$$\begin{aligned} x_1 + 2x_2 &= 101 \\ x_1 + x_2 &= 80 \\ \hline x_2 &= 21 \\ x_1 &= 59 \end{aligned}$$

Con una recuperación de:

$$Z = 0.20(59) + 0.30(21)$$
$$11.8 + 6.30 = \$18.1$$

Al liberar una unidad adicional de trabajo, el ingreso se habrá incrementado $0. 1.

Si en vez de tener disponible una unidad extra de trabajo fuéramos a poner a disposición una unidad de la capacidad del horno, se cambiaría la segunda restricción y la solución sería (por coincidencia) la misma que la de arriba. Resolviendo para

$$\begin{aligned} x_1 + 2x_2 &= 100 \\ x_1 + x_2 &= 81 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_2 &= 19 \\ x_1 &= 62 \end{aligned}$$

con la misma recuperación

$$Z = \$18.1$$

En términos formales, la recuperación marginal con respecto al primer recurso (dz/db_1 = ingreso marginal con respecto al recurso bj o el coste de oportunidad de liberar la restricción por una unidad extra es equivalente a $0.1. Este es el ingreso adicional que se obtiene por hacer la restricción menor válida. El ingreso marginal con respecto al segundo recurso (d_z/db_2) proporciona el mismo coste de oportunidad, es decir, $0. 1.

A estos costos de oportunidad también se les llaman precios sombra; son los que y proporcionan al autor de decisiones mediciones para evaluar intercambios. El autor de decisiones puede evaluar los efectos de aumentar los recursos que no son suficientes y determinar cuánto desearía pagar para obtener más de ellos. En nuestro problema, no habrá de pagar más de $0.1 por unidad de trabajo o una unidad de la capacidad del horno porque esto es lo más que llegan a proporcionar estos recursos adicionales. Un dividendo extra de la solución simplex de programación lineal es que los precios sombra se calculan en forma explícita.

Para los lectores que se sienten ambiciosos, las tres tablas del problema que tratamos se muestran en la tabla 5.6 (parte *a, b y c),* con los precios sombra $dz/db_1 = 0.1$ *y* $dz/db_2 = 0. 1$ mostrados al final de la tercera tabla. Puede observarse que los precios sombra del problema primal son las soluciones del problema dual y que los precios sombra del problema dual son las soluciones del primal. De aquí, el problema dual suele utilizarse para calcular los costos de oportunidad de liberar restricciones en el primal.

El problema de programación lineal es importante, debido a que ilustra un modelo que puede utilizarse para calcular la *mezcla de alternativas de solución que maximizan la función objetivo.* Cuando solo existen dos alternativas (representadas por dos variables x_1 *y* x_2), el problema llega a resolverse gráficamente. Lo que le proporciona fuerza al método de solución de programación lineal es que este puede utilizarse para resolver un problema con un gran número de alternativas y restricciones. Aquí se encuentra también la fuerza de los métodos cuantitativos y del razonamiento matemático: en tanto que el autor de decisiones logra manejar solo un número limitado de alternativas, y lo mejor es encontrar una solución satisfactoria, no óptima, por prueba y error; la programación matemática se extiende y agudiza su capacidad.

(a) Primera tabla

Solución Mezcla				0.2	0.3
C_j		X_A	X_B	X_1	X_2
0 X_A	100	1		1	2
0 X_B	80		1	1	1
Z_j	0			+(1 x 0) +(1 x 0) - 0.2 - 0.2	+(2 x 0) +(1 x 0) -0.3 -0.3
$Z_j - C_j$					

(b) Segunda tabla

C_j		X_A	X_B	X_1	X_2
0.3 X_2	50	½	0	½	1
0 X_B	30	—½	1	½	0
Z_j	15			+(½ x 0.3) +(½ x 0) - 0.2 - 0.05	+(1 x 0.3) +(0 x 0) -0.3 0
$Z_j - C_j$					

(c) Tercera tabla (Final)

C_j		X_A	X_B	X_1	X_2
0.3 X_2	20	1	—1	0	1
0 X_1	60	—1	2	1	0
Z_j	18				
$Z_j - C_j$		+0.3 - 0.2 - 0.1	-0.3 +0.4 0.1		

Precios sombra

Tabla 5.6 Solución simplex de programación líneal

Mezcla solución		Candidatos a introducir	
	Retorno / unidad	$0.20	$0.30
		X_1	X_2
X_A	Trabajo disponible	1	2
X_B	Capacidad del horno	1	1

Tabla 5.7 Tasas físicas de sustitución, como se muestra en la tabla simplex

La programación matemática le proporciona:

1. Una muestra formal de las alternativas y su mezcla.
2. Una expresión de cómo se utilizan y ubican los recursos limitados.
3. La utilización de tasas físicas de sustitución para decidir cambios en la mezcla.
4. Una solución óptima que recomienda una mezcla definitiva de alternativas.
5. Los costos de oportunidad (precios sombra) para efectuar intercambios.

5.2.4 Predicción de resultados futuros (prospectiva)

Definición de prospectiva

Etimológicamente prospectiva viene de la palabra *prospectus*, que significa "mirar hacia adelante". La prospectiva como disciplina intelectual surge en Francia, por iniciativa de uno de sus creadores, Gastón Berger, en 1967, quien la define "de acuerdo con cuatro principios: Ver lejos, ver amplio, analizar en profundidad y aventurarse, a lo que añadía "pensar en el hombre".[11] En esencia nos permite visualizar el futuro y actuar en el presente. La prospectiva no pretende adivinar la ocurrencia de un hecho (óptimo o pésimo), sino que busca reducir de manera notable la incertidumbre en torno a su ocurrencia, con sus potentes "faros anticipatorios", con los que ilumina las acciones que se deben tomar en el presente.

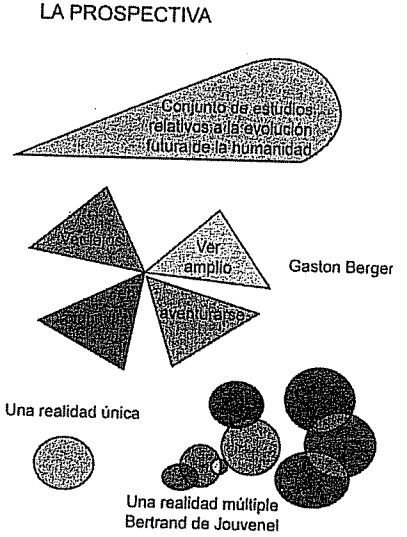


Figura 5.8 La prospectiva

La prospectiva, por lo tanto, no solo pretende conocer **el futuro** de manera anticipada sino, fundamentalmente, diseñarlo y construirlo de modo colectivo en forma participativa.[12]

Además, la prospectiva no concibe el futuro como realidad única, sino como realidad múltiple, considerando que existen "futuribles" o futuros posibles, tal como lo planteara Bertrand de Jouvenel.[13]

El *Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española* (© 2005 Espasa-Calpe) lo define así:

Prospectivo, va.
adj. Relativo al futuro.
Presupuesto prospectivo.
f. Conjunto de análisis y estudios sobre las condiciones técnicas, científicas, económicas y sociales de la realidad futura con el fin de anticiparse a ello en el presente: han encargado una prospectiva sobre la vida laboral en el año 2005.

Real Academia Española © Todos los derechos reservados
Prospectivo, va:
(Del lat. *prospicere*, mirar).
1. adj. Que se refiere al futuro.
2. f. Conjunto de análisis y estudios realizados con la finalidad de explorar o de predecir el futuro en una determinada materia.

APROXIMACIONES AL FUTURO

El futuro atrae e intriga a todos; se le quiere conocer para manipularlo y cambiarlo, razón por la cual han surgido las artes adivinatorias, las premoniciones, las predicciones, las proyecciones y muchas de las creencias en la magia, la brujería, así como gran número de ritos.

El hombre, desde siempre, ha permanecido deseoso de conocer su futuro, como también lo estuvo de conocer su entorno; uno de los elementos clave de la civilización tiene que ver con ese deseo de conocimiento del entorno y del futuro, diferencia fundamental que el hombre tiene sobre cualquier otro ser vivo; el hombre piensa, siente, posee intencionalidades e inteligencia, lo que le permite construir el conocimiento y, además, amar la construcción del conocimiento. El hombre no solo ha intentado vislumbrar su futuro; ha generado también mejores formas de alcanzarlo. Su inquietud sobre el porvenir no ha cambiado mucho a lo largo de la historia, lo que ha variado es la forma de investigarlo: consultando oráculos, proyectando datos, realizando pronósticos, preguntando a expertos, por nombrar algunos.

En la búsqueda de ese descubrimiento aparecen diversos métodos, desde los más primitivos (la mayoría provenientes de la Antigüedad y la Edad Media, de los cuales muchos de ellos coexistentes aun hoy) hasta los relativamente modernos y más sofisticados.

A nadie escapa la trascendencia de las ancestrales profecías, algunas teñidas de misticismo y otras de naturaleza pragmática. Todos, con seguridad, han escuchado o leído acerca de los profetas griegos, egipcios, chinos o mayas; de Delfos, Nostradamus y de la Biblia; de los lectores del Tarot, del asiento del café, del humo del cigarro, del vaso de agua, de las líneas de la mano y de los huesitos de pollo, etcétera.

A lo largo de la historia han existido iluminados que se atrevieron a plantear profecías, muchas de estas sobre eventos que habrían de ocurrir de todos modos (enamoramientos, invasiones, guerras, catástrofes naturales, ventas previas de las acciones, entre un sinnúmero). Muchos de los elementos del pasado permitían que se visualizara el futuro, como destino, como algo ineludible, como algo que ocurrirá inevitablemente. El hombre estaba sujeto a pensamientos y sentimientos que le generaban esperanzas o temores, algunos más y otros menos fundamentados.

Ciertos autores de ciencia ficción plantearon visualizaciones de futuro; por ejemplo: Julio Verne y Herbert G. Wells aportaron visiones de futuro que resultaron acertadas. Lo peculiar es que autores como Wells, quien estuvo ligado al mundo de la ciencia, imaginó en sus novelas el avión, los tanques y la bomba atómica; sin embargo, cuando le solicitaron pronósticos "serios" consideró que la transportación aérea no tenía futuro, que los tanques no serían una invención razonable y que pasarían siglos antes de que las teorías de Einstein lograran aplicarse para dominar la desintegración energética de la materia.

En el caso de Julio Verne, quien no tuvo contacto estrecho con la ciencia, llaman la atención sus fantasías plasmadas en sus libros *La vuelta al mundo en ochenta días* y *De la Tierra a la Luna*, por la capacidad creativa de acercamiento a un futuro que en efecto sucedió, aunque no en la época predicha. La ciencia de ese entonces obligaba a ser mucho más conservador en la creatividad de lo que la ficción literaria permitía.

Si bien, muchos de estos previsionistas no fueron en un principio más que novelistas creativos y visionarios aficionados, en un cierto paralelismo se observa que de la fantasía se pasa a una exacerbada imposición del método científico, destacando quizá Condorcet como el introductor de este método en el campo de las predicciones del futuro. Lo llamativo aquí es que se llegó a creer en la ciencia a pie juntillas sin una visión crítica. Se cree (acto de fe, de creencia) en elementos de la ciencia como absolutamente certeros; en forma práctica, también se llegó a endiosar a la ciencia. Por ejemplo: se consideró que las matemáticas, la más exacta, pura y libre de las ciencias, no podrían equivocarse, que al utilizarlas se tendría seguridad y certeza. Hoy se confirma que el empleo de la ciencia, de manera acrítica, conduciría a conclusiones equívocas.

Proyectar el futuro en vez de padecerlo

Desde tiempos remotos, el hombre ha manifestado preocupación en conocer por anticipado aquello a que deberá enfrentarse en el tiempo por venir, como si de esta manera fuera a lograr esquivar su destino en el caso de malos augurios o bien cuando se trata de buenas perspectivas, tranquilizarse y disfrutarlas por adelantado.

Desafortunadamente, los oficios de adivinos y pitonisos han probado ser tan fascinantes como desacertados; en más de una ocasión, el encuentro con la realidad se ha traducido en la desilusión de vaticinios incumplidos.

Es posible asegurar que la idea de planear responde a esta lógica inquietud de la humanidad por conocer el tiempo y del administrador moderno por conocer el futuro, aunque con un enfoque más activo que la simple espera de su ocurrencia. Lo que se busca con la planeación no es tan solo el diseño de escenarios, sino también la manera de alterarlos y sacarles el mayor provecho. Se trata, por lo tanto, de llevar a cabo la acción de planear el futuro en vez de padecerlo.

PLANEACIÓN DE LA EMPRESA

Definiciones de planeación:

Ernest Dale: Determinación del conjunto de objetivos por obtenerse en el futuro y de los pasos necesarios para alcanzarlos a través de técnicas y procedimientos definidos.

George L. Terry: Planeación es la selección y relación de hechos, así como la formulación y el uso de suposiciones respecto del futuro en la visualización y formulación de las actividades propuestas que se creen sean necesarias para alcanzar los resultados deseados.

Joseph L. Massie: Método por el cual el administrador ve hacia el futuro y descubre los alternativos cursos de acción, a partir de los cuales establece los objetivos.

Robert N. Anthony: Planear es el proceso para decidir las acciones que deben realizarse en el futuro. Generalmente el proceso de planeación consiste en considerar las diferentes alternativas en el curso de las acciones y decidir cuál de ellas es la mejor.

Henry Sisk y Mario Sverdlik: Análisis de información relevante del presente y del pasado, así como una ponderación de probables desarrollos futuros, de tal manera que puedan determinarse unos cursos de acción que posibiliten a la organización lograr sus objetivos.

Elementos notables de los conceptos

Analizando detenidamente estas definiciones se observa que todos los autores mencionados consideran que el concepto de planeación comprende los siguientes elementos:

Objetivo: El aspecto fundamental de planear es determinar los resultados deseados (¿qué es lo que se quiere?).

Cursos alternos de acción: Al planear es necesario determinar diversos caminos, formas de acción o estrategias, para conseguir los objetivos.

Elección: La planeación implica la determinación, el análisis y la selección de la decisión más adecuada.

Futuro: La planeación trata de prever situaciones futuras y anticipar hechos inciertos, prepararse para contingencias y trazar actividades futuras.

Entonces, con los anteriores elementos, es posible definir a la planeación como:

La determinación de los objetivos y elección de los cursos de acción para lograrlos, con base en la investigación y elaboración de un esquema detallado que habrá que realizarse en un futuro.

La planeación de la empresa apareció primero en América del Norte a finales de la década de 1950, práctica que se extendió a otros países: Gran Bretaña, Francia y Alemania.

El sistema de planeación en las empresas surgió a partir de cuatro premisas básicas:

1. Antes de redactar un plan que se proyecta para lograr un objetivo, hay que decidir "qué es lo que se quiere lograr".
2. En épocas de cambios rápidos es necesario prever el futuro, tan lejano como se pueda, para anticipar estas transformaciones.
3. En lugar de considerar a una empresa como una cantidad de departamentos, debe considerársela como un todo (es decir, un sistema).
4. Dar toda su importancia al medio ambiente externo a la empresa antes de elaborar cualquier plan.

Estas premisas contienen un meollo de verdad; además, cuando se reúnen en un concepto aparece un nuevo y poderoso método, la "administración estratégica".

Planear es una de las actividades características en el medio organizacional contemporáneo; la planeación se vuelve más necesaria ante la creciente interdependencia y rapidez que se observan en el acontecer de los fenómenos económicos, políticos, sociales y tecnológicos. En ocasiones esto parece descifrar el enigma de la planeación, no tanto para conocer hacia dónde vamos, sino más bien para saber "dónde estamos". Por ello es que las técnicas de planeación, que otrora tuvieran un alto componente cuantitativo, hoy tienden a centrarse en el análisis de elementos cualitativos.

Lo anterior ha hecho que tanto las entidades y dependencias públicas como las empresas privadas destinen buena parte de sus esfuerzos y recursos a planear, lo cual ha ido desarrollando paralelamente una metodología cuya sofisticación ha crecido. No obstante, la planeación sigue siendo en esencia un ejercicio de sentido común por medio del cual se pretenden entender, en primer término, los aspectos cruciales de una realidad presente, para después proyectarla, diseñando escenarios de los cuales se busca, por último, obtener el mayor provecho, de ahí el carácter estratégico de la planeación: no se trata solo de prever un camino sobre el que habremos de transitar, sino que se busca anticipar su rumbo y, si es posible, cambiarlo.

Sin embargo, sería erróneo pensar que todo el avance ha quedado establecido en el diseño de escenarios y que la planeación estratégica está limitada solo al nuevo planteamiento del futuro esperado. Por el contrario, sus alcances van mucho más allá; el objetivo no es solo planear, sino realizar en forma sistemática un amplio número de actividades que, a la vez, implican el uso de recursos humanos y materiales. Por ello es fundamental tener claridad de cuáles son la misión y los objetivos que se persiguen, para que la repetición del ciclo de la planeación nos acerque paulatinamente al propósito deseado. Esto es el diseño y la implantación de una estrategia.

Un plan cuyos objetivos no se traducen en una estrategia específica y consistente, representada por acciones concretas, no es un plan formal, sino un enunciado de intenciones.

Por cada objetivo fijado deben definirse las acciones a realizar, anticipar los problemas por resolver, priorizar sus soluciones, asignar recursos, determinar responsabilidades, diseñar medidas de seguimiento que permitan no solo evaluar el avance, sino, sobre todo, volver a planear.

Traducir los objetivos estratégicos en acciones concretas que se incorporen al quehacer diario de la empresa es pasar de la planeación a la dirección estratégica; es otorgarle, de hecho, un sentido trascendente a la acción cotidiana de todos sus integrantes, quienes sabrán que, al margen de las tareas rutinarias, hay que desarrollar otras actividades que tienen un efecto más importante, duradero y, sobre todo, necesario para garantizar el futuro de la organización.

El conocimiento de la misión, los objetivos y la estrategia de una organización, por parte de todos sus integrantes, es un elemento fundamental para cumplirlos. Sirve también como elemento motivador, ya que, al participar en su fijación y después alcanzarlos, se convierte en un reto para integrarse a la organización.[14]

Estrategia metodológica

El planteamiento de ¿qué es la prospectiva? aproxima a una metodología o estrategia metodológica que permitiría salirse de estos dos extremos comentados -creencia a pie juntillas en la ciencia y creencia a pie juntillas en elementos místicos-; por ejemplo: la ciencia, en una época determinada, concluyó que el Sol giraba alrededor de la Tierra, pero con el avance de la ciencia y de la capacidad de observación se llegó a conclusiones totalmente diferentes, es decir, hubo un cambio de concepción sobre un mismo fenómeno, porque este no ha cambiado: la Tierra sigue girando alrededor del Sol.

Estas visualizaciones del fenómeno a través de la ciencia muestran que esta ha cambiado, ocasionalmente con graves tropiezos, con graves dificultades, incluso con algunos mártires.

En cambio, con los modelos matemáticos, econométricos, que en la actualidad son sumamente útiles, es fácil darse cuenta que en una visión de estudio del futuro todos estos modelamientos tienen gravísimos errores y que no llevan tampoco a la conclusión absolutista de que algo es exacto. Ante esta situación, emerge primero el campo de los estudios del futuro y dentro de estos el de la prospectiva. Se advierte entonces que, en las últimas décadas ha surgido en los campos científicos un movimiento de anticipación que se define como el esfuerzo de hacer probable el futuro más deseable. Esto es la prospectiva: la actitud de la mente hacia la problemática del porvenir, que se la dimensiona como elemento clave de un estilo de planeación más acorde con las circunstancias actuales.

La prospectiva, como opción metodológica, estudia y trabaja sobre el futuro, además de que apoya en tres grandes estrategias:

La primera es la visión de largo plazo, dejando fuera los planteamientos de corto plazo (de uno a cinco años) donde las proyecciones (no las prospecciones) han permitido avanzar de manera más o menos asertiva. La visión de largo plazo tiene la extraordinaria ventaja de que prioriza el largo plazo sobre el corto plazo, lo cual significa que para poder definir una estrategia, es decir, "el mejor camino", lo más importante es definir para dónde vamos. Para dónde vamos es materia de prospectiva, es el largo plazo, es lo que se quiere alcanzar en el largo plazo, y el mejor camino es materia de estrategia, cuál es el mejor camino para alcanzar ese largo plazo, y en ese sentido el largo plazo es prioritario sobre los cortos plazos que se vuelven estratégicos para la conquista del largo plazo, es decir, lo que se logra llegar a visualizar.

Se ilustra la visión de largo plazo en las tres figuras siguientes:

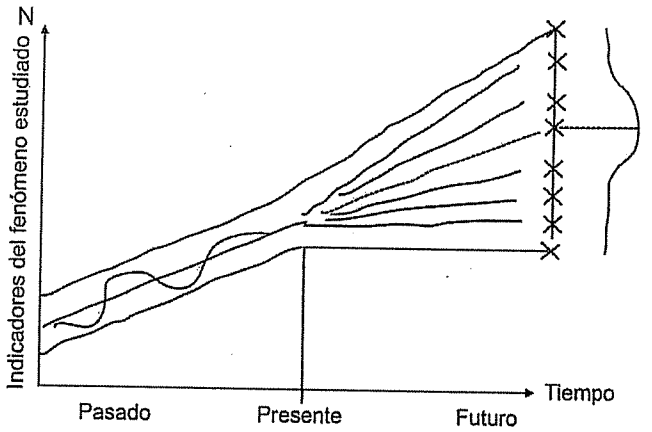


Figura 5.9. Prospectiva "exclusivamente proyección"

En la figura 5.9 se advierte que se han eliminado del pasado los puntos extremos que provienen de la información histórica; elaborando este una línea de tendencia que puede científica, estadística y matemáticamente calcularse, así como buscando elementos de ciclicidad o de cierta repetición, se logra realizar el análisis estadístico.

Con base en el análisis estadístico se llevaría la línea punteada hacia una proyección, "exclusivamente proyección", la cual no es más que uno de los futuros posibles; claro que desde el punto de vista del cálculo estadístico o probabilístico (tomando en cuenta la pequeñísima campana dibujada a la derecha de la figura) es el futuro más probable.

Hasta aquí han llegado la mayor parte de los estudios que sobre el futuro se han hecho en la literatura. Sin embargo, esto tiene un problema: tales estudios consideran que el futuro no es más que la simple continuidad del pasado. Lo que se observa como un tubo, y que continuaría siendo un tubo bajo esta regla de continuidad, en la figura está abierto con una forma aproximada de embudo, porque el futuro no está preestablecido, por ello se tienen mayores posibilidades de otros muchos futuros. Pero a estas posibilidades de muchos futuros hay que aplicarles ciertos límites de realismo; dentro de estos límites están todas las cruces que son como futuros muy claramente diferenciados los unos de los otros gracias a su capacidad de discriminación; de lo contrario, sería una línea de continuidad.

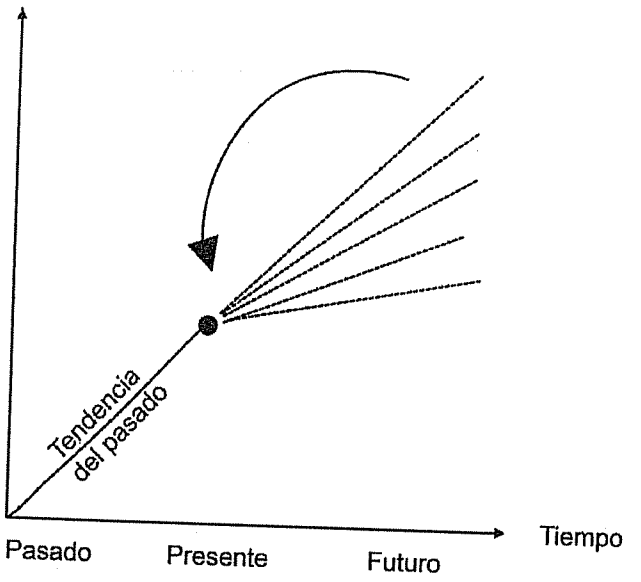


Figura 5.10. Prospectiva desde el futuro

El estudio del futuro no es solo útil para conocer el futuro, tiene un provecho todavía mayor: conociendo el futuro se puede visualizar el presente; esto es, no solo el futuro desde el presente, también el presente desde el futuro, lo cual enriquece las capacidades de conocimiento o de diagnóstico del pasado, del presente, con elementos de diagnóstico del presente desde el futuro. Hoy la literatura está saturada de estudios que determinan en dónde se está con respecto al pasado, incluso cuál es la tendencia, así como saturada de estudios sobre la coyuntura; en cambio lo que no se ha hecho del todo es: ¿cómo se compara (algo) con respecto a los diversos futuros en los que se pudiera encontrar? Lo anterior, muy particularmente con respecto al mejor de los futuros posibles. En ese caso la planeación estratégica estará en función no solo del presente y del pasado, sino por sobre todo del futuro.

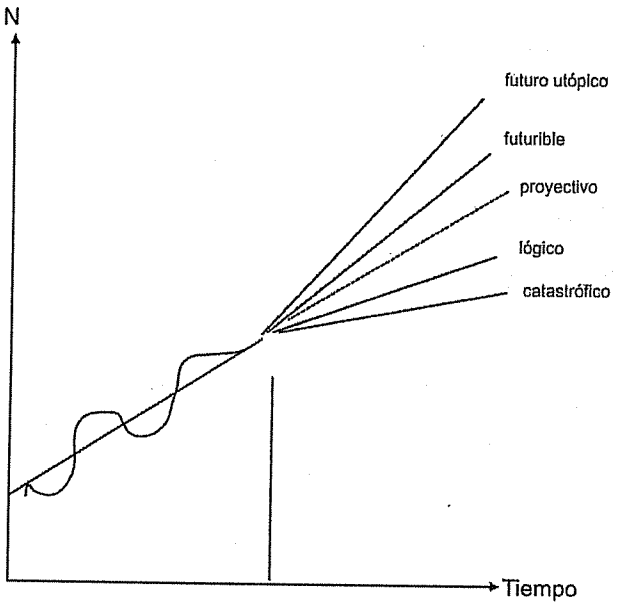


Figura 5.11. Futuros posibles

Dentro de estos futuros (figura 5.11) se han colocado algunas discriminaciones que la literatura permite utilizar: etiquetas que en un momento dado pueden cambiarse; pero tomando estas etiquetas como base metodológica se obtiene, además del futuro tendencial o proyectivo y de los diversos futuros lógicos (en función del sentido común y de la coyuntura), un extremo del embudo al que se le denomina futuro catastrófico (en el presente qué imagino que provoque que todo salga mal), o a la inversa, futuro utópico (qué imagino que provoque que todo salga bien). Por último, se conforma el mejor de los futuros posibles: futurible. Ante la imposibilidad de lograr la utopía, existe algo mejor que la simple proyección, que la lógica y la catástrofe, que permite alejarse de la catástrofe y acercarse al futuro utópico.

La segunda estrategia es la **cobertura holística** (visión del todo por encima de las partes), la cual permite ver el todo y sus partes a efecto de operar mejor la complejidad que ha de presentarse, incluido un manejo más fino de los indicadores adecuados. Al mismo tiempo, ayuda a detectar la relación de causalidad entre dichos indicadores, con lo que logra identificar cuáles son más trascendentes, útiles o impactantes. Es por ello que constituye otro elemento esencial de la prospectiva. En síntesis, diremos que el todo es el que de alguna manera va a conformar elementos integrantes de las pequeñas partes.

La utilidad de este planteamiento se explica de la siguiente manera: hoy se trabaja con indicadores que permiten analizar lo que está disponible del fenómeno del pasado y del fenómeno del presente, a consecuencia de lo que el fenómeno del futuro estará teñido de la extraordinaria velocidad e intensidad de los cambios tecnológicos (sin dejar de lado los cambios de otro tipo: sociales, políticos y económicos); por lo tanto, lo único seguro del futuro es que seguirá cambiando, cambio que, en otras palabras, es la única constante.

Algunos elementos del pasado cambiarán en su conformación, pero otros no, lo que no significa que el valor de las variables tengan que permanecer constantes, lo que se modifican son las reglas del juego, o sea, aquello que permitía aclarar un fenómeno en el pasado ya no permitirá explicar ni mucho menos manipular un fenómeno en el futuro.

Los fenómenos deben ser diferentes; en este sentido, solo una visión holística permitirá encontrar aquellas variables que hasta hoy no habían sido necesarias porque las reglas del juego no las requerían; es más, es tan grave como que las variables que se exigen para explicar el fenómeno actual muchas veces no aparecen, porque todo está elaborado en función de las variables y de los estudios del pasado. Hay que ejercer, entonces, un extraordinario proceso de creatividad, de invención, de imaginación para crear los futuros.

La tercera estrategia es el **consensuamiento**, única forma de pasar del conocimiento y diseño a la construcción, lo que exige que haya participación de los protagonistas, es decir, no excluye, sino incluye, de tal manera que las decisiones sean la toma de conciencia de un colectivo que será afectado por ese hecho. Esta planeación más proactiva permitiría que las decisiones tengan fuerza (consenso + legitimidad) si se orientara hacia la obtención de un control sobre el futuro. El consensuamiento es la gran diferencia entre manejar una visión de carácter académica (la que se piensa y se crea en documentos) y otra visión que permitiría llevar lo que se tiene planteado (en documentos) a la práctica para que no quede en el mero estudio de un fenómeno, sino que lleve a lograr la transformación de este en sí.

Ahora es el tiempo de subrayar algunas premisas básicas con respecto al tema que se estudia:

Mientras que el pasado sucedió y no se puede cambiar, pero sí considerar para lograr algunas percepciones diferenciadas o para encontrar elementos del pasado que permiten acercarse más a la verdad o de manera diferente a ese pasado, mientras el presente está sucediendo; por lo tanto, existe y tampoco se puede transformar; el futuro no existe solo, puede estar presente como imaginario gracias a la extraordinaria capacidad del hombre de imaginar como objeto del deseo o del temor de algo que habrá de llegar más adelante. Filosóficamente el futuro no existe, prospectivamente el futuro existe en la mente y en la capacidad de acción al respecto.

El futuro no es el destino, no está predeterminado, no es ineludible ni inflexible.

El futuro no es único, en realidad es múltiple, aquí debiéramos hablar de muchas alternativas de futuros para estar en posibilidad de trabajar y conquistar el mejor de ellos.

A pesar de todo ello, se descubre que esos futuros son cognoscibles y visualizables a través de la capacidad intelectual y de la imaginación del hombre.

Esos futuros son influenciables, manipulables por el hombre. En lugar de que el futuro lleve al hombre necesariamente hacia un destino, el futuro puede ser alterado convenientemente.

Planeación prospectiva

Definir el término *planeación* conlleva una ardua labor, ya que, por una parte, existen numerosas definiciones y, por otra, el concepto mismo sufre cambios permanentes; para fines prácticos se definirá como procesos sistemáticos para la "toma anticipada de decisiones". Esta acepción implica que toda decisión de planeación se lleve a cabo considerando el futuro, aunque en realidad en función de éste, al adelantarse a sus efectos o consecuencias. Planear significa elegir, definir opciones frente al futuro, pero también significa proveer los medios requeridos para alcanzarlo. Se trata de trazar con premeditación un mejor camino desde el presente hacia el futuro. La planeación, entonces, se orienta a obtener o a impedir un determinado estado futuro de cosas. El futuro se dirige aportando decisiones presentes.

Ahora, ¿cuál es el papel de la prospectiva en este proceso? Mirar hacia delante o imaginar el futuro deseado llega a constituirse en una simple reflexión o en un ejercicio mental interesante; sin embargo, para ser en efecto prospectiva, habrá de insertarse ineludiblemente en un proceso de toma de decisiones. Solo dentro de esta concepción se hablaría de prospectiva porque proporciona a quien toma decisiones una visión, así como aspectos de carácter normativo y escenarios que perfilan opciones de futuros factibles.

En planeación, el estilo prospectivo funciona como complemento enriquecedor del procedimiento tradicional. Se parte de la caracterización de los caminos posibles para después seleccionar el futuro más deseable. En planeación prospectiva, entre múltiples futuros posibles, se selecciona el más deseado, el cual se alcanza de la manera más creativa y dinámica que sea posible.

¿Por qué es importante la planeación prospectiva?

Porque ofrece:

Escenarios alternativos: La visión de futuros múltiples permite encontrar hacia dónde ir con varias posibilidades.

Evaluación estratégica: Dentro de la variedad de posibilidades, hacer la evaluación estratégica de por dónde conviene ir. Existen momentos para decidir, entre varias

posibilidades, escoger el mejor de los futuros factibles. También hay varias posibilidades de caminos de acción, estrategias que se pueden utilizar para conquistar ese mejor futuro posible.

Planeación táctica y operativa: Esta tiene que ver con el ¿cómo?, el ¿cuándo?, el ¿con qué? y el ¿con quién?

Retomando esa posibilidad de elegir un camino a seguir dentro de los posibles futuros, se observa que no solo es factible conocer de modo inteligente el futuro, sino que también lo es concebir futuros alternativos, medirlos y compararlos entre sí (diseñar), para luego seleccionar el mejor y construirlo estratégicamente.

Como se aprecia en la figura 5.12, se presentan el pasado como rígido e inmodificable y el futuro con alternativas posibles. El primer paso para elaborar la pirámide es tener la capacidad de conocer y ver el pasado, ese conocimiento que nos lleva de la línea ondulada hasta la primera línea recta; antes de la línea ondulada no hay claridad, hay desconocimiento. El segundo paso es diseñar el futuro (al respecto hay muchísima literatura). El tercero y último paso es la construcción, donde se presenta el mayor problema: la dificultad de construir lo que se diseña, de hacerlo realidad. Por ello, la insistente flecha transversal de abajo hacia arriba, lo que nos lleva de la planeación a la realización.

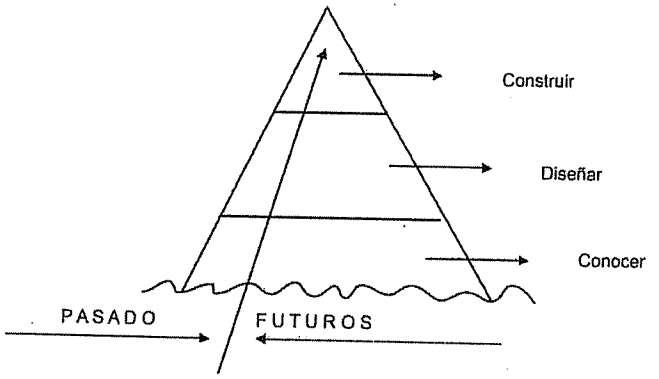


Figura 5.12. Planeación, diseño y construcción del futuro

La actitud humana frente al pensamiento futuro

- *Pasiva* (avestruz): Ignora el cambio, lo esquiva si puede y, al final, sufre/soporta el nuevo futuro.
- *Reactiva* (bombero): Reacciona cuando ya ocurrió el cambio.

- *Preactiva* (asegurado): Se prepara para los cambios del futuro.
- *Proactiva* (constructor): Conspirador-proactivo, trata de provocar los cambios con base en el futuro que desea construir.

Escuelas de pensamiento sobre el futuro

- Forecasting (Estados Unidos, determinista, 1960). Doctor William Halal (GWU). Global Business Network (GBN).
- Technology Foresight (Reino Unido, voluntarista, 1980). Universidades de Manchester (PREST) y Sussex (SPRU).
- Previsión Humana y Social (Italia, voluntarista, 1980). Doctora Eleonora Barbieri Massini (Universidad Gregoriana).
- Prospectiva (Francia, voluntarista, 1980). Sociedad Futuribles. Doctor Remi Barre, Hughes de Jouvenel, Véronique Lamblin.
- Prospectiva Estratégica (Francia, voluntarista, 1990). Doctor Michel Godet.
- Foresight (Reino Unido, voluntarista, 2000). Universidad de Manchester (PREST). Doctor Ian Miles.
- Doctor Michael Keenan.
- TFA (Technology Future Analysis, 2004). Doctor Alan Porter, Tecnológico de Georgia. Doctora Fabiana Scapolo, IPTS.

Métodos y técnicas prospectivas
15

La fórmula del futuro

$F = (a \times T) + (b \times E) + (c \times P)$
T= Tendencia o inercia histórica
E= Evento o acontecimiento inesperado
P= Propósitos u objetivos individuales y/o colectivos
En que a, b, c, son parámetros o coeficientes positivos, donde $a + b + c = 1$
(Acuña y Konow, 1990)

Factores impulsores de cambio

- Demografía: *Cambios en la población*
- Ciencia y tecnología: *Conocimiento e innovación*

- Medio ambiente: *Ecología global*
- Actitudes, creencias, valores: *Desde la opinión hasta la religión*
- Economía global: *Mercados sin fronteras, comercio*
- Gobierno e instituciones: *Organización política*
- Amenazas: *Para la civilización y la infraestructura.*

Sujeto	Objeto	Actividad
Clarividente El que posee clarividencia	**Clarividencia:** Facultad paranormal de adivinar hechos futuros u ocurridos en otros lugares	Ver y dar a conocer lo desconocido (ya sea futuro o no)
Visionario El que, por su fantasía exaltada, se figura y cree en quimeras	**Visión:** Conocimiento claro e inmediato, sin raciocinio	**Visionar:** Creer que las cosas reales son inventadas
Profeta El que por señales o cálculos, conjetura y predice acontecimientos futuros	**Profesía:** Predicción hecha en virtud de un don sobrenatural	**Profetizar:** Anunciar algo que ocurrirá o tendrá efecto antes del tiempo regular
Anticipador Que anticipa	**Anticipación:** Acción y efecto de anticiparse (de anticipación = de ciencia ficción)	**Anticipar:** Hacer que ocurra o tenga efecto alguna cosa antes del tiempo regular
Futurista Dícese del partidario del futurismo	**Futuro:** Que está por venir	**Futurismo:** Actitud espiritual, política, emocional, etcétera, orientada hacia el futuro
Prospectivo Que se refiere al futuro	**Prospección:** Exploración de posibilidades futuras basadas en indicios presentes	**Prospectivar:** Conjunto de análisis y estudios realizados con la finalidad de explorar o predecir el futuro en alguna materia
Futurólogo Persona que profesa o cultiva la futurología	**Futuro:** Que está por venir	**Futurología:** Conjunto de estudios que se proponen predecir científicamente el futuro del hombre

Tabla 5.8. Sujetos y actividades prospectivas

ENFOQUE	CARACTERÍSTICAS
Predicción	• Declaración no probabilística con un nivel de confianza absoluta acerca del futuro • Se basa en teorías determinísticas • Presenta enunciados no sujetos a controversia que pretenden ser exactos sobre eventos futuros • Afirmaciones muy fuertes • Los investigadores profesionales del futuro suelen evitarlo
Proyección	• Analiza tendencias que van del pasado y el presente hacia el futuro en un proceso lineal • Asume la continuidad de un patrón histórico • Utilizada mayormente en procesis estadísticos: Economía y demografía
Prognosis	• Es una afirmación probabilística acerca del futuro con un nivel de confianza relativamente alto • Se refiere a un enunciado condicionado • Representa juicios razonados sobre algún resultado en particular, que se cree el más adecuado para servir como base a un programa de acción • Prevaleciente hasta principios de la década de 1970
Utopía	• Descripción de una sociedad ideal • Construcción de un futuro diferente del presente, en el cual datos del pasado y actuales son la base para reformas de la sociedad • Predominan la imaginación, la invensión, el peso de los anhelos y temores humanos • Presencia muy fuerte de los valores
Foresight	• Identifica la probabilidad de ocurrencia de eventos futuros basado en tendencias presentes • Establece una red de relaciones causales definibles entre eventos • Se aplica a actividades específicas, sobre todo tecnológicas y económicas • Vale por lo que valen sus premisas
Prospectiva	• Anticipación para aclarar la acción presente • Indisciplina intelectual que se ocupa de: Ver lejos, largo y profundo, en conjunto • Ver la realidad "de otra manera" • Construye el futuro como una visión retrospectiva

Tabla 5.9. Diferentes enfoques de los estudios del futuro

	Causas de error de Previsión	Características de la prospectiva
Visión	Parcial En el fondo, todo sigue igual	Global En el fondo, nada sigue igual
Variables	Cuantitivas, objetivas y conocidas	Cualitativas, cuantificables o no, subjetivas, conocidas u ocultas
Relaciones	Estáticas, estructuras constantes	Dinámicas, estructuras evolutivas
Explicación	El pasado explica el futuro	El futuro es la razón de ser del presente
Futuro	Único y cierto	Múltiple e incierto
Método	Modelos deterministas y cuantitativos (econométricos, matemáticos)	Análisis intencional Modelos cualitativos (análisis estructural) y estocásticos (Impactos cruzados)
Actitud frente al futuro	Pasiva o adaptable	Activa y creativa

Tabla 5.10. Planeación y prospectiva

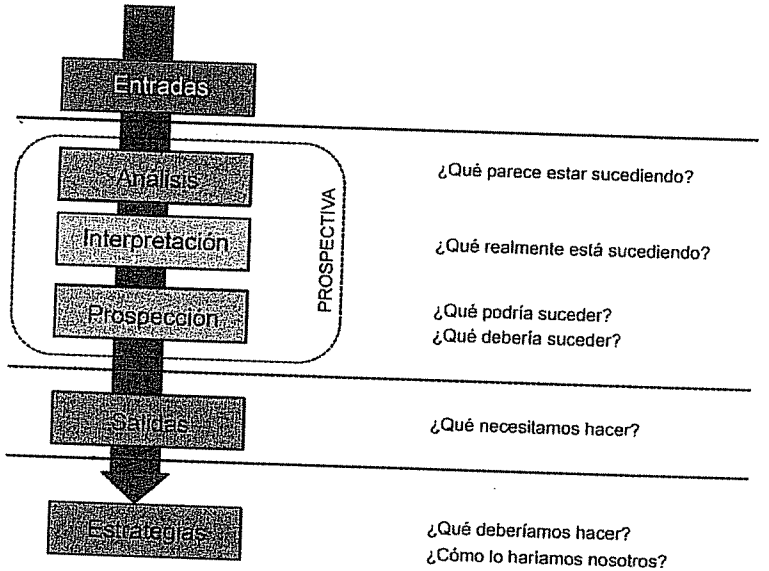


Figura 5.13. Elementos del proceso de la prospectiva

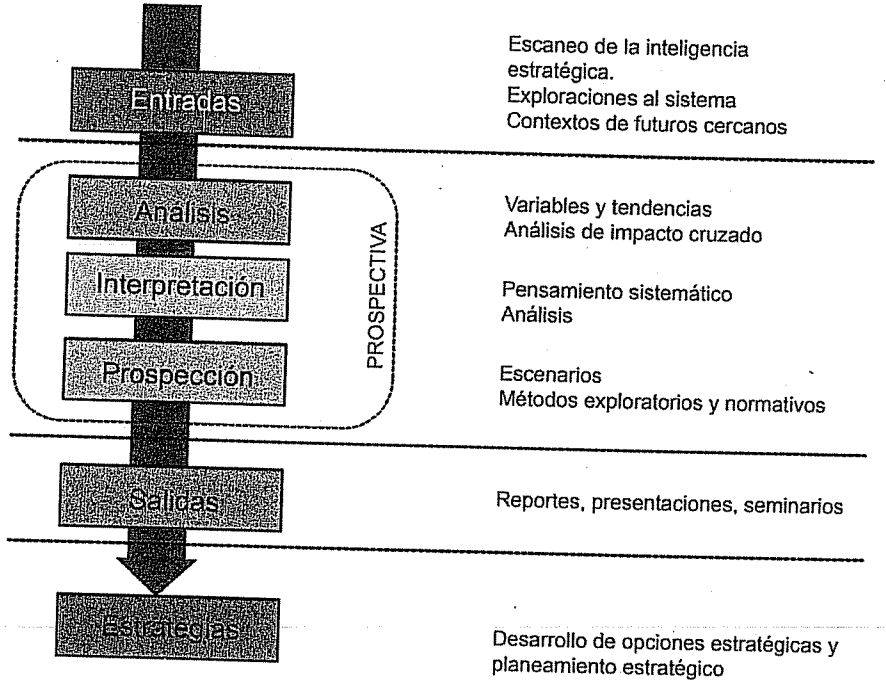


Figura 5.14. Actividades del proceso de la prospectiva

EL MÉTODO PROSPECTIVO

Las cinco ideas claves de la prospectiva:

- El mundo cambia, pero los problemas permanecen.
- Los actores clave en el punto de bifurcación.
- Un alto a la complicación de lo complejo.
- Plantearse las buenas preguntas y desconfiar de las ideas heredadas.
- De la anticipación a la acción a través de la apropiación.

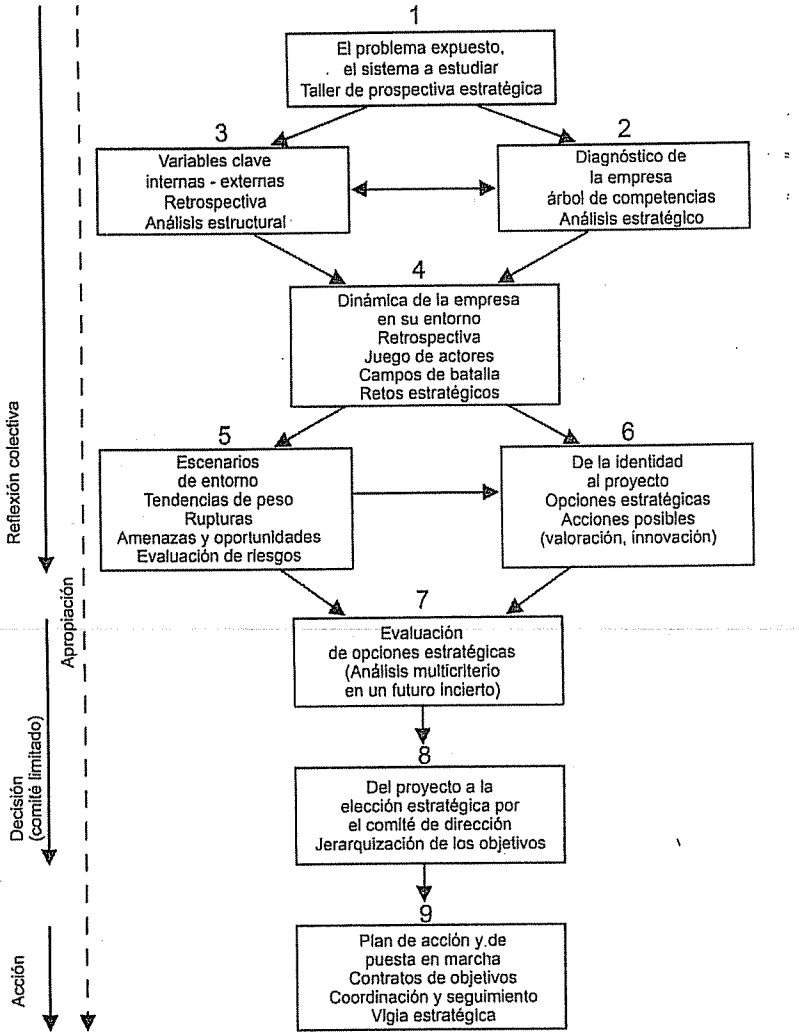


Figura 5.15. Planificación estratégica por escenarios: metodología integrada

Herramientas de la prospectiva

El método de escenarios
Los talleres de prospectiva estratégica
Los árboles de competencia
Los talleres del análisis estratégico
El diagnóstico estratégico
El análisis estructural
El método Mactor
El análisis morfológico
El método Delphi
El ábaco de Regnier
Impactos cruzados probabilizados SMIC-Prob-Expert
Los árboles de pertinencia
El método multipol

Metodología general:

Comprender el presente
Definición de los subsistemas del objeto de estudio:
Etapa 0: Preparación previa y definición del "equipo prospectivo"
Etapa 1: Definición del sistema a estudiar
Asimilación del objeto de estudio, investigación documentada, sistematización de información pertinente:
Etapa 2: Caracterización del sistema en estudio, el análisis FODA

Análisis de las variables clave: Los requerimientos de futuro.
c) Censo de las variables, tendencias de las variables elegidas como emergentes, portadoras de futuro y tendencias pasadas.
Etapa 3: Definición de variables
Influencia y dependencia de las variables.
Etapa 4: Análisis estructural, el método MIC-MAC

Juego de actores y campos de batalla
d) Definición de actores relevantes para el sistema estudiado.
Etapa 5: Identificación de actores involucrados en variables claves.
e) Análisis de posibles conflictos o alianzas frente a sus objetivos.
Etapa 6: Identificación de retos estratégicos y objetivos asociados y evaluación de relaciones de fuerza entre actores, el método Mactor

Construcción de escenarios y apuesta estratégica
f) Elaborar las hipótesis para el análisis morfológico
Etapa 7: Definición de "preguntas claves", formulación de hipótesis y probabilización de escenarios, el método SMIC.
g) Construcción de futuros, imágenes posibles
Etapa 8: Elaboración de escenarios y elecciones estratégicas.

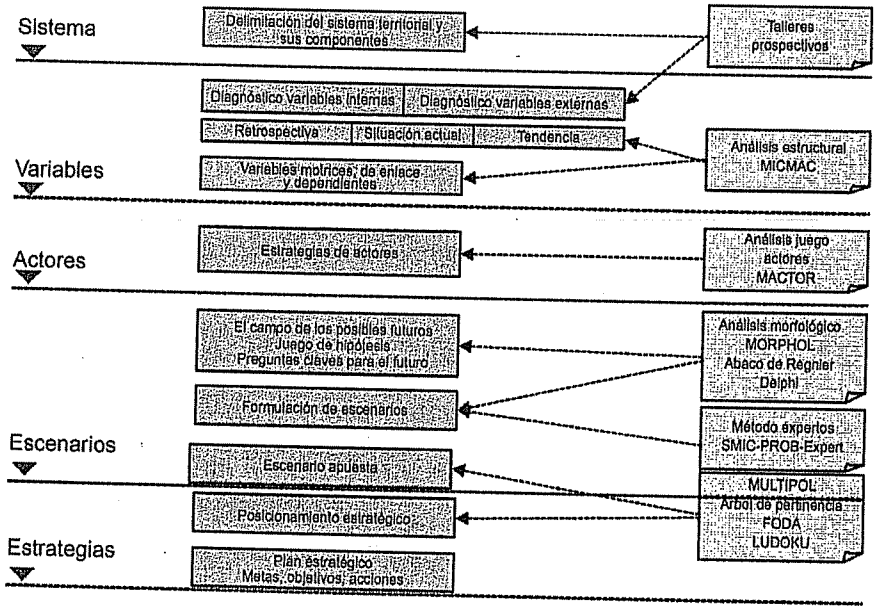


Figura 5.16. Enfoques y métodos de la prospectiva

La prospectiva centra, clarifica y fortalece el binomio "utilidad-factibilidad"; el mejor de los futuros posibles tiene "utilidad" y, puesto que es posible, es factible.

La utilidad está representada por los seis elementos siguientes:

- Visualización de futuros posibles.
- Diagnóstico del presente desde el futuro.
- Diseño de un futuro para el futuro.
- Construcción del mejor futuro posible (futurible).
- Evaluación prospectiva (holística y teleológica) de largo plazo.
- Acción permanentemente retroalimentada; el ciclo de planeación, tal como los teóricos lo indican, se repite, pero jamás con las mismas variables, jamás con los mismos valores, sino como proceso. Este proceso permite acercarse, cuando se habla del pasado a la verdad y cuando se habla del futuro, a una cierta certidumbre y confiabilidad en un futuro que se irá cambiando en función de lo que se requiere.

La factibilidad obedece al empleo de enfoques y métodos adecuados. Sus beneficios dependerán de la calidad del compromiso involucrado, de la instrumentación y del seguimiento.

La buena planeación prospectiva y su correspondiente planeación estratégica exigen contar con: conocimientos, experiencia, compromiso, inteligencia, creatividad, trabajo en equipo, respeto, transdisciplinaridad, multirreferencialidad, buena voluntad y realismo crítico. Esta buena combinación de elementos es vital para lograr un trabajo adecuado de planeación; esto no solamente se estudia, sino que se aprende haciéndolo.

Alcanzar el mejor de los escenarios posibles requiere: Definir con claridad "lo que se quiere y lo que se puede", fusionándolos explícitamente; determinar y comprometer, a partir del presente, las estrategias con las tácticas y los insumos más convenientes, dentro de lo posible. Aquí se insiste a partir del presente porque el primer paso de la construcción del futuro se da en el presente, es el hoy.

Llevar a cabo lo necesario para alcanzarlo, evaluando prospectivamente tanto lo alcanzado como cada nuevo presente, conforme el proceso avanza, y reajustando de modo permanente los fines y los medios para actuar en consecuencia, con la debida oportunidad. Por perfecta que sea la planeación, no es mejor que la realidad, solo esta permitirá retroalimentarla, es decir, se predibuja el futuro, se confronta con la realidad y se vuelve a predibujar un nuevo futuro (diferente), lo que es un ciclo permanente de retroalimentación entre la teoría y la práctica, entre lo que piensan todos los actores involucrados en esta planeación y lo que se está llevando a cabo.

5.2.5 Extrospectiva: Del sistema hacia el exterior

Para Van Gigch (1987) existen la perspectiva introspectiva y la extrospectiva.

La primera se aplica al proceso de mejoramiento de un sistema (asegurar que un sistema opere de acuerdo con las expectativas) y tiene que ver con el análisis hacia el interior del mismo y hacia sus elementos para concluir que la solución de los problemas del sistema se encuentra dentro de sus límites.

La segunda se aplica al proceso de diseño de un sistema (crear una configuración óptima) y se refiere a la comprensión del mismo en relación con todos los demás sistemas mayores que están en interface con él.

A la vez, relaciona los aspectos que influencian la cosmovisión de un analista:

- Premisas de hecho y de valor: Se tienen a partir de pruebas o de información. Las premisas de hecho se refieren a pruebas técnicas o a información desprovista de atributos con un tratamiento evaluativo. Las premisas de valor son consideraciones valorativas

- Supuestos en relación con los elementos del problema: Son los puntos de vista definidos y sostenidos sobre aspectos particulares del problema

- Estilos cognoscitivos: Es la forma en la cual un individuo realiza actividades perceptuales e intelectuales

- Sistema de investigación entre datos y resultados: Corresponde al proceso dirigido a la adquisición de conocimiento

Una cosmovisión "denota la visión más amplia que puede tener la mente de las cosas, en un esfuerzo por comprenderlas juntas, como un todo, desde el punto de vista de una filosofía o teología específica". Una cosmovisión desarrollada brinda respuestas a las preguntas sobre el origen, el propósito y el destino, entre otras cosas; o, como algunos lo han expresado, el "por qué, de dónde y hacia dónde" de las cosas.[16]

EVALUACIÓN DE LAS COSMOVISIONES

¿Cómo debemos evaluar una cosmovisión? Tenemos todo el derecho a esperar que una verdadera descripción de la realidad sea racional, estará apoyada por la evidencia, brindará la explicación más amplia de toda la realidad y concordará con la experiencia humana. En relación con su naturaleza racional, debe a la vez no contradecirse y ser coherente como sistema. En relación con la evidencia, no solo debe ser consistente con los hechos de la naturaleza y la historia, a la vez que habrá de explicarlos, sino que tiene que proveer una explicación adecuada de acontecimientos especiales de la historia.

Una cosmovisión contesta la pregunta de "por qué", por su capacidad de explicar lo que vemos alrededor de nosotros y dentro de nosotros. En relación con la experiencia humana, debe simultáneamente explicar lo que sabemos de nosotros y, además, dar contestación a nuestros más profundos anhelos y aspiraciones.

Por último, toda verdad revelada que no podría ser conocida de otra forma, aun cuando trascienda lo que sabemos por nuestra cuenta y sea difícil de entender, no habría de contradecir concluyentemente lo que conocemos en el campo de la experiencia humana.

INTROSPECCIÓN Y EXTROSPECCIÓN SOBRE LO OBJETIVO Y LO SUBJETIVO

Nada vale la ciencia si no se convierte en conciencia.
Carlo Dossi

El campo de la vida interna será el del próximo futuro; además, su verdadero desarrollo también vendrá de manos de la ciencia, pero de una ciencia dotada de distintos medios y métodos a los actuales, adornada de mayores exquisitez y pureza lógica-matemática.

El pensamiento científico tiene su más firme base en la "extrospección", es decir, en el análisis de los fenómenos "externos", entendiéndose por estos aquellos que no pertenecen en sí a los mismos observadores, sino que son exteriores a ellos. Es fácil entender que el observador ideal es el que está situado en la posición más privilegiada de observación, que es la que no influye en la experiencia, que a su vez se ha logrado aislar de toda influencia externa que pudiese desvirtuar la debida contrastación, salvando las oportunas distancias, es decir, que sea imparcial.

La ciencia debe mucho de su extraordinario desarrollo a la "extrospección", hasta el punto de haberse acuñado el calificativo de "ciencias puras" a aquellas que han estado más íntimamente ligadas a la "extrospección" (matemáticas, física, química, etcétera.).

Las que poseen en su constitución una componente más bien pequeña de introversión han ido pasando desde el campo de la ciencia experimental, en un principio muy especulativo, al de las ciencias consagradas, casi "puras", como, por ejemplo, la bioquímica o la genética. Para Popper, las ciencias más ligadas al campo introspectivo, tales como la psicología, tienen enfoques más metafísicos que científicos, aunque los métodos científicos, según la "lógica de la investigación científica" de Popper, en cuanto al uso de hipótesis y su subsiguiente contrastación intersubjetiva, se dan en todo este campo del conocimiento que denominamos ciencia. Creo, más bien, que la dificultad estriba, no en que el campo de la actuación de la psicología, por ejemplo, sea subjetivo, sino que la inmersión en la introspección que conlleva su estudio es de una dificultad cualitativa muy superior del método "extrospectivo" aplicado a las demás ciencias llamadas puras.

También aseguramos que la aplicación del método estrictamente "extrospectivo" de las ciencias puras a estas otras ciencias, tales como la psicología, no obtiene los resultados conseguidos en otras ciencias, pero esto solo es consecuencia de las dificultades del campo en que nos movemos. Tal vez los métodos usados, muy eficaces en el campo "extrospectivo", no lo sean tanto en el introspectivo. Hay que aplicar métodos científicos de investigación (definidos por la más pura ortodoxia de Popper en cuanto a hipótesis y contrastaciones) a la introspección, lo cual requiere de nuevos métodos mucho más imaginativos que los que han sido usados, más propios del campo de la extroversión.

Al llegar aquí hemos de hacer un alto para recalcar la reticencia ante la ciencia en el ámbito de los saberes menos "consagrados". Los pocos resultados prácticos científicos que han sido obtenidos en algunos terrenos de la parapsicología o de los llamados fenómenos paranormales, han inclinado a muchos estudiosos de estos temas a buscar soluciones en otros mundos separados de la ciencia como el obscurantismo o la magia.

Ese no es el camino. La validez de la ciencia está lo suficientemente asentada para no escoger otros caminos caracterizados, precisamente, a lo largo de la Historia, por su incompatibilidad con el progreso humano. El fracaso del método científico aplicado a estos temas tiene su origen en lo ya apuntado: hay que desarrollar un método científico nuevo, diferente al que se ha estado usando hasta el presente, basado en la "extrospección"; un método útil en el terreno introspectivo, mas sus resultados no deben ser subjetivos, sino tan objetivos como los obtenidos a partir de la "extrospección".

La ciencia tiene que pasar del estudio de lo externo a lo interno, a nosotros mismos. Tiene que emitir hipótesis sobre este ámbito, pero dichas hipótesis deben ser contrastadas intersubjetivamente para continuar en el campo de la lógica científica. Se han dado titubeos en esta dirección, pero las dificultades son inmensas. En este milenio que comienza se irán develando los misterios de este mundo tan complejo, tal como apuntan las previsiones futuristas. El campo de la vida interna será el del próximo futuro, cuyo verdadero desarrollo también vendrá de manos de la ciencia, pero de una ciencia dotada de distintos medios y métodos a los actuales, conformada de una mayor exquisitez y una pureza lógico-matemática.

Hay algunas creencias antiguas de la humanidad, asumidas por estratos amplios de la misma, que si se demostrase científicamente su "compatibilidad" con la ciencia, representarían un claro avance sobre lo obtenido por la ciencia actual.

Ciertas creencias de órdenes religioso, teológico y místico parecen estar cada día más cerca (asintóticamente) de la propia ciencia. Es que la compatibilidad y armonía entre ciencia y creencias representaría para la vida humana un salto cualitativo fabuloso.

LA TEORÍA DE SISTEMAS Y LA PERSPECTIVA SISTEMÁTICA

La teoría de sistemas nació de la mano de la biología (Bertalanffy, 1968). Un sistema se define como el conjunto de elementos en interacción entre ellos y de forma conjunta con el entorno. Cada elemento se puede estudiar de manera aislada, pero solo adquiere significado en la medida que es considerado parte integrante de un todo; por lo tanto, cualquier estudio de un elemento aislado es parcial y cualquier elemento se ve como un sistema que, al mismo tiempo, forma parte de otro sistema mayor. Eso implica configurar el universo como una arquitectura de sistemas en interacción y con unos órdenes jerárquicos.

En los sistemas, orden y desorden son elementos complementarios. El orden que manifiesta un sistema es el resultado de las relaciones orden/desorden/organización que se están produciendo de forma continuada en su seno, lo cual permite un flujo continuo de energía en el propio sistema, así como la emergencia de algo nuevo y creativo. Los conceptos de retroalimentación y autoorganización permiten entender el momento presente en cada sistema, como el resultado de una dinámica de cambio evolutivo. El concepto de autoorganización integra a la vez el azar y la necesidad, que hacen posible que surjan nuevas producciones y fuerzan al sistema a conciliar el orden con el desorden.

Desde esta perspectiva, los fenómenos del mundo se verían como espacios de confluencia de elementos que, de entrada, parecerían antagónicos. Así, la seriedad, la racionalidad, la objetividad llegan a entenderse de forma complementaria a la espontaneidad, la imaginación, la intuición, el desorden, la libertad. Entender que dos realidades antagónicas son complementarias e indisociables significa que la emoción y la razón no son antagónicas para la construcción del conocimiento, lo cual implica una perspectiva interdisciplinar en todas las áreas del conocimiento.

El principio dialógico destaca el carácter dinámico del pensamiento, poniendo de manifiesto la importancia de un diálogo continuado entre certidumbre e incertidumbre.

De igual manera, la perspectiva holográfica pone de relieve que en los sistemas naturales y sociales las partes constituyen el todo, pero a la vez el todo está en cada parte. Así, una sociedad está formada por individuos, pero a la vez cada individuo refleja la sociedad.

El estudio de un ecosistema se puede abordar como una unidad, pero al mismo tiempo cada uno de sus elementos posee unas características específicas que reflejan su interrelación con el resto. Se pone de manifiesto la importancia de no perder la conexión entre los niveles micro, meso y macro en el estudio de los fenómenos, donde cada nivel refleja la complejidad de los otros niveles. Las relaciones entre esos niveles son bidireccionales. Nos hallamos ante un modelo fractal en el que se establecen multitud de relaciones que evidencian un componente de incertidumbre, dada la imposibilidad de controlar todos los elementos en juego.

La aplicación de la teoría de sistemas a las ciencias humanas y a la psicología dio origen a la corriente denominada sistémica.

Humberto Maturana (1995)[17], científico chileno, habló de "sistema" como unidad compleja que tiene dos componentes:

1. Una organización, relación entre los diferentes componentes.
2. Una estructura, que es la conformación espacial de estas unidades de acción conjunta.

Maturana sostiene que los sistemas humanos son autopoyéticos y autorregeneradores (son capaces de regenerarse; en caso de heridas o trastornos pueden conseguir un nuevo equilibrio que sostenga la organización).

El pensamiento sistémico se diferencia del pensamiento lineal-lógico, basado en relaciones causa-efecto, y en el dualismo, lo que significa poner la mirada en el problema, atomizar, reducir el problema a una parte y aplicar a esta la solución, dejando de ver el todo y su interacción con el entorno. Significa, asimismo, buscar buenos y malos, así como culpables, sin contemplar todos los factores que intervienen en un fenómeno.

Esta visión continúa vigente en nuestro sistema educativo y en muchas áreas de la ciencia: la separación de disciplinas, no tener en cuenta el contexto ni el trabajo individual de los alumnos y las alumnas, no tener presente la dinámica de los grupos y las fuerzas en interacción, primar los conocimientos muy académicos y desvinculados de la condición humana que disocian lo racional de lo emocional... Por el contrario, el enfoque sistémico pone la mirada en la conectividad relacional. El epicentro del suceso es la acción recíproca, ya sea entre órganos, componentes de una familia, de una escuela o de cualquier grupo humano, o como es el caso en el sistema en cuestión.

5.3 TEORÍA DE DECISIONES[18]

Este es un tema no muy unificado. Por el contrario, hay muchas formas de teorizar sobre decisiones y, por lo tanto, también muchas tradiciones de investigación.

Preguntas teóricas acerca de las decisiones

Los siguientes son ejemplos de decisiones y de los problemas teóricos a los que dan origen:

- Un controlador aéreo mantiene la exploración continua, para detectar los problemas en el espacio aéreo.
- Estoy buscando una casa para comprar. ¿Debo comprar esta? –"Esta casa se ve bien, pero tal vez voy a encontrar una casa aún mejor por el mismo precio si prosigo la búsqueda. ¿Cuándo debo detener la búsqueda?"
- Cada vez que el usuario de un automóvil prenda el motor, hay una exploración consciente o inconsciente (escucha, verifica los medidores, etcétera) para detectar posibles problemas del motor.
- El tribunal tiene que decidir si el acusado es culpable o no. Hay dos errores que el tribunal puede cometer, es decir, condenar a una persona inocente o absolver a un culpable. ¿Qué principios aplica el tribunal si se considera el primero de estos errores más grave que el segundo?
- Un ejecutivo de mercadeo hace visitas periódicas a sus clientes importantes para revisar posibles problemas e identificar sus nuevas necesidades.
- Un gerente de planta revisa los informes diarios parciales para verificar los problemas de control de calidad.
- Un ingeniero de diseño asiste a una demostración comercial para observar los nuevos materiales que se podrían incorporar en el diseño de productos futuros.

Casi todo lo que un ser humano hace implica decisiones. Por lo tanto, teorizar acerca de las decisiones es casi lo mismo que teorizar sobre las actividades humanas. Sin embargo, la teoría de decisiones no es tan global como eso. Se centra en solo algunos aspectos de la actividad humana. En particular, se centra sobre cómo usamos nuestra libertad. En las situaciones tratadas por los teóricos de las decisiones, hay opciones para elegir, que elegimos de una manera no aleatoria.
Nuestras elecciones, en estas situaciones, son las actividades dirigidas a un fin. Por lo tanto, la teoría de decisiones tiene que ver con el comportamiento dirigido a un objetivo en la presencia de opciones.

Nosotros no decidimos continuamente. En la historia de casi cualquier actividad, hay periodos en los que la mayor parte de la toma de decisiones se hace, así como otros periodos en los que la mayor parte de su aplicación se llevan a cabo. La teoría de decisiones trata de arrojar luz, de diversas maneras, en el primer tipo de periodo.

Un tema verdaderamente interdisciplinario

La teoría de decisiones moderna se empezó a desarrollar a mediados del siglo XX a través de las contribuciones de varias disciplinas académicas. Si bien es ahora claramente una materia académica por su propio derecho, la teoría de decisiones en general es perseguida por los investigadores que se identifican a sí mismos como economistas, estadísticos, psicólogos, expertos en ciencias políticas y sociales o filósofos.

Hay una cierta división del trabajo entre estas disciplinas. Un científico político es probable que estudie acerca de las reglas de votación y otros aspectos de la toma de decisiones colectiva. Un psicólogo es probable que estudie el comportamiento de personas en las decisiones y un filósofo los requisitos de la racionalidad en las decisiones. Sin embargo, existe un gran solapamiento; el tema ha ganado de la variedad de métodos que los investigadores de distintos orígenes han aplicado a los mismos problemas o a unos similares.

5.3.1 Aspectos normativos y descriptivos

La distinción entre las teorías de la decisión normativa y la descriptiva es, en principio, muy simple. Una teoría de decisiones normativa es una teoría acerca de cómo las decisiones deben tomarse, mientras una teoría descriptiva es una teoría acerca de cómo se toman realmente las decisiones.

El "debería" en la frase anterior se interpreta de muchas maneras. Hay, sin embargo, un acuerdo prácticamente total entre los científicos de la decisión que se refiere a los requisitos de la toma de decisiones racionales. En otras palabras, una teoría de decisiones normativa es una teoría sobre cómo las decisiones deben hacerse con la finalidad de ser racionales.

Este es un sentido muy limitado de la palabra "normativa". Las normas de la racionalidad no son las únicas, ni siquiera las más importantes, normas que uno puede desear para aplicar en la toma de decisiones. Sin embargo, es común que las normas que no sean las de racionalidad sean tomadas como normas externas a la teoría de decisión. La teoría de decisiones no, según la opinión recibida, entra en la escena hasta que las normas éticas o políticas ya están fijas. Se ocupa de las cuestiones normativas que se mantienen incluso después de que los objetivos se han fijado. Este resto de las cuestiones normativas consiste en gran parte de las preguntas acerca de cómo actuar cuando hay incertidumbre y falta de información. También contiene temas acerca de

cómo un individuo llega a coordinar sus decisiones con el tiempo y de cómo varios individuos logran coordinar sus decisiones en procedimientos de decisión social.

Si el general quiere ganar la guerra, el teórico de la decisión trata de decirle la forma de lograr este objetivo. La cuestión de si debería intentar ganar la guerra no es normalmente considerada como una cuestión de decisiones teóricas.

Del mismo modo, la teoría de decisiones proporciona los métodos a un ejecutivo de negocios para maximizar las ganancias y a una agencia ambiental para minimizar la exposición a productos tóxicos, pero la cuestión básica de si se habrán de tratar de hacer estas cosas no se trata en la teoría de decisiones.

Aunque el alcance de la "normativa" es muy limitada en la teoría de decisiones, la distinción entre normativo (es decir, la racionalidad-normativa) y las interpretaciones descriptivas de las teorías de la decisión es a menudo borrosa. No es poco común, al leer la literatura de teoría de decisiones, encontrar ejemplos de ambigüedades inquietantes e incluso confusiones entre normativa e interpretaciones descriptivas de una y de la misma teoría.

Probablemente, muchas de estas ambigüedades podrían haberse evitado. Hay que reconocer, sin embargo, que es más difícil en la ciencia de decisiones, que en muchas otras disciplinas, trazar una línea tajante entre normativa e interpretaciones descriptivas. Lo anterior se ve claramente desde la consideración de lo que constituye una falsificación de una teoría de decisiones.

Es bastante obvio que el criterio debe ser para la falsificación de una teoría de decisiones descriptiva.

(F1) Una teoría de decisiones es falsificada como una teoría descriptiva, si un problema de decisión se encuentra cuando la mayoría de los sujetos humanos se realizan en contradicción con la teoría.

Dado que una teoría de decisiones normativa nos indica cómo un agente racional debe actuar, la falsificación tiene que hacer referencia a los dictados de la racionalidad. No es evidente, sin embargo, lo fuerte que el conflicto habrá de ser entre la toma de decisiones teórica y racional para que la teoría sea falsificada. Se proponen, por lo tanto, las siguientes dos definiciones para las diferentes dosificaciones de ese conflicto.

(F2) Una teoría de decisiones es débilmente falsificada como una teoría normativa si un problema de decisión si un agente llega a actuar en contradicción con la teoría, sin ser irracional.

(F3) Una teoría de decisiones es estrictamente falsificada como una teoría normativa si en un problema de decisión se encuentra que un agente que actúa en acuerdo con la teoría no es un agente racional.

Supongamos ahora que una teoría T ha sido (como suele ser el caso) proclamada por su inventor, tanto como válida tanto como normativa, así como una teoría descriptiva.

Además, suponga (como también suele ser el caso) que sabemos por experimentos que en el problema de decisión P la mayoría de los sujetos no cumplen con T. En otras palabras, supongamos que (F1) se cumple para T.

Las creencias y los comportamientos de los teóricos de la decisión no se conocen por ser radicalmente diferentes a las de otros seres humanos. Por lo tanto, es muy probable que al menos algunos de ellos tengan las mismas convicciones que la mayoría de los sujetos experimentales. Luego dirán que (F2), y tal vez (F3), está satisfecho. Podemos, por lo tanto, esperar falsificaciones descriptivas de una teoría de decisiones que sean acompañadas por reclamaciones de que esa teoría no es válida desde el punto de vista normativo. De hecho, esto es lo que ha ocurrido a menudo.

5.3.2 Las fases del proceso de decisiones

PROPUESTA DE CONDORCET

La primera teoría sobre las fases del proceso de decisión fue propuesta por el filosofo Condorcet (1743-1794) como parte de su motivación para elaborar la Constitución francesa de 1793.

Este personaje dividió el proceso en tres fases: En la primera "discute los principios que servirán de base para la decisión en general; un examen de varios aspectos de este tema y de sus consecuencias de diferentes maneras para tomar la decisión". En esta etapa, las opiniones son personales, ni se hacen intentos para formar una mayoría. Después sigue una discusión en la cual "el asunto es aclarado, las opiniones se aproximan y combinan con cada una para formar una opinión general". De esta manera, la decisión se reduce a elegir entre un conjunto manejable de alternativas. La tercera etapa consiste en la elección entre esas alternativas (Condorcet, [1793] 1847, pp. 342-343).[19]

Este es un hallazgo en la teoría. En particular, la distinción de Condorcet entre la primera y segunda discusiones parece ser muy útil. Sin embargo, su teoría de las etapas del proceso de decisión se ha olvidado, tampoco parece tener referencias en la teoría moderna.

MODELOS SECUENCIALES MODERNOS

Como punto de partida en las discusiones modernas generalmente se toma la exposición de John Dewey's ([1910] 1978, pp. 234-241)[20] de las etapas del proceso de

solución de problemas. De acuerdo con Dewey, el proceso de solución de problemas consiste de cinco etapas consecutivas:

a) Percibir la dificultad.
b) Definición del carácter de la dificultad.
c) Sugerencia de posibles soluciones.
d) Evaluación de la sugerencia.
e) Ampliar la observación y la experimentación dirigida a la aceptación o el rechazo de la sugerencia.

Herbert Simon (1960)[21] modificó la lista de Dewey de cinco etapas para hacerla aplicable en el contexto de las decisiones en las organizaciones. De acuerdo con Simon, el proceso de decisión consiste de tres fases principales: "encontrar ocasiones para tomar una decisión; encontrar alternativas posibles de acción y selección de alternativas (p. 1)". A la primera de estas fases le llamó *inteligencia*, "tomando prestado el significado del concepto militar de inteligencia" (p. 2); a la segunda, *diseño* y a la tercera, *selección*.

Brim *et al.* (1962, p.9)[22] propusieron otra subdivisión. Ellos dividieron el proceso de decisión en cinco etapas:

1. Identificación del problema.
2. Obtener la información necesaria.
3. Producción de soluciones posibles.
4. Evaluación de las soluciones.
5. Selección de una estrategia de ejecución.
6. Implementación de la decisión.

Las propuestas de Dewey, Simon, Brim *et al* son todas secuenciales en el sentido de que dividen el proceso de decisión en partes que siempre tienen la misma secuencia. Varios autores, principalmente Witte (1972),[23] han criticado la idea de que el proceso de decisión puede, en general, ser una moda dividida en etapas consecutivas. Su material empírico indica que las "etapas" son efectuadas en paralelo en lugar de en secuencia.

"Pensamos que los seres humanos no pueden recopilar información sin de alguna manera simultáneamente desarrollar alternativas. Ellos no pueden evitar evaluar estas alternativas inmediatamente; al hacer esto, se ven forzados a tomar una decisión. Esto es un paquete de operaciones, al hacer lo cual la sucesión de paquetes en el tiempo constituye el proceso total de decisión." (Witte 1972, p. 180.)

Un modelo más realista debe permitir que las diferentes partes del proceso de decisión se desarrollen en orden diferente en decisiones diferentes.

Según Simón (1960), los ejecutivos pasan una gran parte de su tiempo en actividades de inteligencia, una fracción aún mayor en la actividad de diseño y una pequeña fracción en la actividad elección. Lo anterior fue corroborado por las conclusiones

empíricas de Mintzberg *et al.* En 21 de los 25 procesos de decisión estudiados por ellos y sus estudiantes, la fase de desarrollo dominaba las otras dos fases.

En contraste con esto, por mucho la mayor parte de la literatura sobre la decisión se ha centrado en la rutina de evaluación de opciones. Aunque muchos estudios empíricos han tomado el proceso de decisión completo en cuenta, la teoría de decisiones ha sido exclusivamente concerniente a la rutina de evaluación de opciones. Lo anterior es "bastante curioso", según Mintzberg y coautores, ya que "esta rutina parece ser mucho menos importante por mucho, en los procesos de decisión que estudiamos que en diagnóstico o diseño".

Esta es una acusación grave de la teoría de decisiones. En su defensa, sin embargo, se dirá que la rutina de evaluación de selección es el enfoque del proceso de decisión. Es esta rutina la que convierte el proceso en un proceso de decisión, en tanto que el carácter de las otras rutinas es en gran parte determinada por ella. Todo lo anterior es una buena razón para prestar atención a la rutina de evaluación de la selección. No es, sin embargo, una razón para el abandono casi por completo de las otras rutinas, por lo que la teoría de decisiones normativa es en la mayoría de los casos culpable.

MODELOS NO SECUENCIALES

Uno de los modelos más influyentes que satisfacen estos criterios fue propuesto por Mintzberg, Raisinghani y Théorêt (1976).[24] En el enfoque de estos autores, el proceso de decisión consiste de distintas fases, pero estas fases no tienen una relación secuencial simple. Ellos usaron las mismas tres fases principales de Simon, pero le dieron nuevos nombres: identificación, desarrollo y selección.

La fase de identificación ("inteligencia" de Simon) consiste de dos rutinas. La primera de estas es *reconocimiento de la decisión*, en la cual "los problemas y las oportunidades" son identificados "en el flujo de datos ambiguos, principalmente verbales, que los tomadores de decisión reciben" (p. 253). La segunda rutina en esta fase son *el diagnóstico*, o "el sondeo de los canales de información existentes, y la operación de nuevos canales para aclarar y definir sus elementos" (p. 254).

La fase de desarrollo ("diseño" de Simon) sirve para definir y clarificar opciones. Esta fase también consiste de dos rutinas. La rutina de *búsqueda* permite encontrar soluciones hechas y la rutina de *diseño*, desarrollando nuevas soluciones o modificando las ya propuestas.

La última fase, la fase de selección ("selección" de Simon), consiste de tres rutinas. La primera, rutina de *pantalla*, únicamente es evocada "cuando se espera una búsqueda para generar más alternativas hechas que puedan ser intensivamente evaluadas" (p. 257). En la rutina de pantalla, obvio, las alternativas subóptimas son eliminadas.

La segunda rutina, la de evaluación selección, es la selección actual entre alternativas. Puede incluir el uso de uno a tres "modos", llamados (intuitivamente) juicio, negociación y análisis. En la tercera y última rutina, *autorización*, la aprobación para la solución seleccionada se obtiene de los mandos superiores.

La relación entre estas fases y rutinas es circular en lugar de lineal. El tomador de decisión "puede hacer ciclos dentro de identificación para reconocer el sondeo durante el diseño, puede hacer ciclos dentro de un laberinto de diseño anidado y buscar actividades para desarrollar una solución durante la evaluación, puede hacer ciclos entre el desarrollo y la investigación para entender el problema que está resolviendo... puede hacer ciclos entre selección y desarrollo para reconciliar las metas con las alternativas, los fines con medios". (p. 265) Típicamente, si no se encuentra una solución aceptable, hará ciclos regresando a la fase de desarrollo (p. 266).

Las relaciones entre estas tres fases y siete rutinas se presentan en el diagrama siguiente.

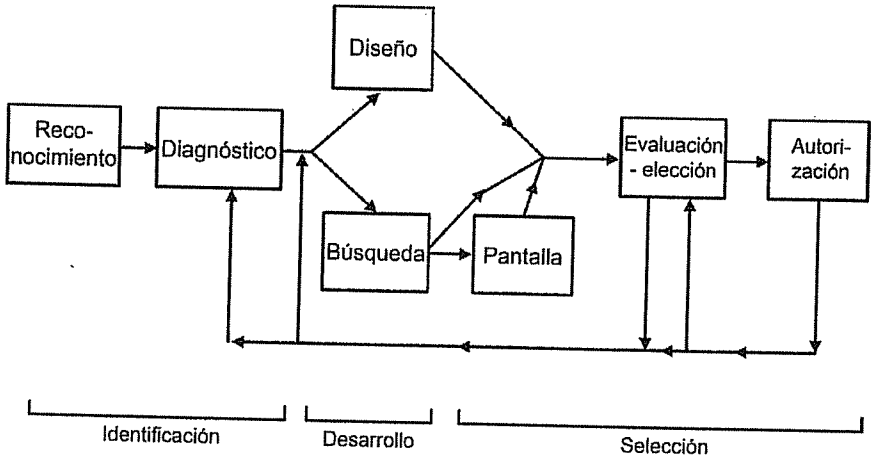


Figura 5.17. Relación entre fases y rutinas del modelo del proceso de decisión de Mintzberg, Raisinghani y Théorêt

Ejercicio 5.1: Considere los siguientes ejemplos del proceso de decisión:

a) La familia necesita una mesa nueva de cocina, y decide cual comprar.
b) El país necesita un sistema nuevo de pensión nacional, por lo que decide cuál introducir.

Muestre cómo varias partes de estas decisiones coinciden con las fases y rutinas propuestas por Mintzberg *et al*. ¿Puede encontrar en estos casos ejemplos de comportamientos de decisiones no secuenciales que los modelos mencionados son incapaces de manejar?

Las estructuras de decisión propuestas por Condorcet, Simon, Mintzberg *et al*, así como por Brim *et al* se comparan en el *diagrama 2*. Note que el diagrama descarta todos los modelos como secuenciales, así que no se puede hacer completa justicia al modelo de Mintzberg.



Figura 5.18. Comparación de los modelos no secuenciales del proceso de decisión

Las decisiones difieren de varias maneras. Estas diferencias afectan la formulación de las alternativas y de la selección entre ellas. Hay cuatro dimensiones de las clases de decisión: el nivel de conocimiento de los resultados, el nivel de la programabilidad, los criterios para las decisiones y el nivel de impacto de la decisión.

CONOCIMIENTO DE LOS RESULTADOS

Una consecuencia o un resultado definen lo que ocurrirá si se elige una alternativa o un curso de acción en particular. El conocimiento de los resultados se hace importante mientras haya múltiples alternativas. En el análisis de la toma de decisiones se distinguen tres tipos de conocimiento con respecto a los resultados.

Estado del resultado	Explicación
Certeza	Conocimiento completo y exacto de lo que produce cada alternativa. Solamente hay una consecuencia para cada alternativa.
Riesgo	Se puede identificar la posibilidad de múltiples resultados para cada alternativa y la probabilidad de ocurrencia asociada a cada uno.
Incertidumbre	Se pueden identificar múltiples consecuencias para cada alternativa, pero no conocer la probabilidad asociada a cada uno de ellos.

Tabla 5.11. Tipos de conocimiento con respecto a los resultados

Si se conocen las consecuencias y si los valores del resultado son evidentes, la tarea del tomador de decisión es calcular la alternativa óptima o el resultado. El criterio de optimización puede ser el menor coste. Por ejemplo, un comprador está considerando dos diferentes marcas de un producto, los cuales parecen ser iguales en valor para el comprador. Sin embargo, uno cuesta 20% menos que el otro. Al *ser iguales todas* las otras cosas, el comprador escogerá la menos costosa. (El ejemplo muestra que una decisión tomada bajo certidumbre es rara, en razón de que las otras cosas son difícilmente iguales. En algunos casos, el cálculo de una decisión óptima llega a ser muy dispendioso y en otros resulta impráctico sin un computador. La programación lineal es un ejemplo de la técnica para la localización de una solución óptima bajo certeza. Sin un computador los problemas de programación lineal, de cualquier tamaño, no son factibles desde el punto de vista computacional. Aun con el computador, algunos problemas de programación lineal son muy grandes en relación con los métodos estándares de computación.

La toma de decisiones bajo riesgo, cuando se conocen solamente las probabilidades de varios productos, es similar a la de certeza; en lugar de la optimización de los resultados, la regla general es optimizar el resultado esperado. Un supuesto básico es la racionalidad del tomador de decisión, lo cual se examinará después. Por ejemplo, frente a la elección entre dos acciones, una que ofrece el 1% de probabilidad de ganar $10,000 y otra un 50% de ganar $400, el tomador de decisión razonablemente escogerá al segundo en razón de que tendrá un valor esperado mayor.

Probabilidad x resultado = valor esperado

.01 x 10000 = 100
.50 x 400 = 200

Las decisiones bajo incertidumbre (consecuencia conocida, pero no sus probabilidades) se deben manejar de manera diferente en razón de que sin las probabilidades el criterio de optimización no se puede aplicar. La mayoría de sugerencias para manejar la incertidumbre se diseñan para suministrar las probabilidades desconocidas, de tal manera que el problema se trate como un problema de toma de decisión bajo riesgo.

Por ejemplo, una sugerencia es asignar iguales probabilidades. Otras reglas de decisión que han sido sugeridas son la de minimizar las penas así como usar los criterios de maximin y maximax.

INFERENCIA ESTADÍSTICA CLÁSICA

La inferencia estadística se denomina "clásica" u "objetiva" en oposición al enfoque bayesiano que utiliza las probabilidades subjetivas. Las técnicas de la estadística clásica suelen ser útiles en la preparación de información para la toma de decisiones.

Técnica estadística	Comentario
Muestreo	Se toman muestras de una porción pequeña de la población con la finalidad de estimar parámetros tales como media, variación, etcétera.
Distribución de probabilidades	Existe un número de distribuciones (e,g, normal, Poisson, exponencial, de Weibuil). Si los datos se aproximan a una de estas distribuciones, su modelo teórico se puede utilizar para propósitos de la toma de decisiones. La prueba de la bondad de ajuste del chi-cuadrado es uno de los métodos más comunes para la determinación de qué tan bien una distribución teórica se aproxima a los datos reales.
Análisis de correlación y regresión	La relación entre variables dependientes de una o más variables independientes se determina por el análisis de correlación. El coeficiente de correlación es una medida de resumen para explicar el grado al cual los cambios en las variables dependientes son explicados por los cambios en las variables independientes.
Prueba de hipótesis	Las hipótesis son probadas para juzgar si son verdaderas o falsas.

Tabla 5.12. Técnicas de la estadística clásica

5.3.3 Decisiones y valor

Cuando tomamos decisiones, o elegimos entre las opciones, tratamos de obtener un buen resultado tanto como sea posible, de acuerdo con alguna norma de lo que es bueno o malo.

La elección de un valor estándar para la toma de decisiones (y para la vida) es el tema de la filosofía moral. La teoría de decisiones supone que ese estándar está a la mano, por lo cual procede a expresar ese estándar de manera precisa y útil.

Relaciones y números

Para ver cómo se hace esto, consideremos un ejemplo sencillo: Usted tiene que elegir entre varias latas de sopa de tomate en el supermercado. Su estándar de valor puede estar relacionado con el precio, el sabor o cualquier combinación de estos.

Supongamos que le gusta más la sopa A que la B o C, y que la sopa B es mejor que la sopa C. A continuación, debería tomar claramente la sopa A. En realidad no hay necesidad en este sencillo ejemplo de un modelo más formal.

Sin embargo, es posible utilizar este sencillo ejemplo para introducir dos útiles modelos formales, cuya necesidad se verá más adelante en ejemplos más complejos.

Una forma de expresar el patrón de valor es como una relación entre las tres sopas: la relación "mejor qué". Contamos con:

A es mejor que B
B es mejor que C
A es mejor que C

Es evidente, ya que A es mejor que todas las otras alternativas, A debe ser elegido.

Otra forma de expresar este patrón consiste en asignar un valor numérico a cada una de las tres alternativas. En este caso, por ejemplo le asignamos a A el valor de 15, a B el valor de 13 y a C el valor 7. Se trata de una representación numérica, o la representación en términos de números. Puesto que A tiene un valor superior a B o C, A tiene que ser elegido.

Las representaciones relacionales y numéricas son las dos formas más comunes de expresar el patrón de valor de acuerdo con las decisiones que se hacen.

5.3.4 La utilidad esperada

El enfoque dominante en la toma de decisiones bajo riesgo, es decir, con probabilidades conocidas, es la utilidad esperada (UE). Este es sin duda "uno de los grandes paradigmas en la toma de decisiones desde la Segunda Guerra Mundial (Schoemaker, 1982, p. 529)", tanto en aplicaciones descriptivas como normativas.

CONCEPTO DE UTILIDAD ESPERADA

En la teoría de la utilidad esperada, para cada alternativa se asigna una media ponderada de los valores de su utilidad en diferentes estados de su naturaleza, mientras que las probabilidades de estos estados se utilizan como ponderaciones.

Vamos a utilizar el ejemplo del "paraguas". Las utilidades son las siguientes:

	Llueve	No llueve
Con paraguas	15	15
Sin paraguas	0	18

Tabla 5.13. Utilidades de las alternativas

Supongamos que la probabilidad de lluvia es 0.1. A continuación, la utilidad esperada del paraguas es 0.1 x 15 + 0.9 × 15 = 15, en tanto que de no llevar el paraguas es 0.1 x 0 + 0.9 x 18 = 16.2. De acuerdo con el máximo de la máxima utilidad esperada (MEU), no debemos, en este caso, llevar el paraguas. Si, por el contrario, la probabilidad de lluvia es 0.5, entonces la utilidad esperada del paraguas es 0.5 x 15 + 0.5 x 15 = 15 y la de no llevar el paraguas es 0.5 x 0 + 0.5 x 18 = 9. En este caso, si queremos maximizar la utilidad esperada, entonces debemos llevar el paraguas.

UTILIDAD OBJETIVA Y SUBJETIVA

En sus primeras versiones, la teoría de la utilidad esperada no se refirió a las utilidades en el sentido moderno del término, sino a los resultados monetarios. La recomendación iba a jugar un papel importante si es que aumentó su riqueza esperada; de otra manera, no.

En 1713, Nicolás Bernoulli (1687-1759) planteó un problema difícil para la teoría de la probabilidad, que hoy se conoce como la paradoja de San Petersburgo (que fue publicado en las actas de una academia en esa ciudad.) Se nos invita a considerar el siguiente juego:

Una moneda es lanzada hasta que la primera cara sale. Si la cara aparece en el primer lanzamiento, a continuación recibirá una moneda de oro. Si la cara sale en el segundo lanzamiento, recibe dos monedas de oro. Si sale en la tercera tirada, recibirá 4 monedas de oro. En general, si sale en el enésimo lanzamiento recibirá 2^{n-1} monedas de oro.

La probabilidad de que la primera tendrá lugar en el enésimo lanzamiento es 1/2N. Su riqueza esperada después de haber jugado el juego es:

½ x 1 + ¼ x 2 +..... 1/2n × 2n-1 +...

Esta suma es igual a infinito. Así, según la regla de maximizar la riqueza esperada, un agente racional debe estar preparado para pagar cualquier cantidad finita de dinero por

la oportunidad de participar en este juego. En particular, habrán de estar preparados para poner toda su fortuna en una sola carrera del juego de San Petersburgo.

En 1738, Daniel Bernoulli (1700-1782, un primo de Nicolás) propuso lo que sigue siendo la solución convencional al rompecabezas de San Petersburgo. Su idea básica fue la de sustituir la regla de la maximización de la riqueza esperada por la de la maximización de la utilidad esperada (subjetiva). La utilidad reunida por una persona en términos de riqueza no aumenta de forma lineal con la cantidad de dinero, sino que aumenta a una tasa decreciente. Sus primeros $1000 son más valiosos para usted que $1000 si ya fuera millonario. (Más precisamente, Daniel Bernoulli propuso que la utilidad del próximo incremento de la riqueza es inversamente proporcional a la cantidad que usted ya tiene, por lo que la utilidad de la riqueza es una función logarítmica de la cantidad de la riqueza). Lo que con franqueza se puede comprobar es que una persona con una utilidad de esa magnitud no estaría muy bien dispuesta a poner sus ahorros en juego en el San Petersburgo.

En las aplicaciones de la teoría de decisiones a los problemas económicos, las utilidades subjetivas son de uso común. En la economía se supone que cada utilidad individual es una función creciente de su riqueza, pero la función de esta puede ser diferente para diferentes personas.

En el análisis de riesgo, por otra parte, la utilidad objetiva es el enfoque que domina. La forma más común para medir el riesgo es multiplicar "la probabilidad de un riesgo con su severidad, para llegar al valor esperado, y utilizar este valor esperado para comparar los riesgos".

"El peor accidente del reactor de fusión que normalmente se considera, el cual causa 50,000 muertes y tiene una probabilidad de 10^{-8}/reactor-año, contribuye solo dos por ciento de los efectos sobre la salud promedio de accidentes de reactores".

Esta forma de utilidad esperada tiene la ventaja de validez intersubjetiva. Una vez que las utilidades esperadas del tipo de las utilizadas en el análisis de riesgo han sido muy bien determinadas para una persona, se han determinado correctamente para todas las personas. Por el contrario, si las utilidades son llevadas a ser subjetivas, entonces la validez intersubjetiva se pierde (como consecuencia de esto, el papel de asesoramiento de expertos es mucho más reducido).

5.3.5 La toma de decisiones bajo incertidumbre

LAS PARADOJAS DE LA INCERTIDUMBRE

La discusión sobre la distinción entre la incertidumbre y la probabilidad se ha centrado en dos paradojas. Una de ellas es la paradoja de pruebas ideal. Fue descubierta por Peirce ([1878] 1932),[25] pero la formulación más comúnmente es dada por Popper:[26]

"Sea z una moneda determinada y sea a la declaración" el enésimo (aún no observado) lanzamiento de z dará cara". Dentro de la teoría subjetiva, se llega a suponer que la probabilidad absoluta (o preferente) de la declaración a es igual a 1 / 2, es decir,

(1) P (a) = 1 / 2

Ahora dejemos a e ser alguna evidencia estadística, es decir, un informe estadístico, basado en la observación de miles o quizá millones de lanzamientos de z, así como dejar que esta evidencia e sea idealmente favorable a la hipótesis de que z es estrictamente simétrica, es decir, que es un "buen" centavo, con equidistribución... A continuación, no tienen otra opción sobre P (a, e) [la probabilidad de una, dado e] que suponer que:

(2) P (a, e) = 1 / 2

Lo anterior significa que la probabilidad de lanzar cara se mantiene sin cambios; a la luz de la evidencia electrónica, por ahora tenemos:

(3) P (a) = P (a, e).

Pero de acuerdo con la teoría subjetiva (3), es que e es, en general, información (absolutamente) irrelevante con respecto a a.

La paradoja presta apoyo a la propuesta de Peirce que "para expresar el estado adecuado de la fe, sin número uno, sino dos son necesarias, la primera función de la probabilidad de inferir, el segundo sobre la cantidad de conocimiento en que se basa esa probabilidad." (Peirce [1878] 1932, p.421)

La otra paradoja es la paradoja de Ellsberg. Esta se refiere al problema de decisión siguiente: "Imagina una urna que se sabe contiene 30 bolas rojas y 60 bolas de color negro y amarillo; de este último color, en proporción desconocida ... Una bola se extraerá al azar de la urna; se consideran las siguientes acciones:

	Rojo	Negro	Amarillo
I	$ 100	$ 0	$ 0
II	$ 0	$ 100	$ 0

Tabla 5.14. Apuestas para acciones I y II

I es "una apuesta en rojo", II es " una apuesta en negro". ¿Qué prefiere? Consideremos ahora las dos acciones siguientes, en las mismas circunstancias:

	Rojo	Negro	Amarillo
III	$ 100	$ 0	$100
IV	$ 0	$ 100	$ 100

Tabla 5.15. Apuestas para acciones III y IV

III es una "apuesta a rojo o amarillo"; IV es una apuesta en negro o amarillo. ¿Cuál de estos le gusta más? ¡Tómese su tiempo!

Un patrón muy frecuente de la respuesta es: la acción preferible II, III y IV. Menos frecuente es: II preferible que I, y III preferible que IV" (Ellsberg [1961] 1988). [27]
Las personas que responden de acuerdo con cualquiera de estos patrones violan el bayesianismo. Ellos "no están simplemente actuando "como pensaron; ellos asignaron probabilidades numéricas e incluso cuantitativas a los acontecimientos en cuestión".

(Ibíd.) También violan el principio de cosa cierta. Ellsberg llegó a la conclusión de que hay que tomar en cuenta en el análisis de decisiones el grado de incertidumbre o, por el contrario, la fiabilidad de las estimaciones de probabilidad. Esta idea ha sido incorporada no solo por técnicos, sino también por algunos profesionales de ayuda a los análisis y toma de decisiones aplicadas. Los analistas de riesgo, tales como Wilson y Crouch,[28] sostienen que "es la tarea del evaluador de riesgos de utilizar toda la información disponible para obtener un número entre cero y uno para una estimación del riesgo, con tanta precisión como sea posible, junto con una estimación de la imprecisión" (Wilson y Crouch, 1987).

TOMA DE DECISIONES BAJO IGNORANCIA

La toma de decisiones bajo ignorancia se entiende comúnmente como la toma de decisiones cuando se sabe lo que los posibles estados de cosas son, pero no hay información acerca de sus probabilidades disponible.

Estas situaciones no son infrecuentes en las que se carece de información, no solo acerca de las probabilidades de los posibles estados de la naturaleza, sino también acerca de cuáles son esos estados de cosas.

Reglas de decisión para la "ignorancia clásica"

La siguiente es una variante del ejemplo del "paraguas" que se ha utilizado en las secciones anteriores: Usted ha participado en un concurso en un programa de televisión donde ganó el gran premio, un viaje secreto. Será llevado en avión a una semana de vacaciones en un lugar secreto. No sabe dónde es ese lugar, así que todo lo que sabe es que la probabilidad de lluvia puede ser dese 0 a 1. Por lo tanto, este es un ejemplo de toma de decisiones en la ignorancia.

Su matriz de decisión es:

	Llueve	No llueve
Con sombrilla	Ropa seca, maleta ligera	Ropa seca, maleta pesada
Sin sombrilla	Ropa mojada, maleta ligera	Ropa seca, maleta pesada

Tabla 5.16. Matriz de decisión para el ejemplo del paraguas

Veamos primero lo que haríamos con solo una relación de preferencia (es decir, sin información sobre servicios públicos). Al igual que antes, sus preferencias son las siguientes:

- Ropa seca, maleta ligera

  Es mejor que

- Ropa seca, maleta pesada

  Es mejor que

- Ropa mojada, maleta ligera

Tal vez lo más importante entre los criterios de decisión propuestos para las decisiones en virtud de la ignorancia es la regla maxi/min: Para cada alternativa, se define su nivel de seguridad como el peor resultado posible con esa alternativa. La regla maxi/min nos impulsa a elegir la alternativa que tiene el nivel de seguridad máximo. En otras palabras, maximizar los resultados mínimos. En nuestro caso, el nivel de seguridad de "paraguas" es "ropa seca, maleta pesada", en tanto que el nivel de seguridad de "no paraguas" es "la ropa empapada, la maleta ligera". Así, la regla maxi/min le insta a llevar su paraguas.

5.3.6 Teoría de decisiones sociales

Las reglas de decisión que han sido establecidas para toma de decisiones individuales en muchos casos suelen también ser utilizadas para la toma de decisiones por parte de los grupos. Como un ejemplo, las teorías de la toma de decisiones jurídicas, en general, no hacen una diferencia entre las decisiones de un juez único y las decisiones de varios jueces que actúan en conjunto como un tribunal de justicia. La presunción es que el grupo actúa como si se tratara de un solo individuo. Del mismo modo, la mayoría de las teorías de toma de decisiones corporativas tratan a la corporación como si todas las decisiones debieran ser tomadas por un solo fabricante de decisión individual. (Cf. Freeling 1984, p. 200).[29] En efecto, "cualquier persona que toma las decisiones -un solo ser humano o una organización- que debe ser considerado como que tiene un interés unitario motivando sus decisiones puede ser tratado como un individuo en la teoría" (Luce y Raiffa 1957, p. 13).[30]

Por una teoría de decisiones colectiva se entiende una teoría de las situaciones de modelos en los que las decisiones se toman por dos o más personas, que pueden tener objetivos contradictorios o puntos de vista conflictivos sobre cómo los objetivos habrán de ser alcanzados. Esta teoría trata a los individuos como "tener intereses en conflicto que deben resolverse, ya sea en un conflicto abierto o por compromiso" (Luce y Raiffa 1957, p. 13).

La mayoría de los estudios sobre teoría de decisiones colectiva se someten a voto, a negociación y a otros métodos para combinar las preferencias individuales o las elecciones en las decisiones colectivas. La preocupación más importante de la teoría de decisiones social es la agregación de preferencias individuales (opciones) en las preferencias colectivas (opciones). El problema central es encontrar, dado un conjunto de preferencias individuales, una manera racional para combinarlos en un conjunto de preferencias sociales o en una elección social.

La teoría de decisiones sociales no es un campo más pequeño de los conocimientos de la teoría de decisiones individual. Por lo tanto, este breve capítulo solo será una introducción muy rudimentaria.

EL HALLAZGO BÁSICO

El hallazgo fundamental en la teoría de decisiones sociales fue obtenido por Borda y Condorcet, pero fue olvidado por muchos años. Ellos descubrieron que en la regla de mayoría simple suele haber muchas situaciones en las cuales cada opción es inestable en el sentido de que una coalición mayoritaria puede ser formada en su contra. Para ver lo que significa en la práctica, consideremos el ejemplo siguiente.

Asumiremos que hay tres alternativas disponibles para el manejo de desechos nucleares. La industria nuclear ha trabajado en una propuesta y proporcionó información para mostrar que es suficientemente segura. Llamaremos a esta la "propuesta de la industria". Un grupo independiente de científicos, quienes son escépticos ante la propuesta de la industria, desarrollaron una propuesta propia, la cual contiene varias barreras más que la propuesta por la industria y es considerada más segura. Por otra parte, es varias veces más cara. La llamaremos la "solución cara". Pero despreciando las barreras extra, muchos ambientalistas no están convencidos de irse por la solución cara. Ellos proponen que todo el asunto sea pospuesto hasta que estudios más profundos sean efectuados.

En el Parlamento, hay tres facciones de aproximadamente el mismo tamaño. Los miembros de la primera facción (los "economistas") están principalmente relacionados con los desarrollos económico y tecnológico. Ellos ponen primero el propósito de la industria. En la elección entre posponer y la solución más cara, prefieren la pospuesta por razones económicas. Sus preferencias son:

Económicas:

1. La propuesta industrial.
2. Posposición.
3. Solución costosa.

La segunda facción (los "eticistas") es la más comprometida con nuestra responsabilidad para no heredar el problema a las nuevas generaciones. Ellos quieren que el problema sea resuelto ahora, con el mejor método disponible.

Sus preferencias son:

Eticistas:

1. La solución costosa.
2. La propuesta industrial.
3. Posposición.

El tercer grupo (los "ambientalistas") prefieren posponer la disposición final del desperdicio, dado que ellos no creen aún en la solución costosa.

Sus preferencias son:

Ambientalistas:

1. Pospuesta.
2. Solución costosa.
3. Propuesta industrial.

Ahora veamos lo que pasa en la votación por mayoría. Primero supongamos que la propuesta industrial gana. Entonces una coalición de eticistas y ambientalistas se llega a formar para cambiar la decisión, puesto que estos dos grupos prefieren la solución costosa a la propuesta de la industria.

En seguida supongamos que la solución costosa ha ganado. Entonces una coalición se forma para cambiar la decisión por economistas y ambientalistas, porque ambos prefieren posponer la solución costosa.

Por último, supongamos que la posposición ha ganado. Entonces la decisión será cambiada por una coalición de economistas y eticistas, quienes prefieren la propuesta industrial a la posposición.

Comenzamos razonablemente con tres modelos de preferencias individuales. Usamos un método que consideramos era racional por agregación, por lo que llegamos a preferencias cíclicas sociales.

EL TEOREMA DE ARROW

El punto de partida de la teoría moderna de decisiones sociales fue un teorema propuesto por Kenneth Arrow (1951). Él desarrolló una investigación donde hay algunas otras reglas de decisiones sociales en lugar de reglas por mayoría, bajo las cuales las preferencias cíclicas sociales logran evitarse. La respuesta contenida en su famoso teorema es que si cuatro criterios de racionalidad parecidos son satisfechos por la regla de decisión razonablemente, entonces la ciclicidad no puede evitarse. Para una prueba accesible del teorema, consultar Sen (1970, ch. 3*.)[31]

En las décadas siguientes, muchos más resultados de naturaleza similar se han acumulado. Cuando el rango de alternativas se amplía desde una lista simple, como en

nuestro ejemplo, a un conjunto de todos los puntos, en un espacio euclidiano, se logran obtener resultados de imposibilidad como los de Arrow.

(McKelvey 1976,[32] 1979, Schofield 1978[33]) Es característico de la teoría de decisiones sociales que la mayoría de sus resultados más importantes sean de naturaleza negativa, lo que muestra que algunos requerimientos de racionalidad en los procedimientos de decisiones sociales no son compatibles.

CALIDAD DE LA TOMA DE DECISIONES

Es frecuente enfrentar la dificultad de evaluar la calidad de una decisión que se haya tomado; es posible, sin embargo, evaluar la calidad del proceso por el cual se tomó la decisión.

Janis y Mann (1977)[34] han identificado siete criterios principales para juzgar la calidad de los procedimientos en la toma de decisión. La calidad de un proceso de decisión se compone de un tomador de decisión quien "con lo mejor de su habilidad y dentro de sus capacidades del procedimiento de información:

1. Examina completamente un intervalo amplio de alternativas de cursos de acción.
2. Estudia el alcance completo de los objetivos propuestos y los valores implicados por la selección.
3. Pondera cuidadosamente cuanto conozca sobre el riesgo y coste de las consecuencias negativas, como también de las consecuencias positivas que pudiera tener cada alternativa.
4. Explora intensivamente en busca de nueva información relevante para una mejor evaluación de las alternativas.
5. Asimila correctamente y tiene en cuenta cualquier nueva información o algún juicio experto que se le haya expuesto, aun cuando la información o el juicio no apoyen el curso de acción que al inicio se prefiere.
6. Reexamina las consecuencias positivas y negativas de todas las alternativas conocidas, incluyendo aquellas que originalmente se observaron como inaceptables, antes de hacer una selección final.
7. Hace provisiones detalladas para la implementación o ejecución de los cursos de acción seleccionados, con especial atención en los planes de contingencia que pudieran requerirse, si se concretaran varios riesgos conocidos".

5.4 TEORÍA DE LA COMUNICACIÓN Y DE LA INFORMACIÓN

La **teoría de la información** o **teoría de la comunicación** se creó en la década de 1940, a partir de los trabajos de C. E, Shannon y N. Wiener. En todo sistema de comunicación la información inicial se codifica y se transmite en "señales". Estas señales se pasan a un destinatario o receptor, quien a su vez debe descodificar o interpretar la señal. Generalmente el mensaje inicial o "input" no es totalmente idéntico al final u "output", porque en su codificación, transmisión o decodificación llegan a producirse interferencias o "ruido". La teoría de la información intentó crear un formulismo matemático para la descripción de la información, la medida de la cantidad de información y su pérdida en la transmisión o comunicación. Aunque originariamente esta teoría tuvo su aplicación en los campos de la radiotelegrafía y la radiotelefonía, se aplicó también en psicología, fundamentalmente para la comprensión del lenguaje y de la percepción.

Un antecedente obligado en el estudio de la comunicación ha sido por mucho tiempo la. llamada teoría de la información formulada a fines de la década de 1940 por el ingeniero Claude E. Shannon. Su primera versión apareció en el *Bell System Technical Journal* de octubre de 1948, perteneciente a la Bell Telephone Laboratories, organización a la que Shannon se encontraba profesionalmente ligado. Poco después, el sociólogo Warren Weaver redactó un ensayo destinado a enfatizar las bondades de esta propuesta, el cual fue fue publicado junto al texto anterior en julio de 1949.

El trabajo de Shannon se titula *The Mathematical Theory of Communication* y el de Weaver, *Recent Contributions to the Mathematical Theory of Communication.* En conjunto dieron lugar a un pequeño libro que tomó el título del primero de ellos. De este modo, la unión de dos textos y de dos disciplinas diferentes produjo una obra de referencia duradera en el campo de la comunicación. Lo habitual es que se aluda a estas concepciones como el modelo de Schannon y Weaver o como la *teoría de la información.*

La teoría tiene una expresión gráfica de notable sencillez; la fuente de información selecciona, a partir de un conjunto de posibles mensajes, el deseado. El transmisor transforma el mensaje en una señal que es enviada por el canal de comunicación al receptor.

El receptor hace las veces de transmisor invertido que cambia la señal transmitida en un mensaje y pasa este mensaje a su destinatario. "Cuando yo hablo con usted mi cerebro es la fuente de información; el suyo es el destinatario; mi sistema vocal es el transmisor, y su oído, con su octavo par de nervios craneanos, es el receptor".

Infortunadamente, es característico del proceso de transmitir la señal que se agreguen a estas ciertas cuestiones que no son proporcionadas en forma deliberada por la fuente

de información. Estos aditamentos indeseados pueden ser distorsiones de sonido (en telefonía, por ejemplo), o estáticos (en radiotelefonía), o distorsiones de la manera o el sombreado de una imagen (televisión), o errores de transmisión (telegrafía o facsímil). Todos estos cambios en la señal suelen ser llamados ruidos.

"Los problemas que han de estudiarse en un sistema de comunicación tienen que ver con la cantidad de información, la capacidad del canal de comunicación, el proceso de codificación que puede utilizarse para cambiar el mensaje en una señal y los efectos del ruido" (1984, p. 36).

A lo largo de este movimiento orientado linealmente, se encuentra un conjunto de componentes que pueden ser distinguidos en forma precisa, por su ubicación y su función.

5.4.1 El objeto de estudio de la teoría de la comunicación[35]

La comunicación es el principal objeto de estudio de la teoría de la comunicación.

Secundariamente, las diferentes explicaciones que se han dado sobre esa realidad forman también parte del objeto de estudio. Sin embargo, en los últimos años, al crecimiento del campo y la importancia que en él se le ha dado a la reflexión teórica, han convertido a las teorías en el principal objeto de estudio para los teóricos de la comunicación: la sistematización y la evaluación de las teorías se ha transformado en la primera actividad en la reflexión teórica en comunicación. El cometido de la teoría de la comunicación es explicar lo que hay de común entre las diversas aproximaciones a la realidad de la comunicación y poner en diálogo las muchas tradiciones desde las que se estudia.

TRADICIONES Y TEORÍAS DE LA COMUNICACIÓN EN CRAIG (1999)[36]

Son siete las grandes tradiciones en la teoría de la comunicación que señala Craig: la retórica, la semiótica, la fenomenológica, la cibernética, la sociopsicológica, la sociocultural y la crítica.

1. Para la *tradición retórica* la comunicación es el arte práctico del discurso.

2. La *tradición semiótica* plantea sus dudas sobre la posibilidad del entendimiento entre los hombres, con dos enfoques diferentes de la disciplina:[37] la comunicación como transferencia de significado y la comunicación como mediación intersubjetiva a través de signos lingüísticos o de otro tipo.

3. La tradición de la fenomenología ofrece explicar filosóficamente —en forma racional— el mundo de la interacción social y de la comunicación[38]

4. La *tradición cibernética* entiende la comunicación como el procesamiento de la información. En la teoría matemática de la comunicación no existe propiamente el mensaje; la que existe es la función de mensaje. Los grandes cambios que internet introduce dan paso a un hombre en red y transforma la realidad en algo virtual que puede ser compartido a través de ella.[39] El mundo se convierte de nuevo en un mundo de comunidades, de hombres que interactúan (en la red) sobre realidades (virtuales) accesibles.[40]

5. La *tradición sociopsicológica* del estudio de la comunicación se denomina habitualmente *mass communication research*. En este proceso, afirma Craig, "el comportamiento de los humanos, o de otros organismos complejos, expresa mecanismos, estados y rasgos psicológicos y, a través de la interacción con las expresiones similares de otros individuos, produce una gama de efectos cognitivos, emocionales y de comportamiento".[41]

6. Desde el punto de vista sociológico, los procesos de comunicación pueden ser diversos: de uno a otro, de uno a muchos, de muchos a muchos... Cuando en el proceso están implicados muchos serán necesarias las tecnologías de la comunicación de masas. En cualquier caso, la comunicación habrá de contar siempre con las características sociológicas del entorno y los grupos en los que tiene lugar el proceso, así como con las predisposiciones psicológicas de los que participan en él, es decir, sus actitudes, estados emocionales, personalidad, etcétera, que podrán ser a su vez modificadas por los efectos de la misma interacción social, esté o no mediada por la tecnología.

7. La *tradición sociocultural* se centra también en los efectos de la comunicación, más que en su naturaleza. Frente a la tradición sociopsicológica, al hablar de efectos, esta tradición se refiere al orden social que resulta de la comunicación, específicamente de la comunicación de masas. Así, James Carey define la comunicación como "un proceso simbólico por medio del cual la realidad es producida, mantenida, reparada y transformada".[42]

8. "Para la *tradición crítica* el problema de comunicación básico en la sociedad surge de las fuerzas materiales e ideológicas que impiden o distorsionan la reflexión discursiva. La comunicación así concebida explica cómo la injusticia social se perpetúa por las distorsiones ideológicas y cómo la justicia puede ser en teoría potenciada a través de prácticas comunicativas que hagan posible la reflexión crítica o la toma de conciencia con la finalidad de desenmascarar esas distorsiones y así hacer posible la acción política para liberar de ellas a los implicados".[43]

9. A las sugerencias de Craig habría que añadir una aportación práctica interesante que la *teoría de la comunicación* puede hacer al resto del campo de estudio: comprender la unidad de la comunicación como campo de estudio en

el que se articulan las diversas disciplinas que se ocupan de los fenómenos comunicativos. Un aspecto importante a considerar con un enfoque práctico es la aplicación de la teoría de la comunicación e información al estudio del ser humano como procesador de información.

En este sentido, se han desarrollado muchos modelos y estudios al respecto tales como:

a) Modelo de Newell-Simon.[44]
b) La importancia de la racionalidad limitada.[45]
c) Límites de capacidad de información.[46]
d) Remembranza oral inmediata de datos numéricos.[47]
e) Memoria transitiva.[48]
f) Modelo de procesamiento de información en seres humanos.[49]

5.4.2 Comunicación e información[50]

En este capítulo se ofrecen definiciones de la comunicación y la información, analizando sus rasgos más fundamentales y las teorías que más concretamente se ocuparon de estas categorías. Se analiza el proceso de la comunicación y algunos principios fundamentales de la información. Se presentan por último algunas clasificaciones de la comunicación, así como algunos modelos para entender dicho proceso.

La información y la comunicación son el componente último de la realidad que nos rodea. La comunicación es el traspaso de energía entre individuos. Es también la transmisión de una experiencia por parte de quien la tiene inicialmente a quien no la ha tenido antes de ese proceso. La información es el proceso por el cual la realidad adquiere una forma determinada. Cuando se da un proceso de comunicación, una forma nueva se concreta o vuelve significativa; eso es la información. La teoría matemática de la información definió como unidad mínima de información al bit, una estructura binaria o en umbral cuyo dinamismo se asocia a la reducción de la incertidumbre y al valor significativo de cada suceso o estado de cosas.

No es posible aislar o estabilizar la información, porque información y comunicación son fenómenos dinámicos, de relación y proceso. Toda comunicación es un proceso más eficaz cuanto más fluye. Toda información es en realidad una estructura de conexiones que pone en comunicación las señales y los mensajes con sus contextos y fondos, en estructuras de umbrales. La información es de naturaleza proyectiva. Tiende a expandirse. Depende del orden o forma de sus elementos y también de la carga o cantidad de elementos que contenga. La información es un fenómeno dinámico. Cuando un mensaje o una señal se hacen estáticos dejan de ser informativos.

Por los niveles de acción observados, la comunicación se clasifica en: intrapersonal o íntima, interpersonal o de relaciones directas, y en grandes grupos y mediada. Tales

cortes o dimensiones de estudio de la comunicación constituyen facetas de un mismo prisma. Toda comunicación puede ser intrapersonal, interpersonal y masiva al mismo tiempo. Otra clasificación que atiende a su forma se divide entre comunicación analógica y comunicación digital. Por su parte, los modelos y sistemas de comunicación analizan su estructura simétrica o complementaria.

DEFINICIONES DE COMUNICACIÓN

Etimológicamente, "comunicar" se refiere a "compartir" o a "intercambiar". Por ello los autores que tratan el fenómeno de la comunicación humana plantean que se trata de un proceso de interacción, o transacción, entre dos o más elementos de un sistema.

La "comunicación" es una palabra que designa una actividad humana y, por lo tanto, tendrá un uso, un significado y una finalidad diferente, los cuales dependerán de la cultura de la persona que la utilice.

Existen diversas definiciones de comunicación, de las cuales se mencionan las siguientes:

- La comunicación es un proceso de transmisión de estructuras entre las partes de un sistema que son identificables en el tiempo o en el espacio" (Krippendorff, K., 1969).[51]
- "La comunicación es el mecanismo por medio del cual existen y se desarrollan las relaciones humanas, es decir, todos los símbolos de la mente junto con los medios para trasmitirlos a través del espacio y preservarlos en el tiempo (Cooley, 1909).[52]
- "La comunicación es un fenómeno transaccional en que se influyen o afectan recíproca o mutuamente los miembros integrantes."
- Es el proceso por medio del cual el individuo transmite estímulos para modificar el comportamiento de otros (Hovland, 1954).[53]

El proceso de la comunicación incluye diferentes elementos: el contexto, los participantes, los mensajes, los canales, el ruido y la retroalimentación.

ELEMENTOS DE LA COMUNICACIÓN

- El contexto es el medio en que se desarrolla la comunicación. Puede ser físico, social, histórico, psicológico, cultural.
- El contexto físico se refiere a las condiciones ambientales del lugar dondé se desarrolla. (temperatura, iluminación, nivel de ruido), distancia personal, horario.

- El contexto social se refiere a la naturaleza de la relación que existen entre los participantes, ya sea familiares, amigos, desconocidos, compañeros, etcétera.
- El contexto histórico se refiere al conocimiento o a los antecedentes.
- El contexto psicológico es el estado emocional en que se encuentra la persona.
- El contexto cultural es la cultura que posee la persona, compuesta de normas, valores y creencias.
- Los participantes son los transmisores y los receptores en la comunicación.
- Los trasmisores forman mensajes que tratan de comunicar a los receptores, a través de un comportamiento verbal o no verbal.

La comunicación se realiza por medio de la transmisión y recepción de mensajes, los cuales incluyen los elementos de significados y símbolos, codificar y descifrar, forma y organización.

- Los significados son las ideas y sentimientos que existen en la mente.
- Los símbolos son palabras, sonidos y acciones que representan un significado específico de contenido.
- Codificar es el proceso de pensamiento cognoscitivo de transformar las ideas y los símbolos, así como de organizarlos dentro de un mensaje.
- Descifrar es el proceso de trasformar de nuevo los mensajes de otro, dentro de las ideas y los sentimientos propios de la persona.
- La forma y organización se utiliza cuando encontramos significados complejos, para ordenarlos en secciones, lo que es necesario e importante cuando transmitimos información en público.
- Un canal es el trayecto por donde pasa el mensaje. Los mensajes se trasmiten a través de los canales sensoriales.
- El factor ruido, que puede ser externo, interno o semántica, interfiere en la participación del sentido.
  - Los ruidos externos son: las miradas, los sonidos y cualquier otro estímulo en el ambiente que distraiga la atención de los participantes.
  - El ruido interno se refiere a los pensamientos o sentimientos que interfieren durante la comunicación.
  - El ruido semántico es el significado no intencionado que se genera por una mala representación o un entendimiento.

- La retroalimentación es la respuesta al mensaje enviado, indicando si fue escuchado o comprendido, así como el sentido con que lo percibió.

EL CONCEPTO DE INFORMACIÓN[54]

La relación entre hombre, mundo y lenguaje ha sido uno de los grandes temas de la filosofía del siglo XX en lo que se suele llamar el *giro lingüístico,* bajo la influencia de la lingüística y la semiótica, tanto en la filosofía analítica como en diversas corrientes de la filosofía continental, como es el caso de la fenomenología y la hermenéutica. Un lugar de encuentro de estas posiciones es la concepción del lenguaje, no como un medio neutral y transparente a través del cual percibimos y concebimos la realidad tal cual es, sino como una condición de posibilidad ineludible del conocimiento y la acción humanos, lo que quiere decir, siguiendo la tradición kantiana, que la realidad se articula como tal en el lenguaje y viceversa; el análisis del lenguaje nos muestra, siempre en forma parcial, quiénes somos y en qué mundo vivimos. Ludwig Wittgenstein tuvo gran influencia en el *giro lingüístico* con su concepción del significado como uso y el consecuente análisis de "formas de vida" y "juegos de lenguaje" a los que están siempre ligados dichos usos.[55]

Sin ver como absoluto el pragmatismo lingüístico de Wittgenstein podemos, aun así, rescatar su intuición de que tanto la reflexión sobre el mundo como sobre nuestras propias vidas no llega a eludir al lenguaje, siendo así posible un distanciamiento crítico de los significados contingentes en uso que nos permiten no solo crear nuevas formas de vida, sino también nuevas teorías científicas, o sea, nuevas formas de comprender y responder a la realidad en la que vivimos, así como aquella que somos y hacemos.

Vivimos, se ha dicho muchas veces, en la sociedad de la información o, aún más, en la época de la información en contraposición a la época industrial y a la agraria.

Naturalmente que estas divisiones históricas son sumamente arbitrarias, sobre todo si se las piensa en forma lineal, siendo así que toda sociedad humana siempre ha estado basada en procesos informativos, aunque no por cierto con la forma mediática actual de la información digital. El predominio de un factor determinado nos permite, con mayor o peor fortuna, utilizar adjetivos para calificar una época, oscureciendo a la vez otros aspectos no menos importantes.

Todo concepto y todo término no están aislados, sino que forman parte de una compleja red dinámica o histórica de relaciones con todos los estratos de la sociedad, incluyendo cambios metafóricos y metonímicos de todo tipo, tanto en los lenguajes llamados naturales como en los lenguajes artificiales, incluyendo las teorías científicas y las especulaciones filosóficas, cambios que se logran percibir en toda su complejidad especialmente en las grandes obras literarias. En el campo filosófico tales cambios son decisivos en tanto que se entienda por filosofía una reflexión metódica sobre las bases conceptuales del mundo y del ser humano.

En una conferencia, el físico y filósofo alemán Carl Friedrich von Weizsäcker (1912-2007) titulada "Lenguaje como información" dada por primera vez en 1959 en la

Academia de Bellas Artes de Munich,[56] Weizsäcker decía: "Hoy comenzamos a acostumbrarnos a concebir la información como una cosa diferente a la materia y la conciencia. Pero lo que hemos descubierto con esto es una vieja verdad en un lugar nuevo. Es el *eidos* platónico, la forma aristotélica, revestidas de tal manera que también un hombre del siglo XX pueda aprender a entrever su sentido."[57]

Weizsäcker alude implícitamente al famoso dicho de Norbert Wiener (1894-1964): "Información es información, no materia o energía. Ningún materialismo que no admita esto puede sobrevivir hoy."[58]

La noción de información en la antigüedad clásica, especialmente en el pensamiento de Platón y Aristóteles, si se la relaciona, como lo sugiere Weizsäcker, a los conceptos de *idea/eidos* y *morphé*, tiene un carácter objetivo y subjetivo, que se mantiene en la tradición latina clásica y medieval con el concepto de *informatio*. La modernidad rechaza la objetividad en el uso corriente concibiendo la información como una categoría puramente subjetiva. En la actualidad, particularmente desde mediados del siglo pasado, tiene lugar un renacimiento del carácter objetivo en el contexto de las ciencias naturales y las tecnologías llamadas justamente de la información, lo que repercute a la vez en el lenguaje ordinario.

Para la teoría de mensajes o *angelética*,[68] *información es un mensaje que hace una diferencia*, ya sea como forma o como "oferta de sentido".

El concepto moderno de información opera, en otras palabras, como un correctivo al concepto heteronómico de mensaje y viceversa: el concepto de mensaje pone de manifiesto algo que subyace implícita o explícitamente al concepto de información. La percepción crítica de esta tensión entre autonomía y heteronomía, horizontalidad y verticalidad, información y mensaje, ha sido posible gracias al sistema de transmisión de mensajes que llamamos Internet, si lo vemos desde la genealogía de la noción de información, la cual desemboca en el espacio de reflexión que llamamos ética de la información.

DEFINICIONES DE INFORMACIÓN

Real Academia Española: *Diccionario de la Lengua castellana, llamado de autoridades*, Madrid 1734, tomo I, pp. 267-268:

INFORMACION. s.f. El acto de informarse o informar de algo. Lat. *Informatio*. FUENM. S.

Una definición general y útil de información es la siguiente: la información es un dato que ha sido procesado en una forma significativa para el receptor, cuyo valor es real o percibido actualmente o en acciones prospectivas o en las decisiones. Esta definición reconoce tanto el valor de la información de una decisión específica como el valor de la

información en la motivación, construcción de modelos, así como en la formación de experiencia que afecta las decisiones y acciones futuras.

La relación de los datos con la información es aquella que va de la materia prima al producto acabado (figura 5.19).

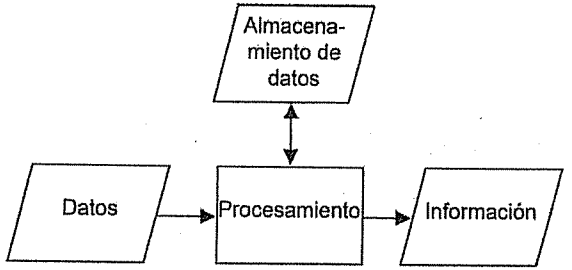


Figura 5.19. Relación de datos con la información

En otras palabras, un sistema de procesamiento de información procesa los datos contenidos en la información. Más exactamente, el sistema de información transforma en utilizables los datos que están en una forma no utilizable, dando así la información pretendida al receptor deseado. La analogía entre las materias primas y los productos terminados ilustra el concepto de cómo lo que es información para una persona, llega a ser datos en bruto para otra, del mismo modo que el producto terminado de una división de una fábrica puede ser la materia prima para otra división. Por ejemplo, las órdenes de despacho son información para el personal de esa oficina, pero, al mismo tiempo son datos en bruto para el vicepresidente encargado del inventario (figura 5.20).

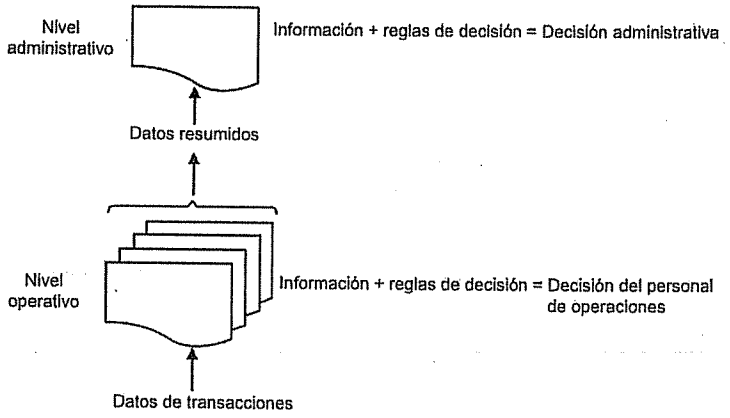


Figura 5.20. Datos e información en diferentes niveles administrativos

En razón de esta relación entre datos de información, las dos palabras con frecuencia son intercambiables.

Los recursos de información (en el sentido de datos almacenados de todo tipo) pueden usarse una y otra vez. Cuando la información se recupera y se usa no pierde el valor; en efecto, puede ganar valor a través de la credibilidad agregada por el uso. Esta característica de los datos almacenados los hace diferentes de otras fuentes.

El valor de la información se destaca de manera más significativa en el contexto de una decisión. Por ejemplo, los caracteres 3109.49 no se pueden juzgar como valores, a menos que la decisión que se afecte por ellos sea conocida. Si no hubiera elecciones actuales o futuras, o decisiones, la información sería innecesaria. Teóricamente, por lo tanto, la información tiene valor solo en la medida en que afecte la decisión o la acción que se vaya a tomar.

Los datos, la materia prima para la información, se definen como grupos de símbolos no aleatorios que presentan cantidades, acciones, objetos, etcétera. Los datos elementales en un sistema de información se forman a partir de caracteres. Estos pueden ser alfabéticos, numéricos o símbolos especiales tal como * y $. Los datos elementales son organizados para propósitos de procesamiento en estructuras de datos, estructuras de archivo y bases de datos. Los datos relevantes para el procesamiento de información y la toma de decisiones suelen estar también en forma de texto, imágenes o voz.

DEFINICIÓN MATEMÁTICA DE LA INFORMACIÓN

Como se usa en la teoría matemática de la comunicación, la información tiene un significado muy preciso. Es el promedio de números dígitos binarios que deben ser transmitidos para identificar un mensaje dado a partir de un conjunto de todas las posibilidades de mensajes a las cuales pertenece. Si hay un número limitado de posibles mensajes que habrán de ser transmitidos, es posible inventar un código diferente para identificar cada mensaje. El mensaje es codificado, los códigos se envían a través del canal y el decodificador identifica la intención del mensaje por los códigos.

Los mensajes se definen en una variedad de formas. Por ejemplo, cada carácter alfanumérico puede ser un mensaje, o frases completas ser mensajes si hay un número limitado y predefinido de posibles frases que se van a transmitir.

El tamaño del código depende de la estructura de la codificación y del número de mensajes posibles. El esquema de codificación para la teoría de información se asume que es binario. En otras palabras, si se requiere que el sistema de comunicación responda dos respuestas "sí" o "no", entonces el sistema solo necesita transmitir una de dos posibles señales que están representadas por 1 y 0, los dos valores del sistema binario. En este sistema de comunicación, la cantidad de información del mensaje que se va a transmitir se dice que es un bit.

5.4.3 Modelos básicos de comunicación[69]

En este capítulo se describen cuáles son los usos y las utilidades de los modelos de la comunicación para, a continuación, exponer las principales características de cada uno de ellos, comenzando por el paradigma de Lasswell. Aunque el número de modelos existentes es muy numeroso, y ante la imposibilidad de abordarlos todos en un curso académico, se muestran solo las ideas de los que consideramos fundamentales como la teoría matemática de Shannon y Weaver, el modelo circular de Osgood y Schramm, el simétrico de Newcomb,[70] el conceptual de Westley y MacLean, el psicosocial de Maletzke, el modelo general de Gerbner y, por último, la espiral de Dance. El capítulo pretende familiarizar al lector con los elementos fundamentales del proceso y explicar cómo se han aplicado a diferentes formas de comunicación. El lector tendrá que ser capaz de identificar las fortalezas y debilidades de cada modelo de comunicación.

Los modelos son representaciones que nos permiten visualizar el proceso de comunicación e identificar cada uno de los elementos que intervienen en él, así como las relaciones que se establecen entre ellos. Son representaciones de la realidad; por lo tanto, necesariamente limitadas, abordan diferentes visiones sobre el proceso y nos permiten conocer perspectivas distintas sobre el proceso. Durante el siglo pasado se expusieron los principales modelos aplicados a la comunicación interpersonal y colectiva que nos han ayudado a entender la comunicación. En un principio, los modelos tenían un carácter lineal, es decir, no se contemplaba la respuesta necesaria del receptor para que se dé lo que realmente significa "comunicación". Posteriormente se reparó en la necesidad del *feedback* y se fueron añadiendo otros elementos hasta perfeccionar el modelo, así como importantes matices referidos a los elementos básicos. Las principales aportaciones al entendimiento del proceso de la comunicación han venido desde la ciencia política, la matemática, la ingeniería y la psicología, puesto que los estudios en comunicación no se vertebran como tales hasta bien avanzado el siglo XX.

Siguiendo a Cuesta (2000),[71] desde el punto de vista de la psicología de la comunicación existen dos grandes vertientes de estudio atendiendo a un nivel epistémico-metodológico:

- Modelos de orientación empírico-analítica: Las explicaciones que ofrecen son estrictamente causales con unos sistemas inflexibles muy semejantes a los modelos utilizados en física.

- Modelos teórico-sistemáticos (también denominados teórico-interaccionistas): El propósito primordial de estos modelos es desarrollar análisis funcionales.

A partir de la revisión de los modelos de comunicación realizada por Cuesta (2000), se presenta la tabla 5.17, en la que se refleja un amplio panorama de modelos que pertenecen a las dos tendencias generales de estudio en el ámbito de la psicología social.

Corrientes	Modelos generales	Ejemplos de modelos particulares	Descripción básica
1. Empírico-analítica	Modelo de uso y gratificaciones		Los receptores son sujetos que presentan actividad, capaces de emplear los medios en función de "sus intereses"
	Modelo de la espiral del silencio o modelo de Noelle-Neuman (1974)		Se fundamenta en la noción de equilibrio cognitivo, relativa a la inclinación presentada por las personas para eludir el aislamiento de sus contenidos cognitivos en relación con los grupos de los cuales son miembros o están referidos
	Modelo de la agenda		Es el proceso anterior preciso para la creación de la emisión del mensaje y el acto de la comunicación o incomunicación. El objetivo es realizar un sesgo del flujo de estímulos que por los medios de comunicación alcanzan los receptores
	Modelo de la hiperespecialización y el distanciamiento		Los sujetos están supeditados a campos topográficos de información desiguales, lo cual implica que la información procesada, almacenada y retenida no es igual en un proceso acumulativo, que crea una desigualdad cada vez mayor y, por lo tanto, una separación en los aspectos relativos al conocimiento y la información, comparando los diversos grupos sociales entre sí

Tabla 5.17. Resumen de los principales modelos existentes en la psicología de la comunicación (Cuesta, 2000)

continúa

Corrientes	Modelos generales	Ejemplos de modelos particulares	Descripción básica
2. Teórico-sistemáticas	Modelos básicos	Modelos derivados de la fórmula de Lasswell* (1948)	
		Modelo de Shannon y Weaver* (1949)	
		Modelo de DeFleur *(1966)	
		Modelo de Osgood y Scramm* (1957)	
		Modelo de Dance* (1967)	
		Modelo de Gerbner* (1956)	
	Modelos derivados del equilibrio cognitivo	Modelo de Heider (1946)	
		Modelo de Newcomb* (1953)	
		Modelo de Osgood y Tannenbaum (1955)	
		Modelo de Festinguer (1957)	

Tabla 5.17: Resumen de los principales modelos existentes en la psicología de la comunicación (Cuesta, 2000)

Continúa

Corrientes	Modelos generales	Ejemplos de modelos particulares	Descripción básica
		Modelo de McLeod y Chaffee (1973)	
	Modelos sociológicos	Modelo de Riley y Riley (1959)	Dentro del modelo organiza el fenómeno de la comunicación vinculado con facetas psicológicas y sociales
	Modelo de Maletzke (1963)		El modelo se caracteriza por dos componentes peculiares: la amplitud (grado de detalle del modelo) y la interacción existente entre el medio (características psicosociales) y su receptor (características psicosociales)

Tabla 5.17: Resumen de los principales modelos existentes en la psicología de la comunicación (Cuesta, 2000) (Continuación)

Desde un punto de vista social, es posible hablar de la existencia de dos clases de modelos de comunicación: los circulares y los lineales. Se trata de dos concepciones muy distintas de la comunicación. Por un lado, la responsable de la efectividad, en el caso de los modelos lineales fundamentalmente, es una "perfecta expresión" del emisor, mientras que en el del modelo circular se considera, sin embargo, que es una "perfecta comprensión" y que el emisor tiene la obligación de garantizarla (Lucas Marín y col., 1999).[72]

De acuerdo con McQuail y Windhal (1997)[73], a la hora de la utilización de los modelos se observan ciertos riesgos. Cuando se lleva a cabo el análisis, no existe un modelo utilizable para todos los objetivos y todos los niveles. Por ello, la elección del modelo conveniente es una cuestión significativa para la investigación que se pretenda desarrollar.

Por otra parte, según McQuail y Windhal (1997), en el seno de una estructura específica de relaciones, los actos de comunicación asumen formas predecibles o recurrentes, a la vez que acarrean efectos para esta estructura. Además, no son susceptibles de ser observadas en un modo fácil. Para estos autores, resulta una labor atractiva la posibilidad de la elaboración del "dibujo" de las líneas que simbolizan las uniones, así como el empleo de otras herramientas que pongan al descubierto cualidades tales como estructura, topografía, fuerza y dirección de las relaciones.

Básicamente, los modelos que se establecen a continuación se ubican dentro del grupo de los denominados "modelos funcionales", puesto que en cierta medida toda comunicación posee una naturaleza dinámica y conlleva elementos de proceso o variación.

EL MODELO DE LASWELL

Laswell (1948)[74] expresó la siguiente frase que tuvo una repercusión muy notoria en la investigación referente a la comunicación: *Un modo adecuado para describir un acto de comunicación consiste en responder a las preguntas siguientes: ¿Quién dice qué en qué canal con qué efecto?* A la anterior frase se la denomina la *fórmula de Lasswell*, la cual en forma gráfica da como resultado la figura 5.21:

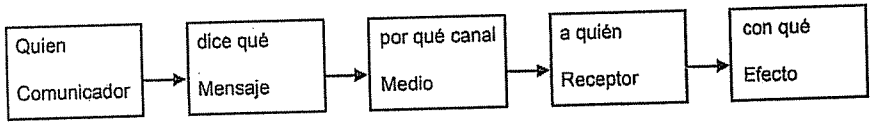


Figura 5.21 La fórmula de Lasswell con los elementos correspondientes del proceso de comunicación (Lasswell, 1948)

Primordialmente el uso de esta fórmula ha sido dirigido a la organización y estructuración de los estudios relativos a la comunicación (Riley y Riley, 1959),[75] citados por McQuail y Windhal (1997).

Bradock (1958)[76] perfecciona el modelo de Laswell, añadiéndole los dos aspectos siguientes del acto de comunicación: "*a*) las circunstancias en las que se envía un mensaje y *b*) el propósito con que el comunicador dice algo" (McQuail y Windhal 1997). La representación gráfica sería la figura 5.22.

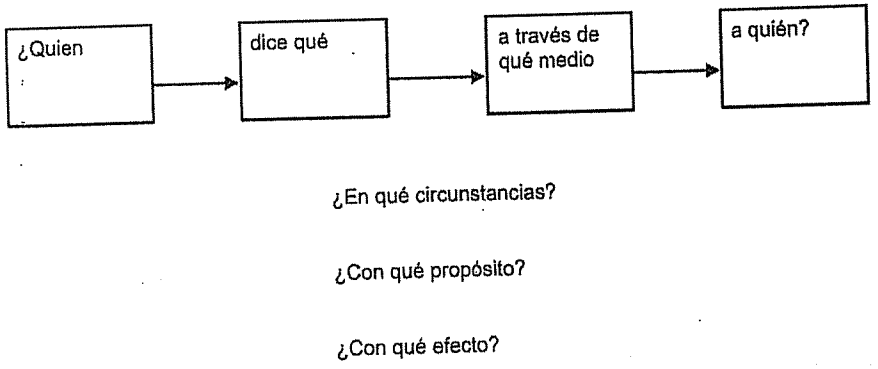


Figura 5.22 Perfeccionamiento del modelo de Laswell realizado por Braddock (1958) (McQuail y Windhal, 1997, p. 42).

EL MODELO DE SHANNON Y WEAVER

El modelo de Shannon y Weaver (1949)[77] ha sido empleado analógicamente en el estudio de temas tales como la conducta y la lingüística. En este modelo, la descripción de la comunicación se realiza considerándolo como un proceso lineal, unidireccional. El modelo señala cinco funciones que se tienen que cumplir, apareciendo el factor disfuncional "ruido". La representación gráfica de este modelo se refleja en la figura 5.23.

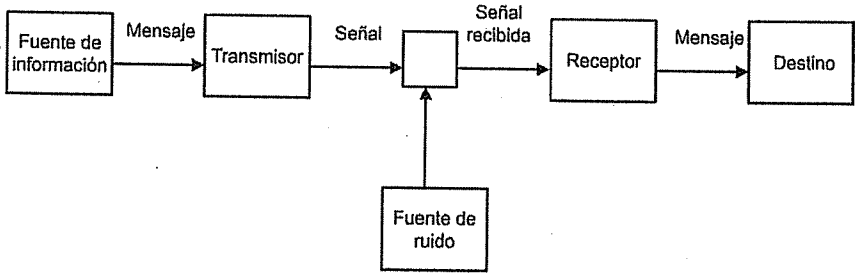


Figura 5.23 Modelo de Shannon y Weaver (1949) (McQuail y Windhal, 1997, p. 45).

Desde el punto de vista psicolingüístico, autores como Chomsky y su escuela contribuyeron al desarrollo de los esquemas comunicativos. De este modo, basándose en el modelo de Shanon, Jakobson (1961),[78] establece el modelo esquematizado en la figura 5.24.

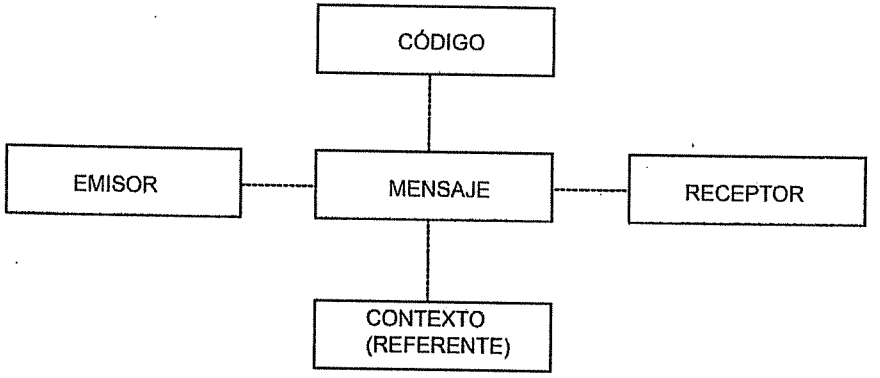


Figura 5.24 Esquema de comunicación de Jakobson (1961) (Loscertales y Gómez Delgado, 1998, p. 252)

ADAPTACIÓN DEL MODELO DE SHANNON Y WEAVER REALIZADA POR DEFLEUR

DeFleur (1966)[79] perfeccionó el modelo de Shannon y Weaver (1949) en el aspecto relativo a la correspondencia entre el significado del mensaje generado y el mensaje recibido. Este autor agrega una serie de componentes al modelo previo de Shannon y Weaver con el propósito de exponer el modo en el que la fuente adquiere su retroalimentación. Esta última proporciona la posibilidad de adaptación de un modo más efectivo en la forma en que se comunica con su receptor. Este hecho acarrea el aumento de la posibilidad de consecución de la correspondencia entre los significados (isomorfismo). La aportación de la retroalimentación realizada por DeFleur (1970) aparece representada en la figura 5.25.

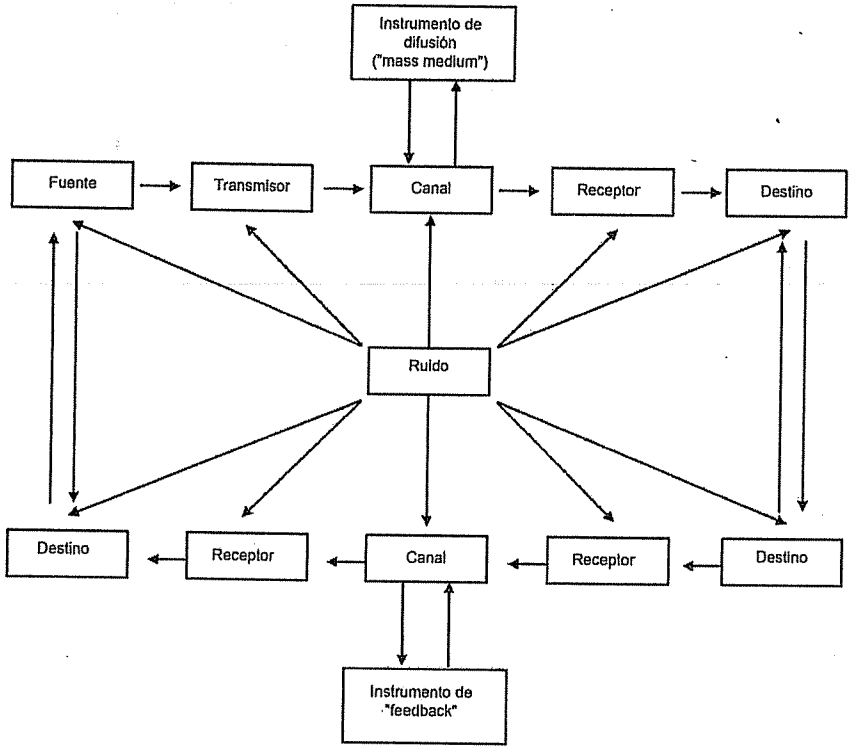


Figura 5.25. Adaptación del modelo de Shannon y Weaver por DeFleur (1970) (McQuail y Windhal, 1997, p. 46)

EL MODELO CIRCULAR DE OSGOOS Y SCHRAMM

Schramm (1954)[80] presentó este modelo tomando como base a Osgood (1957).[81] Si se compara este modelo con el de Shannon, se advierten dos diferencias significativas. Por una parte, el modelo de Shannon es lineal, mientras que el de Osgood y Schramm (1954) es fundamentalmente circular. Por otra parte, el modelo de Osgood y Schramm trata de la conducta de los actores principales en el proceso comunicativo, a diferencia del modelo de Shannon que apunta a los canales que realizan la mediación entre emisores y receptores de forma primordial. A pesar de estas diferencias, se observan analogías importantes entre ambos modelos.

De forma general, en este modelo los actores que intervienen en la comunicación se consideran como iguales y ejercen las siguientes tres funciones idénticas: la codificación, la descodificación y la interpretación. La función codificadora es equiparable a la transmisión (del modelo de Shannon y Weaver) y la decodificadora a la recepción (del modelo de Shannon y Weaver). El modelo de Osgood y Schramm (1954) se esquematiza en la figura 5.26.

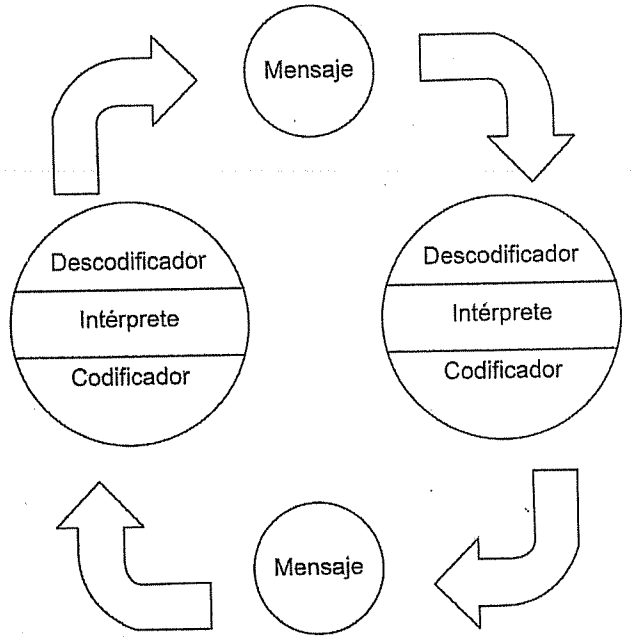


Figura 5.26. Modelo de Osgood y Schramm (1954) (McQuail y Windhal, 1997, p. 47)

EL MODELO DE LA ESPIRAL DE DANCE

El modelo de la espiral de Dance (1967)[82] se trata de un desarrollo del modelo de Osgood y Schramm (1954). Una insuficiencia de este último modelo es señalada Dance (1967), exponiendo la idea de que el aspecto de la analogía de la comunicación circular en que esta retorna al mismo punto exacto de salida después de realizar una circunferencia completa es equivocada.

En las ocasiones en las que el círculo no posee validez, la figura de la espiral es un ayudante en el entendimiento en las mismas. Tal modelo apunta a que el proceso comunicativo se desplaza hacia delante y al hecho de lo que se comunica en este momento poseerá influencia tanto en los aspectos estructurales como en los relativos al contenido de la comunicación posterior.

Frente a una imagen "congelada" del proceso que se lleva a cabo en la comunicación en la mayoría de los modelos, Dance pone énfasis en el carácter dinámico de la comunicación en su modelo de la espiral. Este modelo se representa en la figura 5.27.

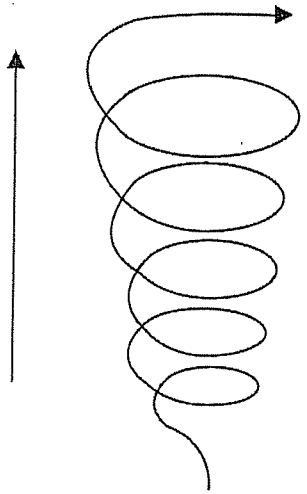


Figura 5.27. Modelo en espiral de Dance (1967) (McQuail y Windhal, 1997, p. 49)

EL MODELO GENERAL DE LA COMUNICACIÓN DE GERBNER

La característica especial del diseño del modelo de comunicación de Gerbner (1956)[83] es que, dependiendo de la clase de situación comunicativa que realice la descripción, permite ofrecer distintas configuraciones. La utilización de los componentes de este modelo se efectúa a modo de las piezas de un mecano. Tal hecho permite describir

tanto los procesos sencillos y complejos de la comunicación como los de generación (de mensajes) y de percepción (de los mensajes y de los acontecimientos sobre los que se asienta la comunicación). El modelo ofrece la posibilidad de proponer cuestiones no solamente referentes a la naturaleza de la generación o producción y la percepción, sino también sobre la relación entre ambas.

El modelo verbal de Gerbner aparece de este modo:

> Alguien percibe un acontecimiento y reacciona en una situación a través de unos medios con la finalidad de hacer disponibles algunos materiales con una cierta forma y en un contexto transmitiendo un contenido con ciertas consecuencias.
>
> (McQuail y Windhal, 1997, p. 51).

Gráficamente, el modelo general en su forma fundamental se representa en la siguiente figura:

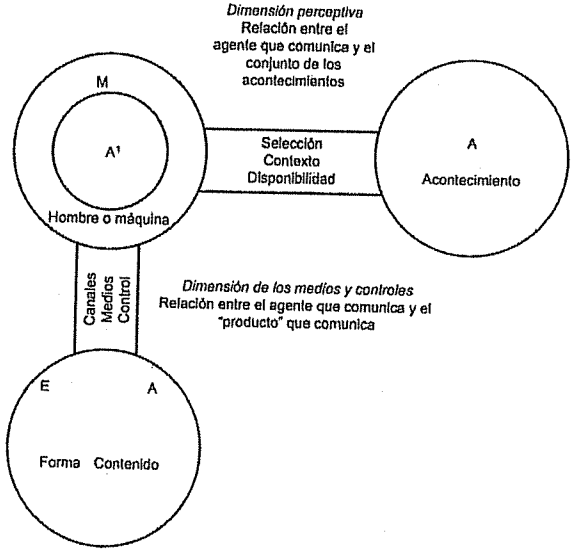


Figura 5.28. Modelo de la comunicación general de Gebrner (1956). M percibe A como A' (McQuail y Windhal, 1997, p. 52)

En la figura 5.28 el símbolo A se refiere a lo percibido (el acontecimiento), mientras que A' es como lo percibe el perceptor, M, que puede o bien un ser humano o bien una máquina en otro contexto diferente al humano.

EL MODELO ABX DE NEWCOMB

El modelo ABX de Newcomb (1953), citado por McQuail y Windhal (1997), fue establecido perfeccionando un trabajo previo de Heider (1946)[84], citado por McQuail y Windhal (1997). La teoría del equilibrio Heider formulaba que en el supuesto de que dos personas tuvieran una actitud de estima o menosprecio mutuos o con respecto a algún objeto externo, ciertas pautas de relación estarían equilibradas, mientras que otras estarían desequilibradas. También, en el supuesto de equilibrio, existiría una resistencia al cambio por parte de ambos, mientras que en el caso de desequilibrio se manifestaría un intento de restablecimiento del equilibrio "cognoscitivo".

El postulado de Newcomb establece una "tendencia a la simetría", que conllevaría un ensanchamiento a través de la comunicación en el campo de concordancia. Este autor afirmó: *La comunicación desempeña la función esencial de capacitar a dos o más individuos para que mantengan una orientación recíproca simultánea entre ellos y con respecto a los objetos del entorno exterior* (Newcomb, 1953).

Como consecuencia, la comunicación es una respuesta que se aprende en una situación de tensión. Por lo tanto, cuando aparecieran condiciones de incertidumbre y desequilibrio, la presencia de una mayor actividad comunicativa sería más razonable.

El modelo resultaría un triángulo figura 5.29, cuyos vértices respectivos simbolizan los individuos A y B, así como al objeto X que se encuentra en su entorno común. Existe una orientación mutua de un individuo hacia el otro. Asimismo, se observa una orientación de ambos en relación con X. De esta manera, la comunicación se comprende como un proceso que sustenta la estructura de la orientación, ya que se producen un mantenimiento o una mejora de la simetría de la relación entre los tres elementos al transmitir información sobre todo cambio producido, así como al posibilitar la realización de reajustes. Fundamentalmente, el modelo expresa que en el caso de que las condiciones lo admitan, la tensión hacia la consistencia de la actitud realizará un desarrollo de la comunicación.

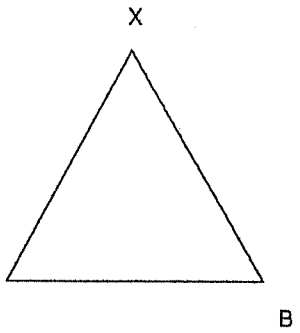


Figura 5.29. El modelo de Newcomb, en el que dos individuos (A y B) están orientados entre sí y en relación con otros. (McQuail y Windhal, 1997, p. 55)

Las dos proposiciones más significativas que se pueden extraer de este modelo son: La existencia de discrepancias relativas a su orientación hacia el objeto X provocará un estímulo de la comunicación.

Como consecuencia de esta comunicación, habrá una tendencia al restablecimiento del equilibrio, entendido como el "estado normal" de un sistema de relaciones.

Ciertos matices fueron agregados por Newcomb (1959) a su proposición primitiva, señalando que únicamente se llevaría a cabo una activación de la comunicación, con toda probabilidad, en las condiciones siguientes:

- En el caso de una atracción intensa entre las dos personas.
- En el caso de que el objeto resulte significativo, aunque solamente lo sea para una de las personas.
- En el caso de que el objeto sea importante para las dos personas.

5.4.4 Teorías sobre la sociedad de la información[85]

En este capítulo se presenta una visión amplia y plural de lo que significa, desde diferentes perspectivas y aportaciones teóricas, la sociedad de la información, sus múltiples implicaciones y denominaciones que abarcan desde el posindustrialismo de la última parte del siglo pasado hasta los más recientes postulados de Internet 2.0 y las redes sociales. Mediante un recorrido por determinadas teorías y reflexiones aplicadas que han aportado diversos autores, se intenta identificar los focos de interés que surgen como consecuencia de las nuevas formas de comunicación. Se trata, en definitiva, de afrontar los retos teóricos de la nueva comunicación utilizando el análisis como herramienta principal, proponiendo explicaciones y apuntando tendencias.

La producción del pensamiento y la construcción teórica de la llamada sociedad de la información se asienta en las aportaciones analíticas y doctrinales que han hecho distintos autores instalados en el área de la comunicación desde la década de 1980 hasta el presente. La sociedad de la información tiene, cuando menos de acuerdo con estas aportaciones, los siguientes sustratos:

- Económico: el desplazamiento de la riqueza productiva hacia la información.
- Tecnológico: el desarrollo espectacular de las tecnologías de la información y de la comunicación, que tienen como último exponente la gran explosión convergente de Internet.
- Social y cultural: el desarrollo de la interactividad y las redes sociales especialmente entre el público joven.

LA INFORMACIÓN Y LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN[86]

El análisis de un tema como el presente, con tantas variables interrelacionadas, conlleva a que la adaptación de los planteamientos de los diferentes autores a una estructura expositiva clara y definida sea muy compleja, sobre todo porque se parte ya de concepciones distintas, a veces muy alejadas entre ellas, de la realidad de nuestro presente. Así que opto por plantear una estructura básica a partir de dónde cree cada autor que está el punto de partida, cómo ve que evolucionará la situación actual, con qué problemática y a qué ritmos lo hará, así como hasta dónde llegará (o desea que llegue).

Bill Gates comenta que la transferencia de información analógica la vuelve progresivamente más imprecisa, algo que no ocurre con la información digital, que se procesa en los ordenadores bajo la forma de largas filas de bits (ceros o unos): es el código binario, que fue descubierto por Claude Shannon, quien formuló una teoría de la información (que la definía como la reducción de la incertidumbre) en la que se basan la compresión y descompresión de los datos al almacenarlos o distribuirlos, lo cual es de gran utilidad ante el enorme aumento del manejo de bits de información (Gates, 1995: 29).[87]

A este acceso a una cantidad ingente de información deben añadirse las características de su naturaleza digital: se puede recuperar, comparar, reconfigurar, enviar... incluso adaptarla a los intereses particulares de cada uno, esto es, personalizarla y consultarla de diferentes modos. De entre todas estas posibilidades, destaca la trascendencia de la autoedición (en la que internet juega un papel capital) que, al suponer una alternativa al libro en papel, nos obligará a redefinir, entre otros, conceptos tales como "autor", "editor" e incluso "documento". La distribución de información, además, será fácil y barata debido a la "falta de fricción" (ausencia de intermediarios en la producción y transacción de información, que lleva a que los costes sean bajos); esta posibilidad, junto a la filtración de la información que llevarán a cabo los indizadores profesionales y a su consulta de diferentes modos, provocará un aumento del valor añadido de la información (pp. 112-117 y 121).

El valor de la información, su circulación y su "tratamiento" conducirá a que la autopista de la información introduzca dificultades y modificaciones dentro del campo de la propiedad intelectual en la concesión de licencias y en la diversificación de tasas (según el tipo de consumo de información, el tipo de información,...), así como a que se haya de proteger la intimidad, privacidad, seguridad e integridad de la información por medio de la encriptación (173).

La sobrecarga de información no debe suponer un problema, puesto que los filtros la examinan y clasifican constantemente. Con todo, la disponibilidad de tanta información filtrada e indizada no permitirá que se prescinda de los expertos en información.

Por su parte, las bibliotecas públicas, habida cuenta que el proceso de cambio del libro impreso al digital ya está en marcha, se transformarán en locales de uso de equipamientos de alta calidad para acceder a los recursos de las autopistas de la información (175).

Negroponte ilustra que el bit es el elemento más pequeño en el ADN de la información y que, frente a la información en átomos, la información digitalizada ofrece ventajas tales como la compresión ante el aumento del volumen de información y la corrección de errores ante un canal ruidoso (Negroponte, 1995: 28 y 30).[88]

El valor de un bit lo determina, fundamentalmente, su capacidad para ser reutilizado infinitas veces. Los bits no solo tienen un valor diferente, sino que ese valor varía según quién y de qué modo los utilice (49 y 99).

Además, es posible construir enlaces y desarrollar protocolos que permitan que unas cadenas de bits informen a las demás sobre sí mismas. De esta forma, nos encontramos con que el valor de la información acerca de la información (metainformación) puede ser mayor que el de la propia información. Así, las limitaciones en los conceptos de profundidad y amplitud informativa, lo mismo que los límites en la relación que existe entre ellos, van a ser objeto de un profundo replanteamiento (60 y 90).

Todo lo anterior permitirá que los ordenadores puedan filtrar, clasificar, seleccionar y editar la información de acuerdo con los intereses y las necesidades particulares de cada individuo. A través de las nuevas interfaces, la actitud pasiva de recibir información cambiará a ser activa, siendo nosotros, explícita o implícitamente, los que extraigamos la información con el máximo grado de personalización, que es lo que él llama "era de la posinformación". Una información que elegimos no solo en su contenido, también en su formato (a pesar de que los bits, al ser emitidos, tienen todos la misma forma, al margen de que contengan texto, imagen o sonido), con lo cual la propiedad intelectual, tal y como ahora la concebimos, queda obsoleta (82 y 196).

Hay cinco vías para introducir información en los hogares: satélite, emisión terrestre, cable, teléfono y medios empaquetados (71); sin embargo, existe el peligro de que el propietario del canal lo sea también del contenido de la información.

Dertouzos afirma, a propósito de la naturaleza de la información, que los seres humanos manejamos la información a diferentes niveles (la tratamos, la procesamos y la producimos); que la información puede ser sustantivo (habla, escritura, gestos) o verbo (también "trabajo de información", que es la transformación de la información por el cerebro o los programas informáticos), y que la información no es lo mismo que el soporte físico que la transporta (Dertouzos, 1997: 79-80 y 299).[89]

Las propiedades de las infraestructuras de la información (que constan de tres capas: conductos, herramientas e interfaces) son: que gocen de una amplia disponibilidad, que sean multiplicables y que hagan muchas actividades independientes (35). De ahí que todavía no exista una verdadera infraestructura de la información, porque la Web e

internet, teóricamente lo más cercano a una infraestructura de la información, están lejos de ser satisfactorios.

Precisamente la Web se fundamenta en la combinación de ordenadores y telecomunicaciones en redes de informática (base de las futuras infraestructuras de la información), lo que supone el fundamento tecnológico del mercado de la información y permite grandes posibilidades gracias a los cinco pilares de la era de la información:

1. Los números pueden representar toda la información.
2. Estos números están constituidos por unos y ceros ("bits", de *binary digits*).
3. Los ordenadores transforman la información con la aritmética de estos unos y ceros (los trabajadores que tratan la información son los procesadores).
4. La información es comunicada mediante el envío de unos y ceros a través del espacio (telecomunicaciones).
5. Las redes de ordenadores se constituyen mediante la combinación de la tecnología de los ordenadores (puntos 1, 2 y 3) y la tecnología de las comunicaciones (punto 4) (80 y 405-419).

Aunque no hay que limitar el valor de la información a términos económicos, pues está determinado por el de las cosas intangibles a las que conduce. Una pequeña porción del valor de la información está formada por bienes finales, que deriva de la oferta y de la demanda; la porción mayor, con diferencia del valor, es la de los bienes intermediarios, la cual deriva sustancialmente de los bienes y servicios a los que llevan (306).

A este respecto encontramos dos tipos de comercio electrónico en la información: el indirecto, que implica la manipulación de la información que se necesita para el comercio de bienes físicos, y el directo, que implica bienes que son en sí mismos información (250-251).

El gran número de líneas telefónicas, bandas de video, conexiones satelitales, etcétera, del mercado de la información, así como la dificultad de control y restricción del transporte de información ante la desaparición de las fronteras nacionales, posibilitan que cualquier usuario de la red sea víctima potencial de los delitos informáticos (que pueden adoptar tantas como formas haya de transferir información en el mercado de la información). Además, los temores gubernamentales a la infiltración y a la confidencialidad llevará a que los Estados utilicen una criptografía potente en sus comunicaciones y a procurar que el resto de usuarios use una criptografía débil para poder quebrarles los códigos (287 y 371).

Los nuevos usos de la información, junto con las nuevas herramientas de software, llevarán a nuevas ocupaciones de los proveedores de servicios de información e intermediarios de trabajo a distancia (editores, infopilotos, infoagentes de bolsa, consultores a distancia, ...). Las bibliotecas continuarán siendo las guardianas de los

materiales educativos físicos y se convertirán en administradoras de los vínculos de la información con otras sedes de conocimiento (246).

En definitiva, la gran palanca que constituye la información, que es lo que la hace tan atractiva para las naciones y la gente rica, es también lo que hace que su ausencia resulte tan devastadora para los pobres.

Según Postman, con la llegada de lo que él llama la cultura de la tecnocracia (inicio de la era industrial) la gente empezó a creer en la bondad y, por ende, en la necesidad de inventar y de progresar, de ahí el poder que supone el conocimiento (Postman, 1994: 26).[90]

En consecuencia, las tecnologías han tomado un protagonismo total subordinando todas las formas de vida cultural (74).

Estas tecnologías (entre las que destacan la de las telecomunicaciones y la informática) consideran que la información resuelve el problema de "cómo generar, almacenar y distribuir más información, de una manera más convincente y a mayores velocidades que antes", con lo que información deviene tanto el medio como la finalidad de la creatividad humana (85).

Tecnópolis es lo que sucede cuando una cultura, superada por la información generada por la tecnología, intenta utilizar la misma tecnología como medio que proporcione una dirección clara a los objetivos humanos (98).

El medio ambiente en donde florece Tecnópolis es aquel en que se ha cortado el vínculo entre la información y las necesidades humanas, es decir, la información aparece indiscriminadamente, dirigida a nadie en particular, en un volumen enorme, a velocidades muy altas y sin relación con ninguna teoría, sentido o necesidad (95). En la Tecnópolis la gente llega a creer que la producción y difusión constantes y descontroladas de información (concebida como un bien absoluto) conlleva un aumento de la "libertad, creatividad y paz de espíritu" (97), de ahí que, en la Tecnópolis, nos volquemos en la búsqueda del acceso a la información sin llegar a preguntarnos hasta dónde o para qué. Mientras tanto, Tecnópolis se desarrolla con la debilitación de las defensas contra la información desmedida, la cual resulta letal para el poder de control de las instituciones sociales (tribunal, escuela, familia, partido político y, sobre todo, religión y Estado), que utilizan la teoría como mecanismo de control. Las teorías simplifican al máximo, a fuerza de ayudar a excluir la información, a aquellos que creen en ellas; en la simplificación radica su poder y su debilidad, pues las vuelve vulnerables al ataque de la "nueva información". Ante lo cual, la gente se encuentra, si cabe, más indefensa ante el caos de la información (99-104). También la Tecnópolis debe controlar el flujo de información, para lo que utiliza métodos técnicos: la burocracia, la pericia del experto técnico y la maquinaria técnica (111).

La tecnología informática emerge como uno de los pilares de la Tecnópolis, pues conduce a que todos los problemas a que nos enfrentemos requieran soluciones técnicas por medio del acceso rápido a la información. Tecnópolis, en tanto que nueva

creencia, tiene que ofrecer una información invulnerable, para lo que busca una fuente de autoridad objetiva e irrebatible, en tanto que científica, y la encuentra en la gestión, la estadística, la medición del cociente intelectual, los exámenes calificados o las encuestas (185).

Joan Majó afirma que el código binario es el origen de la sociedad de la información, así como que cualquier información se codifica de una sola manera y se transmite a través de ese código. El bit es la unidad mínima de información, por lo que con base en unos y ceros es posible construir todos los códigos de compresión conceptual (Majó, 1997: 61-62).[91]

La importancia de la información (cuyas cantidad, calidad y forma de distribución configuran la nueva sociedad) viene dada por el carácter revolucionario que le otorga la aceleración en el aumento de la capacidad de almacenaje y tratamiento, así como por la rápida y progresiva reducción de costes. Tal eclosión tecnológica produce un enorme volumen de información que es conducido por el aumento del ancho de banda y por la simplificación de la información a través de la compresión (49-50).

Con todo, ante tal explosión de información, los individuos tendrán cada vez más dificultad para absorberla (a pesar de que una mayor oferta lleva a una información individualizada); por eso se les ha de enseñar a distinguir lo que es información de lo que es conocimiento (una digestión crítica de la información) con tal de seleccionarla y transformarla, a condición de que no formen parte del enorme grupo de población que por no ser capaz de utilizarla adecuadamente deviene maleable ante los manipuladores de información. Todavía más, pone en peligro la intimidad individual (167-168).

Además, la misma sociedad de la información vuelve obsoletos los conocimientos que adquirimos, por lo que se ha de estar predispuesto a la formación continua a lo largo de la vida para actualizarlos. En una sociedad basada en la información, en la elaboración y distribución de conocimientos, el acceso al saber teórico y práctico tiene un papel determinante (154).

La evolución tecnológica está llevando a la fusión entre los sectores (telecomunicaciones, audiovisual y editorial) que cubren el área de la información ("barreras verticales"); el peligro viene cuando, tras esta unión, la industria de la información controle más de un componente de la información (infraestructura, servicios o contenidos). Entonces, al tener el derecho de propiedad de la red y de los contenidos, podrán decidir quién tiene acceso a la información. La exclusión vendrá por diferentes caminos: a nivel geográfico (que las vías lleguen a todas partes, lo que no será rentable), económico (importancia de los ingresos si la información es considerada una mercancía) y cultural (por la inercia mental o cultural que conduce a no interesarse en obtener información) (105).

Sin embargo, la información es fundamental para la integración, de ahí que los ciudadanos tengan derecho a un acceso universal a la información, pero una información proporcionada por los organismos estatales, que cumpla los requisitos de cantidad (adecuadamente tratada, elaborada, presentada y dosificada) y calidad (contrastada, verídica y no manipulada) (200-201). Lo anterior no será posible si los

principios económicos de las reglas de la competencia son los únicos que se emplean en el ámbito de la información (222).

CONCLUSIONES SOBRE EL DESARROLLO TÉCNICO DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Las conclusiones sobre el desarrollo técnico que van a experimentar las tecnologías de la información, y con ello la información, parecen ser más o menos unánimes en todos los autores, a pesar de que algunas previsiones se lleven hasta los últimos extremos de las probabilidades tecnológicas (aunque sin llegar a la ciencia ficción). También están de acuerdo en que la mejor prevención ante los posibles peligros de la sociedad de la información es la educación conjunta en las ciencias técnicas y las humanidades.

Utilizando la terminología de Umberto Eco, se observa claramente un grupo de autores "integrados" (Gates, Dertouzos y Negroponte) que coinciden, aunque no todos en el mismo grado, en una fe darwinista en el mercado como regulador a todos los niveles, la cual exponen en medio de un campo de anécdotas simpáticas y de algunas conclusiones ingenuas, seguramente porque deben observar, desde la atalaya del triunfalismo calvinista, el prometedor futuro que, para sus intereses, se les avecina (con el permiso de los tribunales, por supuesto). Solo hay que destacar a Gates, que concluye (muy pronto, página 10) que debemos ser confiados ante las dificultades, y a Negroponte, que, siendo más ponderado que los otros, tan solo hace referencia a los potenciales peligros de la sociedad de la información en el primer párrafo de su epílogo.

En la orilla de los "apocalípticos" encontramos a Postman y a Majó, quienes, con todo, no renuncian a una esperanza activa en tanto que desarrollan como colofón a sus obras un programa para afrontar la amenaza tecnológico-mercantilista sobre la que alertan, lo cual hacen proponiendo un "decálogo" de actitudes para adquirir en la vida cotidiana (Postman) y de iniciativas políticas para la intervención de los poderes públicos (Majó), ante el temor de una privatización desaforada.

EL SURGIMIENTO DE LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO[92]

El *conocimiento*, en cualquiera de sus formas, siempre ha sido esencial para el avance de las sociedades. Sin embargo, a partir de la segunda mitad del siglo XX el conocimiento derivado de las actividades científicas y tecnológicas adquirió una importancia estratégica sin precedente para el desarrollo de las naciones.

Hoy el conocimiento es considerado como una pieza clave para impulsar las economías del mundo y su valor se mide a partir de la efectividad comercial relacionada directamente con los procesos de innovación y competitividad que exige el mercado internacional.

Concebir al conocimiento en relación con su "impacto sobre la competitividad de los países o como la fuerza más importante del desarrollo económico" (Casas y Dettmer, 2005)[93] se ha convertido en un común denominador dentro del mundo contemporáneo.

Conceptos como los de "sociedad del conocimiento" (Druker, 1969[94]; Böhme y Stehr, 1986)[95], "sociedad posindustrial" (Bell, 1976)[96], "sociedad de la información" o "sociedad red" (Castells, 2001)[97], así como todas aquellas nociones referentes a economías basadas en conocimiento o economías del conocimiento, tienen en común el énfasis puesto en la importancia y las implicaciones de la producción del conocimiento científico y tecnológico para el avance, la innovación y el desarrollo económico de las sociedades. (Aunque con ello también se incrementen los riesgos medioambientales y fenómenos sociales que la acompañan ["sociedad del riesgo" (Beck, 1984)].[98]

Factores fundamentales:

a) *Conformación de la infraestructura comunicacional e informática que se fue gestando desde la década de 1970.* Las TIC son el medio a partir del cual ha sido posible la gestación de esta infraestructura comunicativa, así como sus diversas implicaciones económicas, políticas, sociales y culturales; *conforman el origen y el sustento de lo que ha venido a conocerse como la "sociedad de la información".*

b) Aceleración sin precedentes que se lleva a cabo en la *producción, capitalización y depreciación del conocimiento*, la cual tiene lugar sobre el soporte de las TIC.

c) *Cambios en las perspectivas teóricas sobre el desarrollo* (sector académico, organismos internacionales, gobiernos, etcétera, así como construcción y legitimación de fenómenos sociales)

Según los enfoques provenientes de un amplio sector académico y de los organismos internacionales que promueven el desarrollo económico y social de los países emergentes, parece haber un amplio consenso sobre los agentes que conforman los pilares de la sociedad del conocimiento: *las universidades, las empresas y el gobierno.*

A partir de la interacción dinámica de estos tres sectores es como se piensa que las sociedades se trasladarán gradualmente hacia la sociedad del conocimiento.

Universidades, empresas y gobierno

Una de las características principales que conforman el concepto de sociedad del conocimiento es la importancia que se le atribuye a la educación, a las universidades en particular, entendidas éstas como centros productores de conocimiento e investigación.

El papel de las universidades es así considerado como central dentro de la sociedad del conocimiento, ya que "a medida que la capitalización del conocimiento se vuelve más importante para la economía, las organizaciones que producen *conocimiento útil* se vuelven más centrales en la estructura social" (Etzkowitzy Leydesdorff, 1997, p. 147).[99]

Las empresas juegan también una parte muy importante, pues de su relación con las universidades (los centros productores del conocimiento) depende el que un conocimiento o una aplicación del mismo lleguen a convertirse en innovación que abra las puertas hacia el desarrollo.

Son las empresas las que actualmente, al menos dentro de los países desarrollados, se encargan de la mayor parte del financiamiento para la investigación, situación que les permite capitalizar en forma directa los conocimientos producidos [Vessuri, (1995)[100]; Gibbons, *et al*, 1997].[101]

De la misma manera, el gobierno forma una parte importante del esquema planteado por las definiciones sobre la sociedad del conocimiento: por un lado, como regulador potencial de las políticas científicas y tecnológicas, mientras que por otro lado, a través del fomento institucional hacia la vinculación universidad-empresa.

Las características que acabamos de señalar conforman, de manera general, el esquema ampliamente reconocido sobre las acciones que serían necesarias, *aunque, como se verá, no suficiente*, para transitar hacia la sociedad del conocimiento. Forman parte de los lineamientos económicos que constituyen lo que se ha venido a llamar el modelo de la t*riple hélice.*

El modelo de la triple hélice es hoy el paradigma normativo y estratégico adoptado por algunos países en su intento por *convertir a sus economías en economías basadas en el conocimiento*. En este sentido, las recomendaciones de algunos organismos internacionales buscan lograr que este modelo global sea aplicado a contextos locales para fomentar el desarrollo y la inserción a los mercados globales. Pero una economía del conocimiento no es lo mismo que una sociedad del conocimiento.

Economía del conocimiento y sociedad del conocimiento

Una economía del conocimiento podría caracterizarse, de manera general, como aquella economía consolidada y basada en la capitalización efectiva de las producciones de conocimiento emanadas a partir de la interacción efectiva entre los tres agentes mencionados.

Una economía del conocimiento se concebiría como el espacio donde surgen y se desarrollan lo que podría llamarse *mercados del conocimiento*. (Un fenómeno social característico que emerge junto con los cambios estructurales que comporta el auge en la producción de conocimiento.)

Una economía del conocimiento se concibe, pues, como *la antesala para acceder hacia una sociedad del conocimiento, pero esto es muy diferente a la idea de una sociedad del conocimiento.*

La emergencia de los mercados del conocimiento, como consecuencia directa del fomento a la construcción de economías del conocimiento, ha traído consigo, también, la necesidad de medir localmente algunos rubros que son considerados, tanto por

amplios sectores del mundo académico como por algunos organismos internacionales, como indicadores indispensables para evaluar el grado de avance de una sociedad hacia lo que se concibe a nivel global como el modelo económico ideal.

Estas mediciones son llevadas a cabo mediante conjuntos de indicadores que se construyen específicamente para atender tales demandas.

Los instrumentos de medición han estado orientados hacia los aspectos comúnmente considerados de mayor importancia e impacto dentro del contexto internacional, entre los cuales se pueden encontrar los indicadores relativos a:

- Gasto del PIB en investigación y desarrollo.
- Competitividad e innovación.
- Gasto en educación y niveles de escolaridad de la población.
- Cantidad de artículos académicos publicados en revistas internacionales.
- Gasto en ciencia y tecnología.
- Número de patentes producidas por país.
- Uso y acceso de las TIC, entre muchos otros.

Existe lo que se podría caracterizar como *un marco de medición universal*, lo que se apoya en algunas de las dimensiones que, a nivel internacional, son frecuentemente consideradas como los pilares de la "sociedad del conocimiento".

Contienen subdimensiones y ramificaciones que dan lugar a un conjunto de datos cada vez más detallados sobre ciencia, tecnología, educación e innovación.

Aunque puede variar ligeramente, lo que se considera como las bases constitutivas de la "sociedad del conocimiento", abarca mediciones sobre las siguientes dimensiones:

- Sistemas de innovación.
- Desarrollo de recursos humanos.
- Infraestructura de las tecnologías de la información y la comunicación.
- Ambiente empresarial.

Con los datos que arrojan este tipo de indicadores, se busca establecer líneas de acción concreta que conduzcan hacia el cierre de la brecha (brechas) que separa a las naciones más débiles de aquellas más poderosas.

Las teorías antes mencionadas aplicadas en el área de la Ingeniería Industrial han generado la metodología denominada diseño genérico, que se enfoca a la gestión de la complejidad, desarrollada por John N. Warfield profesor y director del Instituto de Estudios Avanzados en Ciencias Integrativas (IASIS) de la Universidad Gerge Mason de USA.

El diseño genérico [102, 103]

El diseño se considera como un proceso que obtiene ciertos resultados, los cuales consisten en alternativas para resolver algo que es insatisfactorio en el ambiente humano, o para de alguna manera añadir valor. Hay muchos procesos diferentes que son utilizados para producir dichos resultados. El diseño genérico se distingue entre una variedad de posibilidades porque se apoya en una estructura que implica una teoría basada en:

- Criterios de selección de la metodología
- Leyes, principios y postulados de la complejidad
- Ejemplos de objetos de diseño:
  - Maquinaría, plan, estructura física
  - Asentamientos humanos
  - Cultura organizacional
  - Procesos, sistemas
- Ejemplos de actividades de diseño:
  - Conceptualización
  - Implementación
- Ejemplos de estilos de diseño:
  - Individual
  - En grupo
- Acoplamiento relevante a un diseño:
  - Congruente con una o más disciplinas
  - Ortogonal a las disciplinas
- Ejemplos de tipos de metodologías de diseño:
  - Específicas
  - Genéricas

Es decir el diseño puede ser descrito como genérico si:

A. La metodología usada en el proceso facilita el diseño conceptual sin importar la naturaleza detallada del objeto de diseño. Y debido a las condiciones bajo las que se requieren tales diseños, generalmente será cierto (aunque no siempre) que el proceso de diseño es genérico si incorpora lo siguiente:

B. El diseño es llevado a cabo por un grupo.

C. El diseño involucra la integración de conocimientos de diversas disciplinas, junto con conocimiento que normalmente no se considera asociado a disciplinas particulares, conforme van estando disponibles en cualquier parte del mundo.

D. Hay otras características que parecen ser nuevas:
   a) Paquete de factores que son aplicados colectivamente:
      i. Un equipo de diseño
      ii. Una computadora con software e internet, para apoyar al equipo a organizar sus ideas, y para que se mantenga constantemente informado del status del diseño
      iii. Un conjunto de metodologías cuidadosamente seleccionadas denominadas "metodologías de consensos"
      iv. Un equipo de facilitación, formado por un grupo de personas entrenadas en llevar a cabo las actividades necesarias para dar apoyo la labor del equipo de diseño.
      v. Una sala equipada y especialmente diseñada para dar apoyo a los otros cuatro factores, que constituye el ambiente del diseño genérico denominada "Demosofía" que significa diseño en grupo.
   b) Presentación unificada de la teoría de diseño genérico (incluyendo las leyes de la complejidad), metodología de diseño (basada en metodologías de consenso), las bases para su desarrollo y sus conexiones con los fundamentos y las aplicaciones.

5.5 RESUMEN

Con un enfoque práctico orientado a la Ingeniería Industrial, en este capítulo se da un panorama de las teorías de sistemas, de decisión e información y comunicación.
En la actualidad se considera que el enfoque de sistemas más que una teoría es una forma de pensar el mundo, así como que la complejidad del mundo natural y social, y la relación entre sociedad y medio ambiente necesita nuevos enfoques para su comprensión.

Como elementos de la aplicación del concepto, es importante considerar: la perspectiva, el enfoque, el punto de vista y la cosmovisión del análisis.

Los fines principales de la teoría general de sistemas según Bertalanffy son:

Hay una tendencia general hacia una integración en las varias ciencias, naturales y sociales .

Dicha integración parece centrarse en una teoría general de sistemas.
Tal teoría puede ser un medio importante para apuntar hacia la teoría exacta en los campos no físicos de la ciencia.

Desarrollando principios unificadores que vayan "verticalmente" por el universo de las ciencias individuales, esta teoría nos acerca más a la meta de la unidad de la ciencia.

Enfoque de sistemas aplicado

El enfoque de sistemas procede de lo particular a lo general, e infiere el diseño del mejor sistema mediante un proceso de *inducción y síntesis.*

Es suficiente comparar la jerarquía limitada del mejoramiento de sistemas con la panorámica ilimitada del enfoque de sistemas.

El enfoque de sistemas es un método de investigación, una forma de pensar, que enfatiza el *sistema total* en vez de sistemas componentes y se esfuerza por optimizar la eficacia del sistema total, en lugar de mejorar la eficiencia de sistemas cercanos. El enfoque de sistemas calcula el mejoramiento de sistemas, el cual busca las causas del mal funcionamiento dentro de los límites de los sistemas, rehusando agrandar los límites en los sistemas y extender la investigación con diseños alternos más allá de los límites de los sistemas inmediatos. Restaurar un sistema a su especificación de diseño no es cuestionar los supuestos y objetivos originales que impulsaron el diseño original del sistema. Los supuestos y objetivos pueden ser erróneos u obsoletos.

Además, el enfoque de sistemas coloca al ingeniero industrial en el papel de líder, en vez de seguidor, y considera el rediseño y las configuraciones de sistemas mediante el intento de eliminar barreras legales y geográficas, que impiden la internalización de los efectos secundarios de difusión.

El enfoque de sistemas es una metodología de diseño caracterizada por lo siguiente:

Se define el problema en relación con los *sistemas superordinales,* o sistemas a los cuales pertenece el sistema en cuestión y está relacionado mediante aspectos comunes en los objetivos.

Los objetivos del sistema generalmente no se basan en el contexto de subsistemas, sino que deben revisarse en relación con sistemas mayores o con el sistema total.

Los diseños actuales deben evaluarse en términos de costos de oportunidad o del grado de divergencias del sistema del diseño óptimo.

El diseño óptimo por lo general no puede encontrarse incrementadamente cerca de las formas presentes adoptadas. Este involucró la planeación, evaluación e implantación de nuevas alternativas que ofrecen salidas innovadoras y creativas para el sistema total.

El diseño de sistemas y el paradigma de sistemas involucran procesos de pensamiento como inducción y síntesis, que difieren de los métodos de deducción y reducción utilizados para obtener un mejoramiento de sistemas a través del paradigma de ciencia.

La planeación se concibe como un proceso por el cual el ingeniero industrial asume el papel de líder en vez de seguidor. El ingeniero industrial debe animar la elección de alternativas que alivien e incluso se opongan, en lugar de reforzar los efectos y las tendencias no deseados de diseños de sistemas anteriores.

El ciclo de toma de decisiones por el cual el decisor convierte las pruebas en planes y estrategias, es solo un punto de vista parcial del paradigma de sistemas.

El paradigma de sistemas consiste de una serie de funciones de diseño que constituye un método de investigación en los problemas del dominio de los sistemas flexibles.

Al considerar el problema de resolver problemas complejos del mundo real, sobre la base de las limitadas herramientas de razonamiento del hombre, se acepta que la suboptimización puede ser el único enfoque factible; por lo tanto, nos decidimos a buscar las mejores suboptimizaciones posibles.

Como resultado del diseño de sistemas es necesario considerar las diferencias entre el diseño real y el óptimo (costos de oportunidad), para esto se efectúa una evaluación formal de intercambios que involucra una consideración de:

El impacto de la decisión en todas las partes involucradas.

Los costos de oportunidad que surgen de elegir una alternativa sobre la otra.

Los costos de oportunidad para cada alternativa deben identificarse y evaluarse.

Además, aparte de las consideraciones económicas, nunca se deben descontar los efectos en otras áreas, como los efectos políticos de largo alcance de tales decisiones.

El autor de decisiones puede evaluar los efectos de aumentar los recursos que no son suficientes y determinar cuánto desearía pagar para obtener más de ellos.

Una etapa fundamental en el diseño del sistema es la predicción de resultados futuros (prospectiva), pues lo que se busca con la planeación prospectiva; no es tan solo el diseño de escenarios, sino la manera de alterarlos y sacarles el mayor provecho posible.

Al considerar la extrospectiva es manifiesto que el enfoque sistémico pone la mirada en la conectividad relacional, donde cada nivel refleja la complejidad de los otros niveles. Las relaciones entre esos niveles son de acción recíproca. Nos hallamos ante un modelo en el que se establecen multitud de relaciones que evidencian un componente de incertidumbre, dada la imposibilidad de controlar todos los elementos en juego. Sin perder de vista que en los sistemas naturales y sociales las partes constituyen el todo, pero a la vez el todo está en cada parte. Por ejemplo, una sociedad está formada por individuos, pero a la vez cada individuo refleja la sociedad.

Teoría de decisiones

Casi todo lo que un ser humano hace implica decisiones. La teoría de decisiones no es tan global como eso. Se centra en solo algunos aspectos de la actividad humana. En particular, se centra sobre cómo usamos nuestra libertad. En las situaciones tratadas por los teóricos de las decisiones, hay opciones para elegir, y las elegimos de una manera no aleatoria.

La teoría de decisiones es generalmente perseguida por los investigadores que se identifican a sí mismos como economistas, estadísticos, psicólogos, expertos en ciencias políticas y sociales o filósofos. El tema se ha enriquecido de la variedad de métodos que los investigadores de distintos orígenes han aplicado a los mismos problemas.

La distinción entre las teorías de la decisión normativa y la descriptiva es, en principio, muy simple. Una teoría de decisiones normativa es una teoría sobre cómo las decisiones deben hacerse con la finalidad de ser racionales.

Es una práctica que las normas que no sean las de racionalidad sean tomadas como normas externas a la teoría de decisión. Las cuestiones normativas consisten en gran parte de las preguntas acerca de cómo actuar cuando hay incertidumbre y falta de información. También contienen temas acerca de cómo un individuo puede coordinar sus decisiones con el tiempo y de cómo varios individuos llegan a coordinar sus decisiones en procedimientos de decisión social.

Es frecuente encontrar falsificaciones descriptivas de una teoría de decisiones que sean acompañadas por reclamaciones de que la teoría no es válida desde el punto de vista normativo.

Las fases del proceso de decisiones

Modelos secuenciales: Según Simon, los ejecutivos pasan una gran parte de su tiempo en actividades de inteligencia, una fracción aún mayor en la actividad de diseño y una pequeña fracción en la actividad elección.
Modelos no secuenciales: Mintzberg, Raisinghani y Théorêt. En el enfoque de estos autores, el proceso de decisión consiste de distintas fases, pero estas fases no tienen una relación secuencial simple. Ellos usaron las mismas tres fases principales de Simon, pero le dieron nuevos nombres: identificación, desarrollo y selección.

La fase de identificación ("inteligencia" de Simon) consiste de dos rutinas. La primera de estas es *reconocimiento de la decisión*, en la cual "los problemas y las oportunidades" son identificados "en el flujo de datos ambiguos, principalmente verbales, que los decisores reciben". La segunda rutina en esta fase es *el diagnóstico*, o "el sondeo de los canales de información existentes, y la operación de nuevos canales para aclarar y definir sus elementos".

La fase de desarrollo ("diseño" de Simon) sirve para definir y clarificar opciones. Esta fase también consiste de dos rutinas. La rutina de *búsqueda* permite encontrar soluciones hechas, mientras que la rutina de *diseño* desarrolla nuevas soluciones o modifica las ya hechas.

La última fase, la fase de selección ("selección" de Simon) consiste de tres rutinas. La primera, rutina de *pantalla*, únicamente es evocada "cuando se espera una búsqueda para generar más alternativas hechas que puedan ser intensivamente evaluadas". En la rutina de pantalla, obviamente, las alternativas subóptimas son eliminadas.

La segunda rutina, la de evaluación selección, es la selección actual entre alternativas. Puede incluir el uso de uno a tres "modos", llamados (intuitivamente) juicio, negociación y análisis. En la tercera y última rutina, *autorización*, la aprobación para la solución seleccionada se obtiene de los mandos superiores. La relación entre estas fases y rutinas es circular en lugar de lineal.

Las decisiones difieren de varias maneras. Estas diferencias afectan la formulación de las alternativas y de la selección entre ellas. Hay cuatro dimensiones de las clases de decisión: el nivel de conocimiento de los resultados, el nivel de la programabilidad, los criterios para las decisiones y el nivel de impacto de la decisión.

Las técnicas de la estadística clásica pueden ser útiles en la preparación de información para la toma de decisiones.

Decisiones y valor

Cuando tomamos decisiones, o elegimos entre las opciones, tratamos de obtener un buen resultado tanto como sea posible, de acuerdo con alguna norma de lo que es bueno o malo. La elección de un valor estándar para la toma de decisiones (y para la vida) es el tema de la filosofía moral. La teoría de decisiones supone que ese estándar está a la mano, por lo que procede a expresar ese estándar de manera precisa y útil.

Las representaciones relacionales y numéricas son las dos formas más comunes de expresar el patrón de valor de acuerdo con las decisiones que se toman.

La utilidad esperada

El enfoque dominante en la toma de decisiones bajo riesgo, es decir, con probabilidades conocidas, es la utilidad esperada (UE). Este es sin duda "uno de los grandes paradigmas en la toma de decisiones desde la Segunda Guerra Mundial", tanto en aplicaciones descriptivas como normativas.

Concepto de utilidad esperada

En la teoría de la utilidad esperada, a cada alternativa se asigna una media ponderada de los valores de su utilidad en diferentes estados de su naturaleza, mientras las probabilidades de estos estados se utilizan como ponderaciones.

Utilidad objetiva y subjetiva

En sus primeras versiones, la teoría de la utilidad esperada no se refirió a las utilidades en el sentido moderno del término, sino a los resultados monetarios. La recomendación iba a jugar un papel importante si es que aumentó su riqueza esperada; de otra manera no sucede nada.

En las aplicaciones de la teoría de decisiones a los problemas económicos, las utilidades subjetivas son de uso común. En la economía se supone que cada utilidad

individual es una función creciente de su riqueza, pero la función de esta puede ser diferente para diferentes personas.

En el análisis de riesgo, por otra parte, la utilidad objetiva es el enfoque que domina. La forma más común para medir el riesgo es multiplicar "la probabilidad de un riesgo con su severidad, para llegar al valor esperado, y utilizar este valor esperado para comparar los riesgos".

Esta forma de utilidad esperada tiene la ventaja de validez intersubjetiva. Una vez que las utilidades esperadas del tipo de las empleadas en el análisis de riesgo han sido correctamente determinadas para una persona, se extienden correctamente para todas las personas. Por el contrario, si las utilidades son llevadas a ser subjetivas, entonces la validez intersubjetiva se pierde (y como consecuencia de esto, el papel de asesoramiento de expertos es mucho más reducido).

La toma de decisiones bajo incertidumbre

Ellsberg llegó a la conclusión de que hay que tomar en cuenta en el análisis de decisiones el grado de incertidumbre, o, por el contrario, la fiabilidad de las estimaciones de probabilidad. Esta idea ha sido incorporada no solo por teóricos, sino también por algunos profesionales de ayuda a los análisis y toma de decisiones aplicadas. Los analistas de riesgo, tales como Wilson y Crouch, sostienen que "es la tarea del evaluador de riesgos utilizar toda la información disponible para obtener un número entre cero y uno para una estimación del riesgo, con tanta precisión como sea posible, junto con una estimación de la imprecisión".

Toma de decisiones bajo ignorancia

La toma de decisiones bajo ignorancia se entiende comúnmente cuando se sabe lo que los posibles estados de cosas son, pero no hay información disponible acerca de sus probabilidades concretas.

Estas situaciones, en las que se carece de información son infrecuentes no solo acerca de las probabilidades de los posibles estados de la naturaleza, sino también acerca de cuáles son esos estados de cosas.

Tal vez más importante entre los criterios de decisión propuestos para las decisiones en virtud de la ignorancia es la regla maximin: Para cada alternativa, se define su nivel de seguridad como el peor resultado posible con esa alternativa. La regla maximin nos impulsa a elegir la alternativa que tiene el nivel de seguridad máximo. En otras palabras, nos ayuda a maximizar los resultados mínimos.

Teoría de decisiones sociales

Las reglas que han sido establecidas para toma de decisiones individuales en muchos casos pueden también ser utilizadas para la toma de decisiones por parte de los grupos.

Como un ejemplo, las teorías de la toma de decisiones jurídicas en general no hacen una diferencia entre las decisiones de un juez único y las decisiones de varios jueces que actúan en conjunto como un tribunal de justicia. La presunción es que el grupo actúa como si se tratara de un solo individuo.

El hallazgo fundamental en la teoría de decisiones sociales fue obtenido por Borda y Condorcet, pero fue olvidado por muchos años. Ellos descubrieron que en la regla de mayoría simple suele haber muchas situaciones en las cuales cada opción es inestable en el sentido de que una coalición mayoritaria puede ser formada en su contra.

El punto de partida de la teoría moderna de decisiones sociales fue un teorema propuesto por Kenneth Arrow (1951). El desarrollo una investigación donde hay algunas otras reglas de decisiones sociales en lugar de reglas por mayoría, bajo las cuales las preferencias cíclicas sociales pueden evitarse. La respuesta contenida en su famoso teorema es que si cuatro criterios de racionalidad parecidos son satisfechos por la regla de decisión razonablemente, entonces la ciclicidad no puede evitarse.

Es característico de la teoría de decisiones sociales que la mayoría de sus resultados más importantes son de naturaleza negativa, ya que muestra que algunos requerimientos de racionalidad en los procedimientos de decisiones sociales no son compatibles.

Es frecuente la dificultad de evaluar la calidad de una decisión que se haya tomado; es posible, sin embargo, evaluar la calidad del proceso por el cual se tomó la decisión.

Teoría de la comunicación y de la información

La teoría de la información o teoría de la comunicación se creó en la década de 1940 a partir de los trabajos de C. E, Shannon y N. Wiener. En todo sistema de comunicación la información inicial se codifica y se transmite en "señales". Estas señales se transmiten a un destinatario o receptor, quien a su vez debe descodificar o interpretar la señal. Generalmente el mensaje inicial o *input* no es totalmente idéntico al final u *output*, porque en su codificación, transmisión o decodificación pueden producirse interferencias o "ruido". La teoría de la información intentó crear un formulismo matemático para la descripción de la información, la medida de la cantidad de información y su perdida en la transmisión o comunicación. Aunque originariamente esta teoría tuvo su aplicación en los campos de la radiotelegrafía y la radiotelefonía, la teoría se aplicó también en psicología, fundamentalmente para la comprensión del lenguaje y de la percepción.

El objeto de estudio de la teoría de la comunicación

El principal objeto de estudio para los teóricos de la comunicación es la sistematización, mientras que la evaluación de las teorías se ha convertido en la primera actividad en la reflexión teórica en comunicación. El cometido de la teoría de la comunicación es

explicar lo que hay de común entre las diversas aproximaciones a la realidad de la comunicación y poner en diálogo las diversas tradiciones desde las que se estudia.

Son siete las grandes tradiciones en la teoría de la comunicación que señala Craig: la retórica, la semiótica, la fenomenológica, la cibernética, la sociopsicológica, la sociocultural y la crítica.

Una aportación práctica interesante que la teoría de la comunicación puede hacer al resto del campo de estudio es comprender la unidad de la comunicación como campo de estudio en el que se articulan las diversas disciplinas que se ocupan de los fenómenos comunicativos.

Comunicación e información

La comunicación es el traspaso de energía entre individuos. Es también la transmisión de una experiencia, por parte de quien la tiene inicialmente, a quien no la ha tenido antes de ese proceso. La información es el proceso por el cual la realidad adquiere una forma determinada. Cuando se da un proceso de comunicación, una forma nueva se concreta o vuelve significativa, lo cual abre paso a la información.

El proceso de la comunicación incluye diferentes elementos: el contexto, los participantes, los mensajes, los canales, el ruido y la retroalimentación.

La comunicación se realiza por medio de la transmisión y recepción de mensajes, estos incluyen los elementos de significados y símbolos, codificar y descifrar, forma y organización.

Definición matemática de la información

Como se usa en la teoría matemática de la comunicación, la información tiene un significado muy preciso. Es el promedio de números dígitos binarios que deben ser transmitidos para identificar un mensaje dado, a partir de un conjunto de todas las posibilidades de mensajes a las cuales pertenece. Si hay un número limitado de mensajes que deben ser transmitidos, es probable inventar un código diferente para identificar cada mensaje. El mensaje es codificado, los códigos se envían a través del canal y el decodificador identifica la intención del mensaje por los códigos. Los mensajes se pueden definir en una variedad de formas. Por ejemplo, cada carácter alfanumérico llega a ser un mensaje o frases completas pueden ser mensajes si hay un número limitado, predefinido, de frases que se van a transmitir.

El tamaño del código depende de la estructura de la codificación y del número de mensajes posibles. El esquema de codificación para la teoría de información se asume que es binario.

Modelos básicos de comunicación

Se clasifican en:

- Modelos de orientación empírico-analítica: Las explicaciones que ofrecen son estrictamente causales con unos sistemas inflexibles muy semejantes a los modelos utilizados en física.
- Modelos teórico-sistemáticos (también denominados teórico-interaccionistas): El propósito primordial de estos modelos es desarrollar análisis funcionales.

Desde el punto de vista funcional se consideran los modelos:

- Fórmula de Laswell.
- Shanon y Weaver.
- Esquema de comunicación de Jakobson.
- Defleur.
- Osgoos y Schramm.
- La espiral de Dance.
- General de comunicación de Gerbner.
- ABX de Newcomb.

Teorías sobre la sociedad de la información

La sociedad de la información tiene, cuando menos, de acuerdo con estas aportaciones, los siguientes sustratos:

- Económico: el desplazamiento de la riqueza productiva hacia la información;
- Tecnológico: el desarrollo espectacular de las tecnologías de la información y de la comunicación, que tienen como último exponente la gran explosión convergente de Internet;
- Social y cultural: el desarrollo de la interactividad y las redes sociales.

La información y las tecnologías de la información

Ventajas de la tecnología de la información:

- Transformación de información analógica a digital.
- Un aumento del valor añadido de la información.
- Compresión ante el aumento del volumen de información y la corrección de errores ante un canal ruidoso.
- Los nuevos usos de la información, junto con las nuevas herramientas de software, llevarán a nuevas ocupaciones.
- Con la llegada de la cultura de la tecnocracia (al inicio de la era industrial) la gente empezó a creer en la bondad y, por ende, en la necesidad de inventar y de progresar; de ahí el poder que supone el conocimiento.
- Tecnópolis es lo que sucede cuando una cultura, superada por la información generada por la tecnología, intenta utilizar la misma tecnología como medio que proporcione una dirección clara a los objetivos humanos.
- La tecnología informática emerge como uno de los pilares de la Tecnópolis.

- El bit es la unidad mínima de información, es decir, a base de unos y ceros se pueden construir todos los códigos de compresión conceptual.
- La misma sociedad de la información vuelve obsoletos los conocimientos que adquirimos, por lo que se ha de estar predispuesto a la formación continua a lo largo de la vida para actualizarlos.
- La evolución tecnológica está llevando a la fusión de los sectores (telecomunicaciones, audiovisual y editorial) que cubren el área de la información; el peligro vendrá cuando tengan que decidir quién accesará a la información.
- La información es fundamental para la integración. De ahí que los ciudadanos tengan derecho a un acceso universal a la información. Pero esto no será posible si los principios económicos de las reglas de la competencia son los únicos que se emplean en el ámbito de la información.
- La mejor prevención ante los posibles peligros de la sociedad de la información es la educación conjunta en las ciencias técnicas y las humanidades.

Los cinco pilares de la era de la información:

1. Los números pueden representar toda la información.
2. Estos números están constituidos por unos y ceros ("bits", de "binary digits").
3. Los ordenadores transforman la información con la aritmética de estos unos y ceros (los trabajadores que tratan la información son los procesadores).
4. La información es comunicada mediante el envío de unos y ceros a través del espacio (telecomunicaciones).
5. Las redes de ordenadores se constituyen mediante la combinación de la tecnología de los ordenadores (puntos 1, 2 y 3) y la tecnología de las comunicaciones (punto 4).

Términos como el de *sociedad del conocimiento*, tienen en común el énfasis puesto en la importancia y las implicaciones de la producción del conocimiento científico y tecnológico para el avance, innovación y desarrollo económico de las sociedades.

Factores fundamentales:

a) Conformación de la infraestructura comunicacional e informática.
b) Aceleración sin precedentes que se lleva a cabo en la *producción, capitalización y depreciación del conocimiento* y que tiene lugar sobre el soporte de las TIC.
c) *Cambios en las perspectivas teóricas sobre el desarrollo.*

Los agentes que conforman los pilares de la sociedad del conocimientos son: las universidades, las empresas y el gobierno (modelo de la triple hélice).

Es mucha la importancia que se le atribuye a la educación, a las universidades en particular, entendidas éstas como centros productores de conocimiento e investigación.

Las empresas juegan también una parte muy importante, pues de su relación con las universidades (los centros productores del conocimiento) depende el que un

conocimiento o una aplicación del mismo llegue a convertirse en innovación que abra las puertas hacia el desarrollo.

El gobierno forma una parte importante del esquema planteado por las definiciones sobre la sociedad del conocimiento: por un lado, como regulador potencial de las políticas científicas y tecnológicas, mientras que, por otro lado, a través del fomento institucional hacia la vinculación universidad-empresa.

5.6 PREGUNTAS

5.1 Explique cómo surge la idea de la teoría general de sistemas y que planteamientos rechazo con relación a los sistemas vivientes.
5.2 Mencione las principales justificaciones que tenia Bertalanfy para desarrollar la teoría general de sistemas.
5.3 Mencione, en orden, los nueve niveles de la jerarquía de sistemas.
5.4 Mencione las razones de controversia contra la teoría general de sistemas.
5.5 Mencione los fines principales de la teoría general de sistemas.
5.6 Describa el enfoque de sistemas aplicado y compárelo con el enfoque de mejoramiento de sistemas.
5.7 Mencione los pasos del proceso de diseño de sistemas.
5.8 Mencione las principales sugerencias que se pueden aplicar, con base en el estado actual de conocimientos, para el diseño de sistemas de valía.
5.9 ¿Qué se entiende por "summun bonum" y cuáles son los métodos principales para obtenerlo?
5.10 Mencione las razones por las cuáles no es posible obtener el óptimo en el mundo real y como consecuencia ¿cuál es el enfoque factible que se puede aplicar?
5.11 Mencione el problema que se presenta al definir el concepto de mejoramiento de sistemas.
5.12 Mencione los principales criterios de los errores más comunes cometidos en la suboptimización de sistemas.
5.13 Describa cómo es posible evitar el dilema entre la optimización y la suboptimización.
5.14 Describa los nueve principios que podemos utilizar para enfocarnos a mejores suboptimizaciones.
5.15 En el ejemplo de la página 297 haga el análisis correspondiente considerando que la segunda alternativa genera ahorros anuales de $18,000, ¿cuál sería ahora la recomendación para invertir?
5.16 Resuelva el problema de la página 306, si las probabilidades de venta son:

Cantidad de periódicos	1	2	3	4
Probabilidad de venta	0.50	0.25	0.20	0.05

5.17 Adecúe el ejemplo de control de los precios del petróleo a su país, tratando de identificar el mayor número de elementos posibles además de los mencionados, haciendo la cuantificación factible de los costos de oportunidad y como consecuencia recomendando la política más conveniente.
5.18 Resuelva el problema de la página 312 de fabricación de galletas considerando que se dispone de 20 horas de trabajo y la capacidad del horno es 100 docenas de galletas.
5.19 Defina con sus palabras la prospectiva y mencione los cuatro principios en que se basa.
5.20 Aplique la metodología prospectiva para diseñar su carrera basándose las tres grandes estrategias en que se apoya esta.
5.21 Investigue en la literatura y encuentre ejemplos prácticos de los diferentes enfoques de estudios del futuro, haga un reporte comparándolos.
5.22 Describa con sus palabras el método prospectivo y las cinco ideas claves de la prospectiva.
5.23 Desarrolle una investigación en la literatura especializada y encuentre ejemplos prácticos de aplicación de las diferentes herramientas de la prospectiva mencionadas en la página 338 del capítulo.
5.24 Defina con sus palabras perspectiva, introspectiva y la extrospectiva, explicando su aplicación en el diseño de sistemas.
5.25 Describa la manera en que influye la perspectiva sistémica en la construcción del conocimiento y por lo tanto en el diseño del sistema.
5.26 Explique que es la teoría de decisiones y cuál es su objetivo.
5.27 ¿De que tratan las teorías descriptivas y normativas de decisiones y cuál es la importancia de cada una?
5.28 Mencione cómo es posible identificar falsificaciones de las teorías de decisiones.
5.29 Describa las fases del proceso de decisiones y cuál es la diferencia entre modelos secuenciales y no secuenciales.
5.30 Describa con sus palabras las cuatro dimensiones de las clases de decisión y como afecta cada una el proceso de decisión.
5.31 Elabore ejemplos sencillos de aplicación de las técnicas de inferencia estadística clásicas en el proceso de decisión.
5.32 ¿Cómo se relacionan las decisiones y el valor?
5.33 ¿Qué se entiende y cuál es la importancia del concepto de utilidad esperada?
5.34 Proporcione ejemplos de utilidad objetiva y de utilidad subjetiva.
5.35 Explique cómo es posible tomar buenas decisiones con incertidumbre y bajo ignorancia.
5.36 ¿En qué consiste, y cuál es la importancia, del teorema de Arrow para decisiones sociales?
5.37 ¿Cuál es la diferencia ente evaluar la calidad de una decisión y evaluar el proceso de una decisión?
5.38 Describa con sus palabras la teoría de la comunicación e información y su objeto de estudio.
5.39 Explique con sus palabras en qué consisten y a que se refieren las tradiciones de la teoría de la comunicación.

5.40 ¿Qué diferencia hay entre comunicación e información? Ponga algunos ejemplos al respecto.
5.41 Mencione los elementos de la comunicación.
5.42 Investigue en la literatura y presente en un reporte ejemplos de aplicación de la definición matemática de información.
5.43 Describa las características y aplicaciones de los principales modelos de comunicación mencionando ejemplos prácticos de cada uno
5.44 Explique la diferencia entre sociedad de la información y sociedad del conocimiento.
5.45 ¿Qué es el modelo de la triple hélice y cuál es su función en el desarrollo de las economías del conocimiento?
5.46 Investigue el grado de avance de su país con el enfoque de los indicadores mencionados en la página 394 del capítulo y mencione las acciones recomendables necesarias para mejorar su grado de avance y poder competir a nivel internacional.

Bibliografía

Capítulo 1

[1] González Z. J.: "Prospectiva de la Ingeniería industrial hacia el 2020", Revista UPIICSA XII,V,36, México, 2004.
[2] «Heron of Alexandria» (en inglés). *Enciclopedia Britannica Online*. Consultado el 26 de enero de 2011.
[3] Needham, Joseph (1974) (en inglés). *Science and Civilization in China: Volume 4*. Cambridge University Press.pp. 759.ISBN 9780521058032.
[4] *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices: Kitábfíma'rifat al-hiyal al-handasiyya*. Springer, 1973. ISBN 9027703299.
[5] Buchanan, R. A. (1985). *The Economist History Review*.Springer, pp. 42-60.
[6] Artículo en: http://symploke.trujaman.org/index.php?title=Ad%E1n_Smith, consultado el 11/10/2012.
[7] Malthus, T.*An Essay on the Principle of Population*.1st ed. 1798, online at the Library of Economics and Liberty, http://www.econlib.org/library/Malthus/malPop.html; 6th ed. 1826, online at the Library of Economics and Liberty, http://www.econlib.org/library/Malthus/malPlong.html.
[8] Malthus, T. *The Principles of Political Economy Considered with a View to Their Practical Applications*. John Murray, London, 1820.
[9] David D. Friedman, *Price Theory: An Intermediate Text*, 2d ed. (Cincinnati: South-Western Publishing, 1990), p. 618.
[10] "Elms and Magnolias: The 18th century". Manuscripts and Archives, Yale University Library. August 16, 1996.
http://www.library.yale.edu/mssa/exhibits/elms/18th_item01.html. Retrieved March 19, 2008.
[11] Chris Scarre, "The Wars with Carthage," *The Penguin Historical Atlas of Ancient Rome* (London, Penguin Books, 1995), 24–25.
[12] Hounshell, David A. (1984), *From the American System to Mass Production, 1800-1932: The Development of Manufacturing Technology in the United States*, Baltimore, Maryland: Johns Hopkins University Press, ISBN 978-0-8018-2975-8, LCCN 83016269.
[13]http://translate.google.com.mx/translate?hl=es-419&sl=en&u=http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_New_Hampshire_Historical_Markers_(1%25E2%2580%259325)&prev=/search%3Fq%3Dgeorge%2Balbert%2Bwentworth%2Bbiography%26rlz%3D1C2SFXN_enMX499MX520%26biw%3D1280%26bih%3D685
[14] *Carl G. Barth, 1860–1939: A Sketch* (Florence M. Manning. Norwegian-American Historical Association. Volume XIII, p. 114.
[15] US Patent 753,840, 1904

[16] *Frederick Winslow Taylor, Class of 1883* (Stevens Institute of Technology).
[17] *An Interpretive Review of 20th US Machining and Grinding Research* (M. Eugene Merchant. Cincinnati, Ohio: Techsolve, Inc., 2003).
[18] Gerard Blokdijk, *Project Management 100 Success Secrets*, Lulu.com, 2007, ISBN 0980459907, Google Print, p.76
[19] Taylor Frederick W: *"On the Art of Cutting Metals"*, Transactions of the ASME, vol. 28, periódico 1119, pp. 31-350, 1907.
[20] Emerson Howard P. y Douglas C. E. Nahering: *Origins of Industrial Engineering*, Industrial and Management Press, Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA. 1988.
[21] Copley Frank Barkely: *Frank W. Taylor*, Harper and Row Publishers, Inc., New York, 1968.
[22] Taylor Frederick W: *Scientific Management*, Harper and Row Publishers, Inc., New York, 1947.
[23] Drucker Peter, *The Age of Discontinuity*, Harper and Row Publishers, New York, 1968.
[24] Emerson Howard P. y Douglas C. E. Nahering: *Origins of Industrial Engineering*, Industrial and Management Press, Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA., 1988.
[25] Adaptado de Hicks Philip E.: *Ingeniería industrial y administración. Una nueva perspectiva*, Compañía Editorial Continental, México, 1999.
[26] MorgenWitzel (2003).*Fifty key figures in management*.Routledge, 2003.ISBN 0-415-36977-0p.96.
[27] Narayanan, Veekay K; Nath, Raghu (1993), *Organization theory : a strategic approach*, Irwin, p. 29, ISBN 978-0-256-08778-9
[28] Fayol, Henri (1917) (en francés), *Administration industrielle et générale; prévoyance, organisation, commandement, coordination, controle*, Paris, H. Dunod et E. Pinat, OCLC 40224931
[29] Daft, Richard L (1983), *Organization theory and design*, The West series in management, West Pub. Co., cop, ISBN 978-0-314-69645-8
[30] Raymond Fairfield Eager: *Quantity and Economy in Manufacture*, McGraw-Hill, 1931, 375pp.
[31] Shewart Walter A.: *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, D. Van Nostrand Co., NY, 1931.
[32] Grant, E. L.:*Statistical Quality Control*, New York: McGraw-Hill, 1946.
[33] Grant, E. L.: *Principles of Engineering Economy*, Ronald Press, N. Y., 1938.
[34] Barnes Ralph Mosser.: *Industrial Engineering and Management:Problems and Policies*, McGraw-Hill, New York,1931.
[35] Niebel Benjamin W.: *Motion and Time Study: An Introduction to Methods, Time Study, and Wage Payment*, R. D. Irwin, 1955.
[36] Mundel Marvin Everet.: *Sistematic Motion and Time Study*, Prentice Hall, 1947.
[37] Smalley Harold E.: "Another look at work measurement",Journal of Industrial Engineering, vol.18 núm. 3, 1967.
[38] Krick, Edward, *Ingeniería de Métodos*, Limusa, México 1991.
[39] Bedaux, Charles E.: *The Bedaux Efficiency Course for Industrial Application*,1921.
[40] Carrol, Phil.: *Timestudy Fundamentals for Foremen*,McGraw-Hill, New York,1972.
[41] H. B. Maynard, G. J. Stegemerten and J. L. Schwab, *Methods-Time Measurement*,McGraw-Hill, New York,1948.

[42] Allan H. Mogensen.:*Work Simplification in the Office*,At the Office Management Conference of the American Management Association in October, 1937.

[43] Reed Ruddell Jr.: *Plant Layout*, Richard D. Irwin, Inc. Homewood, Il. 1961.
[44] Moore James M.: *Plant Layout and Design*, Macmillan, N. Y., 1962.
[45] Tompins James A. and White John A.: *Facilities Planning*, John Wiley & Sons, N. Y. 1984.
[46] Prawda W. J.: *Métodos y modelos de investigación de operaciones. Vol. I Modelos Determinísticos*, Limusa, México, 1981.
[47] McCloseyJoshep F. y Florence N. Trefethen (eds.), *"Operations Research for Management"*,Johns Hopkings Press, Baltimore MD. 1954.
[48] Russell L. Ackoff.:"Operations Research in Business and Industry,"Industrial Quality Control, Vol. 8, núm. 6, mayo de 1952, pp. 41-50.
[49] Russell L. Ackoff, C. West Churchman and Leonard Arnoff, *Introduction toOperations Research*, John Wiley & Sons, 1957.
[50] Philip M. Morse and George E. Kimball, *Methods of Operations Research*,MIT Press, 1945.
[51] En economía, la **ley de Say** es un principio atribuido a Jean-Baptiste Say que indica (1803) que no puede haber demanda sin oferta. Cuantos más bienes (para los que hay demanda) se produzcan, más bienes existirán (oferta) que constituirán una demanda para otros bienes, es decir, la oferta crea su propia demanda. En: *Traité d'économie politique, ou simple exposition de la manière dont se forment, se distribuent, et se composent les richesses*, (1803), traducido al inglés como *A Treatise on Political Economy, or the production, distribution and consumption of wealth*, (1803). Ver enlaces en: http://cepa.newschool.edu/het/profiles/say.htm.

Capítulo 2

[1] Niebel B. W. y Freidvals Andris: Ingeniería Industrial, Métodos Estándares y Diseño del Trabajo, 11ava ed., Alfaomega Grupo Editor S. A. de C. V., México 2004.
[2] OIT: *Introducción al Estudio del Trabajo*, 3ª ed., OIT, Ginebra Suiza 1980.
[3] Sumanth J. David: *Ingeniería y Administración de la Productividad*, McGraw-Hill Interaméricana de México S. A. de C. V., México 1990.
[4] Lewis William W.: *El Poder de la Productividad*, Perspectiva núm. 6 pp. 15 a 19 en: http://perspectiva.icpcolombia.org/archivos/revista/No%206/06_productividad.pdf
[5] World Economic Forum.: "The Global Competitiveness Report 2012–2013"
[6] Foulkes F. K.: *"Learning to Live with OSHA"*, Harvard Business Review, vol 51, num. 6, 1983, pp 57-67.
[7] Kapur R. and Liles d. H.: *"Job Design for Persons with Phisichal Disabilities"*, Proc. AIIE Spring Annu. Conf. May 1982, pp. 196-178.
[8] McGee J. P.: *"Job Design Technology in Dupont to Improve Productivity and Job Satisfaction"*, Proc. Annu. Spring Conf., May 1981, pp. 461-464.
[9] Sweetland J.: *"Occupational Stress and Productivity"*, Work in America Institute, Scarsdale, NY 1982.

[10] Kroemer K. H. D. and Price D. L.: *"Ergonomics in the Office: Comfortable Work Station Allows Maximum Productivity"*, Ind. Eng. Jul. 1982, pp. 24-32.
[11] Smith L. A. and Smith J. L.: *"How Can an IE Justify a Human Factors Activities Program for Management"*, Ind. Eng. Pp. 39-43.
[12] Latham P. G.: *"Increasing Productivity Through Performance Appraisal"*, Addison-Wesley, Reading, Mass. 1981.
[13] VPI: *"Research Links Low Productivity with BAC"*, People Syst., Dept. of Ind. Eng. And Opt. Res., VPI, Spring 1980.
[14] Feigenbaum A. V.: *"Total Quality Control"*, McGraw-Hill, NY 1970.
[15] Duncan A. J.: *"Quality Control and Industrial Statistics"*, 3d Ed., Irwin, Homewoog Ill., 1965.
[16] Meyers F. E.: *"Estudios de Tiempos y Movimientos para manufactura ágil"*, 2ª Ed., Pearson Educación México S. A. de C. V., México 2000, pp.26.

Capítulo 3

[1] Montevechi, J. A.: *"Pesquisa Operacional"*; Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI); 2006.
[2] Corrar L. J.; Theóphilo, C. R.: *"Pesquisa Operacional para Decisão em Contabilidade e Administração"*; Ed. Atlas; São Paulo; 2007.
[3] Hillier F. S. and Lieberman G. J.: *"Introduction To Operations Research"*; 8ª Edition; Ed. Mcgraw-Hill; New York/Usa; 2005.
[4] Lachtermacher G.: "Pesquisa Operacional Na Tomada De Decisões", 2ª Edição; Editora Campus; São Paulo/Sp; 2004.
[5] Lecturas complementarias
E. S. Buffa, *Modern Production Management*, 4ª ed. John Wiley, Nueva York, 1973;
R. I. Levin y C. A. Kirkpatrick, *Quantitative Approaches to Management*, 3a ed., McGraw-Hill, Nueva York, 1975;
D. T. Phillips, A. Ravindran y J. J. Solberg, *Operations Research, Principles, and Practice*, John Wiley, Nueva York, 1976.
R. E. Machol, *Elemental Systems Mathematics: Linear Programming for Business and the Social Sciences*, McGraw-Hill, Nueva York, 1976;
R. E. Shannon, *Systems Simulation: The Art and Science*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1975.
Daelienbach, Hans G.: *Introduction To Operations Research Techniques*, 2a ed., Allyn & Bacon, Boston, Mass., 1983.
Stair, Ralph M.: Production and Operations Management, Allyn & Bacon, Boston, Mass., 1980.
[6] Monks J. G.: *"Administración de Operaciones"*, McGraw-Hill/ Interamericana, México 1991.
[7] Prawda J.: *"Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones vol. I Modelos determinísticos"*, LIMUSA, México 1981.
[8] Consultar: http://www.encyclopediaofmath.org/index.php/Renewal_theory, consultada 10/06/2014.

Capítulo 4

[1] Extracto tomado de *The Systems Approach* por C. West Churchman. Copyright 1968 by C. West Churchman. Reproducido con permiso de Bantam Doubleday Dell.
[2] Hall A. D.: *A Methodology for Systems Engineering*, Van Nostrand, Princeton, NJ. 1972.
[3] Likert R.: *New Ptterns of Management*, McGraw-Hill, New York 1961.
[4] Hamilton H. R. y cols.: *A Dynamic Modelo f the Economy of Susquehanna River Basin*, Battelle Memorial Institute, Columbus OH. 1966.
[5] Quade E. S. y W. I. Boucher: *System Analysis and Policy Planning*, Elsevier Publishing Company, Inc. New York NY. 1968.
[6] Canada John y William Sullivan: Economic and Multiatribute Evaluation of Advanced Manufacturing Systems, Prentice Hall, Englewood Clifs, NJ. 1989.
[7] Reeves G. R. y K. D. Lawrence: *Multi-Criteria Decision Making" en W. K. Hoson editor: Maynard´s Industrial Engineering Handbook*, 4ª ed., McGraw-Hill New York 1992.
[8] Churchman y cols.: *Introduction to Operations Research*, John Wiley, New York 1957.
[9] Op cit.
[10] Murdick R. G. y Munson J. C.: *Sistemas de Información Administrativa*, 2ª ed. Prentice Hall Hispanamericana S. A., Mexico 1998.
[11] González D. y Escalante A.: *"Ingeniería Industrial, Ingeniería de Mejora Continua"*. Alfaomega Grupo Editor, México 2014.
[12] Thome P. G. and Willard R. G.: The Systems Aproach, A Useful Concept of Planning, k Aerospace Management, General electric Company, Fall Winter 1966 p. 5.
[13] Zoll R. provided the basis of the discussion of these ideas.
[14] Quade E. S. y W. I. Boucher: *System Analysis and Policy Planning*, Elsevier Publishing Company, Inc. New York NY. 1968.
[15] Ackoff R. L. y Sasieni M. W.: *Fundamentos de Investigación de Operaciones*, Editorial LIMUSA S. A. de C. V. México 1987.
[16] Oliver D. W. et al: *Engineering Complex Systems with Models and Objects*, McGraw-Hill, New York 1997.
[17] González D. y Escalante A.: "Ingeniería Industrial, Ingeniería de Mejora Continua", Grupo editor Alfaomega México.Cap. II.
[18] Hall Arthur D. "Ingeniería de Sistemas" CECSA México 1981.
[19] Freeman R. J.: "A Generalized PERT", Operations Research, 8 1960 p. 281
[20] Kelley Jr. J. E.: "Criticall-Path Planning and Scheduling: Mathematicall Basis" Operation Research, 9, 1961, pp. 296-320.
[21] Cochran W. G. and Cox G. M.: Experimental Designs", 2nd ed., John Wiley and Sons, Inc., New York 1957.
[22] Woodling G. V.: "Inventions and Their Protection", 2nd ed., Clark Boardman, New York 1954. p. 495.
[23] Hanssmann F.: *"Comentario" sobre "The Researcher and the Manager: A Dialectic of Implementation"*, Management Science, 12, num 2, 1965, p. B22-B23.

Capítulo 5

[1] Van Gigch J. P.: "Teoría General de Sistemas", 2ª ed. Editorial Trillas, México 1989
[2] CHIAVENATO, Idalberto.: "Introducción a la Teoría General de la Administración". Santafé de Bogotá: McGraw-Hill, 1999.
[3] CAPRA, Fritjof.: "La trama de la vida". Barcelona: Editorial Anagrama, 1998.
[4] O'CONNOR, Joseph y McDERMOTT, Ian.: "Introducción al Pensamiento Sistémico". Barcelona: Urano, 1998.
[5] Bertalanfy Ludvig Von.: "Teoría General de los Sistemas, Fundamentos, desarrollo, aplicaciones." Publicado por Gerge Braziller New York, 1968.
[6] Van Gigch J. P.: Op. Cit, pp. 331 a 389.
[7] Hall A.: "Ingeniería de Sistemas", CECSA, México 1981, pp. 152 a 154.
[8] Dyer J.S.: *"Interactive Goal Programming", Management Science,* 19 num 1, sep 1972 pp. 62-70.
[9] Lee,S.M.: *"Interactive and Integer Goal Programming", in* Joint ORSA/TIMS Meeting, Vegas Nev., nov 1975.
[10] Ibid cap. 18.
[11] Berger G., Etapes de la prospective, PUF, 1967.
[12] GODET Michael.: "De La Anticipación A La Acción. Manual De Prospectiva Estratégica." 1998.
[13] DE JOUVENEL Bertrand.: "El arte de prever el futuro político". Rialp, Madrid, 1966.
[14] Andrews K. y Ansoff I. *Corporate Strategy,* McGraw-Hill, N.Y., 1995.
[15] Cereceda Carlos.: *"Métodos y Técnicas de la Prospectiva",* Ministerio de Planificación, Gobierno de Chile en: http://ingcarlosmerlano.files.wordpress.com/2010/04/metodo-y-tecnicas-de-analisis-prospectivo.pdf, consultado el 15/01/2013.
[16] James Orr.: *"The Christian View of God and the World",* (Grand Rapids: Eerdmans, 1948), 3.
[17] Maturana, H.R. (1995). Biology of self consciousness. In Giuseppe Tranteur (Ed.), Consiousness: distinction and reflection. Napoles. Editorial Bibliopolis. Italy.
[18] Hansson Sven Ove.: *"Decision Theory A Brief Introduction".* Department of Philosophy and the History of Technology, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, 1994.
[19] Condorcet ([1793] 1847), "Plan de Constitution, presenté a la convention nationale les 15 et 16 février 1793", *Oeuvres*, vol. 12, pp. 333-415.
[20] Dewey, John ([1910] 1978), *How We Think*, pp. 177-356 in *Middle Works*, vol 6.
[21] Simon, Herbert (1960), *The New Science of Management Decision.*
[22] Brim, Orville G et al. (1962) *Personality and Decision Processes, Studies in the Social Psychology of Thinking*, Stanford 1962.
[23] Witte, Eberhard (1972), "Field research on complex decision-making processes - the phase theorem", *International Studies of Management and Organization*, 156-182.
[24] Mintzberg, Henry, Dury Raisinghani, and André Théorêt (1976), "The Structure of 'Unstructured' Decision Processes", *Administrative Sciences Quarterly* 21:246-275.
[25] Peirce, CS ([1878] 1932) "The probability of induction", pp. 415-432 in *Collected papers*, volume 2.
[26] Popper, Karl ([1959] 1980), *The Logic of Scientific Discovery.*

[27] Ellsberg, Daniel ([1961] 1988), "Risk, ambiguity, and the Savage axioms", pp. 245-269 in Gärdenfors and Sahlin (1988).
[28] Wilson, Richard and EAC Crouch (1987), "Risk Assessment and Comparisons: An Introduction", *Science* 236:267-270.
[29] Freeling, Anthony NS (1984), "A philosophical basis for decision aiding", *Theory and Decision* 16:179-206.
[30] Luce, R Duncan and Howard Raiffa (1957), *Games and Decisions.*
[31] Sen, Amartya K (1970), *Collective Choice and Social Welfare.*
[32] McKelvey, Richard D (1976), "Intransitivities in Multidimensional Voting Models and some Implications for Agenda Control", *Journal of Economic Theory* 12:472-482.
[33] Schofield, Norman (1978), "Instability of Simple Dynamic Games", *Review of Economic Studies* 45:575-594.
[34] Janis, I. L., and L. Mann: *Decision Making: A Psychological Analysis of Conflict, Choice, and Commitment,* Free Press, New York, 1977.
[35] Algarra Manuel Martín.: "La comunicación como objeto de estudio de la teoría de la comunicación" en: Anàlisi 38, 2009 151-172.
[36] Craig, R. T. (1999). «Communication Theory as a Field». *Communication Theory*, 9, p. 119-161.
[37] Cfr. CONESA, F.; NUBIOLA J. (1999). *Filosofía del lenguaje*. Barcelona: Herder.
[38] Cfr. Martín Algarra, M. (1993). *La Comunicación En La Vida Cotidiana. La Fenomenología De Alfred Schutz*. Pamplona: Eunsa.
[39] Levy, P. (1994). *L'intelligence collective. Pour une anthropologie du cyberespace*. París: La Découverte, 1994 y (1995). *Qu'est-ce que le virtuel?* París: La Découverte.
[40] Holmes, D. (2005). *Communication Theory. Media Technology And Society*. Londres: Sage.
[41] Craig, R. T. (1999), P. 143.
[42] Carey, J. (1992). *Communication As Culture. Essays On Media And Society*. Nueva York: Routledge, P. 23.
[43] Craig, R. T. (1999), P. 147.
[44] Newell A. y Simon H.: *"Human Problem Solving"* Prentice Hall, Englenwood Cliffs, NJ, 1972 ver también: *"Human Problem Solving: the State of the Theory in 1970",* American Psychologist, feb 1971, pp. 145, 159.
[45] Vitalari N.P.: *"Problem Solving Behavior of Systems Analyst",* Tesis doctoral publicada. Universidad de Minesota, Mineapolis, 1981.
[46] Miller A. G.: *"The magical number seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capability for processing Information",* The Psychological Review, 63.2, March 1956, pp. 81-97.
[47] Crannell C.W. y Parrish J.M.: *"A Comparison of Immediate Memory Sapn for Digits, Letters and Words",* The Journal of Psychology, 44, oct 1957, pp. 319-327.
[48] Wickens C.D., et al.: *"An Introduction to Human Factors Enginnering", Longman,* NY 1997.
[49] Sanders M. S. y Mc Cormick E. J.: *"Human Factors in Engineering and Design",* McGraw-Hill NY 1993.

[50] Alandro Eva: Revista Comunicación e Información, CIC, (Universidad Complutense de Madrid) 2001.

[51] Krippendorff, K.; Paisley, W.J.& Stone, Ph.J. (Eds.) (1969). The Analysis of Communication Content. New York: Wiley.
[52] Charles H. Cooley: Social Organization: A study in the larger mind (Nueva York, 1909).
[53] Carl Iver Hovland con Irving Janis y Harold Kelley, y *Effects of the Mass Media of Communication* (1954).
[54] Capurro Rafael y Hjørland Birger: The Concept of Information. En Blaise Cronin (Ed.): *Annual Review of Information Science and Technology* (ARIST), Medford, NJ: Information Today, Vol. 37, 2003, pp. 343-411.
[55] Ludwig Wittgenstein: *Philosophische Untersuchungen*. En: ibid. Werkausgabe, Band 1. Frankfurt am Main: Suhrkamp 1984, § 43: ("El significado de una palabra es su uso en el lenguaje").
[56] Carl Friedrich von Weizsäcker: Sprache als Information. En ibid: *Die Einheit der Natur*. München: DTV 1974, pp. 39-60.
[57] Ibid. p. 51.
[58] Norbert Wiener: *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. New York: MIT Press 2a. ed. 1961 (primera edición 1948), p. 132.
[59] Alandro Eva: Revista Comunicación e Información, CIC, (Universidad Complutense de Madrid) 2001.
[60] Krippendorff, K.; Paisley, W.J.& Stone, Ph.J. (Eds.) (1969). The Analysis of Communication Content. New York: Wiley.
[61] Charles H. Cooley: Social Organization: A study in the larger mind (Nueva York, 1909).
[62] Carl Iver Hovland con Irving Janis y Harold Kelley, y *Effects of the Mass Media of Communication* (1954).
[63] Capurro Rafael y Hjørland Birger: The Concept of Information. En Blaise Cronin (Ed.): *Annual Review of Information Science and Technology* (ARIST), Medford, NJ: Information Today, Vol. 37, 2003, pp. 343-411.
[64] Ludwig Wittgenstein: *Philosophische Untersuchungen*. En: ibid. Werkausgabe, Band 1. Frankfurt am Main: Suhrkamp 1984, § 43: ("El significado de una palabra es su uso en el lenguaje").
[65] Carl Friedrich von Weizsäcker: Sprache als Information. En ibid: *Die Einheit der Natur*. München: DTV 1974, pp. 39-60.
[66] Ibid. p. 51.
[67] Norbert Wiener: *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. New York: MIT Press 2a. ed. 1961 (primera edición 1948), p. 132.
[68] Ver del autor: *Ethik im Netz*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag 2003, pp. 105-122 Online: http://www.capurro.de/botschaft.htm; ibid.: *Leben im Informationszeitalter*, Berlin: Akademie Verlag 97-109; ibid.: Angeletics - A Message Theory. En Hans H. Diebner, Lehan Ramsay (Eds.): *Hierarchies of Communication.* Karlsruhe: Verlag ZKM 2003, pp. 58-71, Online: http://www.capurro.de/angeletics_zkm.html
[69] Herrero Julio César (Coord.), *Manual del Teoría de la Comunicación y Teoría de la Información*, Madrid, *Universitas*, 2009.
[70] Newcomb, Theodore M. Manual de psicología social, Tomo II. Eudeba. Buenos Aires. 1964. Pág 531.
[71] Cuesta, U. (2000). *Psicología Social de la Comunicación*. Madrid: Cátedra.
[72] Lucas Marín, A., García Galera, C., y Ruiz Román, J. A. (1999). *Sociología de la comunicación*. Madrid: Trotta.

[73] McQuail, D. y Windahl, S. (1997). *Modelos para el estudio de la comunicación colectiva*. Pamplona: Ediciones Universidad de Navarra (EUNSA). 3ª edición (1º edición 1984).
[74] Laswell, H. D. (1948). The structure and function of communication in society. En L. Bryson (ed.). *The Communication of Ideas*. Nueva York. Harper and Brothers.(Traducido al español, M. de Moragas (ed.). *Sociología de la Comunicación humana*. Barcelona: Gustavo Gili).
[75] Riley, J. W. y Riley, M. W. (1959). Mass communication and the social system. En *Sociology Today*. En R. K., Merton, L. Broom, y S. Cottrell (eds.). Nueva York: Basic Books.
[76] Braddock, R. (1958). An extension of the "Laxwell Formula". *Journal of Communication*, 8. pp. 88-93.
[77] Shannon, C. y Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illinois Press.
[78] Jakobson, R. (1963). *Essai de lingüistique general*. Paris: Les Éditions du Minuit.
[79] DeFleur, M. L. (1966). *Theories of Mass Communication*. Nueva York: David McKay (Traducido al español por Paidós, Buenos Aires).
[80] Schramm, W. (1954). How communication works. En W. Scramm (ed.). *The Process and Effects of Mass Communication*. Urbana: University of Illinois Press.
[81] Osgood, C. E., Suci, G. J. y Tannembaum, P. H. (1957). *The Measurement of Meaning*. Urbana: University of Illinois Press.
[82] Dance, F. E. X. (1967). A helical model of Communication. En F. E. X. Dance (ed.). *Human Communication Theory*. Nueva York: Holt, Rinehart and Winston.
[83] Gerbner, G. (1956). Toward a general model of communication. *Audio-Visual Communication Review*. pp. 171-199.
[84] Heider, F. (1946). Attitudes and cognitive information. *Journal of Psychology*, 21. pp. 107-112.
[85] José Fernández Beaumont: Teoría de la Información y de la Comunicación. Editorial Universitas. Madrid 2009. capítulos 7 y 12.
[86] Ontalba y Ruipérez José A.: Teorías Sobre La Sociedad De La Información: Un Análisis Comparativo, VI Jornadas Españolas De Documentación. FESABID 98.
[87] GATES, Bill. (1995). *Camino al futuro*. Madrid: McGraw-Hill.
[88] NEGROPONTE, Nicholas. (1995). *El mundo digital*. Barcelona: Ediciones B.
[89] DERTOUZOS, Michael L. (1997). *Qué será: cómo cambiará nuestras vidas el nuevo mundo de la informática*. Barcelona: Planeta.
[90] POSTMAN, Neil. (1994). *Tecnopolis : la rendición de la cultura a la tecnología*. Barcelona: Galaxia Gutemberg.
[91] MAJÓ, Joan. (1997). *Chips, cables y poder : la clase dominante en el siglo XXI*. Barcelona: Planeta.
[92] Sandoval R.: *¿Cómo medimos nuestra transición a la sociedad del conocimiento?*, Seminario de Administración del Conocimiento y de la Información. IPN. México dic 2008.
[93] Casas, R., y J.Dettmer, (2005), "Sociedad del conocimiento, capital intelectual y organizaciones innovadoras", (en prensa).
[94] Druker, P.F. (1969). *The age of discontinuity*, Nueva York, Harper and Row Publishers, Inc.

[95] Böhme, G. y N. Ster(1986), *The knowledge society: the growing impact of scientific knowlwdge on social relations*, Netherlands, D. Reidelpublishing Company.
[96] Bell, D.(1976). *El advenimiento de la sociedad postindustrial*, Madrid, Alianza.
[97] Castells, M. (2001), *La era de la información. Economía sociedad y cultura. La sociedad red*, Vol. I, México, Siglo XXI.
[98] Beck, U. (1986), *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad*, Barcelona, Paidós. 1998.
[99] Etzkowitz, H. y L. Leidesdorff(ed.) (1997), *Universities and the global knowledge economy: a triple helix university-industry-government relations*, Londres y Washington, Printer.
[100] Vessuri, H., (1995), "La academia "va al mercado". Un enfoque sociológico de las relaciones de los investigadores académicos con el mundo productivo."En H. Vessuri, *La academia va al mercado: Relaciones de científicos académicos con clientes externos*, H. Fondo Editorial FINITEC, Caracas, 1995. (Artículo disponible en http://www.ivic.ve/estudio_de_la_ciencia/Lacademer.pdf).
[101] Gibbons, M., C. Limoges, H. Nowotny, S. Schwartzman, P. Scott, M. Trow, (1997), *La nueva producción del conocimiento: La dinámica de la ciencia y la investigación en las sociedades contemporáneas*, Pomares, Barcelona.
[102] Warfield J. N.: *"A Science of Generic Design"*, Iowa State University Press 1994.
[103] Warfield J.N.: *"Structural Thinking"*, IASIS, Gerge Mason University, 1993.

Índice analítico

A
Academia
de Artillería de Segovia 4
de Minas de Freiberg 4
Militar 6
Real de Fortificação, Artilharia e Desenho de Lisboa 4
activo 108, 109
Adam Smith 8, 9
Administración 178
científica 20, 21, 38, 247
de la economía 196
de la producción 116
de la productividad 66
de operaciones 116, 121
de materiales 98
de sistemas 48
del proyecto 248
financiera 203
administrador 50, 237, 238, 239, 241, 242, 244, 252
administradores 51, 242
de producción 247
ADN de la información 388
adquisición 149
agentes de cambio 237, 240, 242
Al Jaziri 6
albañiles 5
Albert Einstein 214
alcance de la IO 128
Alessandro Volta6
Alexander Bogdanov 273
álgebra lineal 141, 142
algoritmo 141
de descomposición de programación línea 292
simplex 144
algoritmos de optimización 142
Heurísticos 142
alto nivel de administración 251
American Society of Mechanical Engineers 6
análisis 139
ABC 100, 101
Combinatorio 145
de concepto 211
de incremento290
de regresión 147
de sistema(s) 187, 201, 205, 206, 210, 211
de sistemas de producción 60
de valor total 290
del punto de equilibrio 112
estadístico 326
lógico 243
por redes 142
analista(s) en procedimientos 204
en investigación de operaciones 204
en sistemas 204
Anaxágoras 177
Antigüedad 3, 5, 321
clásica 372
aprovisionamiento 149
árbol de decisiones 146, 147
de levas6
área(s) de cumplimiento de requisitos gubernamentales 151
de aplicación 128
de aplicación de la IO 148
Aristóteles 177, 372
aritmética 389

arqueología 116
Arquímedes 5, 40
asignación de costos 114
Asociación Estadounidense de administración 38
Augusto Comte 177
autoedición 387
autopistas de la información 388
autor de decisiones 317

B

balance general 110
Baruch Spinoza 177
Biblia 321
bibliotecas públicas 388
Bill Gates 387, 392
biología 7, 344
molecular 7
bioquímica 178, 343
bit 388
Brahmagupta 5
brecha (GAP) 181

C

cadenas Markov 146
cajeros 215
cálculo de costos 114
diferencial 290
estadístico o probabilístico 326
matemático 141, 142
calibradores Vernier 15
calidad del cumplimento 103, 104
del desempeño o confiabilidad 103
del diseño 103
cambio(s) organizacional(es) 247, 248, 249
tecnológicos 329
campo de la manufactura 79
capital 108
carácter dinámico de la comunicación 383
carátulas 67
Carl George Barth 18
carpinteros 5
cartas de control 106
Charles Babbage 8, 9, 16
Christian von Ehrenfels 178
cibernética 178
ciclo de desarrollo 225, 229
de diseño 282
ciclógrafo 29
ciencia(s) 3, 174, 175 177, 201, 204, 275, 321, 325, 342, 343, 344, 395
de la administración 242
de materiales 5
experimental 343
consagradas 343
del comportamiento 248
exactas 271
humanas 345
naturales 271
puras 343
sociales 3, 253, 254, 271
técnicas 392
científico 175, 242
cigüeñales 6
circulación o flujo de materiales 85
circulante diferido 109
fijo 109
círculos de calidad 72
clasificación de sistemas de inventarios 90
Claude Elwood Shannon 178
Claude Shannon 387
cliente 241
cobertura holística 328
cognición 215
comercio electrónico 389
competitividad 57, 59
componentes o funciones 217
comportamiento 176
de la organización 204
comprensión mutua 240, 246, 247, 251
computación 129
computador(a)(s) 174, 183, 215, 226, 248, 280, 354
de alta velocidad 258
de escritorio 182
digital 178
electrónicas 204

comunicación(es) 39, 247, 375, 379, 384, 385, 386
concepto(s)
de investigación de operaciones 128
de sistema(s) 85, 196
moderno de información 372
conducta 380
conocimiento 392
consensuamiento 329
construcción de modelos 258
contabilidad 203
de costos 108, 110, 111, 112
del rendimiento 114
tradicional 114
contador 50, 110, 199
contenido 202
contexto 176, 177, 369
cultural 369
físico 369
histórico 369
psicológico 369
social 369
control 71, 204
de calidad 89, 102
de calidad estadístico 106
de costos 108
de inventarios 89, 141
de producción 89
de programas de reducción de costos 71
de sistemas 48, 217, 286
estadístico 106
corriente eléctrica 6
sistémica 345
cosmovisión(es) 280, 281, 342
del receptor 281
coste(s) 391, 82, 89, 175
del sistema 179
total de producción 85
costeo por absorción 114
de absorción de costos 114
costo(s) 110, 195, 303, 312,
aceptable 90
de inventarios 258
máximo 194
mínimo 195
unitario 114
unitario de la mano de obra 52
de mano de obra directa 130
de materiales 130
de oportunidad 303, 307, 312, 317
de oportunidad de intercambios 316
del periodo 114
fijos o semifijos 111
netos de oportunidad 312
variables o directos 111
cronociclógrafo 29
cronómetro(s) 23, 27, 67
electrónico 67
mecánicos 67
cultura de la tecnocracia 390

D

Daniel Bernoulli 357
datos 212
David Rapaport 275
David Ricardo 9, 10
decisiones colectivas 362
definición(es) del(os) problema(s) 280, 281
de comunicación 368, 369
de la información 368
deflación 50
departamento de control de producción 210
derecho(s) de propiedad 391
de patente 232
Dertouzos 392
desarrollo 150
de la distribución 82
de(l) sistemas 222, 225, 228, 236
de sistemas complejos 179
estándar 230
exploratorio 229, 230
general 236
organizacional 248

desempleo 56
diagrama de flujo 208, 218, 257
de Gantt 18
esquemático 254
diferencia de potenciales 6
difusión 249
dirección del sistema 218
discurso del método 214
diseñador(es) 197, 230, 231, 281, 283, 285
de sistemas 285
diseño 287
creativo de sistemas 187
de disposición de la planta 71
de experimento 227
de herramientas 78
de la implantación de una estrategia 324
de la seguridad en el trabajo 60, 73
de las herramientas y los equipos 71
de los componentes 199
de (los) sistemas 48, 119, 177, 187, 222, 278, 280, 283, 285, 286, 179, 221
de los sistemas de valía 288
de organización 248
de(l) producto(s) 70, 82, 119, 203
de seguridad en el trabajo 74
de sistemas de información administrativa 245
de sistemas de producción 60
de una estrategia 324
del método de trabajo 71
del proceso 70
del trabajo 60, 69
detallado 226
organizacional 199
disposición de planta 60
distribución(es)
de la planta 79, 80, 88
física 150
de probabilidad 141
división del trabajo 8, 217
dominio 195
dualismo 345
duda metódica 214
Dwight V. Merrick 35

E

E. W. Harris 36
E. W. Lanchester 40
eclosión tecnológica 391
École Nationale des Ponts et Chaussées de París 4
ecología 178
economía(s) 54, 55, 59, 178, 203, 256, 257, 394
del conocimiento 394
mundial 185
nacional 185
economista(s) 50, 51, 204
ecuaciones diferenciales 141, 142
Edad de Oro islámica 5
Edad del Bronce 5
Edad Media 4, 5, 321
Edmundo Halley 6
educación 395
efectividad de costos 194
efecto del control de calidad 107
eficiencia industrial 19
ejecutivos 51
electricidad estática 6
magnética 6
electrónica 129
Eli Whitney 8, 14
Elton Mayo 36
empleo 56
enfoque de sistemas 196, 199, 222, 273, 275, 295
de sistemas creativo 197
de sistemas cualitativo 196
de sistemas cuantitativo 196
de sistemas empírico 197
de sistemas interdisciplinario 196
de sistemas organizado 197
de sistemas pragmático 197

de sistemas teórico 197
empírico 272
epistemológico 272
heurístico 144
mecanicista-cartesiano 271, 272
reduccionista 216, 273
sinóptico 294
sistémico 271, 272, 345
enigma de la planeación 324
entorno del sistema 216
social 70
era de la posinformación 388
industrial 390
ergonomía 75, 76
escala nominal 283
ordinal 283
escuela fisiócrata 10
Nacional de Aviación de Getafe 4
Técnica Superior de Karlsruhe 4
Técnica Superior de Praga 4
Técnica Superior de Viena 4
espacio y entorno 79
estado de resultados 110
estilo(s) cognoscitivo(s) 243, 245, 342
estoicos 177
estrategia metodológica 325
para la implementación 251
estructura 176
de la organización 203, 248
estudios de sistemas 189
Ettiene Bonnot de Condillac 177
Eugene Grant 36, 37
Eugene Pleasants Odum 178
evaluación 139
de programas 224
extrospección 343
extrospectiva 341

F

F. E. Raymond 36
fabricantes de computadoras 190
facsímiles 215
factores de insumo 50
de producción 230, 231
Facultad de Ingeniería de la UNAM 4
fase de desarrollo 351
de identificación 351
de selección 351
feedback o retroalimentación 270
fenomenología 371
filosofía(s) 177, 178, 287, 342
analítica 371
básica 252
continental 371
de la ingeniería de sistemas 236
de la organización 223
del mejoramiento 294
moral 356
finanzas 203
física(s), 3, 5, 7, 343
físicos 202
fisiología 178, 202
flujo de caja real 114
de efectivo 110, 256
de (la) información 256, 257
de materiales 87, 256, 257
formulismo matemático 365
Foro Económico Mundial 57
Frank B. Gilbreth 28, 29, 38
Frederick W. Taylor 9, 18, 20, 21, 32
Fredrick Arthur Halsey 17
frontera de la tecnología 189
fuente de energía256
de materiales 256
de servicios externos 256
financiera 256
fuerza de escala 283
función de asesoría 71
de operación(es) 254, 257
separada 238, 246
separada 247
de persuasión 247

G

gastos financieros 111
genética 343
geografía 5
geología 5
Georg Ohm 6
George Albert Wentworth 17, 21

George C. Dantzig 40, 143
George Wilhem Friedrich Hegel 178
gerente 239
de desarrollo del proyecto 223
de ingeniería 224
giro lingüístico 371
Gottfried Wilhem Leibniz 177
gráfica de punto de equilibrio 112
gráfico de Gantt 19
Gran Muralla de China 4
Grecia 5
grupo de desarrollo 230
de ingeniería de sistema 223, 224, 228
de desarrollo 226
de ingeniería de sistemas y de desarrollo 229
Guerra Civil 15
Guerras Púnicas 15

H

Harlow Persons 38
Harold Smalley 37
Harrington Emerson 32, 33
Henri Fayol 29, 30
Henry Laurence Gantt 18
Henry Robinson Towne 17, 24
Herbert G. Wells 321
hermenéutica 371
Herón de Alejandría 5
herramientas computarizadas 181
de computadora 182
hidrología 5
historia 5, 343
hombre económico 238, 304
en gestión 238
en operaciones 239
organización 238, 304
racional 238
Honoré Blanc 15
Hugo Diemmer 19
humanidades 392
Humberto Maturana 345

I

iberos 5
Immanuel Kant 177
implementación 240, 242, 248, 249, 252, 253
de decisiones 245
de innovación tecnológica 252
o implantación del sistema 237
incertidumbre 357
Indicadores de rendimiento o resultados 140
índice de competitividad global 57
de productividad combinado 52
de productividad total operativa 53
inducción electromagnética 7
industria aeroespacial 179
de la información391
inferencia estadística 355
inflación 50
información 372, 373, 389, 390
digitalizada 388
infraestructuras de la información 388
ingeniería 175, 181, 185, 202
de comunicaciones y de sistemas 204
civil 4, 5, 179, 202
de base de datos 179
de factores humanos (ergonomía) 60, 247
de la administración científica 34
de manufactura 38, 60, 77, 78
de métodos 60, 61, 65, 66
de programas informáticos 179
de sistemas 2, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 188, 211, 228, 233, 234, 236
de sistemas complejo 180
de soporte 183
del factor humano 75
del siglo XX 186
eléctrica 6, 7
financiera 203
genética 7
ingeniería humana 202, 204

Industrial 2, 3, 8, 17, 19, 24, 28, 30, 37, 48, 54, 59, 78, 89, 128, 187, 202, 204, 247, 270,
mecánica 179
mecánica 5, 7, 19, 38, 183, 202
militar 4
molecular 7
química 7, 202
tradicional 202
ingeniero(s) 175, 179, 176, 184, 185, 199, 203
de desarrollo 223, 233
de sistemas 181, 185, 233, 236
industrial 48, 50, 110, 111, 178, 237, 238, 239, 241, 242, 243, 244, 246, 275, 276, 280
industrial-administrador 238, 247
mecánico 24
de desarrollo(s) 230, 232
de producción 230
de sistemas 179, 190, 230, 232
industriales 26, 51, 78, 202, 202, 204, 205, 206, 238, 281, 282, 284, 286
ingreso marginal 297
innovación 395
input 365
inspección 85
por atributos 105
por muestreo 104
instalación 71
institucionalización 247
Instituto Americano de Ingenieros de Minas 6
Instituto Tecnológico de Massachussets 7, 28, 41, 43
Instituto Estadounidense de Ingenieros Industriales 3
Instituto Politécnico Nacional 4
Instituto Politécnico Rensselaer 6
instrumentos de medición 395
integración del sistema 57
Internet 387
inversión y financiación 149
investigación 150
ambiental 188
científica 242
de operaciones 40, 41, 42, 43, 128, 129, 130, 137, 204, 205, 243
sistemática 285
Isaac Newton 6
isomorfismo 381

J

James Clerk Maxwell 7
Jean-Baptiste Vaquette de Gribeauval 15
Jeremías Bentham 9
Joan Majó 391
John Hancock Hall 16
John Stuart Mill 9, 13
John von Neumann 137, 144, 178
Julio Verne 321

K

Karol Adamiecki 19
Kenneth Boulding 178

L

Laboratorios de la Bell Telephone 231
Lawrence J. Henderson 178
lazo de retroalimentación 228, 229
lenguaje 371
Leonardo da Vinci 3, 22
ley(es) de Say 10
de la ciencia 175
líder sindical 50
Lillian Gilbreth 29
líneas telefónicas 226
lingüística 371, 380
literatura 328
lógica científica 344
de la investigación científica 343

-matemática 342
Los Millares 5
Louis de Tousard 15
Ludwig Wittgenstein 371
Ludwing von Bertalanffy 270, 271

M

Ma Jun 5
maestros de obras 5
manejo de materiales 60, 88, 89
manipulación de materiales 85
mano de obra 110, 114, 224, 256
de obra directa 54
mano invisible del capitalismo 8
máquinas de vapor 3
marco de medición universal 395
marketing o comercialización 150
matemática(s) 3, 5, 137, 140, 343
matriz de costo de oportunidad 307
de implementación 237, 246, 253
de pago 306
Matthew Boulton 8
mecánica 5
mecanicismo 272
medición de salidas de sistemas flexibles 285
del trabajo 23, 60, 66, 67
mediciones 395
de eficacia 283
medio ambiente 5
organizacional contemporáneo 324
mejoramiento(s) 295
de Pareto 301
de sistemas 221, 222
mercado(s) de la información 389
del conocimiento 394
metalurgista 202
metas 212
método analítico 222, 246
científico 2, 129, 137, 138, 204
de Delfos 248, 249
de investigación 275, 276
de la red administrativa 248
del camino crítico 143
del transporte o problema del transporte 290
prospectivo 337
simplex 40, 143, 290, 315
metodología 128, 284
de cambio 275
de diseño 222
de la investigación de operaciones 138, 142
métodos científicos 343
cuantitativos 317
de búsqueda secuencial 143
de desarrollo organizacional 249
de optimización 289
de programación lineal 143
prospectivos 332
metrología 15
Michel Faraday 7
microcronómetro 29
micrómetros 15
Military Standard 105, 106
Military Standard 414, 106
modelado 184, 185
modelo ABX de Newcomb 385
burocrático 246
burocrático de organizaciones 246
circular de Osgoos y Schramm 382
de "incrementalismo desarticulado" 294
de enlace de información 249
de inventarios 90
de la administración de operaciones 117
de la agenda 376
de la espiral de Dance 383
de la espiral del silencio o modelo de Noelle- Neuman 376
de la hiperespecialización y el distanciamiento 376
de Laswel 379
de Maletzke 378
de relaciones humanas 246
de Shannon y Weaver 380, 381

de simulación de dinámica industrial 189
de simulación 147
de uso y gratificaciones 376
descriptivo 210
estático 281
general de la comunicación de Gerbner 383
matemático 141, 296
sinóptico 294
modelos 284
analíticos 142
básicos 377
de atributos múltiples 284
de comunicación circulares 378
de comunicación lineales 378
de decisión 284
de diagnóstico 285
de evaluación 284
de filas o líneas de espera 291
de intercambio 284
de investigación de operaciones 2
de IO 140
de juicio 284
de la comunicación 375
de medición 283, 284
de optimización 284
de orientación empírico-analítica 375
de simulación física 148
de simulación por computadora 148
de sistemas 292
derivados del equilibrio cognitivo 377
deterministas y probabilísticos 140
deterministas 141, 142
econométricos 325
modelos estocásticos o fortuitos146
heurísticos 144
imperfectos 247
matemáticos 2, 128, 139, 140, 325
multidimensional 284
numéricos 142
probabilísticos analíticos 145
probabilísticos 141
sociológicos 378
teórico-sistemáticos 375
modernidad 372
montaje 85
moralidad de los sistemas 282
Morris I. Cooke 35 38
movimiento de los materiales 85, 86
muestreo de aceptación por variables 106
muestreo de aceptación 105
por atributos 106

N

nanotecnología 7
naturaleza de la información 388
de la IO 128
Negroponte 392
Nicolás Bernoulli 357
Nikola Tesla 7
nivel de productividad 59
estratégico 251
táctico 251
Norbert Weiner 178, 270
Nostradamus 321

O

objetivo del sistema 216
Occupational Safety and Health Act 73
operación del sistema 120, 206
optimización 177, 299
ordenadores 389
Orders of Magnitude 185
organización 71
de programas de reducción de costos 71
output 365

P

padre de la ingeniería industrial 21
paradigma científico cartesiano 273

de la ciencia 246
de Lasswell 375
de sistemas 246
de sistemas 276, 281
de sistemas 281
paradoja de Ellsberg 359
de pruebas ideal 359
de San Petersburgo 357
pasivo 109
circulante 109
fijo 109, 110
patente 232
pensamiento científico 343
lineal-lógico 345
sistémico 270
sistémico 273, 345
sistémico 345
Pepper Stephen Coburn 177
periodo base 50
de referencia 50
personal 151
personas 70
perspectiva extrospectiva 341
holográfica 345
introspectiva 341
persuasión 247
pila eléctrica 6
voltaica 6
plan de distribución 79, 83
de muestreo doble 105
de muestreo múltiple 105
de muestreo secuencial 105
de muestreo sencillo 105
del sistema 226
planeación 322, 323, 324, 330
de desarrollo 227, 228
de la empresa 323
de la producción 130
de operaciones 118
de requerimientos de materiales 95
de ruta crítica 224
estratégica 324, 341
operativa 331
prospectiva 330, 341
táctica 331
planes de trabajo 223
planificación 70
de gestión y motivación 72
planificación de las instalaciones 149
de procesos 72, 151
planificador 241
plantas nucleares 73
procesadoras industriales 248
planteamiento 329
Platón 372
política(s) social 253, 254
científicas y tecnológicas 394
político 50
posición(es) de comunicación 239, 247
posición de persuasión 239, 246
pragmatismo lingüístico 371
precios sombra 316, 317
principio dialógico 345
subyacente 140
probabilidad 357
continua 145
discreta 145
procedimiento(s) sistemático 141
analíticos 141
de solución 212
numéricos 141
proceso(s) 85
de convergencia 285
de decisión(es) 349, 351
de evaluación de información 245
de implementación 238
de la comunicación 368
de renovación 146
de transformación 118
del diseño del sistema 230
intuitivo-sintético 243
lógico-analítico 243
Markov 146
intuitivo-sintético 246
de control 106
de ingeniería de desarrollo 232
de ingeniería de sistemas 232
de planeación con ayuda de la computadora 152
de solución de problemas 212

de transferencia de tecnología 247
estocásticos o fortuitos 145
producción 119, 148
de operaciones 116
producciones de conocimiento 394
productividad 48, 49. 50, 54, 55, 56, 57
combinada 52
de la mano de obra directa 60
de la mano de obra 51, 66
de los materiales 50
del capital 50
del trabajo 50
parcial 50, 51, 53
total operacional 89
total operativa 53
total 50, 51, 52, 107
total 53, 66, 74, 76, 88
productores del conocimiento 394
productos y materias primas 70
profesor de matemáticas 185
programa global de reforzamiento de la calidad 107
maestro de producción 95, 96
programación 142
cuadrática 143
cuadrática 291
de clasificación 291
de números enteros 291
de objetivos 290
de ruta crítica 224
dinámica 142, 144, 291
geométrica 143
interactiva 291
lineal 130, 142, 143, 144, 290, 317, 354
lineal de cero-uno 143
matemática 142
no lineal 130, 142
por objetivos 143
separable 143
programas de computadora 143
de producción 258
agentes 282
pronóstico 96
prosecución técnica 234, 233, 236
prospectiva 319, 320, 325, 330, 340
prototipo de producción 222, 231
técnico 226
proyecto de reordenación 79
psicología 202, 343, 345,
de la comunicación 375
de la Gestalt 178
industrial 247
social 203
psicólogos 202
industriales 202
sociales 202
pureza lógico-matemática 344

Q

química 7, 343
industrial 7
químicos 202

R

radar 41
radiactividad 73
radiolocalización 39
radiotelefonía 365
radiotelegrafía 365
razón efectividad a costo 194
razonamiento heurístico 243
matemático 317
Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho de Río de Janeiro 4
Real Seminario de Minería 4
recursos de información 374
del sistema 217
humanos 324
materiales 324
registros de estructura del producto 96
del estado del inventario 96
reglas de cálculo 18
de decisión 361
de la competencia 392
relaciones lógicas 148
matemáticas 148
reloj astronómico 5
Renacimiento 3

René Descartes 177, 214
Rensis Likert 188
responsabilidad social de las empresas 19
restricciones 212
cognitivas ambientales 215
cognitivas biológicas 215
cognitivas psicológicas 215
revisión técnica 224
Revolución Industria 8, 9, 21, 141, 161
Richard Arkwright 16
Richard Bellman 144
ritualista 252
Robert Kent 38
Robert Lilienfeld 178
Ross W. Ashby 178
Roving Frame 16

S

Secretaria de Hacienda y Crédito Público 109
Segunda Guerra Mundial 196, 356
selección de equipo (punto crítico de máquinas) 153
semiótica 371
servidores 215
Sexto Empírico 177
siete maravillas del mundo antiguo 3
Simeon North 8, 16
simplificación del trabajo 60
simulación 147
simulación digital por computadora 38
Montecarlo de operaciones 153
sindicatos 56
síntesis 139
sistema 176
abierto 270
animal 272
de control de calidad global 107
de control de inventarios 90
de ecuaciones 185
de flujo 257
de información 373, 374
de inventarios de dos depósitos 92
de inventarios de planeación de requerimientos de materiales 95
de inventarios de reabastecimiento opcional 92, 94
sistema de inventarios periódico 92
de inventarios perpetuo 91
de planeación y control 121
de procesamiento de datos 258
de producción 120, 258
de seguridad 74
de valía 287
físico 287
genético-societario 272
global 286, 295
humano 272
humano-máquina 190
jerárquico 301
MRP 101
objeto 211
óptimo de control 258
productivo 89
social 272
Taylor 27, 38
total 295
total hombre-máquina 202
sistemas abiertos 272
cibernéticos simples 272
de administración de operaciones 117
de computación 190
de comunicación 204
de control automático 248
de control de inventarios 90
de información en la administración de operaciones 120
de investigación o modelos epistemológicos 285
de producción continuos 153
de producción flexibles 153
de producción intermitentes 153
dinámicos simples 272

estáticos 272
flexibles 283
hombre-máquina 188
humanos sociotécnicos 191
trascendentes 272
Americana de Ingenieros Civiles 6
Americana de Ingenieros Mecánicos 18, 32
de Eficiencia 38
de Ingenieros de Fabricación 38
de Ingenieros Industriales 34
de Investigación de Operaciones Estadounidense 43
de la información 371, 386, 391, 392, 393
del conocimiento 393, 394, 395
Estadounidense de Ingenieros Mecánicos 17, 38
para el Avance de la Administración 20
para Promover la Ciencia de la Administración 38
posindustrial 393
Taylor 20, 38
Society of Manufacturing Engineers 77
sociología 178
sociólogos 202
software 182
solución simplex 315
Su Song 5
suboptimización 299
subsistemas de control 258
suelos 5
sumo sacerdote de la eficiencia 33
superintendencia funcional 29

T

Talcott Parsons 178
tasas físicas de sustitución 315
técnica(s)
técnica de ajuste de rectas o curvas 147
de evaluación y revisión de programas 143
del valor esperado 146
matemática 144
multiplicativa de Lagrange 290
de estudio de métodos 72
de IO 145
de medición del trabajo 72
de modelado 184
de planeación 324
de programación lineal 290
heurísticas 144
matemáticas clásicas 141
numéricas 141
prospectivas 332
tecnología 204, 395
de la computación 121
de los ordenadores 389
informática 390
moderna 204
y energía 70
de la información 392
Tecnópolis 390
tektología 273
teología 342
teorema de Arrow 363
teoría clásica de sistemas, informática y simulación 270
de compartimentos 270
de autómatas 178
de colas18, 145
de comunicación 279
de conjuntos 270
de decisiones 218, 346
de decisiones 347, 348, 351, 357
de decisiones colectiva 361, 362
de decisiones individual 362
de decisiones sociales 361, 362
de gráficas 270
de implementación 237, 238
de información 270
de jerarquías 270
de juegos 142, 144
de la comunicación y de la información 365
de la decisión 189
de la estadística 145
de la organización 203
de la probabilidad 145

de la renovación 145
de la utilidad esperada 357
de las comunicaciones 178
de las rentas 12
de los juegos 137
de mensajes o angelética 372
de redes 270
teoría de sistemas 344, 345
del equilibrio Heider 385
del valor 188
general de sistemas 177, 178, 270, 273, 274, 275
matemática de juegos 270
matemática de la comunicación 204, 374
microeconómica 304
de decisión 270
de información 270
de la decisión descriptiva 347
de la decisión normativa 347
de sistemas 2, 270
sobre la sociedad de la información 386
teórico de la decisión 348
Thomas Alva Edison 6, 40
Thomas Robert Malthus 9, 10
tiempo 70
toma de decisión(es) 48, 245, 282, 294, 330, 347, 354, 356, 364
bajo ignorancia 360
corporativas 361
grupales 361
individuales 361
jurídicas 361
tomador(es) de decisión 281, 282, 284, 354
tradición cibernética 366
comunicación 366
crítica 366
fenomenológica 366
retórica 366
semiótica 366
sociocultural 366
sociopsicológica 366
transferencia de información analógica 387
de tecnología 249
transporte 150
de materiales 85
triple hélice 394

U

Umberto Eco 392
Universidad de Ciencias Aplicadas de Ámsterdam 4

V

valor de la información 374
valores absolutos 296
versorium 6
visión holística 329

W

W. A. Shewhart 36
Walter Brandford Cannon 178
Water Frame 16
Werner Ulrico 219
William Gilbert 6
William Sellers 18

Z

Zhang Heng 5