

REFERENCIAS

1. Ackoff, R. L. (1977). *Fundamentos de investigación de operaciones*. Ediciones Limusa-Wiley, México.
2. Adam, E. & Ebert, R. (1991). *Administración de la producción y de las operaciones*. 4ª ed. Editorial Prentice Hall, México, D. F.
3. Anaya Tejero, J. (2000). *Logística integral: la gestión operativa de la empresa*. Ed. ESIC, Madrid.
4. Arbones Malisani, E. A. (1990). *Logística empresarial*. Ed. Marcombo, Barcelona.
5. Arbones Malisani, E. A. (1999). *La empresa eficiente: aprovisionamiento, producción y distribución física*. Ed. Alfaomega, Santa Fe de Bogotá.
6. Ballou, R. H. (1999). *Business Logistics Management, Planning, Organizing and Controlling the Supply Chain*. 4ª ed. Ed. Prentice Hall, New Jersey.
7. Benson, D.; Bugg, R. & Whitehead, G. (1994). *Transport and Logistics*. Ed. Woodhead Faulkner.
8. Bevilacqua, F. E., Ciarapica, F. E., & Giacchetta, G. (2006). "A fuzzy-QFD approach to supplier selection". *Journal of Purchasing and Supply Management*. In Press.
9. Bover, D. & Thiagarajan, S. (1999). "Con el foco en el cliente". *Revista Gestión*, vol. 4, No. 4, jun-ago.
10. Bowersox, D. J., Closs, D. & Stank, T. P. (2000). "Ten Mega-Trends that Will Revolutionize Supply Chain Logistics". *Journal of Business Logistic*, vol. 21, No. 2, pp. 1-16.
11. Bronson, R. (1993). *Investigación de operaciones*. Ed. McGraw-Hill, México.
12. Buffá, E. & Sarin, R. (1995). *Administración de la producción y de las operaciones*. Ed. Limusa, México, D. F.
13. Burt, D.; Dobler, D. & Starling, S. (2003). *World class supply management: the key to supply chain management*. 7th ed. Ed. McGraw-Hill, New York.
14. Button, K. J. (2002). *Transport Logistics*. Ed. Edward Publishing, New York.
15. Cámara de Comercio Internacional (2000). *Modelo de la CCI de contrato de agencia comercial*. 2ª ed. Barcelona.
16. Carrasco, J. (2000). "Evolución de los enfoques y conceptos de la logística". Su impacto en la dirección y gestión de las organizaciones". *Revista Economía Industrial*, No. 331, pp. 17-34.
17. Casanovas, A. (2001). *Logística empresarial*. Ed. Gestión, Barcelona.
18. Chase, R. B.; Aquilano, N. J. & Jacobs, F. R. (2000). *Administración de producción y operaciones: manufactura y servicios*. Octava ed. Ed. McGraw-Hill, Santa Fe de Bogotá.
19. Chen, I. J.; Paulraj, A. & Lado, A. A. (2004). "Strategic purchasing, supply management and firm performance". *Journal of Operations Management*, vol. 22, pp. 505-523.
20. Chen, I. & Paulraj, A. (2004). "Towards a theory of supply chain management: The constructs and measurements". *Journal of Operations Management*, No. 22, pp. 119-150.
21. Christopher, M. (1994). *Logística y aprovisionamiento*. Ed. Folio, México D. F.
22. Comas Pullés, R. (1996). "La logística. Origen, desarrollo y análisis sistémico". *Logística Aplicada*, No. 1, La Habana, pp. 3-9.

23. Coyle, J. J.; Bardi, E. & Langley Jr., C. (1996). *The Management of Business Logistics*. 6th ed. Ed. West Publishing Company, St Paul.
24. Cuatrecasas Arbós, L. (2000). *Gestión competitiva de stocks y procesos de producción*. Ediciones Gestión, Barcelona.
25. Dawar, N. & Frost, T. (1999). "Competing with Giants. Survival Strategies for Local Companies in Emerging Markets". *Harvard Business Review*, vol. 77, No. 2, Boston, USA, pp. 119-123.
26. De Boer & Van Der Wegen (2003). "Practice and promise of formal supplier selection: a study of four empirical cases". *Journal of Purchasing and Supply Management*, vol. 9, pp. 109-118.
27. Domínguez Machuca, J. A. (1995). *Dirección de operaciones. Aspectos estratégicos en la producción y los servicios*. Ed. McGraw-Hill, Madrid.
28. Dornier, P.; Ernst, R.; Fender, M. & Kouvelis, P. (1998). *Global Operations and Logistics*. Ed. John Wiley, New York.
29. Ertel, K.; Walsh, L. & Dorr, E. (1978). *Ventas al por mayor y distribución física*. Segunda ed. Ed. McGraw-Hill, México D. F.
30. Escobar, J. (2004). "Software logístico y sus herramientas de gestión virtual de la SCM". *Revista Zonalógica*, No. 19, junio, pp. 38-45.
31. Ghemawat, P. (2001). "Distance Still Matters. The Hard Reality of Global Expansion". *Harvard Business Review*, vol. 79, No. 8, pp. 137-147.
32. Ghodsypour, S. H. and O'Brien, C. (1998). "A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming". *International Journal of Production Economics*, No. 56, pp. 199-212.
33. Ghodsypour, S. H. and O'Brien, C. (2001). "The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint". *International Journal of Production Economics*, No. 73, pp. 15-27.
34. Goldratt, E. M. (1994). *El síndrome del pajar: cómo extraer información del océano de datos*. Ediciones Castillo, Monterrey.
35. Greenberg, P. (2002). *CRM at the Speed of Light*. McGraw-Hill International, New York.
36. Gunasekaran, A. (2004). "The build-to-order supply chain (BOSC): A competitive strategy for 21st century". *Journal of Operations Management*.
37. Gutiérrez Casas, G. & Prida Romero, B. (1998). *Logística y distribución física: evolución, situación actual, análisis comparativo y tendencias*. McGraw-Hill, Madrid.
38. Hanke, J. E. & Deitsch, R. (1996). *Pronósticos en los negocios*. Ed. Prentice Hall, México.
39. Hastings, D. (1999). "Lincoln Electric's Harsh Lessons from International Expansion". *Harvard Business Review*, vol. 77, No. 3, pp. 163-178.
40. Hernández, C. (2004). "Un futuro orientado a la RFID". *Revista Manutención y Almacenaje*, No. 390, pp. 69-75.
41. Hintlian, J. T. & Mann, R. (2001). "The holy grail of B2C and B2B e-commerce". *Revista Ascet*, vol. 3.
42. Ibarra Núñez, A. (1998). "Actualidades de la contratación en empresas mexicanas". *Mercado de Valores* (febrero). México, D. F.

43. Jakobs, K.; Pils, C. & Wallbaum, M. (2002). *Using the Internet in Transport Logistic. The Example of Track & Trace System*. University of Aachen, German.
44. Johnson, J.; Wood, D.; Wardlow, D. & Murphy Jr, P. (1999). *Contemporary Logistics*. Seven ed. Ed. Prentice-Hall, New Jersey.
45. Johnston, D.; Mc-Cutcheon, D.; Stuart, F. & Kerwood, H. (2004). "Effects of supplier trust on performance of cooperative supplier relationships". *Journal of Operations Management*. No. 22, pp. 23-38.
46. Kannana, V. & Choon, K. (2004). "Just in Time, Total Quality Management, and Supply Chain Management: understanding their linkages and impact on business performance". *The International Journal of Management Science*. Omega No. 33, pp. 153-162.
47. Karhu, E.; Laine, K. & Ahola, J. (2002). *Generating Competitiveness Through Inter-firm Cooperation. Case: The Forest Industry of South Karelia and Small and Medium Size Subcontracting Companies*. Paper for 42^o Congress of European Regional Science Association, Dortmund, Germany. August 27-31.
48. Karpak, B.; Kumcub, E. & Kasuganti, R. (2001). "Purchasing materials in the supply chain: managing a multi-objective task". *European Journal of Purchasing & Supply Management*, pp. 209-216.
49. Kellea, P. & Akbulutb, A. (2004). "The role of ERP tools in supply chain information sharing, cooperation, and cost optimization". *International Journal Production Economics*, pp. 41-52.
50. Knolmayer, G.; Mertens, P. & Zeier, A. (2002). *Supply chain management based on SAP systems: order management in manufacturing companies*. Ed. Springer-Verlag.
51. Kyung, K.; Narayan, S. & Umanath, T. (2004). "Information transfer in B2B procurement: an empirical analysis and measurement". *Information & Management*.
52. Lafuente, C. (2000). "Códigos de barras bidimensionales. PDF417: la logística rápida". *Revista Zonolística*, No. 344, enero, pp. 56-58.
53. Li, G.; Wang, S.; Hong Y. & Yud, G. (2005). "Information transformation in a supply chain: a simulation study". *Computers & Operations Research*, pp. 707-725.
54. Lozano, M. (2002). *Transporte multimodal: una operación logística de transporte. Contrato, responsabilidad, infracciones y sanciones*. Bogotá D. C.
55. Luber, A. (1998). *Solving Business Problems with MRP II*. Digital Press, New York.
56. Magretta, J. (1998). "Fast, global and entrepreneurial: Supply Chain Management, Hong Kong Style". *Harvard Business Review*, vol. 76, No. 5, Boston, pp. 171-175.
57. Mendoza, R. & Velásquez, A. (2002). "Investigación en logística: un esquema de integración e instrumentación de estrategias de gestión logística para el contexto colombiano". *Revista Universidad Autónoma de Colombia*. Noviembre. Ed. Javegraf.
58. Mentzer, J. T.; Myers, M. & Cheung, M. (2004). "Global market segmentation for logistics services". *Journal Industrial Marketing Management*, No. 33, pp. 15-20.
59. Meredith, J. R. (1999). *Administración de operaciones*. Ed. Limusa, México.
60. Miller, J. & Torres, L. (2000). "En línea con la demanda del cliente". *Revista Gestión*, vol. 5, No. 1, ene.-feb., pp. 62-69.
61. Mira, J. (2001). *Gestión del transporte. Introducción a la gestión de la cadena de transporte*. Cilsa, I.I, Marge Design Editors, Barcelona.

62. Modi, S. B. & Mabert, V. A. (2006). "Supplier development: improving supplier performance through knowledge transfer". *Journal of Operations Management*. In Press.
63. Morlacchi, P. (1999). *Vendor Evolution and Assessment. The Design Process and Fuzzy-Hierarchical Model*. Ipsera proceedings, Dublin.
64. Moskowitz, H. & Wright, G. P. (1982). *Investigación de operaciones*. Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, México.
65. Nafal, K. (2004). "Los TMS: hacia el gerenciamiento del transporte". *Revista Zonolística*, pp. 12-14.
66. Naghi, M. (1991). *Investigación de operaciones: interpretación de modelos y casos*. Ed. Limusa Noriega, México.
67. Pau i, C. J. & Navascues, R. (1998). *Manual de logística integral*. Ediciones Díaz de Santos.
68. Pérez, G. (2004). "Telemática. Nuevo escenario en el transporte automotor". En <http://www.eclac.cl/transporte>.
69. Porter, M. (2000). "El camino que conduce a la diferenciación". *Revista Gestión*, vol. 5, No. 1, ene-feb., pp. 146-152.
70. Prahalad C. K. & Lieberthal, K. (1998). "The End of Corporate Imperialism". *Harvard Business Review*, vol. 76, No. 4, Boston, pp. 69-78.
71. Prasad, S.; Tata, J. & Madan, M. (2004). "Build to order supply chains in developed and developing countries". *Journal of Operations Management*.
72. Presutti, W. (2003). "Supply management and e-procurement: creating value added in the supply chain". *Industrial Marketing Management*, No. 32, pp. 219-226.
73. Prida Romero & Gutiérrez Casas (1996). *Logística de aprovisionamiento*. McGraw-Hill, Madrid.
74. Riggs, J. (1998). *Sistemas de producción. Planeación, análisis y control*. Editorial Limusa, México, D. F.
75. Roberson, J. & Capacino, W. (1994). *The Logistics Handbook*. Ed. The Free Press, New York.
76. Rosenzweig, E.; Roth, A. & Dean, J. (2003). "The influence of an integration strategy on competitive capabilities and business performance: an exploratory study of consumer products manufacturers". *Journal of Operations Management*, No. 21, pp. 437-456.
77. Ruibal Handabaka, A. (1994). *Gestión logística de la distribución física internacional*. Ed. Norma, Barcelona.
78. Saenz Jr., N. (2000). "It's in the pick". *IIE Solutions*, No. 42, pp. 36-39.
79. Sarkis, J. and Talluri, S. (2000). *A model for strategic supplier selection. Proceedings of the 9th international Ipsera conference*. Richard Ivey Business School, London, Ontario, pp. 652-661.
80. Schonberger, Richard (2002). *Cómo crear una cadena cliente-proveedor*. Editorial Norma, Bogotá.
81. Seifert, D. (2003). *Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment. How to create a supply chain advantage*.
82. Shin, H. & Collier, D. (2000). "Supply management orientation and supplier buyer performance". *Journal of Operations Management*, vol. 18, pp. 317-333.

83. Soret de los Santos, I. (2001). *Logística comercial y empresarial*. Tercera ed. Ed. ESIC, Madrid.
84. Stock, J. & Lambert, D. (2001). *Strategic Logistics Management*. 4th ed. Ed. McGraw-Hill, Irwin.
85. Swenseth, S. & Godfreyb, M. (2002). "Incorporating transportation costs into inventory replenishment decisions". *International Journal Production Economics*, vol. 77, pp. 113-130.
86. Taff, C. A. (1968). *Management of traffic and physical distribution*. 4th ed. Ed. Richard D. Irwin Inc, Illinois.
87. Trent, R.; Monczka, R. & Handfield, R. (2000). *Purchasing and supply chain management*. South - Western College Publishing, Cincinnati.
88. Vokurka, R. J.; Choobineh, J. & Vadyi, L. (1996). "A prototype expert system for the evaluation and selection of potential suppliers". *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 16, No. 12, pp. 106-127.
89. Vollmann, T.; Berry, W.; Whybark, D. & Jacobs, F. (2005). *Manufacturing planning and control for supply chain management*. Ed. McGraw-Hill, New York.
90. Waters, C. D. (2003). *Logistics: an introduction to supply chain management*. Ed. Basingstoke, Hampshire, New York. Palgrave Macmillan.
91. Yusuf, Y. Y.; Gunasekaran, A. & Adeleye, K. (2004). "Agile supply chain capabilities: Determinants of competitive objectives". *European Journal of Operational Research*, No. 159, pp. 379-392.

6. ALGUNOS ENFOQUES EN EL MEJORAMIENTO DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN/OPERACIONES

Amparo Zapata Gómez

Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales

INTRODUCCIÓN

Hoy las empresas tienen que continuar asumiendo el protagonismo que les corresponde para contribuir al crecimiento y desarrollo de la economía de los países, logrando mayor eficiencia y brindando productos y servicios de calidad. En el escenario actual existe un amplísimo consenso respecto de la urgente necesidad de que las empresas funcionen bien competitivamente; reflejo de esto son los niveles de exigencia de los clientes que desean: calidad en los productos y servicios, oportunidad en las entregas, precios razonables y excelencia en la atención, que obligan a las empresas a buscar nuevas estrategias para adaptarse con éxito a la creciente competencia. Es precisamente en este entorno en el que la calidad se proyecta como un sistema de gestión empresarial y factor para la competitividad de las empresas.

Las empresas exitosas en el mundo son aquellas que vienen aplicando de una u otra forma las estrategias de la calidad y, bajo esta perspectiva, están cambiando su forma de pensar y de actuar, están rediseñando toda la organización enfocadas a la satisfacción de las necesidades y a superar sus expectativas; y de esta manera están agregando y aportando valor al cliente mediante sus productos y servicios de calidad.

De acuerdo con lo anterior, los nuevos retos para las empresas implican poner en práctica principios, modelos y técnicas de calidad y aproximarse al mejoramiento continuo de la calidad en todos sus procesos, mediante la aplicación de normas como las BPM, ISO 9000, HACCP y TQM, entre otras; en donde un estándar no es mejor que otro, ya que su implementación depende de los objetivos que persiga cada empresa en conjunto con sus clientes y proveedores. En realidad, se trata de sistemas complementarios, puesto que es factible demostrar que los modelos se pueden implementar en todas las áreas de la organización, para contribuir de manera efectiva en la construcción de un estándar de mejoramiento continuo de la calidad.

CONCEPTO DE CALIDAD

La palabra calidad tiene sus inicios en el término griego *kalos*, que significa “lo bueno, lo apto” y en la palabra latina *qualitatem* que significa “cualidad” o “propiedad”. Calidad, entonces, designa el conjunto de atributos o propiedades de un objeto que nos permite emitir un juicio de valor acerca de él; en este sentido, se habla de la nula, poca, buena o excelente calidad de un objeto. Cuando se dice que algo tiene calidad, se designa un juicio positivo con respecto a características del objeto; el significado del vocablo calidad en este caso pasa a ser equivalente al significado de los términos excelencia, perfección.

Evolución histórica del proceso de calidad

El concepto de calidad se remonta a la más antigua historia de la humanidad. En el código de Hamurabi, rey de Babilonia, considerado uno de los más grandes legisladores de la historia, en el año 1792 a. C., ya se incluían disposiciones acerca de la calidad: las severas medidas de su código exigían a los profesionales el cumplimiento de sus obligaciones; por ejemplo, si una casa se derrumbaba sobre su dueño, el constructor sufría la pena de muerte o al menos una considerable multa. También la calidad fue un tema de interés para la gran civilización griega. Platón, en el año 450 a. C., decía: “*El hombre no debe desear tanto el vivir, como el vivir bien*”; estaba aplicando el concepto de calidad a la vida, en el sentido de perfección. Por la misma época, el estratega chino Sun Tzu teorizaba sobre el “*arte de la guerra*” y daba lecciones de mejoramiento, estimación de costos, posicionamiento y planeación.

La calidad en la era industrial

Los artesanos manejaban en la época preindustrial un concepto muy alto de calidad como estrategia competitiva, relación directa y continua con el cliente, atención al proceso de manufactura, entrenamiento, motivación por el trabajo. Jean Baptiste Colbert, ministro del monarca francés Luis XIV y fundador de las fábricas estatales, definió la importancia de la calidad así: “*Si nuestras fábricas, por medio de un trabajo cuidadoso, aseguran la calidad de nuestros productos, los extranjeros se interesarán por ello y, consiguientemente, su dinero entrará al reino*”.

La Revolución Industrial trajo consigo un distanciamiento entre el fabricante y el consumidor del producto, así como la masificación de la manufactura. La división del trabajo y la especialización hacen que la calidad empiece a considerarse como una función independiente bajo la dirección del área de producción o como un área específica encargada de la inspección del producto después de fabricado. Es así como en el siglo XX nació la “organización racional del trabajo” basada en las elaboraciones

de Frederick Taylor, quien introdujo en el mundo de la manufactura el entrenamiento, la planeación, la normalización y los estudios de métodos y tiempos como medio para mejorar la productividad y la calidad en las fábricas. Y aunque el mayor énfasis estaba en incrementar las cantidades producidas, ya se estaban sentando las bases para una administración de la calidad que, con un nuevo enfoque, pasaría de la inspección del producto terminado al control de las variables de proceso.

Dentro de este cambio resulta relevante el aporte de Walter Shewart, técnico de las compañías Bell Telephone y Western Electric (EEUU), que en 1931 escribe el libro *Control económico de productos manufacturados*, donde introduce la estadística como herramienta para conocer la variabilidad de los procesos mediante las "cartas de control". Otro técnico de Western Electric, Joseph Juran, aplicaría el uso de los gráficos de control al mejoramiento de los procesos, una vez que se ha logrado controlarlos. Pero la "revolución de la calidad" en la época actual es atribuible a W. E. Deming, quien no solo extendió las bases teóricas sobre el control estadístico de procesos, sino que le dio trascendencia internacional al llevarlo a Japón en 1950.

El desarrollo del control de calidad en Japón

Terminada la Segunda Guerra Mundial, Japón era una nación devastada, sin recursos naturales y de muy atrasada tecnología. Con entereza y copiando todo lo bueno que veían en la industria europea y americana, los japoneses se dieron a la tarea de reconstruir su país. En ese proceso, se organizaron visitas de intercambio de ingenieros y técnicos occidentales para que capacitaran y asesoraran a los empresarios japoneses. Deming fue uno de ellos y su propuesta de control estadístico de procesos caló hondo entre los industriales nipones, quienes decidieron incorporarla a sus sistemas productivos y obtuvieron mejoras en la calidad de sus productos y la reducción de los desperdicios. Ello fue posible por la convicción y compromiso de los trabajadores japoneses con la restauración del país y luego de un intenso proceso de capacitación que se dio a través de los llamados círculos de calidad. Estas agrupaciones de trabajadores se reunían para estudiar los folletos de control estadístico de procesos (CEP) y desarrollar mejoramientos de las operaciones.

Técnicos japoneses se encargaron de desarrollar los conceptos americanos sobre CEP, adaptándolos a las condiciones de Japón. Kaoru Ishikawa fue uno de ellos y se convirtió en un defensor del control total de calidad. El interés por la calidad aplicada a los procesos de manufactura y a la administración se extendió de Japón a Estados Unidos, cuando los estadounidenses comprobaron el rápido ascenso de la productividad y competitividad niponas. Sin embargo, las diferencias culturales entre Occidente y Oriente han dificultado que los modelos de calidad japoneses tengan el mismo éxito en las empresas americanas. Es por ello que los occidentales han recurrido a la "normalización internacional" como principal modelo para la implementación de sistemas de calidad.

Calidad y normalización

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) expone que “*las normas implican una especificación con respecto a la cual se puede medir algo, para establecer si ese algo se encuentra dentro de la norma y permitir así su uso común*” (Icontec. NTC ISO 9000: 2000). Las primeras normas que existieron fueron las de productos, al establecer los requisitos que un producto debería tener para ser aceptado por el fabricante y el comprador. En materia de normalización, los británicos han sido líderes; en 1901 crearon el Comité de Normas de Ingeniería, convertido en 1931 en el Instituto Británico de Normas. Y fueron quienes, a través de la industria militar, desarrollaron los requerimientos de aseguramiento de la calidad para los proveedores de insumos bélicos, quienes tenían que cumplir con los requisitos del producto y garantizar que disponían de un sistema de manufactura para fabricar los productos demandados por dicha industria.

Con la extensión de esos requisitos a industrias distintas a la militar, surge en 1979 la norma británica BS5750, precursora de las normas de aseguramiento de la calidad ISO 9000, que hacen énfasis en asegurarle al cliente que las actividades de diseño, manufactura, almacenamiento y despacho han sido planificadas para dar confianza que los productos que se reciben cumplirán los requisitos de calidad establecidos. El consenso internacional sobre la conveniencia de adoptar las normas ISO en todos los países e industrias favoreció el desarrollo de los procesos de certificación por entidades que se han especializado en evaluar el cumplimiento de las normas y otorgar a las empresas los “certificados de los sistemas de gestión de la calidad”, requisito que cobra cada vez mayor importancia mundial.

En Colombia, desde 1987 han ido cobrando importancia a medida que el mercado exterior se ha vuelto más exigente en materia de estándares de calidad y que las propias regulaciones gubernamentales están empezando a orientar hacia la normalización.

Los precursores

Llamaremos “*precursores*” a aquellas personas que han marcado hitos en la historia reciente de la calidad (Mariño, 2000) por su aporte tanto administrativo como técnico para hacer una “filosofía de la calidad” en las empresas. Se mencionarán quizás los más importantes.

Joseph Juran

La calidad para Juran es la “*adecuación de uso*” de un producto. Su enfoque sobre la administración de la calidad se basa en lo que se llama la trilogía de la calidad: planeación, control y mejora de la calidad. Introdujo los “*costos de la baja calidad*” como un elemento de la evaluación de la calidad en la empresa. Estos costos se especifican en cuatro niveles:

- Costos de fallas internas.
- Costos de fallas externas.
- Costos de evaluación.
- Costos de prevención.

También introdujo los conceptos relacionados con la administración de la calidad, como (Juran, 2000):

- Control de calidad.
- Aseguramiento de la calidad.
- Mejoramiento de la calidad.
- Administración de la calidad.

Edward Deming

La calidad, para Edward Deming, consiste en ofrecer a bajo costo productos y servicios que satisfagan a los clientes. Implica un compromiso con la innovación y mejora continuas. Desarrolló los conceptos de Shewart sobre el control estadístico de procesos y generó una filosofía basada en principios básicos para el logro de la calidad.

Kaoru Ishikawa

Ishikawa fue el responsable de divulgar en el Japón toda la información que sobre calidad habían llevado allí Juran y Deming. Para este experto, practicar el control de la calidad es desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto que sea el más económico, el más útil y siempre satisfactorio para el consumidor. Para él, el control de la calidad que no muestra resultados no es control; el control de la calidad empieza y termina por la capacitación y revela lo mejor de cada empleado (Ishikawa, 1999).

Philip Crosby

Crosby explica la calidad, desde una perspectiva ingenieril, como el cumplimiento de normas y requerimientos precisos. Su lema es "*Hacerlo bien la primera vez y conseguir cero defectos*". La filosofía "*cero defectos*" indica hacer las cosas bien en todas las etapas del proceso y en este sentido desecha la idea de Pareto de atender solo las causas de mayores problemas (80/20), porque eso supone convivir con una serie de problemas "*triviales*" pero que determinan fallas de calidad del producto. Crosby plantea cuatro principios para la calidad: calidad como cumplimiento de requisitos, el sistema de calidad es prevención, el estándar de realización es cero defectos, la medida de la calidad es el precio del incumplimiento.

Masaaki Imai

Introdujo el concepto de *Kaizen* en la administración de calidad japonesa. *Kaizen* significa mejoramiento continuo en la vida personal, familiar, social y de trabajo. Cuando este concepto se aplica al lugar de trabajo, significa un mejoramiento continuo que involucra a todos –gerentes y trabajadores– por igual. De esta manera, la calidad se asocia no solo a los productos o servicios, sino también con la forma en que se trata con los sistemas y procedimientos, e incluye todos los aspectos del comportamiento humano (Imai, 2001).

Armand V. Feigenbaum

Feigenbaum expone que para que el control de calidad sea efectivo, debe iniciarse con el diseño del producto y terminar solo cuando se encuentre en manos de un consumidor satisfecho. La calidad tiene que planearse completamente con base en un enfoque orientado hacia la excelencia en lugar del enfoque tradicional orientado hacia la falla.

Shigeru Mizun

Promover la calidad reside en establecer y delegar las políticas de calidad. Se requiere un sistema administrativo matricial interfuncional. La calidad total necesita estar planeada mediante una definición clara de las responsabilidades de la media y alta administración y la formación de un comité de control de calidad total.

John S. Oakland

Oakland expone como los elementos más importantes: definir una política de calidad sólida, junto con la estructura y las facilidades para ponerla en práctica. Toda organización necesita un marco de referencia definido que incluya una filosofía guía, valores y creencias fundamentales y un propósito combinado con la declaración de la misión.

Thomas Peters

La principal aportación a la calidad son las evidencias sobre las características comunes de las empresas exitosas, de tal forma que otras pudieran también serlo si adopta los mismos principios, la gran capacidad para realizar acciones correctivas y de contar con la flexibilidad otorgada a sus integrantes para actuar por su propia iniciativa. Otras características de las empresas exitosas es su cercanía con el cliente a través de esfuerzos intensos por conocer y satisfacer las necesidades de este por medio de la calidad de los productos y servicios.

Shigeo Shingo

Propone la creación de sistemas *poka-yoke* (a prueba de errores), que consisten en la creación de elementos que detecten los defectos de la producción; también propone

el concepto de inspección en la fuente para detectar a tiempo los errores. Es necesario incluir un *poka-yoke* durante la fase operativa, que prevenga la ocurrencia de errores. Un sistema de chequeos sucesivos asegura la calidad del producto en el origen y es más efectivo para lograr cero defectos. Los sistemas del control de calidad total consisten en el involucramiento de todo el personal de la organización en la prevención de errores a través de los círculos de calidad cero.

Genichi Taguchi

Taguchi se basa en dos conceptos fundamentales: productos atractivos al cliente y la mejora continua. Desarrolló una ingeniería de la calidad, que divide en línea y fuera de línea. Ingeniería de calidad en línea: son actividades de ingeniería de calidad en línea el área de manufactura, el control y la corrección de procesos, así como el mantenimiento preventivo. Ingeniería de calidad fuera de línea: se encarga de la optimización del diseño de productos y procesos.

La tabla 6.1 muestra de forma sintética los diferentes enfoques y definiciones sobre la evolución de los conceptos de calidad.

Tabla 6.1 Evolución de los conceptos de calidad.

Autor	Lugar y año de inicio de su teoría	Obra cumbre	Aporte	Influencia	Definición de calidad	País de su desarrollo
Edward W. Deming	1950, conferencia en la JUSE (Unión Japonesa de Científicos Ingenieros)	Calidad, productividad y como "Fuera de la crisis"	14 puntos de la alta administración para lograr la calidad y la difusión del círculo de Shewhart PDCA	Estructura del premio Deming	Un grado predecible de uniformidad que proporcione fiabilidad a bajo costo y conveniente para el mercado	Japón
Joseph Juran	1939, en la Western Electric	Juran en el liderazgo para la calidad	Trilogía de Juran (Planear, controlar y mejorar la calidad)	Fundó Juran Institute, Inc., participó en la American Society for Quality Control (ASQC) y ayudó a la creación del premio Malcom Baldrige	Adecuación al uso	Japón

Autor	Lugar y año de inicio de su teoría	Obra cumbre	Aporte	Influencia	Definición de calidad	País de su desarrollo
Kaoru Ishikawa	1962, desarrolla sus círculos de calidad	¿Qué es el control total de la calidad? La modalidad japonesa	Círculos de calidad (grupos voluntarios, estables en el tiempo, que tienen como objetivo principal mejorar la calidad de los procesos y el entorno de trabajo)	Gana el premio Deming y la medalla Shewhart	Todo individuo, en cada división de la empresa, deberá estudiar, practicar y participar en el control de calidad	Japón
Philip B. Crosby	1957, en ITT	La calidad no cuesta	"Cero defectos" a través de un programa con 14 pasos	Fundó Philip Crosby Associates, Inc. y Philip Crosby Associates II	Cumplir los requisitos	EEUU
Armand V. Feigenbaum	1956, General Electric	Control de calidad total	Creó el concepto de control de la calidad total	El TQM se aplica a todos los productos y servicios	Modo de vida corporativa. Un modo de administrar	EEUU
Shigeru Mizuno	Colaborador en la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros	Control de calidad total a todo lo ancho de la compañía	El concepto <i>Kaisen</i> . Su aportación utiliza los conceptos de sistemas y resalta la importancia de extender la calidad a toda la organización	Colaborador en la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros	Convertir las demandas de los consumidores en características concretas de calidad	Japón
Shigeo Shingo	1950, en Toyota	Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke system	El método SMED y junto a Taichi Ohno desarrolla la técnica <i>just in time</i> para identificar los despilfarros	Prize Shingo (1988) con base en Estados Unidos y ahora en Canadá y México	Es la entrega al cliente del producto con la calidad exigida y en el momento exacto	JAPÓN

ALGUNOS ENFOQUES EN EL MEJORAMIENTO

Autor	Lugar y año de inicio de su teoría	Obra cumbre	Aporte	Influencia	Definición de calidad	País de su desarrollo
Genichi Taguchi	1980, introdujo el DOE (Diseño de Experimento)	Introducción a la técnica para la calidad	Siete puntos de Taguchi	La ingeniería de la calidad: Método para el diseño y desarrollo de los procesos de industrialización con el máximo de eficiencia	La no calidad es la pérdida generada a la sociedad por un producto desde su concepción hasta su reciclado	Japón
John Oakland	1993, Inglaterra	TQM, The route to improving performance	Una recopilación de ideas básicas integradas en un modelo administrativo de la calidad	Influencia en organizaciones europeas y en la Fundación Europea para la Administración de la Calidad	La adopción de una cultura que empieza por la presencia y se extiende a los equipos	Inglaterra
Thomas Peters	1979, en McKinsey & Company	En busca de la excelencia	Confirmación de la relación entre éxito, competitividad y calidad, a través de un estudio exhaustivo de las características comunes de las empresas exitosas, resumidas en ocho puntos	Adopción de las ocho características por empresas como HP, Delta Airlines, McDonalds	Saber escuchar al cliente	EEUU

Autor	Lugar y año de inicio de su teoría	Obra cumbre	Aporte	Influencia	Definición de calidad	País de su desarrollo
Deming Awards	1951, Japón	Criterios del premio: políticas corporativas, sistemas de calidad, resultados, planificación, educación y entrenamiento	Enfoque a la efectividad de la planeación y a la implementación de una firme organización y operación	Parámetro de medición de calidad en la industria de Japón	Reducir la variación para reducir las pérdidas	Japón
Malcom Baldrige Awards	1988, fueron entregados los primeros siete premios	Once principios	Enfoque a clientes y recursos humanos	Modelo que puede ser usado por cualquier organización para mejorar su desempeño con base en 11 principios	La excelencia en el manejo de clientes, en su adquisición, satisfacción, preferencia, referencia, lealtad y expansión del negocio	EEUU
Premio Nacional de la Calidad	1990, se otorgaron cuatro premios en tres categorías	Seis principios	Modelo nacional para la calidad total	Promueve y estimula la adopción de procesos integrales de calidad total a nivel nacional para proyectarla de manera ordenada a niveles competitivos y de clase mundial	Es la creación de valor para los clientes y usuarios	México

ALGUNOS ENFOQUES EN EL MEJORAMIENTO

Autor	Lugar y año de inicio de su teoría	Obra cumbre	Aporte	Influencia	Definición de calidad	País de su desarrollo
International Organization for Standardization (ISO)	1951, primera norma sobre temperatura internacional de metales	Modelo de calidad de la serie ISO 9000 y después ISO 14000	Estandarización de los sistemas de administración de la calidad	Promover el desarrollo de la estandarización	V. 1994, conjunto de características de un elemento que le confieren la aptitud para satisfacer necesidades explícitas e implícitas. V. 2000, grado en el que un conjunto de características inherentes cumplen con los requisitos	Internacional
Fundación Europea para la Gestión de la Calidad (EFQM)	1988	Modelo EFQM de excelencia para mejorar el rendimiento	Cultura de la calidad a las empresas en Europa	La orientación del modelo en hacia los resultados y la satisfacción de las personas involucradas	Excelencia: prácticas sobresalientes en la gestión de la organización y logro de resultados	Europa
Premio EFQM	1992	Criterios para la solicitud del premio	Promoción para la excelencia en las empresas públicas y privadas en Europa a través de ocho fundamentos de la excelencia	Genera competitividad	Excelencia: prácticas sobresalientes en la gestión de la organización y logro de resultados	Europa

Fuente: Nava (2005).

Sistema de gestión de la calidad ISO 9000

Las normas ISO 9000 toman su nombre de la institución International Organization for Standardization, organismo mundial líder de la normalización. Un sistema de gestión de la calidad ISO 9000 *“es la forma como una organización realiza la gestión empresarial asociada con la calidad, es la integración de responsabilidades, estructura organizacional, procedimientos, procesos y recursos que se establecen para llevar a cabo la gestión de calidad. Por medio de los sistemas de calidad, las organizaciones se aseguran que los factores que afectan la calidad de los productos y servicios, estén bajo control y prevengan cualquier tipo de deficiencia. Consecuentemente, las organizaciones actúan sobre los procesos para incrementar su eficiencia, buscando un beneficio para ellas mismas como para sus clientes”* (Icontec. NTC ISO 9000: 2000).

En un sistema de calidad se incluyen las actividades para confiar en que se cumplirán los requisitos de la calidad establecidos; esto se logra a través del aseguramiento de la calidad, el cual está integrado por todas las actividades planificadas e implementadas dentro del sistema de calidad y evidenciadas como necesarias para dar confianza de que una entidad cumple con los requisitos de calidad.

En el contexto mundial se generan cada vez mayores requisitos y condiciones para que una empresa pueda ofrecer sus productos o servicios en el mercado, y esto ha hecho que las empresas busquen implementar estándares como los establecidos por la ISO, mediante los cuales las empresas logran documentar las normas y procedimientos que influyen en la calidad del producto o servicio. Este proceso está determinado por las características de la organización: necesidades, objetivos, productos o servicios, los procesos y el tamaño y estructura de la organización.

“El estándar ISO 9000 tiene establecidos como requisitos el sistema de gestión de la calidad con su componente de requisitos de la documentación, la responsabilidad de la dirección, la gestión de los recursos, la realización del producto y la medición, análisis y mejora” (Icontec. NTC ISO 9000: 2000). Los sistemas de gestión de la calidad tienen que ver con la evaluación de la forma como se hacen las cosas y de las razones por las cuales se hacen; precisa por escrito la manera como se hacen las cosas y registra los resultados para demostrar que se hicieron. Muchas empresas ya están realizando gran parte de las operaciones que la norma especifica. Un sistema de gestión de la calidad ISO 9000 se implementa sobre la versión actual de la norma de requisitos, es decir, la norma ISO 9001: 2000.

Jerarquía de la documentación del sistema de gestión de la calidad

La estructura de la documentación del sistema de calidad hace referencia al conjunto de documentos por medio de los cuales la organización asegura la calidad de su operación, en sus productos y/o servicios, el cual está formado por los siguientes documentos: manual de calidad, procedimientos generales, instrucciones de trabajo, registros de calidad, entre otros, como se muestra en la figura 6.1 sobre documentación.

Gestión	Operación
Manual de calidad	Manual de calidad
<ul style="list-style-type: none"> - Política de calidad. - Objetivos de calidad. - Planes estratégicos de calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Procedimientos e instructivos de planificación, operación y control de proceso. - Planes de calidad y control. - Registros.

Figura 6.1 Estructura de la documentación del sistema de gestión de la calidad.

Fuente: Elaboración propia.

Como muestra la figura 6.1, la implantación del sistema de gestión de la calidad comienza por el tercer nivel, la recolección de los planes, instructivos y registros que proporcionan detalles técnicos sobre cómo hacer el trabajo; todo ello representa la base fundamental de la documentación. En el segundo nivel se determina la información sobre los procedimientos de cada área de la empresa, con hincapié en ¿quién?, ¿qué?, ¿cómo?, ¿cuándo?, ¿dónde? y ¿por qué? efectuar las actividades; los procedimientos documentados del sistema de gestión de la calidad deben formar la documentación básica utilizada para la planificación y la gestión de las actividades que tienen impacto sobre la calidad; también deben cubrir todos los elementos aplicables de la norma. Dichos procedimientos deben describir las responsabilidades, autoridades e interrelaciones del personal que afecta a la calidad, cómo se deben efectuar las diferentes actividades, la documentación que se debe utilizar y los controles que se deben aplicar.

Algunas de las bondades que se persiguen con la elaboración de la documentación son (Icontec. NTC ISO 9000: 2000):

- Comunicar las directrices y estrategias de calidad, los procedimientos y los requisitos de ley, del cliente y de la organización.
- Empoderar a los empleados.
- Establecer responsabilidades y autoridades.
 - Estandarizar las actividades de la empresa.
 - Establecer mejores programas de operaciones y de actividades.

- Suministrar las bases documentales para las auditorías.
- Patrocinar la mejora continua.

Enfoque basado en procesos

Para que una organización funcione de manera eficaz, tiene que identificar y gestionar numerosas actividades relacionadas entre sí. Una actividad que utiliza recursos y que se gestiona con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados, se puede considerar como un proceso. Frecuentemente el resultado de un proceso constituye directamente el elemento de entrada del siguiente proceso. La aplicación de los procesos, junto con la identificación e interacciones de estos, así como su gestión, puede denominarse *enfoque basado en procesos*, y una ventaja es el control continuo sobre los procesos individuales. Este enfoque enfatiza la importancia de:

- Cumplimiento de los requisitos.
- Consideración de los procesos en términos que aporten valor.
- Buenos resultados del desempeño y eficacia del proceso.
- Mejora continua de los procesos con base en mediciones objetivas.

El modelo de un sistema de gestión de la calidad basado en procesos muestra que los clientes juegan un papel significativo para definir los requisitos como elementos de entrada. El seguimiento de la satisfacción del cliente requiere la evaluación de la información relativa a su percepción acerca de si la organización ha cumplido sus requisitos, como puede observarse en la figura 6.2.

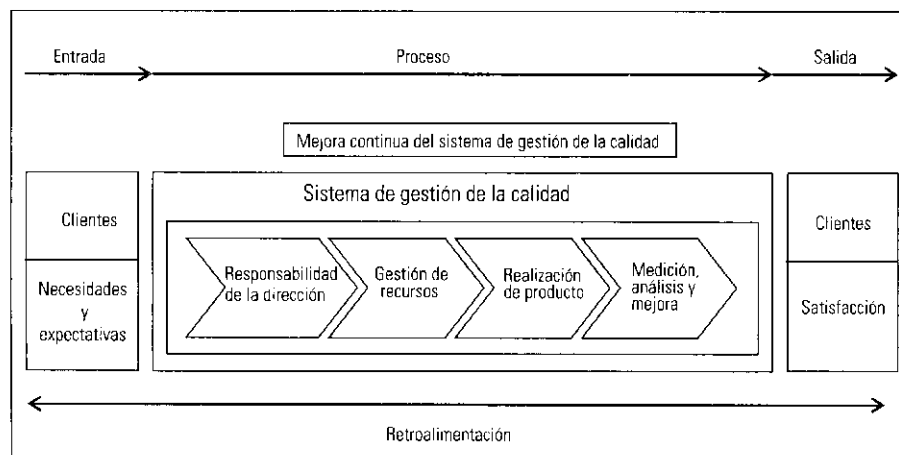


Figura 6.2 Sistema de gestión de la calidad basado en procesos.
Fuente: Elaboración propia.

Principios de gestión de la calidad

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas, en su compendio de Normas ISO 9000: 2000, especifica los siguientes principios:

- **Enfoque al cliente:** Las organizaciones dependen de sus clientes y por lo tanto deberían comprender las necesidades actuales y futuras de estos, para satisfacerlos.
- **Liderazgo:** Los líderes establecen la unidad de propósito y la orientación de la organización. Ellos deben crear y mantener un ambiente interno, donde el personal se involucre totalmente en el logro de los objetivos de la organización.
- **Participación del personal:** El personal, a todos los niveles, es la esencia de una organización y su total compromiso posibilita que sus habilidades sean usadas para el beneficio de esta.
- **Enfoque basado en procesos:** Un resultado deseado se alcanza más eficientemente cuando las actividades y los recursos relacionados se gestionan como un proceso.
- **Enfoque de sistema para la gestión:** Identificar, entender y gestionar los procesos interrelacionados como un sistema, contribuye a la eficacia y eficiencia de una organización en el logro de sus objetivos.
- **Mejora continua:** La mejora continua del desempeño global de la organización debería ser un objetivo permanente de esta.
- **Enfoque basado en hechos para la toma de decisión:** Las decisiones eficaces se basan en el análisis de los datos y la información.
- **Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor:** Una organización y sus proveedores son interdependientes, y una relación mutuamente beneficiosa aumenta la capacidad de ambos para crear valor.

BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA (BPM) O NORMAS GMP (GOOD MANUFACTURING PRACTICE)

“Las BPM consisten en un conjunto de normas y procedimientos, condiciones y controles que se aplican en las industrias para minimizar riesgos de contaminación de los productos, contribuyendo a la calidad y seguridad alimentaria, y a la salud y satisfacción de los clientes; por lo tanto deben basarse en un sistema confiable de todas las operaciones de fabricación que se realizan de conformidad con normas aceptadas, reconocidas y respetadas internacionalmente cuya opción y aplicación se recomienda a todas las empresas, porque dan a los clientes productos sanos y seguros” (Ministerio de Salud y Protección Social, 2005).

Las BPM se elaboraron para minimizar errores que no pueden ser eliminados en la manufactura de los productos, antes de ser distribuidos. Abarcan todos los aspectos de la fabricación de productos de alimentos, industria química y farmacéutica en general. Los principios establecidos dentro de las BPM buscan asegurar que los procedimientos de elaboración y los productos estén comprendidos dentro de límites aceptables de regulaciones legales, internas de la fábrica/laboratorio o del mercado. La estructuración de un plan de BPM en las empresas productoras y comercializadoras es una estrategia que responde a objetivos como la protección del consumidor y la minimización de riesgos que lleven a posibles enfermedades, desperdicios y reprocesos, de tal forma que se asegure la calidad e inocuidad de los productos; en general estas normas son de carácter obligatorio.

Las BPM son útiles para el diseño y funcionamiento de los establecimientos, y para el desarrollo de procesos y productos, ya que no solo se debe considerar la forma de elaboración del producto para que sea de calidad, sino también la higiene durante el proceso; para organizar estas tareas, es recomendable aplicar procedimientos operativos estandarizados de saneamiento que describen qué, cómo, cuándo y dónde, así como los registros y advertencias que deben respetarse. En cuanto al cumplimiento de los procedimientos, cuenta con los controles que sirven para verificar que estos se lleven a cabo correctamente, por lo que deben monitorearse los parámetros indicadores de los procesos y productos a fin de que se compruebe su real estado. Es indispensable acompañar estas prácticas con documentación, para un fácil y rápido rastreo de productos ante la investigación de productos defectuosos.

Ventajas de la implementación de las BPM

A continuación se indican algunas de las ventajas de la implementación de las BPM dentro de las industrias:

- Capacidad para exportar a mercados más exigentes y mejor remunerados.
- Prevenir y minimizar el rechazo de los productos, aumentando así la confianza de los compradores.
- Mejorar las condiciones de higiene de los productos.
- Mejorar la imagen de los productos y aumentar las ganancias.
- Establecimiento de las condiciones mínimas para el cumplimiento obligatorio del decreto 3075 de 1997.
- Reducción de los riesgos de brotes de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA).
- Logro de mayor satisfacción y lealtad de los distribuidores y consumidores.
- Disminución de las devoluciones en los canales de distribución.
- Nuevas oportunidades de negocios y mayor rentabilidad.

- Estandarización y mejora de los procesos de producción.
- Creación de una cultura organizacional para el cumplimiento de las BPM.
- Mayor competitividad de las empresas.

Las BPM son, entonces, un elemento fundamental para la protección de la salud humana, ya que permiten fortalecer las prácticas de producción, cosecha, poscosecha, manejo, transporte y almacenamiento de manera confiable y acorde a los propósitos del costo-beneficio proyectados en el marco de la comercialización de los alimentos, y fortalecen igualmente el marco de competitividad y comercio de los mismos.

Componentes de las BPM

Administración de la calidad en la industria: filosofía y elementos esenciales: Esboza los conceptos generales de la garantía de la calidad, los componentes o subsistemas de las BPM, que son responsabilidades conjuntas de la dirección de la empresa, de la administración de la producción y del control de calidad. Entre estos se incluyen higiene, comprobación, autoinspección, personal, instalaciones, equipos, materiales y documentación.

Buenas prácticas en la producción y el control de calidad: Establece directrices con respecto a las acciones que debe efectuar para el personal de producción y el de control de calidad, para la puesta en práctica de los principios generales de garantía de la calidad.

Complementos: Contiene pautas y referentes a productos biológicos, materiales para ensayos clínicos, y comprobación.

Las BPM deben implementarse en toda la cadena de producción, que va desde actividades del cultivo en campo hasta el consumo. Involucran elementos como las instalaciones exteriores e interiores, el transporte, el almacenamiento, la capacitación permanente del personal, la salud e higiene del personal, las prácticas de procesamiento, los programas de limpieza y saneamiento y el control de plagas. La implementación de las BPM permite la aplicación posterior y complementaria de otros sistemas de calidad como: HACCP (análisis de peligros y de puntos críticos de control), gestión de calidad total (TQM) o las normas ISO 9000.

ANÁLISIS DE PELIGROS Y DE PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL

Para la ISO, “El análisis de peligros y de puntos críticos de control (HACCP) es un sistema de gestión para garantizar la inocuidad de los alimentos, y su objetivo es promover buenas prácticas a través de la aplicación de los principios generales del Codex para la higiene alimentaria”. El sistema HACCP permite identificar peligros y medidas para su control con el fin de

garantizar la inocuidad de los alimentos, se centran en la prevención y todo sistema de HACCP es susceptible de cambios que pueden derivar de los avances en el diseño del equipo, los procedimientos de elaboración o el sector tecnológico.

De acuerdo con la ISO, "El sistema de HACCP puede aplicarse a lo largo de toda la cadena alimentaria, desde el productor primario hasta el consumidor final, y su aplicación deberá basarse en pruebas científicas de peligros para la salud humana; además de mejorar la inocuidad de los alimentos, la aplicación del sistema de HACCP puede ofrecer otras ventajas significativas, facilitar asimismo la inspección por parte de las autoridades de reglamentación, y promover el comercio internacional al aumentar la confianza en la inocuidad de los alimentos".

Para que la aplicación del sistema HACCP dé resultados, es necesario el compromiso pleno tanto de la dirección como de todo el personal de la organización. Su aplicación es compatible con la aplicación de sistemas de gestión de calidad, como la serie ISO 9000, y es el método utilizado de preferencia para controlar la inocuidad de los alimentos en el marco de tales sistemas.

Principios del sistema HACCP

- ♦ Realizar un análisis de peligros.
- ♦ Determinar los puntos críticos de control (PCC).
- ♦ Establecer un límite o límites críticos.
- ♦ Establecer un sistema de vigilancia del control de los PCC.
- ♦ Establecer las medidas correctivas que han de adoptarse cuando la vigilancia indica que un determinado PCC no está controlado.
- ♦ Establecer procedimientos de comprobación para confirmar que el sistema HACCP funciona eficazmente.
- ♦ Establecer un sistema de documentación sobre todos los procedimientos y los registros apropiados para estos principios y su aplicación.

Directrices para la aplicación del sistema HACCP

Antes de aplicar este sistema a cualquier sector de la cadena alimentaria, el sector deberá estar funcionando de acuerdo con los principios y prácticas del Codex y la legislación correspondiente en materia de inocuidad de los alimentos. El empeño por parte de la dirección es necesario para la aplicación de un sistema HACCP eficaz. Cuando se identifiquen y analicen los peligros y se efectúen las operaciones para elaborar y aplicar estos sistemas, deberán tenerse en cuenta las repercusiones de las materias primas, los ingredientes, las prácticas de fabricación de alimentos, la función de los procesos de fabricación en el control de los peligros, el probable uso

final del producto, las categorías de consumidores afectadas y las pruebas epidemiológicas relativas a la inocuidad de los alimentos.

La finalidad del sistema HACCP es lograr que el control se centre en los PCC. En el caso de que se identifique un peligro que debe controlarse pero no se encuentre ningún PCC, deberá considerarse la posibilidad de formular de nuevo la operación. El sistema HACCP deberá aplicarse por separado a cada operación concreta, o que sean de naturaleza diferente. Cuando se introduzca alguna modificación en el producto, el proceso o en cualquier fase, será necesario examinar la aplicación del sistema y realizar los cambios oportunos. Es importante que este se aplique de modo flexible, teniendo en cuenta el carácter y la amplitud de la operación. La aplicación de los principios del sistema HACCP se realiza de acuerdo con un conjunto de operaciones que se ilustran en la figura 6.3.

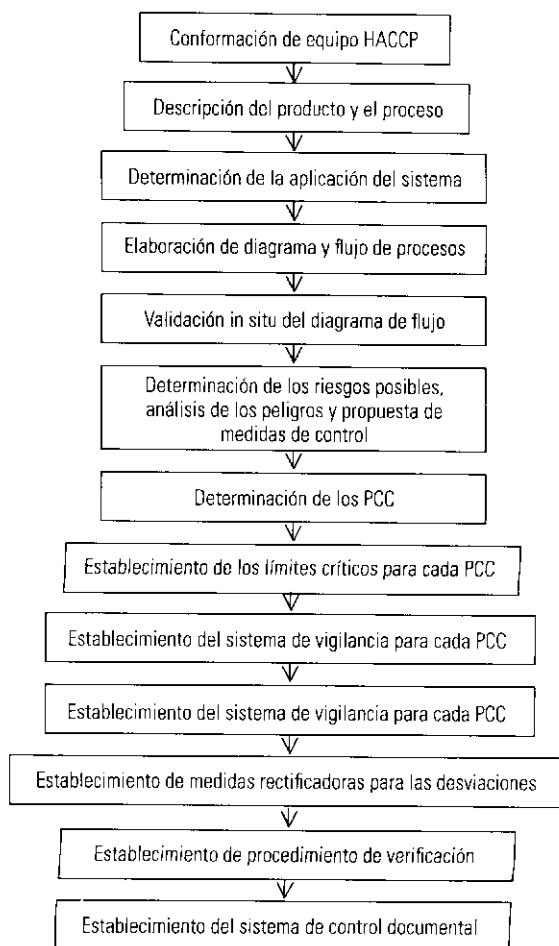


Figura 6.3 Diagrama de operaciones para la aplicación del sistema HACCP.
Fuente: Adaptada de la ISO 9001.

CALIDAD TOTAL

Para Kaoru Ishikawa, en su libro *¿Qué es control total de la calidad?*, el concepto de calidad total, originado a partir del concepto de control de calidad, ha permitido generalizarlo en función del cliente interno y externo, lo que le da la característica de ser total. La calidad es total porque comprende todos los aspectos de la organización, involucrando y comprometiendo a todas las personas de la empresa. Se centra en conseguir que las cosas se hagan bien la primera vez y todas las veces (Ishikawa, 1999).

El objetivo de toda organización, área, puesto de trabajo o individuo, es generar un producto o servicio que va a recibir otra organización, otra área, otro puesto de trabajo, u otro individuo, a quien se denomina usuario, consumidor o cliente, quien debe estar satisfecho con lo que recibe; para ello se requiere la participación de todos los miembros de la organización. Dicho de otra manera, la calidad total comienza comprendiendo las necesidades y expectativas del cliente para luego satisfacerlas y superarlas. En este sentido, Ishikawa (1999) plantea que *“La calidad total es una estrategia que busca garantizar la supervivencia, el crecimiento y la rentabilidad de una organización optimizando su competitividad, mediante: el aseguramiento permanente de la satisfacción de los clientes y la eliminación de todo tipo de desperdicios. Esto se logra con la participación activa de todo el personal, bajo nuevos estilos de liderazgo; siendo la estrategia que, bien aplicada, responde a la necesidad de transformar los productos, servicios, procesos estructuras y cultura de las empresas, para asegurar su futuro”*.

La calidad total constituye un sistema de gestión empresarial que influye en la modificación permanente de conceptos como:

- Las estrategias que orientan la calidad.
- La gestión de la actividad empresarial.
- El enfoque de los procesos.
- El entorno y su relación con la dinámica de los agentes y funciones de la organización.

Este enfoque de calidad requiere una renovación de la mentalidad de las personas y la cultura empresarial, reflejadas en la gestión participativa.

Principios básicos para el logro de la calidad total

Los siguientes son principios que las empresas deben emprender para el logro de la calidad total:

- La calidad es la clave para lograr competitividad.
- La calidad la determina el cliente.

- El proceso de producción está en toda la organización.
- La calidad de los productos y servicios es resultado de la calidad de los procesos.
- El proveedor es parte de nuestro proceso.
- Son indispensables las cadenas proveedor-clientes internos.
- La calidad es lograda por las personas y para las personas.
- Establecer la mentalidad de cero defectos.
- La ventaja competitiva está en la reducción de errores y en el mejoramiento continuo.
- Es imprescindible la participación de todos (conciencia colectiva).
- La calidad requiere de una nueva cultura.

Con la aplicación de estos principios se esperaría que las organizaciones como mínimo tuviesen una tendencia hacia cualquiera de las modalidades del mejoramiento continuo y la innovación o mejora radical. Como parte de todo proceso de mejoramiento hacia la calidad total se incluyen acciones como: el desarrollo de las actividades de liderazgo y el compromiso de los altos directivos de la organización, el desarrollo del personal, el enfoque a los clientes, el desarrollo de los proveedores, la planificación de la calidad, mejoramiento del trabajo diario, aseguramiento de la calidad, programa de reducción de costos, entre otros.

Para obtener resultados positivos en la implementación del control total de la calidad es necesario poner en práctica el siguiente proceso:

- Toma de decisiones.
- Preparación del escenario y promoción.
- Implantación de procesos de mejora.
- Consolidación y optimización interfuncional.
- El liderazgo para la calidad.

Así pues, calidad total es algo que lo abarca todo, tanto en procesos como en áreas y sectores. Es imposible generar calidad hacia fuera de la empresa, sin generar primero calidad hacia dentro de la misma. Mejorar el liderazgo, la capacitación, los procesos productivos, los sistemas de prevención y evaluación, la contratación y dirección del personal, la seguridad y la comunicación interna, son algunos de los factores cruciales para que la empresa sea altamente competitiva y pueda superar a sus oponentes. Solo generando la excelencia interna es factible posicionarse en la mente de los usuarios como un oferente de productos y servicios con alto valor agregado.

Cuando la organización esté pensando en el mantenimiento de la calidad, mediante la calidad total y con tendencia hacia la mejora continua, es indispensable la evaluación de cada uno de los factores siguientes, siempre buscando su excelencia:

1. Compromiso total de toda la organización.
2. Equipos de trabajo orientados en calidad.
3. Medición de la calidad.
4. Corrección de problemas. Acciones correctivas.
5. Comités y otros grupos de calidad.
6. Capacitación y educación permanente del personal de la organización.
7. Objetivos de mejoramiento hacia la calidad y la organización.
8. Prevención de defectos. Acciones preventivas.
9. Recompensas y reconocimientos.
10. Procedimientos del programa de calidad.
11. Crecimiento con rentabilidad económica de la organización.
12. Necesidades de los clientes internos y externos.
13. Proceso de planeación de la calidad.
14. Planeación estratégica de la calidad.
15. Cultura de la calidad.
16. Enfoque total de sistemas.
17. Comunicación de la información interna y externa.
18. Políticas de calidad.
19. Misión y visión orientadas hacia la calidad.
20. Constancia y planeación para la competitividad global.
21. Métodos de evaluación y control de la calidad.
22. Interacción entre los departamentos.
23. Control de proveedores.
24. Auditorías de calidad.
25. Control del proceso.
26. Diseño del producto.
27. Compromiso con la mejora continua.
28. Creatividad e innovación.
29. Eticalidad como factor clave y determinante.
30. Reconocer los factores del comportamiento organizacional.

De lo anterior se puede concluir que la gestión de calidad total, mediante un proceso de mejora continua, tiene como objetivo el conocimiento y control pleno de todo el sistema empresarial (diseño del producto o servicio, proveedores, materiales, distribución, información, etc.), de forma que el producto recibido por los consumidores esté constantemente en correctas condiciones para su uso (cero defectos); todo esto implica la mejora de todos los procesos de fabricación, la eliminación de desperdicios para reducir los costos, la mejora de procedimientos: atención a clientes y proveedores, tiempos de entrega y servicios posventa, entre otros.

En esta perspectiva debe comprenderse que la calidad contribuye a la productividad de la empresa. En el momento en que se mejora la calidad, disminuye el costo de la garantía al cliente, al igual que los gastos de revisión y mantenimiento. Si se empieza por hacer bien las cosas, los costes de los estudios tecnológicos y de la disposición de máquinas y herramientas también disminuyen, a la vez que la empresa acrecienta la confianza y la lealtad de los clientes.

NORMALIZACIÓN, ACREDITACIÓN Y CERTIFICACIÓN

Normalización

Según el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), “La normalización o estandarización es el proceso de elaboración, revisión, aprobación e implementación de las normas que se aplican a distintas actividades con el fin de mantenerlas y mejorarlas”¹. La mejora de las normas tiene por objeto establecer, ante problemas reales o potenciales, disposiciones destinadas a usos comunes y repetidos, con el fin de obtener un nivel óptimo en un contexto dado, con un alcance empresarial, regional e internacional. La normalización implica la participación de personas que representan a distintas organizaciones de los sectores privado y público: productores, clientes y comunidad, quienes aportan su experiencia, conocimientos y expectativas para establecer soluciones a problemas.

Mediante el proceso de normalización se regulan las actividades de los sectores en aspectos de salud, medio ambiente, seguridad y salud ocupacional; así como prácticas comerciales, industriales y laborales. A través de este proceso se establecen los términos y sus definiciones, la clasificación, las directrices, las especificaciones, los atributos, las características, los parámetros, los métodos y las pruebas, aplicables a un producto, proceso o servicio. Los principios en los que se basa el proceso de normalización son: representatividad, consenso, consulta pública, modificación y actualización (SENA, 2000).

Objetivos de la normalización

- Simplificación: Especifica cómo reducir los modelos para quedarse únicamente con los más necesarios y apropiados según la actividad empresarial.
- Unificación: Permite la aceptación e intercambiabilidad a nivel internacional.
- Especificación: Se persigue evitar errores de identificación creando un lenguaje claro y preciso.

¹ Este concepto y otros relacionados con el tema fueron expuestos en el Simposio sobre normalización, acreditación y certificación. Bogotá, 2002.

Beneficios de la normalización

Al realizar la evaluación de los resultados después de un proceso de normalización se encuentran beneficios para las organizaciones, como:

- Promueve la creación de un idioma técnico común a todas las organizaciones y la libre circulación de los productos industriales.
- Fomenta la competitividad empresarial en el ámbito de las nuevas tecnologías.
- Contribuye con la industria y el país por la participación de los distintos sectores en las actividades de normalización.
- Es una herramienta de intercambio que permite el desarrollo de mercados con las reglas y prácticas tendientes a la reducción de las barreras técnicas al comercio.
- Permite la clarificación de las operaciones, de las necesidades, la optimización de las relaciones entre clientes y fabricantes y la elaboración de un referencial para la valorización de los productos y servicios.
- Permite la optimización de la producción, la satisfacción de las necesidades de los clientes, la revisión, validación, determinación; además la aprobación de los métodos de producción y una mayor productividad así como la garantía en la seguridad de los operarios, instaladores, clientes y consumidores.
- Permite la transferencia de nuevas tecnologías para la empresa y la comunidad.
- Ayuda a elegir los productos más aptos de acuerdo con el uso al que están destinados.
- Contribuye a la protección de los productos, procesos, medio ambiente y consumidores por la garantía de la fabricación de productos seguros.
- Permite innovar, anticipar y mejorar los productos.
- Facilita ser más competitivo para conquistar los mercados, al conocer mejor tanto los mercados como sus tendencias.
- Es un referente de los asuntos públicos ya que es un complemento de la reglamentación de los mercados.

Niveles de normalización

El nivel de la normalización se refiere al alcance geográfico, político o económico de las normas. Se tienen los siguientes niveles de normalización (SENA, 2000):

- Normalización internacional: Participan los organismos de normalización de todos los países. A este nivel pertenecen la ISO (Organización Internacional de Normalización), la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), la comisión del Codex Alimentarius, la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), la OIML (Organización Internacional de Metrología Legal).

- Normalización regional: Participan los organismos pertinentes de un área geográfica, política o económica del mundo. Dentro de estos puede mencionarse, por ejemplo, la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (Copant).
- Normalización nacional: Se desarrolla a través de comités técnicos en una acción de consenso, respetando las necesidades y el interés general y del gobierno y contribuyendo al desarrollo económico, social y tecnológico del país, por ejemplo Icontec en Colombia, Afnor en Francia, DIN en Alemania, ANSI en EEUU.
- Normas territoriales: Tienen lugar en una división territorial de un país.

Certificación

La Organización Internacional de Normalización define la certificación como *“Atestación por tercera parte relativa a productos, procesos, sistemas o personas”*; se entiende por atestación la actividad que se basa en la decisión tomada luego de la revisión; consiste en autorizar y emitir una declaración de que se ha demostrado que se cumplen los requisitos especificados. Esta declaración puede ser un certificado o una marca de conformidad que garantiza a los clientes la conformidad del producto o servicio y que se cumplen los requisitos especificados y no especificados. Para que la certificación tenga aceptación debe realizarla una tercera parte, es decir, un organismo independiente de los respectivos intereses del proveedor del objeto de la certificación (primera parte) y del usuario de la certificación (segunda parte). Los requisitos especificados, a los que hace mención la definición de certificación, pueden estar contenidos en normas, especificaciones técnicas, reglamentos u otros documentos normativos.

La Organización Internacional de Normalización tiene definidos varios tipos de sistemas de certificación: de ensayos de tipo; de muestras obtenidas en el mercado; de muestras de fábrica; de muestras obtenidas en el mercado y en la fábrica; de evaluación y aceptación del sistema de la calidad del fabricante; de seguimiento del sistema de la calidad de la fábrica; del ensayo de muestras obtenidas en la fábrica, en el mercado o en ambos; de seguimiento del sistema de gestión de la empresa, de lotes y ensayo 100%.

Acreditación

La acreditación se basa en criterios y principios internacionales relativos a las exigencias definidas para asegurar la conformidad, la transparencia, la imparcialidad, la participación de las partes interesadas, la idoneidad de las personas y la no discriminación. La acreditación tiene como funciones principales:

- Operar los procesos de acreditación, según los reglamentos y procedimientos.
- Coordinar con los organismos gubernamentales la acreditación y su reglamentación.
- Difundir el Sistema Nacional de Acreditación y promover su uso.

- Actualizar el directorio de organismos de evaluación de la conformidad acreditados.
- Apoyar a la red nacional de metrología, acreditando a los laboratorios custodios de patrones nacionales, así como a los laboratorios de calibración, para que puedan demostrar que están en condiciones de otorgar trazabilidad.

Beneficios de la acreditación

- Demostrar la competencia de los organismos de certificación e inspección y de los laboratorios.
- Entregar resultados válidos y confiables de las pruebas, ensayos e inspecciones y calibraciones.
- Dar credibilidad y aceptación a las certificaciones, lo que evita la repetición de ensayos, inspecciones y certificaciones y facilita el intercambio de productos y servicios a nivel nacional e internacional.

MEJORA CONTINUA

La mejora continua es simplemente un cambio permanente. Es básico entender que la calidad no es un simple concepto comercial, administrativo o técnico; es todo un proceso de cambios amables y pasos positivos. Para Lagoven (2002), *“La calidad es un concepto que permite verse desde perspectivas diferentes pero en ningún caso excluyentes. Desde el punto de vista del cliente se asocia con utilidad, duración y precio. Desde el punto de vista del proceso de producción se asocia con cumplimiento de especificaciones”*. La calidad en los sistemas de producción contribuye a:

- La perfecta adaptación entre la función de un producto y su uso.
- La satisfacción de los deseos de un cliente.
- La conformidad entre un producto y sus especificaciones.
- El cumplimiento de las características o atributos que distinguen un producto de otro.

La calidad en los sistemas de producción ha sufrido modificaciones con el tiempo; en los inicios significaba inspección y control, más tarde se extendió fuera del área de producción para incluir otras funciones y surgió el término de “calidad total”; hoy está unido al de “mejora continua” que es el que en la actualidad más se emplea y se basa en los siguientes principios:

- Centrar la atención en la calidad de los procesos, no de los productos.
- Crear un enlace entre todas las etapas de la producción comprendidas entre mercadeo y la ingeniería de diseño.

Las empresas realizan actividades para conseguir productos y servicios dentro de ciertos límites de calidad, lo que implica que la calidad de sus productos se reparte en todo el intervalo de tolerancia. Así, las empresas fabrican los productos o prestan los servicios, cuidando que estos se encuentren dentro de tales límites, pero poniendo sus mayores esfuerzos para que estos se concentren en el punto central de máxima calidad. Para el logro de este cometido, lo más frecuente, por parte de las empresas, es el uso de las técnicas del control de calidad: *“No obstante, es importante entender que muchos de los conceptos de control de calidad tradicionales basados en las inspecciones masivas de productos no son necesarios en otros tipos de producciones donde los procesos requieren una ausencia total de defectos por lo que hay que controlar unidad por unidad. Por otro lado, en una gran parte de los procesos la base del control de calidad sigue estando en producir y luego inspeccionar lo producido, lo que origina pérdidas de tiempo y dinero, y parece ser una tendencia constante en la industria. A pesar de las nuevas técnicas de aplicación de la calidad como: ‘calidad total’, ‘mejora continua’, ‘cero defectos’, etc.”* (Gutiérrez, 2002). De acuerdo con este mismo autor, en general existen dos formas de llevar a cabo el control de calidad:

Control de calidad de los productos: Incluye observación no solo de los productos terminados, sino también de todas las fases intermedias de la producción, inclusive las materias primas. Se trata de un control del tipo “pasa, no-pasa”, en el que se aplica el concepto de aceptar el producto que cumple unas determinadas condiciones y rechazar el que no las cumple. Lo importante de este método es identificar cuáles son los puntos críticos en los que se debe ejercer el control de calidad. En el caso de las materias primas o productos que ingresan en el proceso, la inspección constituye una manera de discernir entre un proveedor y otro. Desde el punto de vista económico, se trata de un control de calidad necesario en cualquier proceso productivo, pues carece de sentido procesar una materia prima en condiciones no aceptables, porque a la final el producto será rechazado.

Es función de la dirección el número de controles que hay que realizar. Idealmente se requerirá uno por operación y saber inmediatamente cuál es la calidad del producto en cada momento del proceso, pero esto es costoso. Si se está interesado en ello, hay que buscar una rentabilidad a la cantidad de controles así como dónde situarlos; es preciso establecer un equilibrio en el balance económico resultante de cada uno de ellos y la pérdida en valor añadido que se tendría de no descubrir a tiempo la calidad del producto. Según James (2003), *“La fase final de la producción parece ser la etapa adecuada para controlar la calidad y de hecho muchas empresas optan por esta situación, sin embargo esto no es lo apropiado, cualquier producto desechado en esta etapa contiene más valor añadido que si se hubiera conseguido con anterioridad y si se pretende reprocesar el producto se requerirá una inversión mayor que si se hubiera hecho anteriormente”*.

Control de calidad del proceso: La finalidad no es detectar qué productos cumplen o no cumplen los estándares de calidad; por el contrario, se quiere conseguir

producir la mejor calidad posible. En realidad este tipo de control es complementario con el control de calidad del producto y es conveniente que las empresas adopten mecanismos para la implementación de ambos en sus sistemas productivos. De acuerdo con esto, se debe hacer un análisis de la calidad del producto, recolectando y estudiando las causas del cambio de calidad. Con base en esta información se entra a modificar el proceso para conseguir que el producto resultante tenga la calidad anterior al cambio. El énfasis en el proceso permite conocer en todo momento la calidad del producto.

Si bien las dos perspectivas pueden utilizarse de manera independiente, cada método cuenta con ventajas y desventajas (Cantu, 1997):

- El control de productos es un sistema sencillo y rápido, lo que implica un costo bajo frente a los controles del proceso.
- La utilización del control del proceso no elimina el control del producto, aunque sí puede reducir su uso a situaciones extremas; todo depende de la inversión económica hecha en favor del primero.
- Mediante el control de procesos se puede conocer cuáles son las causas de la falta de calidad, pues es necesario atacar estas para conseguir el producto deseado; sin embargo, en el control del producto se ignora la raíz del problema, por lo que este siempre estará presente.
- El control de calidad de los productos promueve la idea de un conflicto entre producción y calidad porque lo que interesa al personal que produce es conseguir la mayor productividad, mientras que el que controla desea la mayor calidad, y esto a veces es difícil. Con el control del proceso ambas partes persiguen el mismo objetivo: producir con calidad.
- El ahorro en el valor añadido a los productos defectuosos es mayor en el control de procesos que en el de productos.
- Es frecuente que para llevar a cabo el control de calidad de productos haya que juntar una cantidad de unidades, y hay que tener reservado espacio en almacén y costos de almacenaje, mientras que en el control de procesos eso no se requiere.

Como puede deducirse, el carácter del control de calidad en los procesos es preventivo y el control de calidad en los productos es correctivo. Una aplicación racional de ambos conduce a la empresa a ejecutar las acciones dentro de su sistema productivo en condiciones de productividad, eficiencia, eficacia, rendimiento y rentabilidad. Siguiendo a Senge (2003), la calidad es simplemente producir algo de alguna forma. Si el producto cumple con las características esperadas, hay eficacia; si en su fabricación se usa el menor esfuerzo, hay eficiencia; si el resultado es más de lo que se esperaba, hay rendimiento, y si el logro es compartido, hay rentabilidad.

RESUMEN

Al hablar de un sistema productivo se hace referencia tanto a las prácticas empresariales como a las de fabricación, en las que indiscutiblemente debe tenerse presente la calidad, concepto que por lo general se asocia con productos o servicios excelentes, que satisfacen necesidades y superan las expectativas de los clientes; y que implica a actores tanto internos como externos, que cumplen roles de clientes y proveedores.

La calidad de productos y servicios incluye aspectos como la seguridad, la disponibilidad, la mantenibilidad, la confiabilidad, la facilidad de uso, la economía y el ambiente, así como un conjunto de especificaciones de orden técnico y funcional. El cumplimiento de estas especificaciones debe ser medible, de tal forma que se pueda tener una definición cuantificable y operativa de la calidad; ello implica una continua evaluación de las condiciones de fabricación de los productos o la prestación de los servicios para que se puedan aplicar, oportunamente, medidas correctivas y ofrecer retroalimentación al sistema productivo en todas las actividades: especificaciones, diseño, producción, instalación, inspección y revisión del uso, entre otras.

REFERENCIAS

1. Atehortúa, H. F. (2002). *Evolución de la calidad*. 1ª ed. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
2. Cantu, H. (1997). *Desarrollo de una cultura de calidad*. 3ª ed. Editorial McGraw-Hill, Río de Janeiro, Brasil.
3. Gutiérrez, V. (2002). *Calidad total*. 1ª ed. Editorial McGraw-Hill. Caracas, Venezuela.
4. Icontec. NTC ISO 9000: 2000. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.
5. Imai, M. (2001). *Gemba Kaizen*. 3ª ed. Editorial Pearson, Boston, Estados Unidos.
6. Ishikawa, K. (1999). *¿Qué es control total de la calidad?* 3ª ed. Editorial McGraw-Hill, México.
7. James, P. (2003). *Gestión de la calidad total*. 2ª ed. Editorial Prentice Hall, Buenos Aires, Argentina.
8. Juran, J. M. (2000). *Análisis y planeación de la calidad: del desarrollo del producto al uso*. McGraw-Hill, México.
9. Juran, J. M. (2002). *Manual de control de la calidad*. Editorial Reverté, España.
10. Juran, J. M. & Gryna, F. M. (2002). *Análisis y planeación de la calidad*. 4ª ed. Editorial McGraw-Hill, Bibl. Unison, Argentina.
11. Lagoven (2002). *Calidad total*. 4ª ed. Editorial Panamericana, Venezuela.
12. Nava, V. M. (2005) *¿Qué es la calidad?* 1ª ed. Editorial Limusa, México, D. F.
13. Mariño, H. (2000). *La gerencia de la calidad total*. 2ª ed. Tercer Mundo Editores, Colombia.
14. Ministerio de Salud y Protección Social. Dirección general de servicios de salud. (2005). *Manual de buenas prácticas de manufactura*. Bogotá.
15. SENA, Regional Cundinamarca. (2000). *Simposio Normalización, acreditación, certificación*. Bogotá.
16. Senge, P. (2003). *La quinta disciplina*. 4ª ed. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, México.
17. Shingo, S. (1999). *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-yoke System Productivity Press*. 2ª ed. Portland, Oregon, USA.
18. Shingo, S. (1999). *The Poka-yoke System. I. Theory Productivity Press*. 2ª ed. Portland, Oregon, USA.

7. GESTIÓN EN PREVENCIÓN Y CONTROL DE PÉRDIDAS EN PRODUCCIÓN/OPERACIONES

Santiago Ruiz Herrera
Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales

INTRODUCCIÓN

Retomando algunos conceptos ilustrados en los anteriores capítulos y analizando la situación actual de las organizaciones, en un entorno globalizado, es clara la exigencia a las empresas de estructurar, implementar y mantener sistemas integrados de gestión para sobrevivir y obtener el éxito en todos los ambientes de consumo. Estos cambios promueven la adopción de proyectos que deben contribuir con el desarrollo de la productividad y la competitividad y es allí donde surge la necesidad de construir tecnologías que aporten al mejoramiento continuo o a la reingeniería de los procesos productivos.

Una de las tecnologías en la administración de la producción es el *just in time*; existen 5 variables que deben mitigarse en los sistemas productivos: los defectos, los tiempos, los inventarios, las burocracias y las averías (Archier y Seryec, 1984); en estas últimas es donde la tecnología tiene mucho por aportar. Si bien el mantenimiento productivo total tiene como objetivo sostener en buen funcionamiento las máquinas de un proceso evitando sus fallas, el término "averías" trasciende en su significado, pues las fallas en los equipos no son la única causa de las detenciones en los procesos y la producción; son también partes de esas "averías", entre muchas, los accidentes laborales, los comportamientos inseguros, los obstáculos en las vías de circulación y la falta de estandarización de procedimientos, los que pueden alterar el funcionamiento normal de un sistema productivo.

Eliminar o controlar las averías contribuye al desarrollo normal de la productividad. Esta se puede estimar o medir con la relación entre los productos y los insumos necesarios para producirlos (Chase y Aquilano, 1995); un indicador moderno considera la productividad entre variables de eficacia sobre variables de eficiencia. Los

profesionales en economía y finanzas determinan la productividad con la relación entre el valor para el cliente sobre el costo de fabricación y distribución.

Las averías o las pérdidas producen obstáculos en la producción, se generan paradas de proceso, cuellos de botella y desbalances del sistema que finalmente se convierten en contribuyentes de los costos operativos de la organización. En la medida en que las organizaciones implementan sistemas de gestión enfocados en la eliminación y el control de las pérdidas, aportan en la consecución de su propia productividad y, por consiguiente, en su competitividad frente al medio.

En esta perspectiva, este capítulo no está concebido como el contexto de la salud ocupacional o laboral, ni es un compendio de términos utilizados en la seguridad industrial. Tradicionalmente la seguridad industrial ha tenido el enfoque de la prevención y el control de los accidentes de trabajo, que son definidos por la ley de cada país como riesgos profesionales, ocupacionales o laborales. Sin embargo, como se demuestra en las tendencias del mundo de hoy, los métodos y las técnicas utilizados en la seguridad industrial no solo son aplicables para la protección de los trabajadores, sino también sirven para la prevención de todo tipo de pérdidas, como las averías de los equipos e instalaciones, la contaminación del medio ambiente, la ineficiencia en la utilización de recursos y el deterioro en la calidad del producto entregado al cliente. Es allí donde nace el concepto de gestión de riesgos como la administración de recursos y procedimientos encaminados a eliminar, minimizar y/o controlar los efectos negativos generados por cualquier evento.

En este capítulo se presentan los elementos básicos necesarios para eliminar, controlar o administrar las pérdidas en el ambiente productivo y el entorno empresarial, y se expone la descripción y el análisis de procesos de identificación, priorización y control de aspectos y situaciones que puedan generar riesgo en los trabajadores, clientes, productos, equipos, materiales, procesos, producción, logística, instalaciones, comunidad y medio ambiente.

El temario general del capítulo inicia con los conceptos básicos necesarios para abordar el contexto de la administración de riesgos; posteriormente se describe cuál es el proceso o cadena de eventos o situaciones que generan una pérdida; conocido dicho proceso, se exponen los métodos de análisis de riesgos más utilizados en la actualidad; como complemento y a nivel macro se analizan los principales sistemas de gestión desarrollados en las últimas 5 décadas, los cuales incluyen parcial o totalmente la temática de los riesgos operativos; de estos sistemas se extraen los factores comunes para presentar un modelo de gestión de riesgos genérico, el cual incluye la administración de emergencias. Para terminar el capítulo se presentan los factores críticos de éxito en la gestión de riesgos logísticos encontrados en la mayoría de las organizaciones.

CONCEPTOS BÁSICOS EN LA ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS

Antes de incursionar en los conceptos de la gestión de riesgos, es importante entender que “el riesgo” es la combinación de la consecuencia y la probabilidad de que ocurra un evento peligroso específico (Norma técnica Colombia NTC-OHSAS 18001); también es la probabilidad de que se produzcan sucesos negativos (Fundación Mapfre, 1992). Otro concepto del riesgo es todo estado latente de accidente o la probabilidad de que suceda un evento que modifique, trastocando negativamente, un estado de equilibrio, ocasionando disfunción en un organismo o alterando el normal funcionamiento de un sistema. Para un mejor entendimiento del concepto de riesgo, este se debe abordar desde su resultado final, “la pérdida”.

La pérdida se considera como el efecto negativo generado por los accidentes en las personas, bienes materiales y económicos de una empresa o familia. Otra definición: es el acontecimiento cuyo efecto genera una necesidad económica, debilidad social o daño ambiental. La vulnerabilidad de las organizaciones frente a las pérdidas se puede clasificar en financiera, operacional, externa y estratégica (María Fernanda Rey, directora ejecutiva del *Latin American Logistics Center*, extraído del artículo “Combatiendo la vulnerabilidad de las cadenas de abastecimiento”, revista *Zona Logística*). (Ver figura 7.1).

La vulnerabilidad se relaciona directamente con la susceptibilidad o capacidad de recibir modificaciones negativas (pérdidas), que son generadas por la existencia de los riesgos; estos, al igual que la vulnerabilidad, se pueden clasificar como se relaciona a continuación.

Riesgos financieros

El riesgo financiero es “*asumido en lo relativo a los compromisos de la deuda y la capacidad de poder hacer frente a su devolución y coste, este riesgo es el más valorado por el inversor*” (Asociación Española de *Business Brokers*, AEBB). El riesgo financiero (*financial risk*) es también la incertidumbre en operaciones financieras (Grupo Santander, organización económica española). En finanzas, por ejemplo, se considera el riesgo como sinónimo de la distribución probabilística de los resultados futuros (Baird y Thomas, 1990). Algunos eventos que influyen en el riesgo financiero son: variabilidad de la economía del país, tasa de cambio, variabilidad de los mercados, costos variables de la seguridad social, modificación en impuestos y aranceles, modificación del marco legal que acoge al sector económico de la organización.

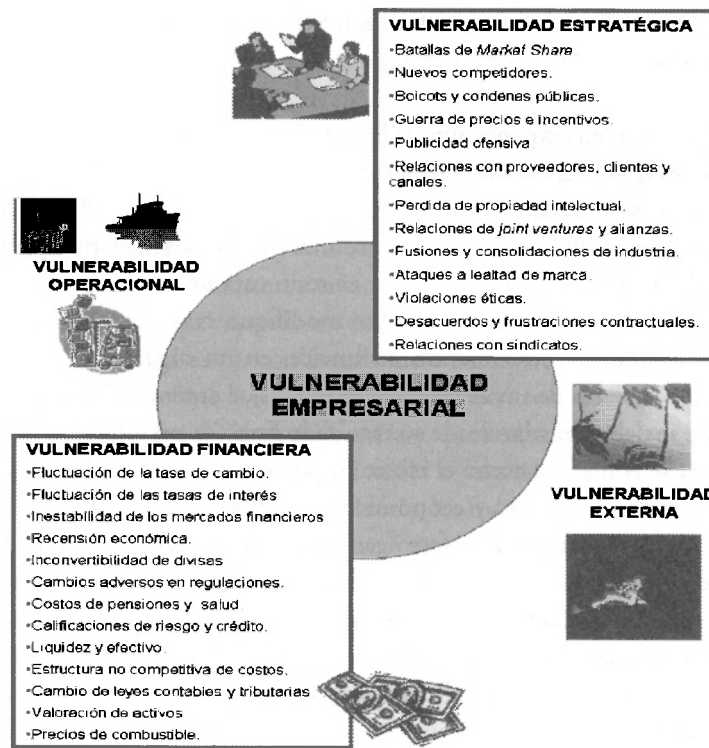


Figura 7.1 Clasificación de la vulnerabilidad en las organizaciones.
Fuente: Adaptada del artículo de María Fernanda Rey publicado en revista Zona Logística.

Riesgos estratégicos

Son aquellos que directamente pueden influir de manera negativa sobre las decisiones de las altas directivas de la organización (en el mes de septiembre de 2004 el BDS, Boletín Diario de Seguros para América Latina, expuso un artículo en el cual trata los “riesgos estratégicos”). Algunos eventos que aumentan o disminuyen el riesgo estratégico son: las relaciones con sindicatos, aumento de competidores, batalla de precios, faltas a la responsabilidad integral, deterioro de la imagen institucional, conflictos de cultura y clima organizacional, pérdidas de demandas judiciales, pérdidas de la propiedad intelectual y del talento personal (*know how*).

Riesgos operativos

En matemáticas financieras se establece el riesgo operativo como el de no estar en capacidad de cubrir los costos de operación; está asociado al incremento de los costos fijos de la empresa, a cambio de lo cual las utilidades antes de intereses e impuestos experimentan un decrecimiento superior al pronosticado por los mode-

los contables. El riesgo operativo es también “el riesgo de pérdida por el resultado de personas, sistemas y procesos internos fracasados o inadecuados o de eventos externos”. (Este concepto lo promueve el Grupo de Administración de Riesgos del Comité de Basilea de Supervisión Bancaria). Algunas de las pérdidas ocasionadas por los riesgos operativos se aprecian en la tabla 7.1.

Tabla 7.1 Relación pérdidas vs. posibles afectados.

Afectados	Pérdida inmediata	Pérdida progresiva o continua
Personas	Accidentes, sucesos repentinos que ocasionan lesión, invalidez o muerte.	Enfermedades, disminución de la capacidad laboral.
Equipos e instalaciones	Averías por golpes o movimientos telúricos.	Desgaste de elementos, oxidación. Subutilización de recursos.
Productos	Daños a forma, cantidad, estética y funcionalidad.	Desgaste de elementos, oxidación.
Naturaleza	Accidentes de tránsito con derrames.	La tala de árboles, vertimientos a ríos, rellenos sanitarios, contaminación.
Procesos	Paros en producción y en cadenas de abastecimiento. Disminución inmediata en la capacidad productiva de un sistema.	Cuellos de botella, tiempos improductivos, desechos.

Fuente: Elaboración propia.

La administración de los riesgos financieros y estratégicos es materia de libros que están enfocados en la temática de los estilos gerenciales y la administración económica de los negocios. El interés de este capítulo es enfocarse en los riesgos operativos que son los que generan pérdidas inmediatas en la administración de la producción, las operaciones y la cadena de abastecimiento. Sin embargo, no sobra aclarar que los riesgos financieros, estratégicos y operativos tienen una relación entre sí; por ello algunas gestiones utilizadas para administrar los riesgos operativos son aplicables en la administración de los riesgos financieros y estratégicos. Los riesgos operativos se generan por situaciones y eventos que tienen clasificaciones de diferente índole; una alternativa para tipificarlos se presenta a continuación.

Fenómenos naturales: Movimientos telúricos, erupciones volcánicas, deslizamientos, inundaciones, avalanchas, ventiscas, huracanes, truenos e incendios forestales.

Causas tecnológicas: Es el conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico (Real Academia Española, 2005). Es en la tecnología donde se identifican las causas principales de los accidentes; dichas causas “se suelen atribuir a alguno o a ambos de estos factores: ‘error humano’ o ‘fallo técnico’” (Manual de Seguridad en el Trabajo de la Fundación Mapfre), que generan

desviaciones en el funcionamiento de un sistema de trabajo, son disfuncionales. El error humano se relaciona con la actitud o el comportamiento del hombre en su puesto de trabajo; este error puede atribuirse a la modificación de un procedimiento, o a la eliminación de alguno de sus pasos. La falla técnica se relaciona con el defecto de un elemento, como la rotura de una pieza o la alteración del funcionamiento de los frenos de un tren; también la carencia de un procedimiento estandarizado puede considerarse una falla técnica.

Causas humanas: Manifestaciones, disturbios civiles, hurtos, secuestros, violaciones y terrorismo. Las causas tecnológicas y humanas se consideran antrópicas por ser de origen o consecuencia de las actividades del hombre.

Hasta el momento la investigación en busca de un sistema general de administración de todos los riesgos operativos causados por factores naturales, tecnológicos y humanos no arroja un resultado positivo, si bien existen modelos especializados como el control total de pérdidas, la norma OHSAS 18001, ISO 14000 y otros; el estándar australiano AS/NZS 4360: 1999 es una buena aproximación, pero no existe un modelo que organice toda la gestión necesaria para eliminar y/o controlar los riesgos en los trabajadores, clientes, equipos, instalaciones, productos, procesos y medio ambiente.

Teniendo definidos los conceptos de la pérdida y el riesgo y antes de abordar la temática a fondo, es importante nombrar algunas de las organizaciones que han promovido el desarrollo de la administración de riesgos operativos a nivel internacional. Estas son:

- ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Conferencia Americana de Higienistas Gubernamentales Industriales).
- ANSI (American National Standard Association, Asociación Americana de Estándares Nacionales).
- BSI (British Standards Institution, Instituto Británico de Estándares).
- CCS: Consejo Colombiano de Seguridad.
- DNV (Det Norske Veritas, La Verdad Noruega).
- Icontec: Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- ILCI (International Loss Control Institute, Instituto Internacional de Control de Pérdidas. Ya no existe, cedió parte de su tecnología a la DNV).
- ILO (International Labour Organization, OIT, Organización Internacional del trabajo).
- ISO (International Organization for Standardization, Organización Internacional para la Estandarización. ISO significa en griego "igualdad").
- NFPA (National Fire Protection Association, Asociación Nacional de Protección contra el Fuego).
- NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health, Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional).

- NSC (The National Safety Council, Consejo Nacional de Seguridad).
- OSHA (Occupational Safety & Health Administration, Oficina de Seguridad y Salud en el Trabajo).
- WHO (World Health Organization, OMS, Organización Mundial de la Salud).

A manera de resumen y comparación, en la tabla 7.2 se presenta cada una de dichas organizaciones con su contribución y cobertura en la administración de riesgos (AR).

Tabla 7.2 Organizaciones que contribuyen en la administración de riesgos.

Organización	Contribución a la AR	Cobertura
ACGIH	Genera anualmente límites permisibles de exposición a sustancias químicas y agentes biológicos.	EEUU
ANSI	Desarrolla normatividad técnica.	EEUU
BSI	Desarrolla normatividad técnica. Creó la norma BS-8800, predecesora de la OHSAS 18001.	Reino Unido
CCS	Realiza el congreso de seguridad, salud y ambiente anualmente.	Colombia y parte de Latinoamérica
DNV	Audita la gestión de la seguridad en sectores marítimo, petróleo y gases combustibles.	Europa y parte de Latinoamérica
Icontec	Desarrolla normatividad técnica y certificación en implementación de sistemas de gestión.	Colombia y parte de Latinoamérica
ILCI	Elaboró el modelo de "Control total de pérdidas".	EEUU
ILO (OIT)	Organiza el congreso mundial de seguridad y salud ocupacional cada tres años.	Internacional
ISO	Desarrolló las normas ISO 9000 versión 2000 e ISO 14000. Dichas normas llevan implícita la seguridad en los productos y la protección del medio ambiente.	Internacional
NFPA	Desarrolla normatividad técnica en prevención y control del fuego.	EEUU
Niosh	Investiga y promueve la prevención de enfermedades y accidentes de trabajo.	EEUU
NSC	Realiza el congreso y exposición del Consejo Nacional de Seguridad. Periodicidad anual.	EEUU
OSHA	Capacita y audita en normas técnicas.	EEUU
WHO (OMS)	Promueve la salud y la seguridad en el trabajo.	Internacional

Fuente: Elaboración propia.

¿CÓMO SE GENERA UNA PÉRDIDA?

En la actualidad existen muchos modelos que representan el proceso en el cual se genera una pérdida; describirlos en este capítulo puede ser dispendioso. Sin embargo, y para efectos de realizar una aproximación a los elementos principales de una gestión de riesgos, se adoptará una herramienta sistemática reconocida internacionalmente. Dicha herramienta es el proceso de causalidad de la pérdida (PCP), el cual fue estructurado por la ILCI en las décadas de los setenta y ochenta (Bird Jr. & Germain, 1990). El PCP partió de la teoría dominó (Heinrich, 1936) y se explica a continuación (ver figura 7.2).

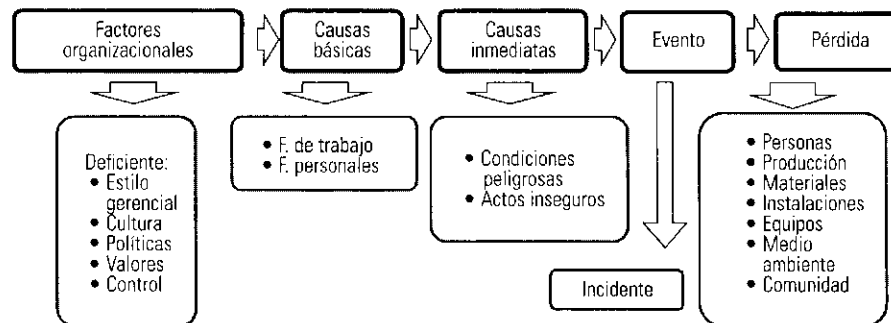


Figura 7.2 ¿Cómo se genera una pérdida?
Fuente: Adaptada de Bird Jr. & Germain (1990).

La explicación del proceso empieza de adelante hacia atrás. La pérdida se puede presentar en las personas, equipos, materiales, productos, procesos, producción, instalaciones o medio ambiente. La pérdida es generada por un evento, el cual es un incidente que no tiene control y se convierte en un peligro; es también un casi-accidente o contacto con una energía peligrosa, que puede ser potencial, cinética, rotatoria, de presión, eléctrica, de temperatura, combustión o radiación. El evento es generado por causas inmediatas, también llamadas causas directas, desviaciones o síntomas. Dichas causas se dividen en dos grupos:

El primero son los actos inseguros o los errores humanos, conocidos también como comportamientos o conductas subestándar; identifican la violación de una norma o procedimiento, la cual puede ser inducida por motivación, creencia o actitud. El segundo son las condiciones ambientales peligrosas o condiciones subestándar; se refieren a las condiciones de peligro presentes en los equipos, materiales o instalaciones; otra definición de las condiciones ambientales peligrosas son "los sucesos físicos directos" (Paul Swuste, investigador del Grupo de Ciencia de la Seguridad de la Universidad Politécnica de Delft, Holanda, 2006), que pueden ser condiciones o situaciones de origen tecnológico o natural.

Las causas inmediatas, sin incluir las naturales, se generan por causas básicas, también llamadas causas indirectas. Estas se dividen en dos grupos: El primero son los factores del trabajo, los cuales identifican la deficiencia o carencia de procedimientos operativos y administrativos en la organización; pueden reflejar la deficiente coordinación de recursos y gestión de personal. El segundo son los factores personales; estos se refieren a la vulnerabilidad mental, física y emocional del individuo. Las causas básicas se generan finalmente por factores organizacionales relacionados con la falta de control, como la carencia o deficiencia en el estilo gerencial, cultura, políticas y valores de la institución. Para una mayor comprensión de cuáles son las causas inmediatas y básicas de una pérdida, a continuación se listan algunos ejemplos de las mismas.

Causa inmediata - actos inseguros: Son errores humanos como levantar cargas de forma incorrecta, situarse en lugares peligrosos, poner en marcha sin autorización, no avisar previamente de la intervención crítica que se practica, no asegurar los dispositivos de corte en las reparaciones, retirar protecciones, utilizar equipos y materiales indebidos para trabajos concretos, gastar bromas pesadas, introducir bebidas alcohólicas y conducir sin autorización.

Causa inmediata - condiciones ambientales peligrosas: Son fallas técnicas como puntos de operación desprotegidos, deficiencia o falta de resguardos (barreras), material o herramientas defectuosas, aglomeración impropia de materiales, orden y limpieza deficientes, sistemas de avisos incorrectos o nulos, niveles excesivos de polvo, humos, gases y vapores, radiaciones y ruidos, ventilación e iluminación deficientes, fuentes de ignición en atmósferas, materiales peligrosos y falta de puestas a tierra.

Causas básicas - factores del trabajo: Dirección y/o supervisión inadecuada, deficiencia o carencia de identificación de peligros y estándar de seguridad, deficiente gestión de ingeniería, criterios de diseño inadecuados, compras inadecuadas, especificaciones incorrectas y mantenimiento deficiente.

Causas básicas - factores personales: Carencia de competencias exigidas por el perfil del cargo, autoestima y autocuidado bajos.

Según los investigadores, la mayor parte de los accidentes se deben a condiciones ambientales peligrosas y a la deficiente administración de los negocios. "Sólo el 15% de los problemas pueden ser controlados por los empleados, mientras que el 85% pueden ser controlados solamente por la administración" (William E. Deming y Joseph Moses Juran, décadas de los cincuenta y sesenta).

ANÁLISIS DE RIESGOS

El análisis de riesgos (*risk analysis*), también llamado análisis de seguridad (Lars Harms y Ringdahl, 2001), es una herramienta sistemática que sirve para identificar

y evaluar los riesgos con el fin de generar medidas de prevención, eliminación o control de los mismos. Las técnicas e instrumentos de análisis de riesgos son indispensables para la gestión eficiente de un sistema.

7.3.1. Modelos de análisis de riesgos

Existe un sinnúmero de modelos, metodologías y programas diseñados para el análisis de riesgos; algunos de ellos han recibido variaciones importantes con el fin de cumplir con las expectativas y objetivos de diferentes organizaciones. A continuación se presentan algunos de los métodos de análisis de riesgos más utilizados en el contexto industrial y comercial.

Análisis preliminar de riesgos (*preliminary hazard analysis*, PrHA, Nigel, 2003): El hecho de hacer una identificación preliminar de riesgos significa hacer un análisis general de los riesgos que pueden producir pérdidas; es el objetivo principal de este modelo. Consiste en identificar las pérdidas que se producen en los materiales, procesos y servicios auxiliares, además de las pérdidas externas, a la comunidad y al medio ambiente, iniciadas por las condiciones de los materiales, procesos y servicios auxiliares.

What if?: Trata de identificar riesgos mediante la generación de preguntas relacionadas con sucesos o eventos que pueden ocurrir; dichas preguntas parten de enunciar “¿Qué ocurriría si...?”. Los interrogantes se completan con las fallas de los equipos o los errores humanos que se puedan presentar en un momento determinado. Un formato ideal para aplicar este método tendría las siguientes columnas:

- ¿Qué pasaría si...?
- Consecuencias.
- Recomendaciones.

Lista de chequeo (Check list): Consiste en verificar mediante la observación y entrevista el cumplimiento de estándares de seguridad preestablecidos con anterioridad en un formato. Dicha verificación se realiza en una tabla, que debe tener como mínimo las siguientes columnas:

- Estándar de seguridad.
- Cumple totalmente.
- Cumple parcialmente.
- No cumple.
- No aplica.
- Observaciones.

Al final del formato se establece el plan de trabajo, con sus responsables y fechas de cumplimiento, para corregir las no conformidades detectadas en la inspección.

Hazop: Significa estudio de la operatividad y los riesgos (*hazard and operability study*, Nolan, 1994). Se utilizó por primera vez para identificar riesgos en áreas críticas (Organización Imperial Chemical Industries, 1963) y posteriormente fue formalizado. Consiste en identificar las desviaciones en el material o variables de procesos como caudal, presión, temperatura, composición, viscosidad y radioactividad, entre otras. Su aplicación se puede dar en un sistema, proceso productivo o maquinaria mediante la utilización de 7 palabras clave (véase la tabla 7.3 y en las tablas 7.4 y 7.5 otras variantes de esta herramienta).

Tabla 7.3 Listado de palabras clave, método Hazop.

Palabras clave	Significado
No	Ausencia del material o variable
Más	Aumento del material o variable
Menos	Disminución del material o variable
Inverso	Se invierte el sentido de la variable
Parte de	Variación en algún compuesto de una mezcla
Además de	Adición de un elemento no esperado
Otro que o diferente de	Variaciones en actividades distintas al normal funcionamiento

Fuente: Adaptada del método Hazop (Nolan, 1994).

El método Hazop es tal vez una de las herramientas de análisis de riesgos más utilizadas a nivel mundial. No solamente ha sido aplicado en el sector químico, también se ha logrado una excelente aplicación en el sector de alimentos, específicamente en la aplicación de BPM (buenas prácticas de manufactura).

Tabla 7.4 Claves para análisis del manejo de la información según método Hazop.

Palabras clave en información	Significado
Demora	Información tardía
Incompleta	Falta información
No	Ausencia de información
Más	Información excesiva
Incorrecta	Información diferente

Fuente: Nolan (1994).

Tabla 7.5 Claves para análisis del comportamiento humano, método Hazop.

Palabras clave en comportamiento	Significado
No	No realizar un procedimiento
Tardía	Realización tardía
Incompleta	No realizar pasos en el procedimiento
Incorrecta	Realizar un procedimiento no estandarizado

Fuente: Nolan (1994).

Un formato ideal para aplicar este método tendría las siguientes columnas:

- Palabra clave.
- Desviación.
- Causa de la desviación.
- Consecuencia de la desviación.
- Acciones recomendadas.

JSA (*job safety analysis*, análisis de seguridad de tareas, AST, Bird Jr. & Germain, 1990): Este método fue desarrollado por la ILCI, en él se destaca la identificación de riesgos en las labores, tareas, trabajos u oficios humanos. Inicialmente se identifican en un grupo las tareas críticas, es decir, se determina cuáles son los oficios que pueden generar accidentes graves o mortales; posteriormente, por cada tarea crítica se realiza la descripción de los pasos que la componen y por cada paso se identifican los peligros y qué tan eficientes son las características del paso o actividad para mitigarlos; finalmente, se determinan las medidas de prevención y/o control de los riesgos.

Los peligros identificados con este método son los que pueden ocasionar accidentes o enfermedades laborales, daños en el producto, contaminación hacia el medio ambiente y trastornos de los procesos, como paros de producción o cuellos de botella. Los cuatro aspectos que vigila este método son la seguridad, la calidad, el medio ambiente y la eficiencia de los procesos.

El análisis de seguridad de tareas pretende desarrollarse en ambientes participativos, donde los trabajadores involucrados con la tarea apoyan las labores de identificación de riesgos y proponen una lluvia de ideas para prevenir y/o controlar los peligros. Este método impulsa la estandarización de procedimientos que en un futuro pueden respaldar la certificación de las organizaciones en sus sistemas de gestión de calidad, medio ambiente, seguridad y salud ocupacional.

FMECA (*failure modes, effects and criticality analysis*, análisis de modos de fallos, efectos y criticidad, Dhillon, 2003): Este método es una variación del FMEA (análisis de modos de fallos y efectos), en la cual se agrega la evaluación de la criticidad de

los riesgos. Consiste en listar los componentes y equipos de un sistema productivo, luego se identifican las fallas de dichos componentes con sus efectos (consecuencias), después se realiza un análisis de criticidad, el cual se obtiene calificando la gravedad y la probabilidad (ver tabla 7.6). Finalmente, se ubica la relación de la gravedad y la probabilidad en un cuadro como el de la figura 7.3. La ubicación determina la prioridad:

- El fallo ubicado en la franja roja se considera de nivel de riesgo muy elevado.
- El fallo ubicado en la franja amarilla se considera con nivel de riesgo alto.
- El fallo ubicado en la franja verde se considera con nivel de riesgo medio y bajo.

Tabla 7.6 Criterios para el análisis de criticidad.

Calificación	Gravedad	Probabilidad
1	Despreciable	Extremadamente baja
2	Daños ligeros a la instalación	Muy poco frecuente
3	Peligro daños personales y de instalación	Poco frecuente
4	Daños graves en la instalación	Bastante posible
5	Daños graves en sistema	Frecuente
6	Daños graves sobrepasan el sistema	Muy frecuente

Fuente: Dhillon (2003).

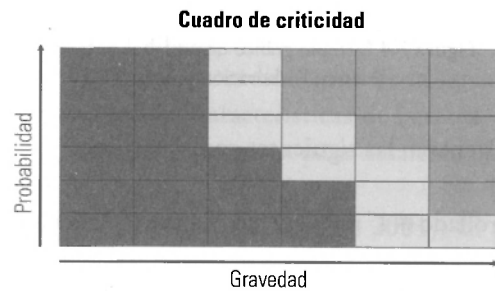


Figura 7.3 Relación gravedad vs. criticidad, método Fmeca.

Fuente: Dhillon (2003).

FTA (*fault tree analysis*, análisis del árbol de fallas. Haimes, 2004): Este método fue creado por *Bell Telephone Laboratories* para evaluar las condiciones de seguridad en los sistemas de misiles ICBM Minuteman (Watson, 1962), como parte de un contrato con la fuerza aérea de los Estados Unidos de América. Esta técnica se utiliza ampliamente en sectores como la industria nuclear, aeronáutica y espacial. El evento catastrófico presentado en Chernóbil fue evaluado con esta técnica.

La metodología se inicia identificando un suceso o evento no deseado real o potencial, el cual puede ser un accidente (*top event*) o el fallo en un equipo; partiendo de este se realiza un análisis hacia atrás para identificar la cadena de sucesos que produjeron, de esta manera se pueden identificar las combinaciones posibles de sucesos que llevan directamente al evento no deseado; el análisis se representa en un gráfico con símbolos estandarizados, para facilitar el proceso deductivo se utilizan compuertas “Y” si se suman eventos y compuertas “O” si se determinan alternativas. Una representación gráfica de un árbol de fallos se muestra en la figura 7.4.

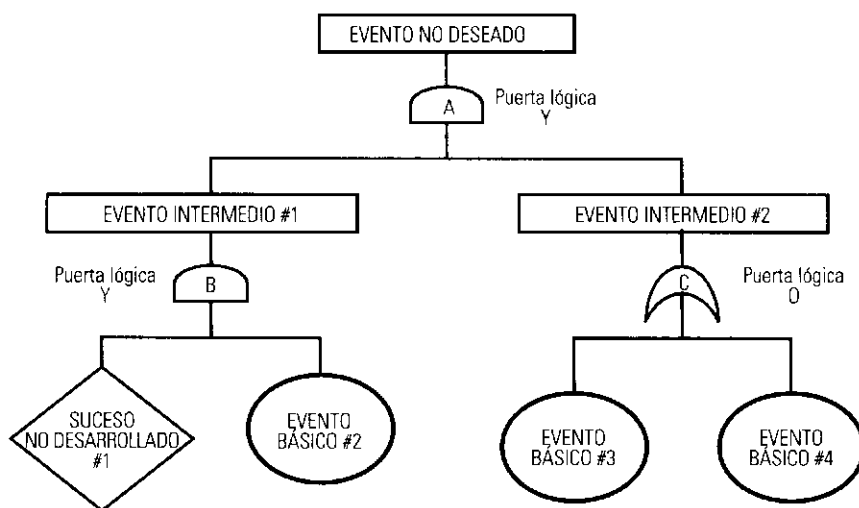


Figura 7.4 Ejemplo gráfico de un árbol de fallos.
Fuente: Elaboración propia.

Con el análisis se generan las siguientes combinaciones:

- “Suceso no desarrollado # 1” más “Evento básico # 2” más “Evento básico # 3”, es decir 1-2-3.
- “Suceso no desarrollado # 1” más “Evento básico # 2” más “Evento básico # 4”, es decir 1-2-4.

Al determinar las combinaciones posibles, finalmente se procede a definir cuáles deben ser las medidas de prevención y control a implementar en el futuro.

A manera de resumen y comparación, en la tabla 7.7 se presentan cada uno de los métodos de análisis de riesgos antes mencionados con su aplicabilidad en las diferentes áreas de la organización.

Tabla 7.7 Métodos de análisis de riesgos y áreas de aplicación.

Método	Área de aplicación
Análisis preliminar de riesgos	Prediagnóstico de riesgos en las áreas generales de la organización.
¿What if...?	Prediagnóstico de riesgos en las áreas generales de la organización.
Check list	Verificación del funcionamiento de vehículos y equipos en general.
Hazop	Equipos para transporte, mezcla y modificación de alimentos y sustancias químicas.
JSA (AST)	Labor, oficio o tarea de un trabajador.
FMEAC	Diagnóstico específico y priorizado de riesgos en puestos de trabajo.
FTA	Investigación de accidentes, fallas en maquinarias, equipos y vehículos de transporte.

Fuente: Elaboración propia.

Estos modelos pueden utilizarse en todas las etapas de un proyecto, desde su diseño hasta su implementación y mejoramiento continuo. Existen muchos otros métodos de igual importancia técnica, pero su difusión en los medios no ha sido óptima, por ello no se describen en este libro. Sin embargo, a continuación se nombran algunos con las fuentes de información:

ETA (*event tree analysis*, Análisis árbol de sucesos. Ayyub, 2003): Consiste en determinar por medio de un esquema en cadena las consecuencias de un accidente o fallo real potencial de un sistema.

HRA (*human reliability assessment*, análisis de fiabilidad humana. Kirwan & Kirwan, 1994): Este método analiza la relación entre las acciones humanas, los errores de comportamiento y los procedimientos de la tarea. La información requerida para dicho análisis son las características de la tarea, el individuo, factores sicolaborales y técnicos, medios alternativos para desarrollar la tarea y las posibles consecuencias de los errores.

Análisis de energía (Lars Harms y Ringdahl, 2001): El proceso inicia con la identificación de las posibles energías internas o externas del sistema, como son la potencial, cinética, presión, movimientos rotatorios, electricidad, temperatura, química y radiaciones. Posteriormente, se evalúan y determinan cuáles energías son peligrosas, con riesgo medio, aceptables o tolerables. Finalmente, se establecen las medidas de seguridad a implementar.

Análisis de desviaciones (Lars Harms y Ringdahl, 2001): Similar al Hazop, utiliza el análisis de las variables involucradas en el sistema, y por cada una de ellas estudia cuáles de sus comportamientos pueden alterar el normal funcionamiento del proceso.

MORT (*management oversight risk tree*, técnicas de gestión para analizar riesgos por el descuido humano. Manuele, 2003): Mediante la construcción de un árbol de relaciones se establece cuáles son las posibles causas de un accidente real o potencial; los factores a tener en cuenta en este método son los intereses y la motivación del individuo, las posibles omisiones y descuidos, los riesgos asumidos y las debilidades de la dirección general ya sean administrativas u operativas.

SMORT (*safety management and organization review technique*, técnica de gestión de seguridad y revisión organizativa. Kjellén y Tinmannsvik, 1989): Esta técnica es inductiva; partiendo de una situación específica de riesgo, peligro o accidente, se realiza un análisis en cuatro niveles: el primero es la secuencia de los eventos que finalmente resultan en la situación específica. El segundo es el conjunto de estrategias y tácticas organizacionales y factores técnicos involucrados en la situación mencionada. El tercero es el diseño de nuevos sistemas para evitar el riesgo, peligro o accidente. El cuarto y último son las funciones superiores de la organización que influyen sobre la prevención de riesgos. Las conclusiones obtenidas en el análisis de un nivel se extienden a los niveles superiores.

THERP (*technique for human error rate prediction*, técnica para la predicción de porcentajes de error humano. British Psychological Society, 1988): Técnica desarrollada por Swain y Guttmann (1983), su aplicación es similar al HRA (*human reliability assessment*). La implementación se da en cinco etapas: definición de los fallos humanos en el sistema; análisis de las operaciones humanas requeridas; estimación de las probabilidades de error; estimación de los sucesos y efectos del error; cambios y medidas a implementar.

SISTEMAS DE GESTIÓN DE RIESGOS

Muchas organizaciones han estudiado y diseñado estándares, guías técnicas, normas, programas y sistemas de gestión enfocados, ya sea en su objetivo general o en alguno de sus objetivos específicos, en la prevención y el control de los riesgos operativos. Algunos de estos modelos se presentan a continuación.

El control total de pérdida (*total loss control*, TLC)¹ es un conjunto de técnicas para la prevención de accidentes, enfermedades, incendios, daños a equipos y a la propiedad. Su objetivo es implementar un sistema operacional encargado de administrar, identificar, investigar y analizar todos los sucesos que producen pérdidas, tanto en las organizaciones como en la comunidad en general.

¹ Diseñado por *International Loss Control Institute* (ILCI) en 1969. Actualmente la organización DNV (La Verdad Noruega – *Det Norske veritas*) forma y audita en la implementación del control de pérdidas a nivel mundial.

En la década de los ochenta se desarrolló el mantenimiento productivo total (*total productive maintenance*, TPM)², cuyo objetivo final es prevenir las pérdidas mediante la implementación de procedimientos que logren cero defectos, fallas y accidentes. Su lema es: “*El buen funcionamiento de las máquinas o instalaciones depende y es responsabilidad de todos*”. Las pérdidas ocurren en materiales, mano de obra, maquinaria, equipo y en la energía.

A mediados de la misma década se registró por primera vez el sistema seguridad en el trabajo por la observación preventiva (STOP)³; esta herramienta sirve para implementar programas de seguridad enfocados en factores críticos de éxito como políticas, estándares, auditorías, investigación de incidentes y accidentes, capacitación y niveles de responsabilidad.

A finales de los ochenta y principios de los noventa se empezaron a desarrollar las buenas prácticas de manufactura (BPM), reconocidas como uno de los pilares fundamentales para alcanzar el objetivo de la seguridad en los alimentos y productos farmacéuticos. Son normas, procedimientos y principios sanitarios y de higiene que regulan los establecimientos que procesan, preparan, transportan y entregan alimentos o medicamentos, de tal manera que los mismos sean aptos para el consumo humano. En las BPM se incluye la higiene personal, la limpieza y desinfección, las normas de fabricación, equipo e instalaciones, control de plagas y el manejo de bodegas.

En septiembre de 1996 se aprobó la norma ISO 14000 (*environmental management systems*, sistemas de administración ambiental, desarrollada por la organización ISO). Esta norma exige a las organizaciones lograr un control en sus actividades, productos o servicios sobre el medio ambiente, resalta la importancia de fijar y aplicar políticas y objetivos ambientales en busca de cumplir con la legislación, los convenios internacionales y otras medidas que promueven la protección del medio ambiente. Dicha norma en su totalidad tiene implícitamente soportada la prevención y el control de las pérdidas en el medio ambiente. La ISO 14000 heredó conceptos tratados en la norma BS-7750 (norma británica para la evaluación del impacto ambiental, 1994).

En el año de aprobación de la ISO 14000 se creó la norma BS-8800, guía británica para implementar sistemas de administración en organizaciones que buscan integrar la seguridad y la salud ocupacional en el manejo de otros aspectos como son la minimización de los riesgos a empleados y otros, mejoramiento de la ejecución del negocio y la promoción de una imagen responsable dentro de los mercados.

Igual que la anterior norma, en 1996 se presentó la norma española SGRL UNE 81900 (guía española del ministro de Trabajo y Asuntos Sociales de España), la cual establece el desarrollo de un sistema de gestión en prevención de riesgos laborales.

² Esta técnica fue registrada por *Japan Institute of Plant Maintenance*. (JIPM).

³ Herramienta diseñada por la transnacional Du Pont en 1986.

Para finales de la década de los noventa se adoptó a nivel internacional la norma OSHAS 18001 (*occupational safety and health administration systems*, sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional, 1999). Fue desarrollada con base en la BS-8800; entre las organizaciones que ayudaron a su creación están: Bureau Veritas Quality International (Francia), National Standards Authority of Ireland, Standards Australia, Lloyds Register Quality Assurance (USA), South African Bureau of Standards, British Standards Institution, Standards and Industry Research Institute of Malaysia-Quality Assurance Services, Det Norske Veritas (Noruega), SFS Certification, SGS Yarsley International Certification Services, Asociación Española de Normalización y Certificación, International Safety Management Organization Ltd., International Certification Services. En la actualidad es la norma de mayor aceptación mundial para diseñar e implementar sistemas de administración en seguridad y salud ocupacional.

Igualmente a finales de los noventa se creó la AS/NZS 4360 (Estándar de Australia y Nueva Zelanda, 1999). Es un estándar que sirve de guía para establecer e implementar un proceso de administración de riesgos, involucra la identificación, análisis, evaluación, tratamiento, comunicación y monitoreo de los riesgos. La metodología presentada en dicha guía es secuencial, lo que facilita la toma de decisiones y el mejoramiento continuo; es aplicable en cualquier etapa, actividad, operación, logística, función o proyecto de la organización. El estándar resalta la importancia de identificar todos los riesgos; este concepto va más allá de la salud ocupacional, pues identifica y trata también los riesgos en las instalaciones, los materiales y el medio ambiente. La administración de riesgos es reconocida como una parte integral de las buenas prácticas gerenciales.

En el año 2000 se presentó la norma ISO 9000 (*quality management systems*, sistemas de gestión de calidad, SGC, estándar creado inicialmente en 1994 y modificado en el año 2000 por la organización ISO) mejorada; es el estándar que determina cuáles deben ser los factores que conforman la administración de responsabilidades, procesos, recursos y mejoras que garantizan los niveles continuos de la calidad de los productos o servicios proporcionados al cliente, con el fin de satisfacer sus necesidades. Este estándar contempla en sus requisitos, específicamente en sus numerales 6.4, 7.5.4, 7.5.5 y 7.3.3 ítem d, las obligaciones que la organización debe tener para proteger el producto suministrado, además de asegurar que este no ocasione daños en los bienes y la salud del cliente.

Un año después de salir al medio la ISO 9000 versión 2000 se crea la guía ILO-OSH (*guidelines on occupational safety and health management systems*, directrices de los sistemas de gestión de la seguridad y la salud en el trabajo, guía desarrollada por la Organización Internacional del Trabajo, OIT), que determina cuáles deben ser los criterios o factores para administrar programas o actividades encaminadas a la prevención de los accidentes y las enfermedades en los trabajadores.

Finalmente, en el año 2005 se crea la ANSI/AIHA Z10 (*american national standard occupational health and safety management systems*, sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional, norma técnica desarrollada en los Estados Unidos de América). Proporciona las directrices para la mejora de salud y seguridad de los trabajadores, integra sus fines con la productividad, el funcionamiento financiero, la calidad y otros objetivos de organización y de negocio.

Los modelos, normas, estándares o programas enunciados anteriormente poseen factores comunes relacionados con la administración de riesgos, los cuales pueden prevenir o controlar los eslabones expuestos en el PCP (proceso de causalidad de la pérdida). En la figura 7.5 se listan dichos factores comunes, también llamados elementos de intervención, para cada uno de los eslabones del PCP.

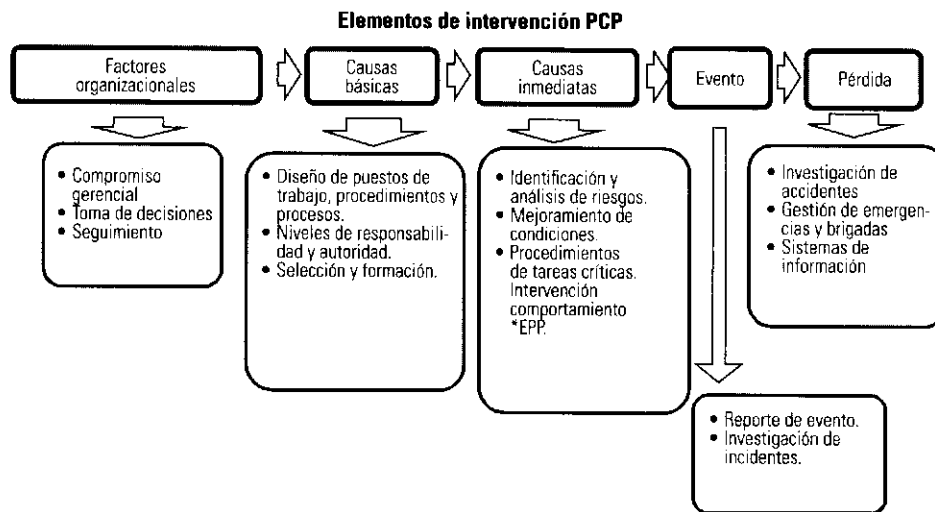


Figura 7.5 Factores de intervención en el proceso de causalidad de la pérdida.

Fuente: Elaboración propia.

Cuando suceden las pérdidas, se deben generar procedimientos de investigación de accidentes, gestionar las emergencias y recolectar la información para llevar la estadística y la caracterización de los accidentes. Las causas inmediatas se intervienen con la identificación y el análisis de los riesgos, el mejoramiento de las condiciones de trabajo, los procedimientos para tareas de alto riesgo, la intervención de los comportamientos y la utilización de elementos de protección personal.

Las causas básicas pueden intervenir con el diseño de puestos de trabajo, procedimientos operativos seguros, procesos de selección y entrenamiento y la determinación de los niveles de responsabilidad y autoridad frente a la implementación de la gestión de riesgos. Los factores organizacionales y la falta de control se intervienen siempre y cuando exista un compromiso gerencial que se refleje en el seguimiento

y la toma de decisiones frente a la seguridad. En el argot de las instituciones que trabajan la seguridad se define la taxonomía de la prevención según el eslabón de PCP del cual se deriva. A continuación se explica dicha taxonomía (ver figura 7.6).

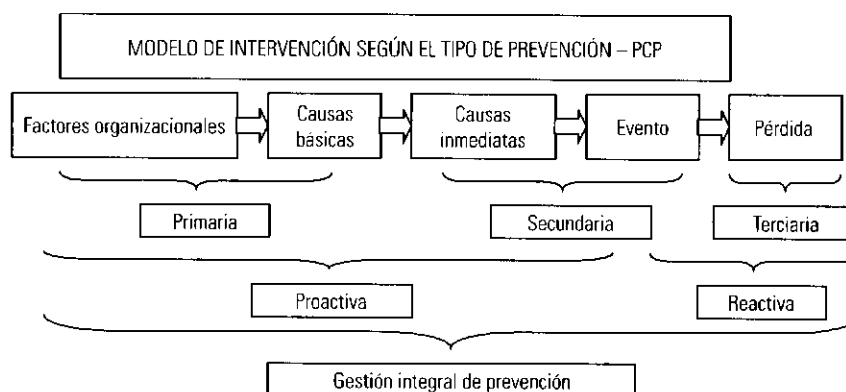


Figura 7.6 Taxonomía de la prevención a partir del proceso de causalidad de la pérdida.

Fuente: Análisis de PCP de la ILCI.

La prevención terciaria o reactiva parte de la pérdida. La prevención secundaria parte de identificar las causas inmediatas. La prevención primaria parte de identificar los factores organizacionales y las causas básicas. La prevención proactiva es la unión de la prevención primaria y la secundaria. La prevención integral es la unión de la prevención reactiva con la preventiva proactiva. Las organizaciones que inician en seguridad generalmente lo hacen implementando la prevención terciaria. En la medida que las políticas y la cultura organizacional integran la seguridad con el autocuidado como parte de sus valores y principios institucionales, el desarrollo de la administración de riesgos tiende hacia la prevención primaria, la cual es la más importante, pues de ella se derivan la secundaria y la terciaria.

7.5 Modelo de gestión de riesgos

Como puede deducirse de los conceptos básicos de la administración de riesgos, el proceso que genera una pérdida, los métodos de análisis de riesgo y las técnicas desarrolladas por las distintas organizaciones donde es constante prestar atención a factores como políticas organizacionales, indicadores de gestión, procesos de identificación de riesgos, procedimientos operativos estandarizados y procesos de reingeniería y modificación de tecnologías, existen elementos comunes que pueden contribuir en el diseño de un sistema de gestión de riesgos operativos genérico.

A continuación se presenta una propuesta, de autoría propia, donde se ilustra un sistema de gestión de riesgos (*risk management*), en el cual se presentan los factores comunes extraídos de los diferentes modelos, normas, estándares y programas enunciados anteriormente, para lo cual se toma como base el PHVA (planear, hacer, verifi-

car y actuar, también llamado por diferentes autores y organizaciones ciclo de gestión, ciclo de mejoramiento continuo, ciclo Deming y ciclo Shewhart). (Ver figura 7.7). Un aspecto clave en cualquier modelo de gestión de riesgos es el sistema de gestión de emergencias o administración de emergencias, que aunque apunta a la prevención terciaria, su importancia resulta relevante cuando existen peligros que son difíciles o imposibles de prevenir como son los fenómenos naturales y el riesgo público.

Administración de emergencias (emergency management)

La estructura organizacional típica requiere una expansión del papel de la gerencia en la respuesta ante las crisis (Sikich, 1997); son estas las que se consideran emergencias, situaciones reales que alteran el equilibrio o normal funcionamiento de una organización y que requieren una acción inmediata, pues el tiempo es uno de los activos más valiosos cuando se presenta una crisis. El sistema de administración de emergencias se debe convertir en una parte de hacer negocios y no en un accesorio de los mismos; debe encasillarse en un proceso de mejoramiento continuo.

Las emergencias son situaciones provocadas por hechos no deseados que se producen durante el funcionamiento de un sistema, requieren una acción inmediata para eliminar, reducir o controlar sus consecuencias; pueden ser internas o externas (Burriel, 1999): las primeras son crisis que tienen influencia negativa solo en los recursos y procedimientos de la organización, mientras que las emergencias externas son situaciones naturales o antrópicas que desestabilizan el equilibrio en el funcionamiento del entorno y por supuesto tienen influencia en la organización.

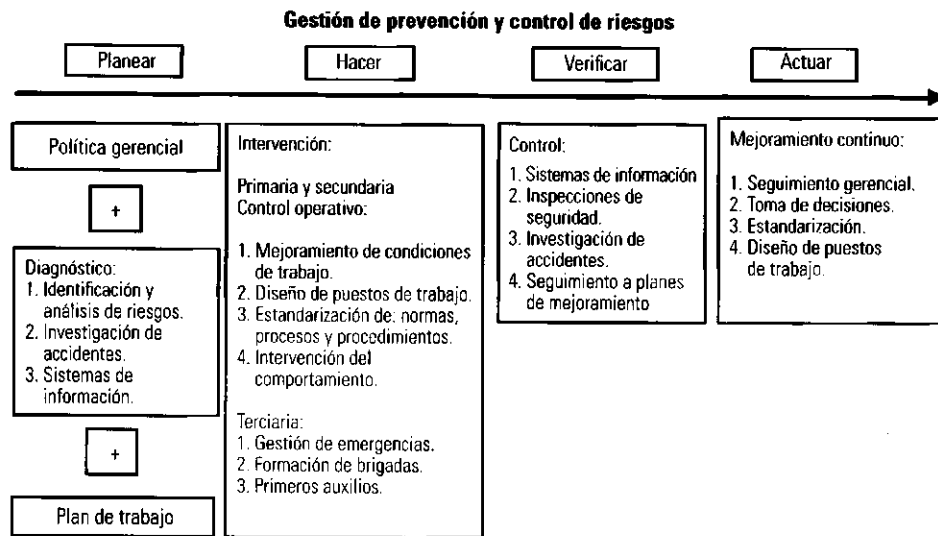


Figura 7.7 Elementos principales de un sistema de gestión de riesgos operativos.

Fuente: Elaboración propia a partir del ciclo PHVA.

Para efectos de aplicación y del contexto en el cual se desarrolla el presente capítulo, a continuación solo se hace énfasis en sistemas de emergencia propios de la organización. Algunas de las instituciones que promueven el desarrollo de sistemas de gestión de emergencias (SGE) se describieron inicialmente en este capítulo; sin embargo, hay que resaltar la gestión de otras organizaciones que de igual forma aportan a dicha temática como la NASA (National Aeronautics and Space Administration - Administración Nacional Aeronáutica y Espacial de los Estados Unidos de América), la Cruz Roja, los Cuerpos de Bomberos, la BP (British Petroleum) y las empresas petroleras dedicadas a la explotación en alta mar.

A lo largo del siglo XX y principios del XXI, las instituciones de prevención y control de emergencias han elaborado un sinnúmero de modelos, procedimientos, normas y estándares para enfrentar las contingencias. En el XVIIth World Congress on Safety and Health at Work (evento organizado por la OIT, celebrado en Orlando, Florida, 2005) se presentó el modelo FABE (flujogramas para la administración básica de emergencias), de autoría propia; en él se exponen los elementos principales necesarios para enfrentar una crisis operativa o una emergencia interna.

El FABE es una herramienta administrativa para diseñar, implementar y controlar la gerencia de las emergencias con base en la utilización de flujogramas. No pretende reemplazar, eliminar o modificar elementos existentes en la actualidad, como métodos, herramientas, temáticas, procesos y tecnologías, que contribuyen al desarrollo de programas y actividades con los cuales una organización se enfrenta a una emergencia. Su objetivo principal es integrar todos los elementos, para facilitar el manejo de la información y la toma de decisiones en cada una de las etapas de una emergencia.

Se aplica en todas las fases del proceso de gestión (ver figura 7.8), su utilización consiste en recorrer cada una de las etapas del flujograma central (figura 7.9), del cual se derivan procedimientos alternos que permiten ir dando cumplimiento a cada uno de los aspectos incluidos en la administración de las emergencias, con el fin de tomar decisiones para optimizar los procedimientos, recursos y las competencias de las personas involucradas en la prevención y control de todo tipo de amenazas.

FABE maneja información, imágenes, secuencias y asociaciones en busca de generar ideas concretas, las cuales son la base de la gestión en la administración de recursos, la reducción de pérdidas y la conservación del normal funcionamiento de una organización. Las entradas de un sistema de administración de emergencias se centran en los procedimientos y recursos con los cuales cuenta la organización para enfrentar las emergencias, la historia de las emergencias anteriores y la identificación de amenazas.

El producto de un buen sistema de administración de emergencias es la protección de las personas, equipos, productos y medio ambiente, lo que lleva a generar una cultura en seguridad. Los indicadores de gestión de la administración de emergencias pueden ser variables que midan el desarrollo de simulacros, cobertura, pérdidas reales y potenciales cuantificadas y la capacidad de respuesta de la organización.

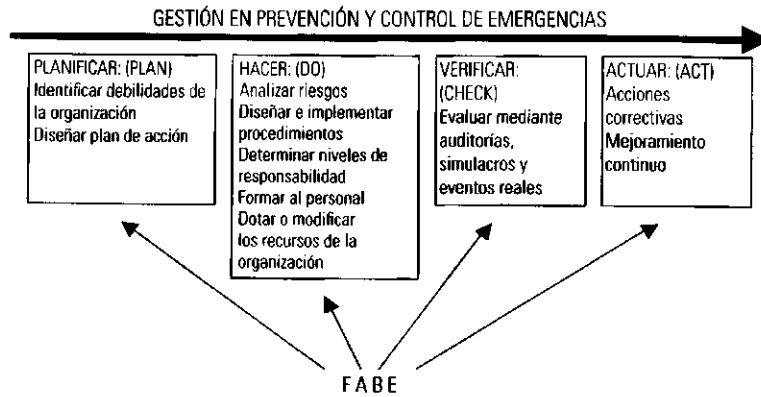


Figura 7.8 Gestión de emergencias con base en el ciclo PHVA.
 Fuente: Elaboración propia.

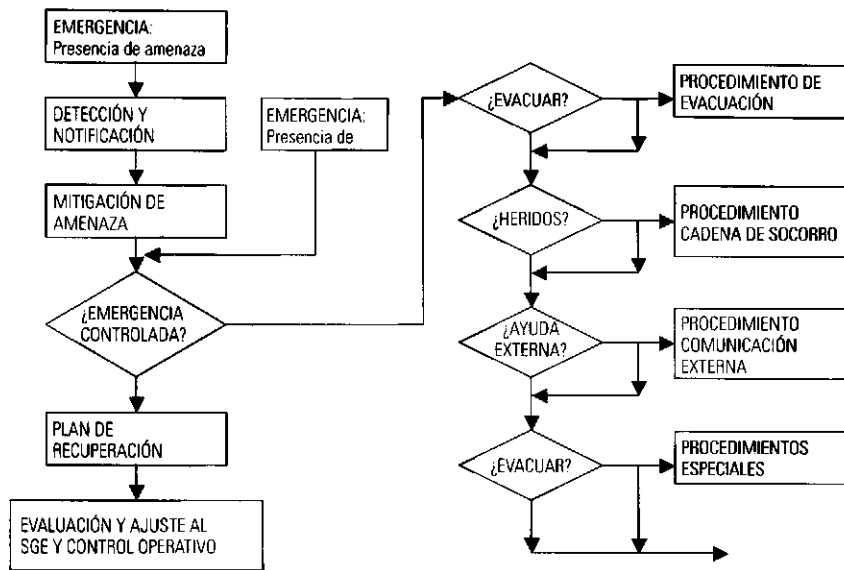


Figura 7.9 Secuencia de eventos en una emergencia.
 Fuente: Elaboración propia.

ADMINISTRACIÓN DE LOS RIESGOS LOGÍSTICOS

Retomando los conceptos mencionados en los anteriores capítulos, se puede referir de manera general a la logística básica como la etapa, fase, proceso o parte de la cadena de abastecimiento encargada de la gestión de la efectividad en el almacenamiento y transporte de bienes, información o energía entre dos puntos. Un concepto de

punta es la logística integrada (Prida & Gutiérrez, 1996), la cual busca administrar de manera efectiva la relación proveedor-empresa-cliente; es en este sistema donde se aprecia la aplicación de métodos y modelos gerenciales que buscan la eficiencia en la utilización de recursos y la eficacia en la entrega de productos. Allí se pueden identificar los diferentes factores que tienen la capacidad de obstaculizar o alterar el normal funcionamiento de un sistema; a dichos factores se les llama peligros, riesgos o pérdidas operativas de la logística.

Hablar de la problemática generada por los riesgos logísticos merecería desarrollar todo un proyecto que exigiría la exposición de conceptos en un texto guía para el cumplimiento de una asignatura en pregrados y/o posgrados en alguna universidad, objetivo que no pretende cumplir el presente capítulo. Sin embargo, es procedente realizar una aproximación mediante la investigación de las tendencias mundiales en la temática de la administración de riesgos logísticos.

La historia de la seguridad en la cadena de abastecimiento presenta a las organizaciones responsables del transporte marítimo y aéreo como las pioneras en esta temática, pero no se demerita la gestión desarrollada por las organizaciones que manipulan sustancias químicamente peligrosas, incluyendo el sector petrolero.

En el transporte marítimo se tiene a la DNV, pionera en la implementación de servicios de auditoría en la construcción y mantenimiento de navíos; inicialmente su gestión fue en los territorios de Noruega, hoy por hoy su servicio se extiende a nivel internacional y tiene sedes en más de 100 países en el mundo. Existe también la IMO (International Maritime Organization u OMI: Organización Marítima Internacional), único organismo especializado de las Naciones Unidas con sede en el Reino Unido. Actualmente lo conforman representantes de más de 150 países, se reúne cada dos años y tiene como su función principal adoptar convenios, protocolos y códigos para contribuir a la seguridad marítima y a la prevención de la contaminación ambiental.

En el transporte aéreo se tiene a la FAA (Federal Aviation Administration, Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos de América), que es responsable por la seguridad y las regulaciones de la aviación, desarrolla e implementa sistemas de control del tráfico en el espacio aéreo. La AESA (Agencia Europea de Seguridad Aérea), que promueve proyectos con conocimientos técnicos en todos los campos de la seguridad de la aviación civil para ayudar a las instituciones, crear disposiciones legales y aplicar la seguridad de los productos aeronáuticos. En el transporte aéreo también existe la ICAO (*International Civil Aviation Organization* u OACI: Organización de la Aviación Civil Internacional), creada en 1944 con el fin de asegurar y facilitar los viajes en avión de un país a otro. La OACI establece normas y regulaciones internacionales necesarias para garantizar la seguridad, eficiencia y regularidad del transporte aéreo, en esta organización participan más de 150 países, es un organismo técnico especializado de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), su sede se encuentra en Montreal, Canadá.

En el sector químico existen organizaciones que promueven el desarrollo de modelos de gestión para el excelente transporte, manipulación y almacenamiento de los productos, entre ellas está la Feique (Federación Empresarial de la Industria Química Española), el Cefiq (Consejo Europeo de Federaciones de la Industria Química), la ANIQ (Asociación Nacional de la Industria Química Mexicana), la AQA (Asociación Química Argentina), la Asquimco (Asociación Química Colombiana) y la ICCA (*International Council of Chemical Association*, Consejo Internacional de la Industria Química). Estas organizaciones tienen entre sus aspectos comunes los lineamientos y principios para establecer un sistema de administración de riesgos enfocado en la seguridad, la salud y la protección del medio ambiente. Dichos principios se resumen en 6 puntos a implementar dentro de cualquier organización logística:

1. *Política general*: Compromiso de la organización frente a la prevención y el control de los riesgos.
2. *Mejoramiento continuo (continuous improvement)*: Promover la evolución continua de los proyectos de seguridad. Apoyar continuamente las labores de investigación en desarrollo de tecnologías para la prevención y control de los riesgos.
3. *Responsabilidad a todo nivel*: La seguridad debe ser responsabilidad de todas las personas, áreas y procesos de la organización.
4. *Integración con clientes y contratistas*: La organización debe suministrar la información de los riesgos y las medidas de protección a sus contratistas y clientes.
5. *Divulgación de riesgos y medidas de protección*: Incluir en la divulgación al personal interno de la empresa y a las autoridades competentes.
6. *Manejo de residuos*: Diseñar e implementar procedimientos para la recolección y reutilización de residuos generados no solo en los procesos, sino también en las labores de almacenamiento, manipulación y transporte de mercancías.

Los riesgos logísticos afectan a la empresa, a los trabajadores, al medio ambiente, a la comunidad y al cliente final. En este último se presentan las siguientes pérdidas:

1. El producto llega incompleto.
2. La mercancía llega con especificaciones diferentes a las demandadas.
3. La mercancía llega tarde.
4. La mercancía nunca llega.

En otras palabras, las pérdidas en la entrega del producto al cliente final están enmarcadas en la deficiencia parcial o total de tres factores: calidad, cantidad y tiempo de entrega. Los elementos de la cadena de abastecimiento que pueden ser alterados y que finalmente afectan al consumidor final generándole las pérdidas antes men-

cionadas son: producción, almacenamiento, empaque, embalaje, cargue, despacho, transporte, descargue y recepción. Estos elementos son susceptibles de enfrentar problemas, que pueden ser causados por cada una o la combinación de las causas naturales y antrópicas (tecnológicas y humanas).

Las causas naturales son fenómenos que, aunque difíciles de prevenir, es probable que sus efectos se controlen y/o mitiguen con planes de contingencia (*emergencias management*), tema que ya se trató en este capítulo. Las causas antrópicas en la cadena de abastecimiento son generadas por las actividades humanas; pueden ser: los paros en el proceso, averías en equipos e instalaciones, accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, productos defectuosos, deterioro del producto por la humedad, caída de arrumes y estanterías, obstáculos en vías de circulación, colisiones, acciones terroristas, enfrentamientos armados, manifestaciones, fallas en vehículos, derrame del producto y vías en construcción.

Una forma de contrarrestar el efecto inmediato de estas causas negativas en las cadenas de abastecimiento es implementando controles operativos o controles operacionales. La norma internacional OHSAS 18001 define al control operativo como “*Las operaciones y actividades asociadas con riesgos identificados donde se deba aplicar medidas de control*”. El estándar australiano de administración de riesgos se refiere a este como el control de riesgos que parte de la administración e involucra la implementación de políticas, estándares, procedimientos y cambios físicos para eliminar o minimizar los riesgos adversos (AS/NZS 4360: 1999). La ILCI se refirió también al control operativo como las herramientas de ingeniería que son los métodos más eficaces de prevención, pues el control de los riesgos desde el diseño es más efectivo y menos costoso que rediseñar equipos, maquinarias e instalaciones después de estar en uso. A continuación se mencionan algunas de las operaciones, actividades, modelos y programas relacionados con el control operativo:

- Realizar diagnósticos con métodos de análisis de riesgos y caracterización de siniestros anteriores (historia de pérdidas), para diseñar e implementar medidas de eliminación y control.
- Implementar programas de salud ocupacional y modelos que tengan como objetivo la mitigación de los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales.
- Determinar, implementar y mantener la base de datos de los productos químicos, cada uno con su correspondiente ficha técnica.
- Diseñar, divulgar e implementar estándares, normas y procedimientos operativos seguros en empleados, contratistas y clientes para el tratamiento y eliminación de residuos, uso de productos, labores o tareas en procesos, almacenamiento, cargue, transporte y descargue de materiales y productos.
- Realizar periódicamente inspecciones planeadas de seguridad a espacios, vehículos de transporte y almacenamientos.

- Realizar auditorías y seguimiento a las mejoras implementadas.
- Generar una comunicación continua con las autoridades de tránsito y vigilancia para identificar y ubicar posibles disturbios públicos, como manifestaciones y actos terroristas. Conocer las rutas de mayor siniestralidad, los horarios y metodologías utilizadas por los delincuentes, los productos más apetecidos y las organizaciones delictivas.
- Diseñar e implementar sistemas de gestión en vigilancia física (*security system*) para evitar atentados y hurtos de mercancía y equipos. Implementar proyectos de rastreo de mercancías.
- Determinar procedimientos ante contingencias para cumplir con la entrega del producto al consumidor final si llegase a presentarse alguna de las causas enunciadas anteriormente. Lograr la flexibilidad en las redes de distribución propias y no propias, redefinir rutas e incrementar los inventarios de seguridad.

Adicional al control operativo, un sistema de gestión en prevención y control de riesgos logísticos debe tener un procedimiento estandarizado para la investigación de todos los eventos que compongan pérdidas en la cadena de abastecimiento. Este debe incluir no solo herramientas para describir la cadena de sucesos que llevan al incidente, sino también una estimación de los costos directos e indirectos generados por el mismo (Bird y Germain, 1990). La estimación de estos costos servirá para justificar la inversión de futuros proyectos de seguridad.

RESUMEN

La administración de riesgos requiere una inversión y un seguimiento organizacional riguroso; ello compensa los costos generados por la falta de gestión en la prevención. En este capítulo se desarrolló una aproximación investigativa en las tendencias actuales de la administración de riesgos, información que puede utilizarse como insumo en futuros estudios y proyectos organizacionales. Para resaltar la labor de las personas y organizaciones que promueven la prevención y el control de los riesgos en el mundo, qué mejor que hacerlo con una reflexión expuesta por Peter Drucker (creador del *management*, escribió treinta libros, en su mayoría sobre este tema): “La primera obligación de un negocio es sobrevivir, y el principio guía de la economía comercial no es la maximización de las ganancias, es evitar las pérdidas”.

REFERENCIAS

1. Archier, G. y Seryec, H. (1984). *L'entrepriseur su troisieme type*.
2. Ayyub, B. (2003). *Risk Analysis in Engineering and Economics*. CRC Press.
3. Baird, I. S. & Thomas, H. (1990). "What it is Risk Anyway? Using and Measuring Risk in Strategic Management", en Bettis, R. A. & Thomas, H. (eds.), *Risk, Strategy and Management*. Colección *Strategic Management Policy and Planning. A Multivolume*.
4. Bird, F. Jr. y Germain, G. (1990). "Liderazgo práctico en el control total de pérdidas". Georgia, USA.
5. Boletín Diario de Seguros para América Latina, septiembre de 2004.
6. British Psychological Society (1988). *Human Factors and Decision Making*. Springer.
7. Burriel, G. (1999). "Sistema de Gestión de Riesgos Laborales e Industriales", Fundación Mapfre.
8. Chase, R. & Aquilano, A. (1995). *Dirección y administración de la producción y de las operaciones*, McGraw-Hill, sexta ed.
9. Dhillon, B. S. (2003). "Engineering Safety: Fundamentals, Techniques, and Applications", *World Scientific*.
10. Fundación Mapfre (1992). Manual de Seguridad en el Trabajo.
11. Icontec. Norma técnica Colombia NTC-OHSAS 18001.
12. Kirwan B. & Kirwan K. (1994). *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. Taylor & Francis.
13. Kjellén, U. (2000). *Prevention of Accidents Through Experience Feedback*, Taylor & Francis.
14. Kjellén, U. & Tinmannsvik, R. K. (1989). *SMORT— Säkerhetsanalys av industriell organisation*. Estocolmo: Arbetarskyddsmynden.
15. Lars Harms & Ringdahl (2001). *Safety Analysis – Principles and Practice in Occupational Safety*. CRC Press, USA.
16. Manuele, F. (2003). *On the Practice of Safety*. Wiley-IEEE.
17. Ministerio de Protección Social. Decreto 1295 de 1994, Colombia.
18. Nigel, H. (2003). *Guidelines for Process Hazards Analysis, Hazards Identification & Risk Analysis*. CRC Press, USA.
19. Nolan, D. P. (1994). *Application of Hazop and What-If Safety Reviews to the Petroleum, Petrochemical and Chemical Industries*. William Andrew Inc.
20. Norma ISO 14000.
21. Norma ISO 9000, versión 2000.
22. Prida, B. & Gutiérrez, G. (1996). "Logística de aprovisionamiento. El camino en las relaciones proveedor-cliente. Un nuevo desafío para la empresa del siglo XXI". McGraw-Hill, Madrid, España.
23. Rey, M. F. Artículo "Combatiendo la vulnerabilidad de las cadenas de abastecimiento". Revista *Zonológica*.

24. Sikich, G. W. (1997). *Manual para planificar la administración de emergencias*. McGraw-Hill, México.
25. Standard Australian AS/NZS 4360:1999.
26. Swain, A. D. & Guttmann, H. (1983). *Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plants applications*. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories.
27. Yacov Y., Haimes. (2004). *Risk Modeling, Assessment, And Management*, John Wiley Inc.
28. Referencias disponibles en Internet:
29. ¿Qué es AQA? Asociación Química Argentina. <<http://www.aqa.org.ar/>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
30. ¿Quiénes somos? Consejo Colombiano de Seguridad, 2004. <<http://www.laseguridad.ws>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
31. ¿Quiénes somos? Cruz Roja Española, 2003. <<http://www.cruzroja.es>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
32. ¿Quiénes somos?, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Icontec, 2006, <<http://www.icontec.org.co/>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
33. About ANSI. American National Standards Institute, 2006. <<http://www.ansi.org/>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
34. About BP. Who we are. British Petroleum, 2006. <<http://www.bp.com>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
35. About BSI. British Standards Institution, 2006. <<http://www.bsi-global.com>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
36. About FAA, Mission. Federal Aviation Administration, 2005. <<http://www.faa.gov/>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
37. About ICAO. International Civil Aviation Organization, 2006. <<http://www.icao.int/>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
38. About IMO, International Maritime Organization OMI, 2002. <<http://www.imo.org>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
39. About ISO. International Organization for Standardization, 2006. <<http://www.iso.org>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
40. About OSHA, Occupational Safety & Health Administration. <<http://www.osha.gov>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
41. About us. Det Norske Veritas DNV (La Verdad Noruega), 2006. <<http://www.dnv.com>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
42. About us. International Council of Chemical Associations, 2003. <<http://www.icca-chem.org/>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
43. About us. International Labour Organization, 2006. <<http://www.ilo.org>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
44. About us. National Fire Protection Association, 2006. <www.nfpa.org> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
45. About WHO. World Health Organization, 2006. <<http://www.who.int>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]

46. About. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), 2006. <www.acgih.org> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
47. Agencia Europea de Seguridad Aérea, 2006. <<http://www.easa.eu.int>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
48. Asquimco. Asociación Química Colombiana, 2006. <<http://www.asquimco.org/>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
49. Comité de Basilea de Supervisión Bancaria, 2003. <<http://asbaweb.org/Documentos/publicaciones/03-PUB-ESP-Practicas%20Sanas%20para%20la%20Adm%20y%20Supervision%20del%20Riesgo%20Operativo.pdf>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
50. Funciones. Federación Empresarial de la Industria Química Española. <<http://www.feique.org/>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
51. Glosario de términos más utilizados en el Brokerage. Asociación Española de Business Brokers. <<http://www.financorp.org/glosario.html>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
52. Glosario financiero, riesgo financiero. Grupo Santander. <<http://www.gruposantander.es/ieb/glosario/glosarior.htm>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
53. Home, about us. National Safety Council NSC, 2006, <<http://www.nsc.org>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
54. National Institute of Occupational Safety and Health. <<http://www.niosh.com.my/>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
55. Nosotros, misión y visión. Asociación Nacional de la Industria Química A. C., México 2006. <<http://www.aniq.org.mx/>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]
56. Skip to NASA Home Page, About NASA. National Aeronautics and Space Administration, 2006. <<http://www.nasa.gov>> [Consultado: 6 de noviembre de 2006]

8. NUEVAS TECNOLOGÍAS DE LA FABRICACIÓN Y LA INFORMACIÓN

Fredy Becerra Rodríguez

Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales

Omar Danilo Castrillón Gómez

Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales

Jaime Alberto Giraldo

Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales

Jhonny Tamayo

Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales

INTRODUCCIÓN

Hoy las empresas están inmersas en un paradigma tecno-económico que involucra aspectos de orden gerencial, tecnológico y de mercados y les determina cambios en la forma de operar (figura 8.1).

Es un escenario donde: el consumo es más selectivo, es necesario dar mayor valor agregado a los bienes y servicios y hay exigencias relacionadas con la producción limpia y una mayor flexibilidad en la producción. De ahí que sea un imperativo para la industria, dentro de un enfoque de gestión tecnológica¹, desarrollar estrategias para la implementación de nuevas tecnologías de fabricación y de información en función de lograr incrementos en la productividad dentro de todas sus operaciones. Estas tecnologías pueden sintetizarse dentro del concepto de automatización en el que se incluyen procesos para la transformación de bienes y la prestación de servicios, y los procedimientos relacionados con la administración y la gestión de la organización.

La automatización implica el uso de herramientas computacionales (hardware y software) en los procesos de transformación de bienes y servicios, y los procedimientos relacionados con la administración y gestión de todas las áreas de la organización. Incluye el uso de: máquinas de control numérico computarizado (CNC), herramientas para el diseño y la manufactura asistida por computador

¹ Por gestión tecnológica se entiende todas las actividades que una organización realiza para generar, adquirir y usar la tecnología, en función de mejorar su productividad.

(CAD/CAM), robots industriales, sistemas de control automático de procesos y operaciones, sistemas de inteligencia artificial, simulación de procesos productivos y ERP que dan origen a los sistemas de fabricación integrados (*computer integrated manufacturing*, CIM) y que determinan el nivel de flexibilidad de una industria para adaptarse rápidamente a cambios en el proceso de fabricación, en el producto fabricado y en la organización de la empresa (Noori et ál., 1997).

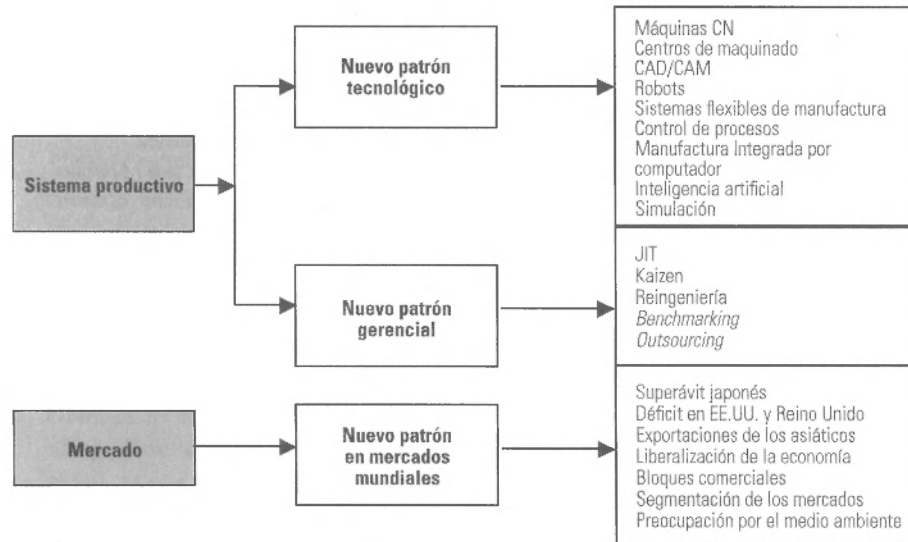


Figura 8.1 Patrones en el nuevo paradigma tecno-económico.

Fuente: Adaptada de Viana (1995)².

En este sentido, el presente capítulo se divide en cuatro partes: en la primera se describen las nuevas tecnologías para la fabricación: se inicia por las máquinas de control numérico hasta la manufactura integrada por computador, tratando de ser fieles a la forma como históricamente se vienen utilizando en las empresas. En la segunda parte se abordan las principales técnicas de inteligencia artificial, haciendo énfasis en algunas aplicaciones dentro del ámbito industrial, en las que se indica la potencialidad de estas para encontrar la solución óptima a los problemas de la producción. La tercera parte se centra en la presentación de las técnicas de simulación de los sistemas de producción, atendiendo a la complejidad de estos y a la importancia en el modelamiento como herramienta fundamental para la solución de problemas relacionados con la producción de bienes y servicios. Finalmente, la cuarta

² Conferencia dictada por el Dr. Horacio Viana en el marco del estudio "La capacidades tecnológicas de la industria manufacturera del occidente colombiano", Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, 1995.

parte hace referencia a los nuevos modelos de negocios basados en las tecnologías de información; en este sentido, ilustra sobre los sistemas ERP.

NUEVAS TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN³

Control numérico computarizado (CNC)

Con el advenimiento de las computadoras en la década de los cincuenta se dio origen a la tecnología de control numérico (CN), que usa órdenes con base en códigos compuestos de letras y números, mediante los cuales se ordena a la máquina hacer determinados movimientos, por ejemplo realizar una ranura en una pieza. Los códigos se introducen de manera directa en la máquina y el sistema los interpreta, convirtiéndolos en señales de salida que controlan varios componentes de la máquina, lo que permite cambio de herramientas, desplazamiento de la herramienta en varias direcciones, encendido y apagado del giro del husillo, entre otras (Kalpakjian et ál., 2002).

Las máquinas CN están dotadas de un conjunto de elementos que son las instrucciones en código numérico; la unidad de control que consiste en el hardware, controles electrónicos y servomotores; y la máquina-herramienta que es la que realiza propiamente la operación (Sule, 2001); no obstante, estas máquinas ofrecían algunas desventajas que fueron superadas con el desarrollo de la tecnología CNC y el control numérico distribuido (CND), permitiendo el manejo remoto de varias máquinas de este tipo e incrementando las ventajas de flexibilidad, replicabilidad, precisión, facilidad para la fabricación de partes, entre otras.

De esta forma, la combinación de la tecnología CND y las máquinas CNC permite el manejo desde “*un computador central que almacena todos los programas. Los programas pueden trasladarse a las máquinas de CNC cuando se requiera, y aun si el computador central falla, la máquina de CNC puede operarse*” (Noori et ál., 1997). Este tipo de sistemas combinados incrementa la capacidad de cómputo y almacenamiento, así como la flexibilidad de operación, y supera una desventaja que tenía el control numérico directo en el que si la computadora central se apagaba, todas las máquinas se paraban (Kalpakjian et ál., 2002). Los sistemas CNC tienen ventajas tanto para el diseño como para la fabricación de productos, entre las que se pueden mencionar:

- Permiten realizar una mejor planeación de las operaciones.
- Hay mayor flexibilidad, precisión y reducción del tiempo de programación en la fabricación.

³ Este tema es desarrollado por el profesor Fredy Becerra R.

- Disminución en los costos de producción y mayor seguridad para el operario.
- Disminución en los flujos de material.
- Reducción de controles y desechos, gracias a la repetibilidad y fiabilidad de las máquinas.

Algunas desventajas de esta tecnología están asociadas a su costo, tanto en el momento de la compra como en el mantenimiento o reparaciones, y al requerimiento de personal capacitado para su manejo y programación, principalmente.

Si bien el desarrollo de las máquinas CNC tuvo su origen en el sector metalmecánico, hoy se utiliza en casi todos los sectores de la industria manufacturera (plásticos, madera, textiles, etc.) y su evolución ha derivado en la construcción de los centros de mecanizado con los cuales se pueden efectuar varias operaciones sobre varias superficies de la pieza y en varias direcciones. De acuerdo con la orientación del husillo, son de dos tipos: de maquinado vertical y de maquinado horizontal (Kalpakjian et ál., 2002).

Diseño y manufactura asistidos por computador

Con el avance de las tecnologías computacionales se han integrado las actividades de diseño de producto con las operaciones de fabricación, lo que hoy se conoce, comúnmente, como sistemas CAD/CAM (*computer aided design/computer aided manufacturing*). Los sistemas CAD dan la posibilidad de generar modelos de productos que incluyen características como tamaño, contorno y forma de los componentes, además de permitir el modelamiento de los ensambles y la simulación de la fabricación (funcionamiento de un circuito electrónico, comportamiento de un puente a las cargas, análisis hidrodinámicos de fluidos, por ejemplo). Estas representaciones se almacenan como dibujos en dos y tres dimensiones. Todo ello permite la manipulación de los modelos, de tal manera que se puedan modificar las características hasta obtener el producto requerido. La posibilidad de trabajar en redes informáticas permite que varios diseñadores, trabajando en lugares distantes, compartan sus ideas para el desarrollo de productos (Escalona, 2004).

De acuerdo con Sule (2001), se pueden identificar tres tipos básicos de sistemas CAD: los basados en una microcomputadora (una sola estación de trabajo), los basados en una minicomputadora (hasta 20 estaciones de trabajo) y los basados en computadoras *mainframe* (más de 20 estaciones de trabajo). Las diferencias de estos sistemas están asociadas al volumen de trabajo de la propia compañía y definen los requerimientos de soporte en sistemas de información, procesamiento y administración de datos. No obstante, la capacidad de trabajar en estaciones de trabajo conectadas en redes ha hecho cada vez menos visibles estas distinciones (Sule, 2001).

El proceso de diseño en un sistema CAD, siguiendo a Kalpakjian et ál. (2002), consta de cuatro etapas: el modelado geométrico, que consiste en la descripción matemática o analítica de un objeto físico o cualquiera de sus piezas, puede representarse en línea, modelo de superficie y modelo sólido. El análisis y optimización del diseño que implica someter el modelo geométrico a un análisis ingenieril en el que se indican los comportamientos frente a esfuerzos, deformaciones, vibraciones, etc. La revisión y evaluación del diseño en la que se establece si hay interferencias entre los componentes; en esta etapa se pueden evitar, entre otras cosas, dificultades durante el ensamble, en el uso de la pieza y actuación de las partes móviles. Finalmente, viene la etapa de documentación y de dibujo, que incluye la reproducción computarizada de planos generales y de detalle, vistas de la pieza, escalas y transformaciones para presentar perspectivas de la pieza.

La integración de los sistemas CAD con equipos de fabricación como una máquina CNC o un centro de maquinado configura el sistema CAD/CAM. Por lo general, con el uso de equipos CAM se logra la eliminación de errores del operador y la reducción de costos en mano de obra; pero es la precisión constante y el uso óptimo previsto del equipo lo que representa las mayores ventajas (Escalona, 2004). El uso de los sistemas CAD/CAM se adecua a las necesidades de los usuarios; por ejemplo, un diseñador puede utilizar el sistema en la creación de un prototipo y establecer la viabilidad de un producto, mientras que para un fabricante el sistema empleado puede ser el único modo de fabricar un producto complejo. En estos sistemas, además de la información de CAD, se puede seleccionar el material más adecuado para fabricar el producto y emplear una variedad de máquinas CNC para producirlo. Algunas ventajas y funciones de los sistemas CAD/CAM se describen en la tabla 8.1. Sin embargo, en la selección de uno de ellos deben considerarse cuidadosamente varios aspectos que tienen que ver con el mercado, la organización y la tecnología.

En relación con el mercado, es de vital importancia establecer las necesidades concretas de los clientes y definir claramente el volumen de productos por fabricar; de acuerdo con esto, debe considerarse que, en los casos en que el trabajo se hace sobre una sola pieza que sufre pequeñas modificaciones en el tiempo, es suficiente un CAD simple; por el contrario, cuando el requerimiento del mercado es de productos con múltiples piezas y con necesidad de intercambiabilidad, es necesario un computador sofisticado y un programa más complicado; estas circunstancias determinan que la inversión en hardware y software debe planificarse cuidadosamente, teniendo en cuenta para ello el ciclo de vida de los equipos y de los programas. Dependiendo del volumen de productos a fabricar, según el mercado, existen diferentes tecnologías; así, para series grandes de fabricación (mayor de 10.000 piezas) se utilizan máquinas *transfer*, constituidas por varios automatismos sincronizados que trabajan simultáneamente. Para series medias (entre 50 y 10.000

piezas) existen automatismos como los copiadores y los controles numéricos; su uso dependerá de la precisión, flexibilidad y rapidez exigidas. El control numérico resulta muy útil en las series de producción comprendidas entre 5 y 1.000 piezas y los lotes de fabricación deban ser repetidos varias veces durante el año. En series pequeñas (menores de 5 piezas) el control numérico no es rentable, a no ser que el producto sea suficientemente complejo y requiera en su programación la ayuda de una computadora (Escalona, 2004).

Tabla 8.1 Algunas funciones y ventajas de los sistemas CAD/CAM.

Sistemas CAD	Sistemas CAM
<ul style="list-style-type: none"> • Análisis mecánicos, estructurales, térmicos, magnéticos, cinéticos y dinámicos. • Estudios fluidodinámicos y evaluación de mecanismos. • Simulación eléctrica y electrónica. • Estudio de llenado de moldes para plásticos. • Generación de modelos de productos complejos. • Fácil manipulación de las ideas de diseño por parte del diseñador. • Compartir e integrar ideas de diseñadores e ingenieros situados en lugares distintos. • Simular el funcionamiento de un producto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Simulación de rutas de mecanizado. • Edición del desplazamiento de herramientas para ajuste. • Elección de diversos métodos de manufactura. • Uso de múltiples herramientas. • Eliminación de errores del operador humano. • Reducción de costos de mano de obra. • Menor desgaste de herramientas. • Uso más eficiente de los materiales. • Rápida generación de prototipos. • Flexibilidad y versatilidad en la fabricación de productos.

Fuente: Elaboración propia.

En relación con la organización, debe tenerse en cuenta la adaptación de la tecnología con sistemas productivos que la empresa posee, con la capacitación técnica del personal de la planta, con la planificación de la producción, ubicación de los equipos en función de los existentes, relaciones con otras secciones de la empresa y aun con otras compañías; así mismo deben considerarse elementos asociados con la negociación, como la definición clara de la tecnología a adquirir, la definición de proveedores y el análisis y selección de ofertas que conduzcan, entre otras cosas, a soportar aplicaciones existentes, a establecer la escalabilidad de la solución, servicios adicionales ofrecidos y estipulaciones que no deban ser aceptadas.

Desde el punto de vista de la tecnología, conviene observar aspectos relativos al hardware y al software, como: características de las unidades de procesamiento, capacidad de almacenamiento, cantidad de estaciones de trabajo, necesidades de comunicación, interfaces, necesidades de diseño en dos y tres dimensiones, aplicativos y herramientas de desarrollo, entre otros.

Robots industriales

En los sistemas industriales de hoy cada vez tiene más acogida el uso de robots industriales⁴ en tanto que estos equipos permiten trabajar en condiciones extremas, altamente repetitivas o peligrosas. Un robot, según el Robot Institute of America, es "un manipulador programable, multifuncional diseñado para mover material, partes, herramientas, o dispositivos especiales, a través de movimientos variables programados para la ejecución de una variedad de tareas" (Holland, 1983). Los robots se utilizan en operaciones como estampado, forjado, corte de metales, moldeo por inyección, pintura por rocío, soldadura de punto, ensamble de circuitos electrónicos, transporte y almacenamiento, control de calidad e inspección (Sule, 2001). La operación de un robot está determinada por diferentes componentes relacionados con su estructura, el ambiente en el que debe desempeñarse y las acciones que debe realizar. En la figura 8.2 se muestran los subsistemas básicos de un robot.

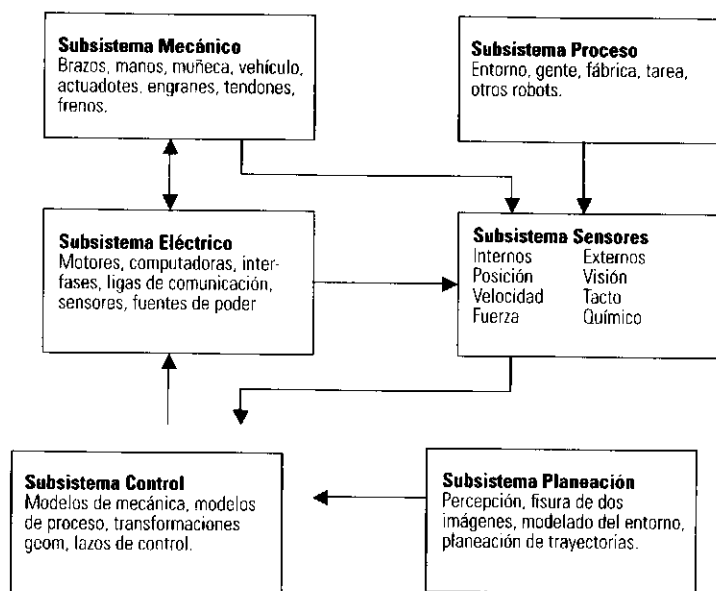


Figura 8.2 Subsistemas de un robot.

Fuente: Jiménez (2005). www.fi.uba.ar. Free press.

La capacidad fundamental de un robot consiste en la posibilidad de efectuar movimientos antropomórficos, es decir, posee atributos basados en la figura humana. Los manipuladores, que son los equipos de mayor uso industrial, emulan los movimientos del brazo humano (figura 8.3); ello define lo que se conoce como

⁴ Otros conceptos que se utilizan para referirse a estos equipos son autómatas y manipuladores.

grados de libertad del manipulador y corresponden al movimiento del hombro que puede girar aproximadamente dos ejes –dos grados de libertad–; el codo cuyo movimiento es arriba y abajo –un grado de libertad–; y la muñeca cuyos movimientos son arriba y abajo, de un lado a otro y rotación –tres grados de libertad– (Sule, 2001). Los grados de libertad le permiten al robot, en espacios tridimensionales, la localización de objetos que están al alcance del manipulador, las partes o las herramientas con las que están dotados y otros objetos en el ambiente del manipulador (Craig, 1989).

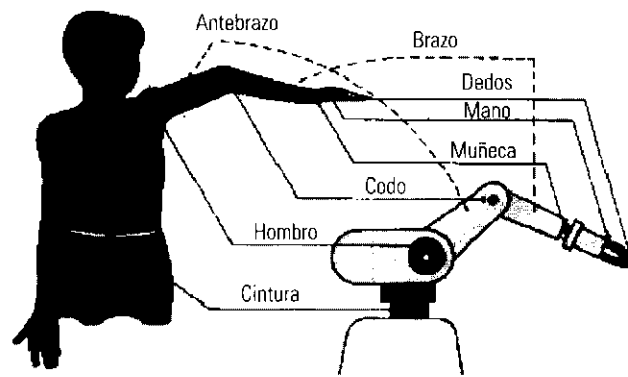


Figura 8.3 Esquema de un manipulador.
Fuente: Página de robótica industrial (2005). Free press.

En todos los robots se reconocen básicamente los siguientes componentes: el sistema de control o controlador cuya función es la de procesar y almacenar la información de entrada y salida que permite los movimientos del robot; en otras palabras, es su cerebro y sistema nervioso (Kalpakjian et ál., 2002), mediante el cual establece comunicación con otras computadoras y máquinas de fabricación y ensamble. La fuente de poder, que depende del tipo de energía utilizada para cada uno de los elementos del manipulador, puede ser neumática, hidráulica o eléctrica; es común la combinación de distintas fuentes de poder, ello depende de la carga de trabajo al cual van a estar sometidos el robot y sus elementos.

El manipulador es el componente del robot que realiza la operación para la cual fue diseñado; en general consta de cuerpo, brazo, muñeca y efector final (gripper) unidos por articulaciones que permiten la realización de los movimientos y determinan sus grados de libertad (figura 8.4). “La mayor parte de los robots tiene seis articulaciones rotacionales. También hay robots con cuatro grados de libertad y otros con cinco, pero, por definición, estas clases no son muy diestras, porque para serlo se necesitan seis grados de libertad” (Kalpakjian et ál., 2002).

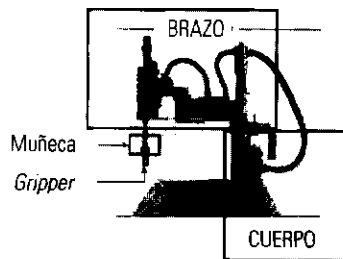


Figura 8.4 Elementos de un manipulador.
Fuente: Página de robótica industrial (2005). Free press.

Existe una gran variedad de manipuladores disponibles para un extenso rango de aplicaciones; por ejemplo, los manipuladores tipo brazo (arm-type), como el mostrado en la figura 8.4, pueden categorizarse por la capacidad de levantamiento, aplicación y grados de libertad (Holland, 1983). Los manipuladores pueden ser móviles o fijos, estos últimos representan una ventaja en relación con la ubicación respecto de otros equipos; en ciertos casos pueden estar elevados, dejando libre el piso de la planta; algunos de estos son robots utilizados en operaciones de soldadura y pintura en plantas ensambladoras de automóviles. Para el manejo de materiales se requiere la movilidad de un lugar a otro, en cuyo caso se utilizan ruedas, rieles o rutas guiadas (Sule, 2001).

Además de lo anterior, los robots pueden clasificarse también por los tipos básicos (cartesianos, cilíndricos, esféricos o polares, y articulados o antropomorfos), por la fuente de energía utilizada para su funcionamiento, por el nivel de inteligencia (controlados por una persona, secuencia fija y variable, repetición, control numérico, inteligentes) y por el nivel de control (inteligencia artificial, modo de control, servocontrolados) (Kalpakjian et ál., 2002; Escalona, 2005).

Manufactura flexible

La combinación de las tecnologías descritas da origen a nuevas formas de fabricación que aprovechan la capacidad de comunicación y transferencia de datos, gracias a los desarrollos de la electrónica, la informática y las telecomunicaciones. Estas formas de fabricación se conocen con el nombre genérico de sistemas flexibles de manufactura (SFM), en el que se incluyen: los módulos de manufactura flexible (MMF), las células flexibles de manufactura (CFM), los grupos de manufactura flexible (GMF), los sistemas de producción flexible (SPF) y las líneas flexibles de manufactura (LFM) (Jiménez, 2005).

Módulo de manufactura flexible (MMF)

La fabricación de una pieza (por ejemplo, el bloque de un motor) exige la realización de varias operaciones que deben ejecutarse en máquinas convencionales o CNC

diferentes; ello implica que las operaciones de maquinado deben elaborarse pasando la pieza de una máquina a otra hasta obtener el producto final. Sin embargo, estas mismas operaciones pueden lograrse mediante un centro de maquinado, también conocido como un MMF, que es una máquina herramienta controlada por computadora, capaz de realizar diversas operaciones en varias superficies de la pieza y operando en varias direcciones (Kalpakjian et ál., 2002).

En general, un MMF consta de un almacén y un intercambiador de herramientas, un almacenamiento de materiales, un módulo de soporte (pallet) con su correspondiente intercambiador de pallets (Kalpakjian et ál., 2002; Jiménez, 2005); un ejemplo de este tipo de equipo se muestra en la figura 8.5.



Figura 8.5 Módulo flexible de manufactura MMF.
Fuente: Jiménez (2005). www.fi.uba.ar. Free press.

Célula flexibles de manufactura CFM⁵

Está constituida por un grupo de máquinas con las que se puede realizar un proceso particular o una parte de un proceso de manufactura más largo. Según Kalpakjian et ál. (2002), una CFM "es una unidad pequeña, con una o varias estaciones de trabajo, dentro de un sistema de manufactura". En general, incluyen un robot o vehículo guiado automáticamente (*automated guided vehicles, AGV*) que mueve las piezas entre máquinas con las que se realizan operaciones relacionadas (por ejemplo: mecanizado, taladrado, terminación superficial o inspección de una pieza).

Normalmente, una CFM no se restringe a un solo tipo de parte o proceso, puede ajustarse fácilmente a distintas partes y productos, que comparten propiedades físicas y características dimensionales similares, lo que permite dentro del proceso la posibilidad de varias rutas de fabricación; generalmente su configuración es circular. Una célula puede ser aislada debido a condiciones que afectan el ambiente de fabricación, como:

⁵ Otros términos utilizados son celda de manufactura o módulo de manufactura.

ruido, requerimientos químicos, requerimientos de materias primas o tiempo de ciclos de manufactura. Un esquema básico de una CFM se muestra en la figura 8.6.

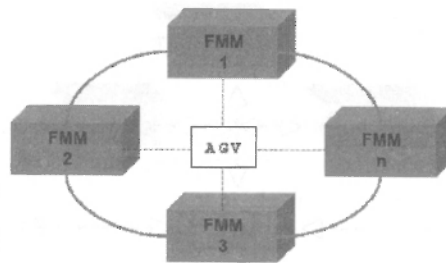


Figura 8.6 Esquema de una célula flexible de manufactura.
Fuente: Jiménez (2005). www.fi.uba.ar. Free press.

Grupo de manufactura flexible (GMF)

La combinación de las CFM y los MMF permite la configuración de GMF, que unidos mediante un sistema de manejo de materiales (típicamente un AGV) pueden ejecutar una parte del proceso de fabricación de una pieza o un producto. En este caso el AGV toma los materiales del almacén de partes y los traslada a los MMF o las CMF donde se transforma el material que después es depositado en el almacén de partes o productos terminados. Un esquema de este tipo de configuraciones productivas se presenta en la figura 8.7.

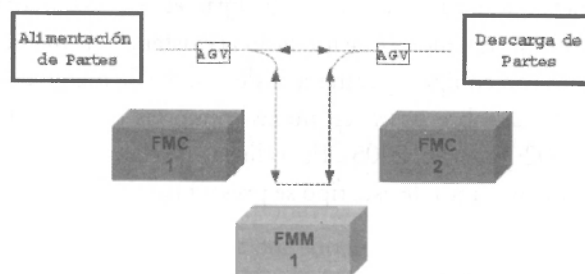


Figura 8.7 Esquema de un grupo de manufactura flexible.
Fuente: Jiménez (2005). www.fi.uba.ar. Free press.

Sistema de producción flexible (SPF)

Un SPF combina configuraciones productivas basadas en MMF y CMF, donde se realizan diferentes actividades de manufactura, por ejemplo fabricación, maquinado, ensamble, inspección. Aquí también el movimiento de materiales e incluso herra-

mientas se hace por intermedio de un AGV. Un esquema de este tipo de sistema productivo se presenta en la figura 8.8.

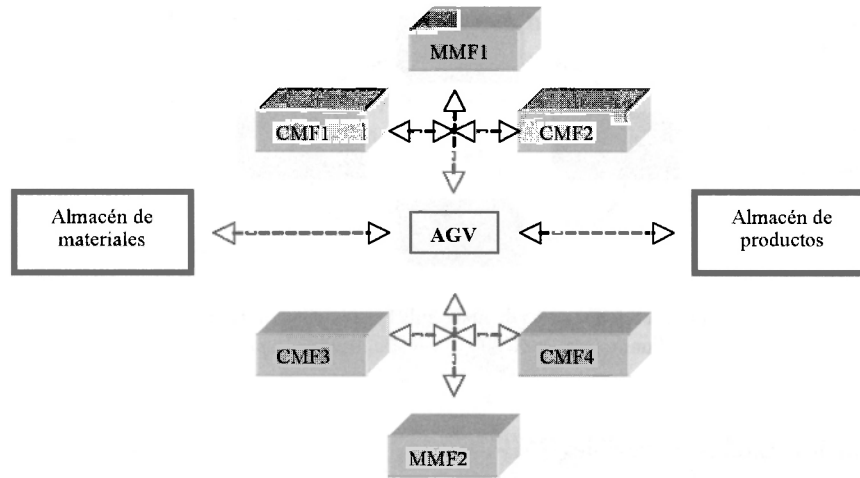


Figura 8.8 Esquema de un sistema de producción flexible.
Fuente: Elaboración propia a partir de Jiménez (2005).

Línea flexible de manufactura (LFM)

Existen líneas de fabricación de un producto en que el material transformado pasa por diferentes operaciones de maquinado secuenciales; a esto se le ha denominado líneas de transferencia que, de acuerdo con Kalpakjian et ál. (2002), se utilizan para la producción de grandes volúmenes y que implican la existencia de máquinas dedicadas o especializadas junto con equipos automáticos de manejo de materiales; por ejemplo: conveyors, AV.G, robots, sobre *pallets* en mesas rotatorias o transportadores aéreos (Kalpakjian et ál., 2002; Jiménez, 2005). Estas líneas de transferencia constituyen las LFM. Un esquema de una línea de este tipo se presenta en la figura 8.9.

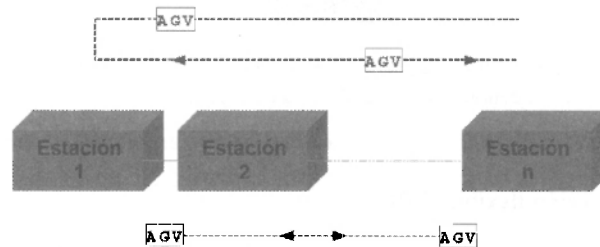


Figura 8.9 Esquema de una línea flexible de manufactura.
Fuente: Jiménez (2005). www.fi.uba.ar. Free press.

La integración de los SFM con otras tecnologías como planeación de requerimientos de materiales (MRP), planeación de requerimientos de capacidad (CRP), sistemas de soporte a las decisiones, sistemas de control (producción, procesos, inventarios, herramientas, calidad), ingeniería asistida por computador (CAE), sistemas manejadores de bases de datos (DBMS), entre otras, permiten la operación sincronizada y simultánea de funciones que antes lo hacían de manera independiente en las empresas. Este nivel de integración se conoce con el nombre de manufactura integrada por computador (CIM) (Baumgartner et ál., 1991; Schroeder, 1992; Burch et ál., 1994; Vollman et ál., 1995; Whitten et ál., 1996; Sule, 2001; Kalpakjian et ál., 2002; Jiménez, 2005). Un esquema funcional del CIM se presenta en la figura 8.10.

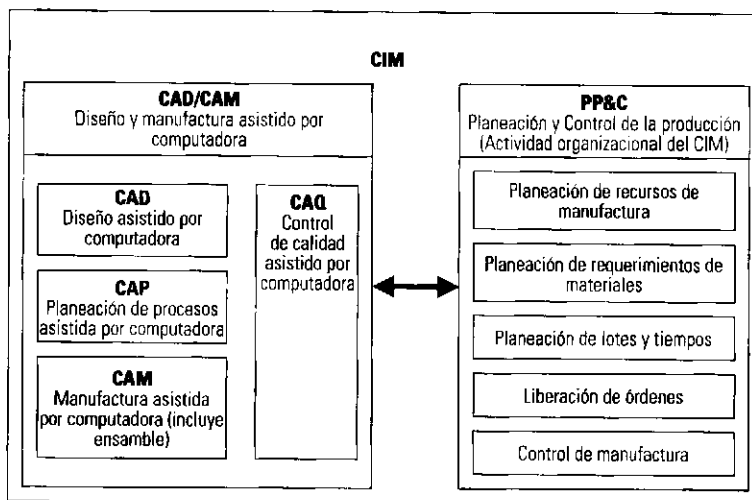


Figura 8.10 Esquema funcional del CIM.

Fuente: Rembold (1993), citado por Jiménez (2005). www.fi.uba.ar. Free press.

La estructura de una implementación CIM comprende (Jiménez, 2005): un nivel de control a nivel de toda la organización, en el que se encuentran el hardware y el software que apoyan las funciones corporativas. Un nivel de control de área en el que se encuentran el hardware y el software que soportan actividades de diseño e ingeniería, planeación de la producción, planeación de requerimientos de capacidad y de materiales, entre otras. Un nivel de manufactura en el que se encuentran el hardware y el software donde se controlan todas las actividades relacionadas con la fabricación, este nivel puede incluir MME, CFM, GME, SPF y LFM. Un nivel de control de operaciones y procesos, en el que se encuentran el hardware y el software que permiten la automatización del funcionamiento de los equipos; este nivel puede incluir controles para los robots, máquinas CNC y controladores lógicos programables (PLC). Y finalmente un nivel de equipo donde se encuentran los elementos que ejecutan las acciones; aquí se pueden incluir actuadores, switches, elevadores, manejadores, entre otros.

TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL⁶

El estudio de toda conducta inteligente se conoce como inteligencia artificial (IA); su principal meta es entender el ingenio humano y producir instrumentos útiles (Duque, 2005). Estas técnicas establecen nuevas y mejores soluciones a partir de soluciones ya existentes, y son una gran alternativa a los problemas que se presentan en la producción. Además, permiten una gran versatilidad en la solución de esta clase de problemas (Monks, 1995). El objetivo final de estas técnicas es tratar que los artificios creados puedan analizar y entender información, igual que un ser humano (Branco, 2005).

En el logro de las anteriores metas se han creado diversas técnicas que han permitido aplicar estos conceptos en áreas como: medicina, química, física, geología, ingeniería, exploración, diseño, análisis, etc. A continuación se ilustran las principales:

- Redes neuronales
- Algoritmos genéticos
- Agentes inteligentes
- Heurísticas

El empleo de las anteriores técnicas, para optimizar un sistema de producción, es una tendencia activa y creciente, especialmente en países con un ambiente industrial de alto desarrollo tecnológico y gran inversión en ciencia y tecnología. En estos países, los productos de alta calidad y las exigencias del mercado dinamizan el empleo de estas técnicas. Sin embargo, en otros países poco desarrollados o subdesarrollados, los sistemas de producción presentan un gran número de operaciones manuales, aspecto que no les permite alcanzar altos niveles competitivos con estándares mundiales. El objetivo principal de estas técnicas de inteligencia artificial es sustituir elementos tradicionales del control humano y realizar trabajos que hasta el momento solo eran posibles bajo la supervisión de un operador humano (Llatta, 2000).

Redes neuronales

El intento por reproducir el trabajo del cerebro humano ha dado lugar a las redes neuronales. Su información se encuentra dispersa entre todas las interconexiones de la red neuronal, y es necesario elaborar una red para cada trabajo específico (Nieto, 2003). En las redes neuronales (simuladas) las entradas que llegan a una neurona simulada, proveniente de otras neuronas, se multiplican por determinados factores para posteriormente ser adicionados; la suma se confronta con un límite determi-

⁶ Este tema es desarrollado por el profesor Omar Danilo Castrillón.

nado y si está por encima de este límite, la salida es uno; de otra forma, la salida es cero. El algoritmo de retropropagación es una de las técnicas más empleadas para el adiestramiento de las redes neuronales, el cual consiste en perturbar el resultado de una neurona simulada sobre otra, de modo que se optimice el trabajo total (Winston, 2000).

Las redes neuronales se componen de elementos simples que trabajan en paralelo, los cuales se inspiran en los sistemas vivos y en especial en sus sistemas nerviosos. El modelo matemático de las neuronas está constituido por una entrada (p , *escalar*), la cual es multiplicada por un peso (w *escalar*); al resultado de este producto se le adiciona un escalar de polarización (b). El producto de los anteriores escalares constituye el índice de la función de transferencia f , cuyo resultado (salida) se denota con la letra a . Este modelo se describe por medio de la siguiente ecuación:

$$a \equiv f(wp + b) \tag{1}$$

La función f normalmente es una función de paso o sigmoidea. Igualmente w y b representan los parámetros ajustables de la neurona. El objetivo en toda red neuronal es que estos parámetros pueden ser ajustados con el fin de que la red siempre tenga un comportamiento deseado. De esta forma, se pueden diseñar redes con el fin de realizar un trabajo particular para alcanzar un objetivo deseado, con solo ajustar estos parámetros (Mathworks, 2000). Normalmente, las redes tienen varias capas (figura 7.11), la primera de ellas se llama capa de entrada, la última se llama capa de salida y las capas restantes (intermedias) representan las capas ocultas. Todas las capas tienen asociada una matriz de pesos W , un vector de polarización b y un vector de salida a . En la figura 8.1 se muestra la arquitectura de una red neuronal:

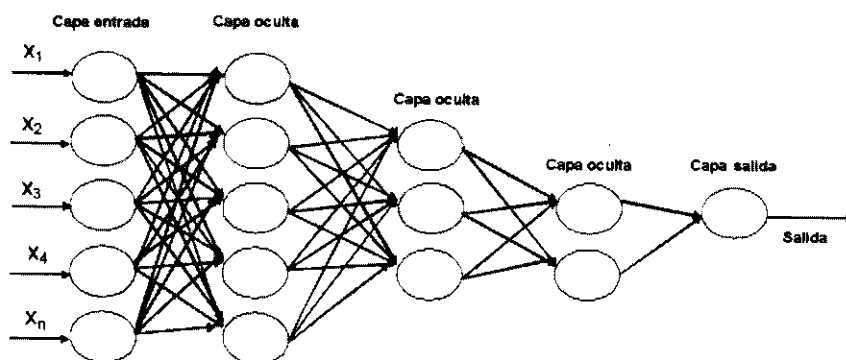


Figura 8.11 Esquema de una red neuronal.
Fuente: Elaboración propia.

Cuando se plantea un problema sobre redes neuronales, el mismo involucra el desarrollo de dos etapas: la primera consiste en un aprendizaje o entrenamiento

y la segunda en una fase de prueba. La etapa de aprendizaje usa un conjunto de datos con el fin de determinar los pesos del sistema neuronal. En la etapa final o de entrenamiento, con los parámetros calculados previamente, se obtienen los resultados finales de forma directa. Finalmente, la información mostrada por la neurona, en la capa terminal, se confronta con la salida esperada y se determina el porcentaje de validez del sistema.

En el desarrollo de sistemas de producción, autores como Priore (2001) han diseñado sistemas de secuenciación los cuales utilizan una red neuronal, en cada una de las máquinas, para la elección de la regla de secuenciación más adecuada. Cuando una máquina necesita elegir un nuevo trabajo, un módulo de ajuste estable realiza esta labor, en función de los valores presentes, futuros y la importancia relativa de cada criterio de comportamiento. La red neuronal recibe como entrada el valor establecido por el módulo de ajuste y el estado actual del sistema de fabricación con el fin de generar la regla de secuenciación más adecuada. Mediante este sistema se pudo establecer una mejora en el proceso, superior al 4,2% respecto a la alternativa de utilizar la mejor de las reglas u otros métodos de secuenciación.

Los sistemas de secuenciación, basados en estas técnicas, funcionan en tiempo real y de la siguiente forma: en primer lugar, el usuario establece una serie de diferencias como objetivo y se determina la clase de la red neuronal; tomando como referencia los ejemplos de entrenamiento, se buscan aquellos ejemplos con la misma clase y las mismas reglas de secuenciación. Si no se encuentra un ejemplo similar, algo probable, se determina en cada variable de decisión la regla más empleada dentro de la correspondiente clase. Esto último representa una característica interesante del sistema, dado que, con base en las reglas de secuenciación anteriores, establece las reglas de secuenciación actuales.

Aragón (2003) propone estrategias complejas de optimización en los problemas de secuenciación. Con un algoritmo de búsqueda local, se fijan los valores más ideales, en un modelo de simulación en un ambiente *job shop*, con el fin de obtener un *makespan* mínimo (local) y posteriormente adicionar una red neuronal para pronosticar los valores de *makespan* en las soluciones generadas. Este proceso genera una rebaja en el tiempo de cómputo, aunque con una cierta pérdida en la calidad de las soluciones descubiertas.

Actualmente, el uso de las redes neuronales es muy amplio y variado y se emplea en sistemas para: procesamiento de señales, imágenes, voz (Nieto, 2003), conducir carros por caminos que se ven a través de una cámara de televisión, reconocimiento de dígitos en un sistema de fabricación (Alessio, 2002), cálculo aproximado de un modelo del sistema de producción con base en datos experimentales mediante un proceso de autoajuste recursivo de los parámetros configurables en la estructura seleccionada (Llatta, 2000), control de cubas de filtrado, con el fin de producir mosto homogenizado de alta calidad y bajo contenido en oxígeno disuelto.

En general, las redes neuronales han resuelto con éxito muchas aplicaciones en el campo de la visión artificial, en el procesado de señales e imágenes, reconocimiento del habla y de caracteres, sistemas expertos, análisis de imágenes médicas, control remoto, control de robots, inspección industrial, exploración científica y programación de la producción, y permiten realizar numerosas pruebas y simulaciones sin poner en riesgo los sistemas reales.

Algoritmos genéticos

A principios de la década de los noventa, Koza (1992) propuso la siguiente definición para un algoritmo genético: *“Es un algoritmo matemático altamente paralelo que transforma un conjunto de objetos matemáticos individuales, usando operaciones modeladas de acuerdo al principio darwiniano de reproducción y supervivencia del más apto, y tras haberse presentado de forma natural una serie de operaciones genéticas entre las que se destaca la recombinación sexual. Cada uno de estos objetos matemáticos suele ser una cadena de caracteres (letras o números) de longitud fija que se ajusta al modelo de las cadenas de cromosomas, y se les asocia con una cierta función matemática que refleja su aptitud”*.

Los algoritmos genéticos se inspiran en la evolución natural para realizar búsquedas, con técnicas propias de esta: individuos, apareamiento, recombinación, mutación genética, adaptación y selección natural (Winston, 2000). Los algoritmos genéticos permiten buscar soluciones en ambientes con una complejidad elevada o en un sistema que no se pueda comprender completamente (Gómez, 2000), generando soluciones óptimas o subóptimas en tan solo unos pocos segundos. Inicialmente, los algoritmos genéticos seleccionan una serie de individuos los cuales son transformados por medio de un proceso de búsqueda y selección con el fin de favorecer a los mejores de ellos.

Tomando como referencia los métodos de evolución biológica: selección, reproducción y mutación, los algoritmos genéticos efectúan métodos sistemáticos de optimización y búsqueda de variables en el desarrollo de diferentes problemas. Los algoritmos genéticos son métodos de optimización que resuelven un conjunto de problemas, es decir, hallar (x_1, \dots, x_n) tales que $F(x_1, \dots, x_n)$ sea máximo. En un algoritmo genético, el problema se cuantifica en una serie de variables, (x_1, \dots, x_n) , las cuales representan los cromosomas. Los operadores utilizados por un algoritmo genético son libres del problema y se usan sobre los cromosomas o sobre poblaciones de ellos. Esto último lo convierte en un algoritmo robusto y útil para cualquier problema, pero a la vez frágil, dado que no está especializado en ningún problema. Las soluciones de los cromosomas rivalizan con el fin de determinar cuál es la mejor solución, aunque no siempre se encuentra la solución más óptima en el conjunto de todas las posibles soluciones (Marczyk, 2004).

Inicialmente, en un algoritmo genético se establecen los parámetros de un problema, los cuales se codifican en un cromosoma con el objetivo de que puedan aplicarse los métodos propios de estos algoritmos, como: evolución, selección y reproducción sexual, el cual incluye el intercambio de información y alteraciones genéticas (mutación). Estas operaciones permiten encontrar un conjunto de cromosomas que representen una solución, que no necesariamente es la mejor de todas. Los algoritmos genéticos necesitan que cada conjunto se codifique en un cromosoma; cada cromosoma posee varios genes, los cuales definen el problema por medio de parámetros.

Cuando un algoritmo genético se implementa en un ordenador, los genes se codifican en una cadena por medio de símbolos (números o letras) que generalmente están compuestos de ceros y unos. Tomando como referencia el número de *bits* usados en cada gen, se establece la precisión de cada parámetro. Una vez definidos los cromosomas según la codificación de sus parámetros, comienza el proceso evolutivo, el cual genera aleatoriamente una serie de cromosomas; así, el algoritmo genético realiza las siguientes acciones:

- Valorar la puntuación (*fitness*) de cada uno de los genes.
- Admitir que cada uno de los individuos se pueda reproducir según su valor de puntuación (*fitness*).
- Emparejar los individuos de la nueva población, consintiendo un intercambio de material genético y perturbación de algunos de los bits de un gen por medio de un proceso de mutación espontánea.

Cada una de las etapas del algoritmo consiste en una manipulación de las cadenas de *bits*, es decir, el uso de un operador en cada una de las cadenas binarias. Por razones obvias, se denominan operadores genéticos y se pueden clasificar principalmente en tres grupos: selección, *crossover* y mutación; aparte de otros operadores genéticos no tan comunes. El proceso de selección comprende aspectos como tamaño de la población y condición de salida.

El intercambio de material genético entre dos cromosomas se conoce como *crossover*. En este proceso se eligen aleatoriamente dos miembros con una buena valoración en la población, o *fitness*. El anterior proceso garantiza que sólo los buenos bloques se reproduzcan y cada vez formen una solución mejor. El intercambio genético se lleva a cabo por procesos como: *crossover* n-puntos, *crossover* uniforme y *crossover* especializados. Aproximadamente, cada mil iteraciones sucede una mutación; si bien en la mayoría de los casos son mortales, permiten la diversidad genética. Una vez establecida la frecuencia de mutación, se examina cada *bit* de cada cadena cuando se vaya a crear la nueva criatura a partir de sus padres (normalmente se hace de forma simultánea al *crossover*). Si un número generado aleatoriamente

está por debajo de esa probabilidad, se cambiará el bit (es decir, de 0 a 1 o de 1 a 0). Según el número de individuos que haya y del número de bits por individuo, puede resultar que las mutaciones sean muy raras en una sola generación.

Los cromosomas que se van a reproducir, eliminar y seleccionar se determinan por el *fitness* o puntuación del problema según la solución alcanzada. Una vez calculado el valor del *fitness*, se establece una nueva población, con base en técnicas como el rango, rueda de ruleta y selección de torneo. Actualmente, los algoritmos genéticos han logrado resolver con éxito una serie de problemas como: planificación de los horarios de trabajo, planificación de exámenes o clases de universidades, optimización en la calidad de alimentos, carga de talleres (Hernández, 2005), al lograr combinaciones más efectivas de las variables involucradas (Winston, 2000).

Específicamente, en la solución de problemas de secuenciación y programación de la producción los algoritmos genéticos empiezan por establecer una programación del problema en genes (Chichang, 2004; Vince, 1999) según el orden en que los trabajos serán realizados en cada máquina. Por ejemplo, en un problema de tres máquinas y tres trabajos, se debe generar un gen para cada máquina, como el representado en el cromosoma [3,2,2,1,1,2,3,1,3] donde el primer gen "3" indica la primera operación del tercer trabajo, el gen "2" indica la primera operación del segundo trabajo, el tercer gen "2" indica la segunda operación del segundo trabajo y así sucesivamente (Tsujimura, 2001). La anterior solución inicial se somete a un proceso de evolución genética, por medio de los operadores de selección, reproducción y remplazo, como se ilustra en figura 8.12.

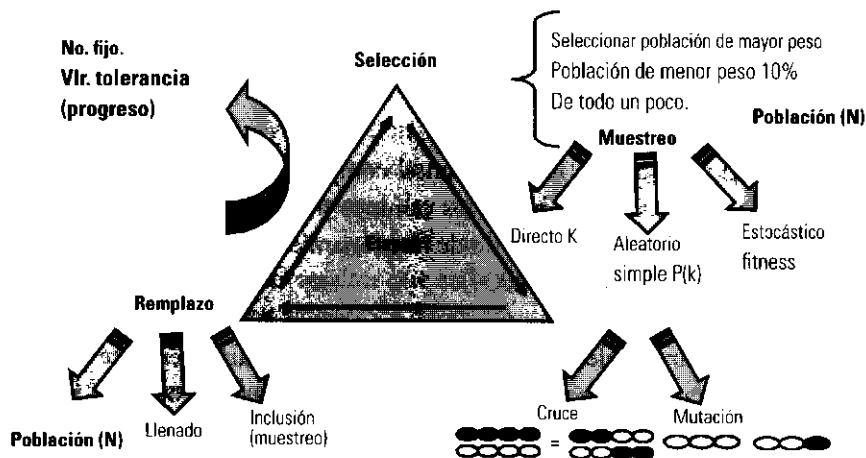


Figura 8.12 Funcionamiento de un algoritmo genético.
Fuente: Elaboración propia.

Cada nueva solución debe tener por objetivo maximizar una función fitness, la cual en este caso puede definirse según la función makespan como:

$$Fitness_{makespan} = \frac{1}{\min(\max_{1 \leq k \leq m}(\max_{1 \leq i \leq n}(C_{ki})))}$$

$$Fitness_{idle} = \frac{1}{\min(\sum_{k=1}^m f_k)}$$

$$Fitness_{wait} = \frac{1}{\min(\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n w_{ki})}$$

Donde todos los *fitness* deben maximizarse para lograr una programación óptima. *N* representa el número de trabajos, *m* representa el número de máquinas, *C_{ik}* es el tiempo de finalización del trabajo *i* en la máquina *k*. *F_k* es el total de tiempo muerto para la máquina *k*, *w_{ik}* es el tiempo de espera del trabajo *i* sobre la máquina *k*. Si la solución parcial, generada por los operadores genéticos, no es factible se castiga con un *fitness* negativo, con el fin de que no sea tenida en cuenta en los próximos procesos evolutivos del algoritmo. Finalmente, el algoritmo se finaliza cuando se establezca un número fijo de repeticiones (ciclos *p*), sin que se haya logrado una mejora en el valor máximo de la función de estimación *fitness*.

Agentes inteligentes

Colonia de hormigas

Son metas heurísticas que se infunden en el comportamiento que rige a las hormigas de diversas especies para hallar los caminos más cortos entre las fuentes de alimentación y el hormiguero. El modo de funcionamiento básico de este algoritmo se ilustra a continuación (Alonso, 2004):

1. Las *m* hormigas artificiales de la colonia se mueven concurrentemente y de forma asincrónica, a través de las diferentes etapas adyacentes del problema (representado en forma de un grafo con peso), siguiendo una regla de transición que se apoya en la información local disponible y las componentes que incluyen la información heurística y memorística que rigen la búsqueda.
Este movimiento se efectúa por medio de una regla de transición que se basa en una función de probabilidad *p* como se ilustra:

$$P_{rs}^k = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{[\tau_{rs}]^\alpha [\eta_{rs}]^\beta}{\sum_{u \in N_k^r} [\tau_{rs}]^\alpha [\eta_{rs}]^\beta}, & \text{Si } S \in N_k(r) \\ 0, & \text{En otro caso} \end{array} \right\}$$

Donde:

k es la hormiga de un nodo específico.

$N_k(r)$ es el vecindario alcanzable por la hormiga k , cuando se encuentra en el nodo r .

$\alpha, \beta \in \mathfrak{R}$ son dos parámetros que ponderan la importancia relativa de los rastros de feromona y la información heurística.

τ_{rs} es el rastro de feromona entre el nodo r y el nodo s .

η_{rs} representa la información heurística que existe entre el nodo r y el nodo s .

2. Cada vez que cruzan un arco, las hormigas construyen soluciones incrementales. Al moverse por el grafo, las hormigas depositan feromona, mientras construyen la solución. Cada hormiga transita el camino que ha seguido (L_k), en forma inversa, depositando una cantidad constante de feromona: $\tau_{rs} \leftarrow \tau_{rs} + \Delta\tau_{rs}^k \quad \forall a_{rs} \in S_k$, donde $\Delta\tau_{rs}^k = f(C(S_k))$, es decir, la cantidad de feromona que se deposita depende de la calidad $C(S_k)$ de la solución S_k , edificada por la hormiga k . Esta información guiará la búsqueda de las otras hormigas en el futuro.
3. Adicionalmente, otros algoritmos incluyen procedimientos de evaporización de los rastros de feromona y las acciones demonio. El primer procedimiento evita el estancamiento de la búsqueda, encontrando diversas alternativas. La segunda representa opciones para implementar tareas desde una perspectiva global y que no pueden llevar a cabo las hormigas. Lo cual se representa como: $\tau_{rs} \leftarrow (1 - p)\tau_{rs}$, p donde es la tasa de evaporización.

En algunos casos, especialmente cuando $\beta=0$, o cuando presenta un valor próximo a 0, la solución del problema depende solo de los rastros de feromona, produciendo un estancamiento del problema en óptimos locales (Alonso, 2004). De otro lado, es importante resaltar que en la solución de problemas industriales se han empleado diversos algoritmos derivados del anterior esquema:

- SH: sistema de hormigas
- SCH: sistema colonia de hormigas
- SHMM: sistema de hormigas máximo, mínimo
- SHO: sistemas hormigas ordenado
- SMPH: sistema mejor o peor hormiga

En Priori (2004) se ilustran los anteriores métodos con mayor detalle y fundamentalmente se aplican en:

- Problemas de optimización combinatoria NP – duros.
- Problemas de secuenciación de tareas.
- Problemas de enrutamiento de vehículos.
- Sistema de aprendizaje automático en redes.
- Diseño de circuitos lógicos combinatorios.
- Problemas de optimización multiobjetivos. Se asigna una colonia a cada objetivo y estos se ordenan según su importancia.
- Problemas de optimización dinámica.
- Enrutamiento de redes de comunicación.

Heurísticas

Mediante una versión simplificada del problema original, estas técnicas (heurísticas) establecen el costo de las soluciones exactas. El empleo de estas técnicas supone violar o ignorar algunas restricciones, generando un nuevo problema más fácil de resolver. Dado que se ha simplificado el problema, removiendo algunas restricciones, cualquier solución del problema original es así mismo una de las soluciones del problema simplificado. Por tanto, el costo del problema simplificado, bajo una solución óptima (la mejor), representa el límite inferior del costo de una solución óptima (la mejor) del problema original. De esta manera, la heurística derivada pasa a ser aceptable. Así, toda heurística que estima un costo menor al real, de la trayectoria óptima, del problema original, se denomina aceptable.

Búsqueda tabú

Esta técnica emplea dos estrategias fundamentales: diversificación e intensificación. La primera se fundamenta en la modificación mediante escogencia de reglas que permitan concentrarse en regiones que muestren soluciones activas y la segunda reside en revisar a un nivel macro aquellas zonas que no han sido visitadas, por medio de soluciones que difieran lo más posible de aquellas revisadas. Estos algoritmos constan de los siguientes pasos:

- Selección de una solución inicial X_0 .
- Elección de un entorno y generación de una nueva solución. $V(X_0)$.
- Evaluación de la función objetivo.
- Actualización de la mejor solución y de la mejor de las mejores soluciones.
- Criterios de finalización.

Para cualquier solución, se plasma un conjunto de desplazamiento que define su vecindario y se escoge el mejor de ellos para la siguiente iteración. Para evitar que el procedimiento iterativo entre en un bucle y se estanque en óptimos locales, se mantiene en memoria el histórico de búsqueda. Fundamentalmente, se distinguen dos tipos de memoria, de corto y largo plazo. La primera contiene una lista sobre las últimas soluciones visitadas, prohibiendo desplazamientos a soluciones vecinas que correspondan con la lista tabú de la memoria a corto plazo. La segunda contiene los elementos de la búsqueda más distantes (López, 2004).

Aunque el anterior método ha sido ampliamente empleado en diferentes sistemas de producción como *flow shop*, *job shop*, estos métodos presentan un problema fundamental en la elección de las heurísticas de vecindad, dado que este tipo de algoritmos siempre parte de una solución S ; si se encuentra una solución mejor S' , esta reemplaza la solución actual y se continúa la búsqueda a partir de S' ; si no se encuentra una mejor solución en el vecindario, el algoritmo puede terminar en un óptimo local (Priori, 2004).

Recocido simulado

Normalmente, este algoritmo inicia con la generación de una solución aleatoria para el problema y el cálculo del coste de dicha solución; si su coste es inferior a la solución anterior, el algoritmo evoluciona por medio de desplazamientos unitarios. En caso contrario, la solución se acepta con una probabilidad que decrece exponencialmente con el cociente de la diferencia de costes y un parámetro T , el cual disminuye a lo largo de la ejecución de forma geométrica, reduciendo la probabilidad de desplazamientos ascendentes y manteniendo la solución en valores óptimos; en síntesis, este proceso facilita aceptar soluciones peores a las anteriores, aspecto que permite que el algoritmo no quede atrapado en mínimos locales. Así, si la nueva solución no fuera aceptada, se probaría una nueva solución desde una solución anterior (López, 2004).

Algunos algoritmos desarrollados mediante el procedimiento de búsqueda tabú para la solución de problemas *job shop* crean vecinos mediante la inversión de arcos que unen tareas adyacentes en el camino crítico. Después de que un arco ($x \rightarrow y$) ha sido invertido, se introduce el paso inverso ($y \rightarrow x$) en la lista tabú, la cual contiene los desplazamientos prohibidos (Taillard, 1994).

Aunque en los últimos quince años los algoritmos para la planificación de la producción han conseguido una gran fama, la cual les ha permitido establecer una nueva actuación en un gran rango de problemas del mundo real, la investigación se ha consagrado en desarrollar nuevas búsquedas tabú para el problema *job shop*, dada su eficacia en esta clase de problemas. Los resultados proporcionan progresos significativos en esta dirección. El Nowicki y Smutnicki *i-TSAB* es un algoritmo que instaura una nueva corriente para el formulario de minimización de trabajo

clásico en el problema de planificación. Con una serie de experimentos controlados, se identifican los componentes de i-TSAB lo que permite que se logren niveles revolucionarios de actuación (Watson, 2005).

Otros algoritmos plantean heurísticas con posibilidades de almacenamiento limitadas, con el fin de implantar restricciones importantes en la producción y planeación. Puede usarse para corroborar el trabajo en proceso y debe tenerse en cuenta cuando los horarios factibles serán generados. Este trabajo considera una actuación determinística que establece el problema con un almacenamiento limitado e intermedio. Contrariamente a otras aproximaciones conocidas en la literatura de la planificación, el almacenamiento intermedio es reprimido por las cantidades de materiales que están asociados a los trabajos (UIT, 2005).

Algunos otros autores, como Acero (2003), establecen por medio de la búsqueda tabú una técnica con el fin de conformar un adecuado balance entre el costo de la solución y su calidad, el cual se aplica sobre una línea flexible de manufactura.

La inteligencia artificial y todas sus técnicas han tenido múltiples desarrollos en otros campos de la ingeniería industrial; hoy en día se ha logrado el desarrollo de una serie de proyectos como: formación de máquinas de células (Vila, 2005), celularización de talleres de fabricación, sistemas expertos para la programación de la producción, planificación y control de la producción, gestión de logísticas en almacenes, etc.

SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y OPERACIONES⁷

Enfoque de la producción y operaciones como sistemas

Los sistemas de producción y operaciones proveen muchas aplicaciones de la simulación. Por muchos años, la simulación se ha usado para solucionar problemas de manufactura y servicios, como bien lo muestra el Congreso de Invierno sobre Simulación, que se celebra en Estados Unidos hace más de 20 años. La mayor parte de las investigaciones y trabajos sobre el tema emplean el enfoque de sistemas para abordar las organizaciones como tales. Blanchard (1991) define un sistema como una colección de elementos cuya función conjunta procura alcanzar un objetivo. Existen muy diversas clasificaciones de sistemas, pero para el propósito el término se refiere a sistemas de manufactura/servicios que procesan entidades discretas tales como clientes y productos. No debe confundirse sistema con proceso. Según Hammer y Champú (1993), un proceso es la colección de actividades que crean una

⁷ Este tema es desarrollado por el profesor Jaime Giraldo.

salida basada en una o más entradas, mientras que un sistema es una colección de elementos usada para ejecutar un proceso. Esto es, los sistemas abarcan los procesos pero también incluyen los recursos y controles para realizar el proceso. En diseño de procesos el enfoque se basa en que está siendo ejecutado en el sistema. En diseño de sistemas, el énfasis es sobre los detalles de cómo, dónde y cuándo el proceso se ejecuta. Generalmente se definen primero los procesos, seguidos por el diseño de sistemas; cada uno tiene influencia sobre el otro (Harrell, 2004).

Definiciones más precisas nos las proporcionan Hopp & Spearman (2000), quienes determinan un sistema de manufactura como una red de procesos orientada al objetivo, a través de la cual las entidades fluyen. Generalmente el objetivo es ganar dinero. Los procesos pueden incluir procesos físicos (corte, pintura, troquelado, etc.). Pero también incluyen procesos de gestión (compras, despacho, facturación, programación de producción, etc.). Las entidades incluyen no solamente las partes que están siendo manufacturadas, sino la información que es usada para controlar el sistema. El flujo de las entidades a través del sistema describe cómo los materiales y la información se procesan. Es importante reconocer que un sistema de manufactura es una red de trabajo de interacción de partes. La definición de Hopp y Spearman (2000) sirve además para resaltar el rol de las diferentes disciplinas en manufactura. Por ejemplo, la ingeniería mecánica y eléctrica se relacionan principalmente con procesos de manufactura y el diseño de entidades (productos), mientras que la ingeniería industrial y química (esta última en sistemas de flujo continuo) se relacionan con el flujo y la red de trabajo. A la administración finalmente le concierne asegurar el cumplimiento del objetivo.

Es claro que, a pesar de la aparente diferencia en los conceptos de estos últimos autores sobre la estructura de un sistema de manufactura, subyace en ambos el concepto de que los procesos están subordinados a los sistemas, que las entidades son materiales o simbólicas (información) y que los subsistemas físico y de gestión son los principales componentes del mencionado sistema.

Complejidad de los sistemas de producción y operaciones

La variabilidad existe en todo sistema de producción y puede tener un enorme impacto sobre el rendimiento. Por esta razón, la habilidad para medirla, entenderla y manejarla es crítica si se quiere tener una administración de manufactura efectiva. Hopp y Spearman (2000) definen la variabilidad como "la calidad de no-conformidad de una clase de entidades". En sistemas de manufactura hay muchos atributos en los cuales la variabilidad es de interés: dimensiones físicas, tiempos de proceso, tiempos de falla/reparación de máquinas, medidas de calidad, temperaturas, tiempos de preparación, costos, etc. La variabilidad se asocia con aleatoriedad (pero no es idéntica). Para entender las causas y efectos de la variabilidad, se debe entender

el concepto de aleatoriedad y por lo tanto el lenguaje formal de la probabilidad. La variación puede ser controlable o aleatoria. En el primer caso, esta ocurre como fruto de una decisión. En el segundo caso es consecuencia de eventos que no están bajo control de los decisores; para este caso, por ejemplo, Rohrer (2000) considera la presencia de eventos estocásticos comunes de sistemas de manufactura/servicios en: tiempos de procesamiento, tiempos de preparación, tiempos entre fallas y tiempos de reparación de máquinas, porcentajes de rendimiento, tiempos de transporte y tiempos de arribo.

En sus investigaciones en física de planta, Hopp y Spearman (2000) han detectado que en sistemas de manufactura la variabilidad se puede dar en: los tiempos de proceso, el tiempo entre fallas, tiempo de reparación, los tiempos de preparación, flujo de trabajos, el encolamiento, tiempo entre arribos, etc. Igualmente consideran que para identificar estrategias de mejoramiento en los sistemas de producción de cara a la variabilidad, es importante entender las causas de esta: *naturales*, que incluyen fluctuaciones menores en tiempos de proceso debido a la diferencia entre operadores, máquinas y material. *Aleatorias*, como la parada de las máquinas por fallas no predecibles. *De preparación*, por cambio de línea de producto. *Por no disponibilidad de recursos*, por ejemplo al estar la siguiente máquina ocupada y finalmente debido al reciclaje por problemas de calidad.

Shannon (1988) describe que los sistemas complejos tienen ciertas características que han de tenerse en cuenta cuando se quiere mejorar el comportamiento de los mismos: el estado real de un sistema es el resultado integrado del pasado y la base para el futuro (dinámica de cambio); cada sistema tiene su propio medio y es, de hecho, un subsistema de otro sistema más amplio (medio); por lo general, la causa y el efecto no se relacionan estrechamente en el tiempo o el espacio por lo que los síntomas pueden aparecer mucho tiempo después que las causas principales (comportamiento intuitivo opuesto); los sistemas complejos generalmente tienden, con el tiempo, a un deterioro de sus partes y al surgimiento de ineficacias dentro de ellos (tendencia al bajo rendimiento); ninguna actividad dentro del sistema tiene lugar en un aislamiento total, ya que cada evento se ve influido por sus predecesores y afecta a sus sucesores (interdependencia); y virtualmente todos los sistemas complejos consisten en elementos altamente organizados (organización).

El análisis de sistemas es un enfoque estructurado de solución de problemas caracterizado por: el problema se ve en el contexto de un sistema de subsistemas en interacción (visión sistémica); el objetivo se especifica siempre de primero y las alternativas se evalúan en términos de este objetivo (análisis de medios y fines); con el objetivo en mente, se intenta encontrar maneras no obvias de mejorar el sistema (generación creativa de alternativas); para comparar las alternativas en términos de los objetivos, se emplea el modelamiento de sistemas; los objetivos, las alternativas

y los modelos se revisan repetidamente, ya que encontrar errores y descuidos es una parte natural del proceso de conjetura y refutación (iteración).

Surge una pregunta importante en este punto del desarrollo teórico que se ha hecho: ¿cómo representar apropiadamente un sistema de manufactura/operaciones, dada su complejidad y variabilidad, en pro de no perder realismo y poder medir algunas salidas de interés a partir de controlar unos factores de entrada?

Modelamiento de sistemas de producción y operaciones

Según Shannon (1988), un modelo es una representación de un objeto, sistema o idea, de forma diferente a la de la identidad misma. Usualmente, su propósito es ayudar a explicar, entender o mejorar un sistema. Se considera que las funciones de un modelo son la predicción y la comparación para proporcionar una manera lógica de predecir los resultados que siguen las acciones alternativas, e indicar una preferencia entre ellas.

Elmaghraby (1968) reconoce por lo menos cinco usos legítimos y comunes de los modelos: una ayuda para el pensamiento, una ayuda para la comunicación, una ayuda para entrenamiento e instrucción, una herramienta de predicción y una ayuda para la experimentación. Los modelos nos orientan en la organización y clasificación de conceptos (pensamiento); cuando se trata de presentar ideas o descripciones complejas, los modelos adecuadamente concebidos proporcionan un modo de comunicación más eficiente y efectivo; como ayuda de entrenamiento e instrucción, a menudo los modelos son ideales para entrenar a una persona para que afronte varias eventualidades antes que ocurran; igualmente pueden predecir las características del comportamiento de la entidad modelada y, finalmente, el uso de modelos hace posible la experimentación controlada en situaciones en que los experimentos directos serían imprácticos o prohibitivos por su costo u otras razones.

Para Shannon (1988), en general, un modelo puede servir para uno de dos propósitos: explicar y/o entender (descriptivo) o predecir y/o duplicar las características de comportamiento (prescriptivo). El segundo usualmente implica al primero, pero no viceversa. Usualmente, los modelos de investigación de operaciones son de carácter prescriptivo y se reconoce un impacto significativo en las áreas de su aplicación. Para Hopp y Spearman (2000), en la enseñanza e investigación sobre dirección de manufactura, muchos de los modelos usados son prescriptivos, es decir, prescriben u optimizan el diseño o control de un sistema de producción/operaciones, pero anotan que a pesar de que son necesarios, lo esencial es entender las relaciones básicas que gobiernan un sistema antes de intentar optimizarlo. Comentan además que los modelos prescriptivos se derivan típicamente de un conjunto de suposiciones matemáticas. Desde este punto de vista, difieren de los modelos usados en ciencias como la física y la química, pues sus conjeturas derivan de los fenómenos naturales

que a través de modelos descriptivos proveen los fundamentos para modelos prescriptivos usados por los prácticos en campos de aplicación como la ingeniería mecánica y química, a manera de guía en el diseño y control de sistemas complejos.

Se podría argumentar que los modelos tradicionales de pensamiento en dirección de operaciones son modelos que describen los fundamentos de manufactura. En tal sentido, Little (1992) puntualizó que muchos de los modelos matemáticos usados en dirección de operaciones e ingeniería industrial son tautologías. Esto es, dado un conjunto de suposiciones, el sistema puede comportarse de una manera particular; acá el énfasis es en una derivación apropiada desde las suposiciones hacia las conclusiones y no que el modelo es una representación realista del actual sistema. En esencia, la verdad del modelo es autocontenida. Es de resaltar que aunque la dirección de operaciones no es aún aceptada como una ciencia básica, un número considerable de investigadores y profesores están empezando a llenar este vacío, por ejemplo, Askin y Standridge (1993), Buzacott y Shantikumar (1993), Schwarz (1998). De hecho, la investigación de Hopp y Spearman (2000) en física de planta es un intento de proveer las relaciones básicas entre cantidades de manufactura, como inventario, tiempo de ciclo, *throughput*, capacidad, variabilidad, nivel de servicio al cliente, etc., que permitan modelar sistemas de producción industrial.

De otra parte, Forrester (1961) en su libro *Dinámica industrial* señala que los físicos están tratando, con gran éxito, de modelar fenómenos naturales, mientras que los ingenieros están tratando de modelar sistemas determinados por el hombre. Igualmente, Rowe (1963) sugiere una escala desde lo exacto hasta lo abstracto al clasificar los modelos en físicos, a escala, analógicos, juegos administrativos, simulación por computadora, matemáticos. Kelton y Law (2000) categorizan los modelos en físicos y matemáticos. A los modelos matemáticos los subdividen en modelos analíticos y en modelos de simulación.

Identificación de la estructura de los sistemas de producción y operaciones

De hecho, una primera aproximación a la respuesta planteada al principio del anterior párrafo podría ser el adoptar la representación de caja negra de sistemas (figura 8.13).

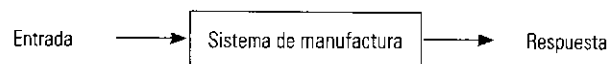


Figura 8.13 Representación de caja negra de sistemas.
Fuente: Elaboración propia.

Como anota Shannon (1988), en esta representación interesan tres entidades distintas: la entrada, el sistema y la respuesta. Para modelar este componente, se debe tener disponible o suponer el conocimiento acerca de dos de las tres entidades.

Si se conocen las ecuaciones que describen el comportamiento del sistema dinámico, entonces el problema directo es encontrar la respuesta del sistema para cada entrada determinada. Por otro lado, si se conocen las ecuaciones que describen el sistema y se especifica o requiere una respuesta, el problema de encontrar las entradas necesarias para producir dicha respuesta se clasifica como un problema de control. El problema más difícil surge cuando se da un conjunto de entradas y salidas correspondientes de un sistema, y se tiene que derivar o encontrar una descripción matemática del sistema. Dicho problema se conoce como de identificación de la estructura. La confusión aparece cuando varias expresiones matemáticas explican la relación entrada-salida.

Por ejemplo, Wilson (1952) sugiere el siguiente ejercicio: supóngase que se alimentan los números enteros 1, 2, 3, 4, 5, 6 al sistema en ese orden y se recibe una respuesta de salida de 2, 4, 6, 8, 10, 12. Una hipótesis razonable sería que si la entrada es n , entonces la salida es $2n$, y se podría predecir que la siguiente salida en la secuencia serían los números pares 14, 16, ..., $2n$. Sin embargo, los datos originales podrían ajustarse igualmente bien a la fórmula:

$$2n + (n - 1)(n - 2)(n - 3)(n - 4)(n - 5)(n - 6) \quad (1)$$

La cual predice que los siguientes números en la secuencia serían 734, 5056, etc.

De lo anterior queda claro que el problema de modelar un sistema de producción/servicios puede caer en la categoría de identificación de la estructura, en la cual el proceso de conversión es estocástico, en razón a la indeterminación de la salida para una entrada dada.

Modelación de los sistemas de producción y operaciones mediante simulación de eventos discretos

Al aproximarse a la clase de modelos que se requiere para abordar los problemas de producción/operaciones, los autores Kelton y Law (2000), Banks et ál. (2004), Pritsker (2000), Pegden (1995) y Shannon (1988) están de acuerdo en que se ha de considerar el modelamiento de sistemas complejos (como los de manufactura/operaciones) mediante simulación si:

- No existe una completa formulación matemática del problema o los métodos analíticos para resolver el modelo matemático no se han desarrollado aún.
- Los métodos analíticos están disponibles, pero los procedimientos matemáticos son tan complejos y difíciles que la simulación proporciona un método más simple de solución.

- ♦ Se desea observar el trayecto histórico simulado del sistema sobre un periodo, además de estimar ciertos parámetros.
- ♦ La simulación puede ser la única posibilidad, debido a la dificultad para realizar experimentos y observar fenómenos en su entorno real. Para el sector industrial, al experimentar con el sistema real:
 - ♦ Es costoso y difícil interrumpir las operaciones.
 - ♦ El hecho de observar a la gente puede modificar su comportamiento.
 - ♦ Es difícil mantener las mismas condiciones operativas para cada repetición o corrida del experimento.
 - ♦ Obtener el mismo tamaño de muestra (y por tanto su significancia estadística) puede requerir más tiempo y ser más costoso.
 - ♦ Quizás no pueda ser posible explorar muchos tipos de alternativas en la experimentación.
- ♦ Se requiere la aceleración del tiempo para sistemas que exigen de largo tiempo para realizarse.

Siguiendo con la aproximación hacia las clases de modelos que podrían considerarse en producción/operaciones, Kelton y Law (2000) y Banks et al. (2004) clasifican los modelos de simulación según tres dimensiones:

- ♦ Estáticos vs. dinámicos: los estáticos son representación de un sistema en un momento particular del tiempo; los dinámicos representan un sistema que evoluciona sobre el tiempo.
- ♦ Determinísticos vs. estocásticos: si el modelo no contiene ningún componente aleatorio, es llamado determinístico. Si algún componente se comporta probabilísticamente, se considera estocástico.
- ♦ Continuos vs. discretos: si se define el estado de un sistema como la colección de variables necesarias para describir el sistema en un momento particular, según un objetivo dado, podemos entonces definir que un modelo discreto es aquel que representa el cambio instantáneo de las variables de estado en puntos separados en el tiempo, mientras que el modelo continuo representa el cambio continuo de las variables de estado en el tiempo.

Independiente de los modelos de simulación a emplear, Pritsker (2000) recomienda tener en cuenta los siguientes principios de modelamiento de sistemas de producción/operaciones mediante simulación:

- ♦ Para conceptualizar un modelo se requiere conocimiento del sistema, juicio de ingeniería y herramientas de construcción de modelos.
- ♦ El secreto para ser un buen modelador es la habilidad para remodelar.
- ♦ El proceso de modelamiento es evolucionario porque el acto de modelar revela información importante parte a parte.

- ♦ El enunciado del problema es el elemento primario que controla la solución del problema basada en el modelo.
- ♦ En modelamiento de sistemas combinados, los aspectos continuos del problema deben considerarse primero, luego los aspectos discretos y por último desarrollar las interfaces entre las variables continuas y discretas.
- ♦ Un modelo debe evaluarse de acuerdo con su utilidad. Desde una perspectiva absoluta, un modelo no es ni bueno ni malo, es neutral.
- ♦ El propósito del modelamiento mediante simulación es conocimiento y entendimiento, no los modelos por sí mismos.

Savolainen et ál. (1995) indican que los modelos de simulación son realmente descripciones formales de sistemas reales que se construyen por dos razones principales: entender las condiciones que existen en el sistema hoy y obtener un mejor diseño del sistema a través de ejecutar análisis qué tal si. Law y Kelton (2000) y Banks (2000) consideran muy beneficiosa la simulación: notan que después de que un modelo es verificado y validado, los cambios propuestos es mejor investigarlos en el modelo de simulación que en el sistema real. Para Rohrer (2000), en una economía global, los industriales exitosos cambian constantemente la manera en que ellos hacen negocios en pro de ser competitivos; por ello, muchas compañías, mediante modelos de simulación, encuentran respuestas a preguntas como: ¿Cuándo debe ser comprada la pieza de un equipo? ¿Cuánta gente necesito para el próximo mes? ¿Puede una nueva orden de cliente ser aceptada sin retrasar las demás órdenes? ¿Cómo una nueva planta puede operar cinco años desde ahora? ¿Cómo puedo reducir el inventario en proceso y el tiempo de ciclo mientras incremento la tasa de producción?

La literatura en el campo de investigación de los modelos de simulación muestra muy diversas aplicaciones de estos. Comenta Rohrer (2000), en su libro *AutoSimulations Incorporated*, que específicamente en el campo de la manufactura y manejo de materiales existe abundancia de aplicaciones, entre otras, por las siguientes razones: la motivación de muchos fabricantes a ser competitivos; el alto nivel de automatización en la industria; las tendencias como *just in time* necesitan ser probadas; los sistemas de manufactura y manejo de materiales son usualmente muy complejos para usar técnicas analíticas. Haciendo una somera revisión del Congreso de Invierno sobre Simulación, se hallan, entre otros, los siguientes reportes de aplicaciones para la empresa manufacturera:

- ♦ Para sistemas de ensamble, Marvin y Seppanen (2005) en su libro *Productive System* reportan un modelo de simulación discreta de líneas de ensamble acompañadas por el equipo en el cual consideran simultáneamente el movimiento de operadores entre celdas y equipo de reparación, y resaltan que muchas otras investigaciones solo consideraban al equipo mas no al factor humano.

- En industrias de alto flujo de material, Douglas et ál. (2005), del Georgia Institute of Technology, informan cómo a través de un modelo de simulación discreta exploran la representación de una lógica avanzada en decisiones, y presentan un modelo de soporte a decisiones en redes complejas de flujo de materiales.
- Con aplicación en planeación de instalaciones y diseño de celdas de trabajo, Sara et ál. (2005) reportan una aplicación de la simulación en el diseño de celdas de fabricación interactivas.
- En el campo de análisis de producción y restricciones, Faget et ál. (2005) describen la aplicación de un método para detectar cuellos de botella mediante modelos de simulación de eventos discretos, persiguiendo como objetivo automatizar el análisis de cuellos de botella, facilitando así la comprensión y adopción de la simulación por los tomadores de decisiones que no tienen conocimientos de simulación.
- Como aplicación en el campo del control de producción y costos, Sean et ál. (2005), informan cómo encontrar una política de control de producción óptima empleando un modelo de simulación a manera de plantilla que en conjunción con un software de optimización permitan el mejoramiento del nivel de servicio al cliente y la reducción del inventario en proceso.

Resumiendo sobre las aplicaciones de los modelos de simulación de eventos discretos en la industria manufacturera y de servicios, Kelton et ál. (2000), Banks et ál. (2004), Pritsker (2000), Pegden (1995) y Harrel et ál. (2004) están de acuerdo que para el caso de la manufactura se han obtenido buenos resultados en ambientes *project shop*, *job shop*, *cellular manufacturing*, *flexible manufacturing systems*, *batch flow shop* y *line flow system*. Específicamente para el caso *job shop* se ha experimentado ampliamente con medidas de rendimiento como: tiempo para completar un conjunto de trabajos, número de trabajos terminados tardíamente, retraso promedio de los trabajos y tasas de utilización del equipo. Para ello se han usado variables de decisión como: regla de selección de trabajos, reglas de secuenciación, enrutamiento de trabajos, recursos asignados a los trabajos, tamaño del lote de transferencia, políticas de turnos y tiempo extra, etc. Para el caso *batch flow shop* la experimentación se ha centrado en medidas de rendimiento en: utilización de recursos, capacidad de producción (*throughput*), trabajo en proceso (*wip*) y costo. Para ello se han empleado variables de decisión como: encolamiento entre estaciones, tamaño de lote de un particular tipo de parte, tamaño del lote de transferencia y secuencia de productos.

Metodología de desarrollo de modelos de simulación

Respecto a la metodología de desarrollo de modelos de simulación de eventos discretos, los últimos autores citados, salvo pequeñas diferencias, reconocen los pasos mostrados en la figura 8.14.

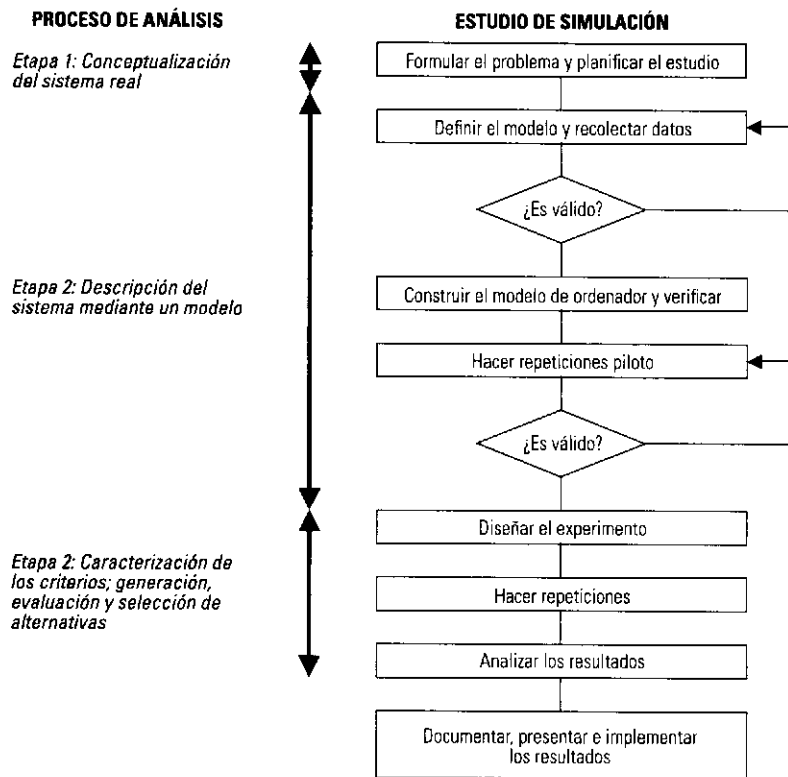


Figura 8.14 Pasos para hacer un estudio de simulación.
Fuente: Banks (2000) y elaboración propia.

Se cubren tres grandes etapas en el proceso de análisis: conceptualización del sistema real; descripción del sistema mediante un modelo y caracterización de criterios; generación, evaluación y selección de alternativas. Cada una de estas etapas del análisis incluye uno o varios pasos del estudio de simulación. En la primera etapa se formula el problema mediante un enunciado, que generalmente proviene de los tomadores de políticas/decisiones de la empresa a la que se le hará el estudio de simulación y durante la segunda etapa del análisis podrá reformularse. Banks et ál. (2004) sugieren que en esta etapa un conjunto de suposiciones deben ser preparadas por el analista de simulación y acordadas con el cliente; de igual manera el plan del proyecto debe incluir un enunciado de varios escenarios que serán investigados:

además del personal requerido, requerimientos de hardware y software, etapas de la investigación, salida esperada de cada etapa y costo del estudio.

Luego se deben identificar los objetivos y restricciones. Para ello, Knepell y Aragno (1993) proponen hacer preguntas como: ¿Cuál es el propósito de la simulación? ¿Quién usará la salida obtenida con el modelo? ¿Qué tan importantes son las decisiones que se tomarán como resultado de simular? ¿Cuáles son las expectativas del cliente? ¿Cuál es el presupuesto? ¿Cuál es el plazo?

Harrell et ál. (2004) plantean objetivos relacionados con: análisis de rendimiento, estudios de factibilidad, análisis de capacidad, estudios de comparación, análisis de sensibilidad, optimización, análisis de restricciones, etc. Igualmente se han de identificar restricciones relacionadas con: personal involucrado, requerimientos de tiempo y accesibilidad para obtener los datos, experimentación, documentación, etc. Banks et ál. (2004) sugieren que los objetivos deben estar alineados con las preguntas que deben ser respondidas por el modelo de simulación y además en esta etapa se debe determinar si la simulación es la metodología apropiada para el problema formulado. Estos aportes señalan claramente que, para determinar los objetivos, el modelador debe entender el sistema que está siendo investigado y también tener la capacidad de, a través de relaciones complejas de causa-efecto y decisión-respuesta, determinar las medidas apropiadas a los objetivos.

Después el sistema real bajo investigación es abstraído mediante un modelo conceptual, a través de una serie de relaciones matemáticas y lógicas concernientes a los componentes y estructura del sistema. Banks et ál. (2004) recomiendan que el modelo empiece simple y que crezca hasta tener un modelo que refleje apropiadamente la complejidad del sistema real. Sugieren además que el usuario debe estar involucrado en el proceso de construcción, lo cual permite obtener un modelo de calidad y lograr la confianza de este en su posterior uso.

Respecto a la recolección de datos, en el mejor de los casos el usuario recolecta la clase de datos requeridos y los entrega en un formato electrónico apropiado; en el peor de los casos debe hacerse una recolección de datos, en la cual, para cada elemento del sistema que está siendo modelado, el analista de simulación decide sobre la manera de representar las variables aleatorias asociadas. Banks et ál. (2004) proponen que las técnicas usadas dependen de: la cantidad de datos disponibles; si son datos obtenidos de la realidad o conjeturados; si cada variable es independiente de otras variables aleatorias, o relacionadas de alguna manera. Si estas últimas son independientes, se tomarán decisiones asumiendo que son determinísticas; o ajustarlas a alguna distribución de probabilidad como lo proponen Wagner et ál. (1993), o usar la distribución empírica de los datos. En algunos casos los datos pueden no estar disponibles (al experimentar con nuevos diseños); debe entonces recurrirse a conjeturas sobre la estimación de estos, por ejemplo, emplear la distribución de "máxima ignorancia" (uniforme o triangular) asumiendo que cada

dato es igualmente probable. De manera similar, ante datos faltantes se puede incluso recurrir a personas que tienen amplia experiencia en la operación del sistema a fin que conjeturen sobre los valores de estos.

Construido el modelo conceptual, este es codificado en una forma reconocible por la computadora. Para ello se pueden emplear lenguajes de programación de computadora tales como Fortran, C++, Java o paquetes de software de simulación de uso general como Arena, GPSS, Stella o especializados en producción industrial como Taylor, Promodel, Witness.

La verificación de modelos de simulación es la determinación de si la implementación en computadora del modelo conceptual es correcta. Ello involucra el examen del programa de simulación para asegurar que el modelo operativamente refleja al modelo conceptual. Maneras consensuadas de ejecutar la verificación, según Banks et ál. (2004), son: seguir los principios de la programación estructurada; hacer que el modelo operacional (en computadora) esté autodocumentado en lo posible; chequear el código de computadora por varias personas; chequear que los valores de entrada están siendo usados apropiadamente; para una variedad de valores de entrada, asegurarse que las salidas son razonables; usar un controlador de corrida interactivo (IRC) para efectos de depuración, y emplear la animación como una herramienta útil de verificación con los usuarios.

Igualmente reportan estos autores que la validación de un modelo de simulación es la determinación de si el modelo conceptual puede sustituir al sistema real para propósitos de experimentación. Una variedad de técnicas subjetivas y objetivas puede usarse para validar el modelo conceptual. Sargent (1992) ofrece varias sugerencias en torno a técnicas subjetivas y objetivas. Entre las técnicas subjetivas a incluir están: validación de cara a quienes conocen y trabajan con el sistema real; análisis de sensibilidad del modelo ante cambios fuertes; pruebas de condiciones extremas; validación de suposiciones del modelo conceptual; chequeos de consistencia y pruebas de *turing*. Como técnicas objetivas están: transformaciones *input-output* y validación usando datos históricos de entrada.

Respecto a la experimentación, Montgomery (2003) anota que en general los experimentos se usan para estudiar el desempeño de procesos y sistemas. El proceso puede por lo general visualizarse como una combinación de máquinas, métodos, personas u otros recursos que transforman cierta entrada en una salida que tiene una o más respuestas observables. De hecho, los modelos de simulación son una representación simplificada de sistemas reales, por lo que interesa determinar cuáles son las variables que tienen mayor influencia sobre la respuesta; cuál es el ajuste de estas variables para lograr que la respuesta esté cerca de un valor nominal deseado y reducir la variación alrededor de este valor. Coleman et ál. (2003) sugieren las siguientes pautas generales para diseñar experimentos a nivel de sistemas físicos:

- Identificación y enunciado del problema: es importante solicitar aportaciones de todas las áreas involucradas: ingeniería, aseguramiento de calidad, manufactura, administración, el cliente y el personal de operación.
- Elección de los factores, los niveles y los rangos: procura diferenciar entre los factores potenciales del diseño y factores perturbadores. Dentro de los primeros se debe identificar cuáles factores se mantienen constantes y a cuáles se les permite variar. Igualmente, determinados los factores, el experimentador debe elegir los rangos en los que haría variar estos factores, así como los niveles específicos con los que se realizarán las corridas.
- Selección de la variable de respuesta: se ha de tener certeza de que esta variable proporciona en realidad información útil acerca del proceso bajo estudio. En la mayoría de los casos, el promedio o la desviación estándar (o ambos) de la característica medida será la variable de respuesta. Puede haber múltiples variables de respuesta.
- Elección del diseño experimental: esta elección implica la consideración del tamaño de la muestra (número de réplicas), la selección de un orden de corridas adecuado para los ensayos experimentales y la determinación de si entran en juego o no la formación de bloques u otras restricciones sobre aleatorización.
- Realización del experimento: Se sugiere, antes de la experimentación, realizar algunas corridas piloto o de prueba a fin de: proporcionar información acerca de la consistencia del material experimental, comprobar el sistema de medición y tener una idea aproximada del error experimental.
- Análisis estadístico de los datos: deben usarse métodos estadísticos para analizar los datos a fin de que los resultados y las conclusiones sean objetivos y no de carácter apreciativo, ya que las técnicas estadísticas, aunadas a una buena ingeniería o conocimiento del proceso y el sentido común, llevarán por lo general a conclusiones sólidas.

En relación con la experimentación en simulación discreta, Kelton y Law (2000) dicen que *“en estudios con simulación discreta podemos encontrar a partir de varios parámetros y suposiciones estructurales cuáles tienen un mayor efecto sobre una medida de rendimiento, o cuál conjunto de especificaciones del modelo conduce a un rendimiento óptimo”*. En esta apreciación, los términos parámetros y suposiciones estructurales es lo que se denomina factores, mientras que medida de rendimiento se denota como respuesta, hablando en términos de diseño experimental. Los factores pueden ser cuantitativos o cualitativos; controlables y no controlables. Sobre esto último, Biles (1979) ha puntualizado que los factores no controlables pueden ser de interés en experimentos de simulación, ya que el experimentador podría manipularlos, cuestión que no se podría hacer al experimentar con el sistema real.

Por otra parte, en simulación, el diseño de experimentos cuidadosamente elaborado es más eficiente que hacer una secuencia de corridas en las que simplemente se intente a tanteo y error con un número de configuraciones alternativas de manera no sistemática para ver qué ocurre. Señalan Law y Kelton (2000) que los diseños factorial 2_k y factorial fraccionado 2_{k-p} son particularmente útiles en estados tempranos de la experimentación cuando se está escudriñando cuáles factores son importantes y cómo pueden ellos afectar las respuestas. Igualmente enfatizan que, aunque parece que la experimentación con simulación es un caso de la experimentación en general, hay algunas peculiaridades ventajosas acerca de la simulación que la distinguen de la experimentación tradicional a nivel físico, como la realizada en la industria, laboratorios y agricultura. Estas ventajas son:

- En simulación se tiene la oportunidad de controlar factores que en el mundo real son incontrolables (por ejemplo, tasas de arribo de materias primas). Así, se podrían investigar muchas más clases de contingencias que pueden ocurrir en el sistema real.
- En experimentos con simulación, se puede controlar la fuente básica de variabilidad, cosa que no se lograría al hacerlo con experimentos físicos.
- En experimentación física es prudente aleatorizar los tratamientos (combinación de factores) y el orden de las corridas (secuencia en que los tratamientos se aplican); mientras que en experimentación con simulación, se puede asumir que los generadores de números aleatorios están trabajando adecuadamente.

Kleijnen (1995) concluye que el diseño de experimentos (DOE) es un método para responder a preguntas qué tal si... en simulación. Para ello sugiere complementar DOE en simulación con las siguientes técnicas:

- Emplear la técnica bifurcación secuencial a fin de seleccionar los principales factores que influyen en la variable respuesta.
- Usar los metamodelos de regresión para generalizar los resultados de la experimentación con simulación.
- Aplicar el diseño estadístico para obtener buenos estimadores de los factores principales, interacciones entre factores y efectos cuadráticos. Estos diseños requieren pocas corridas de simulación lo cual facilita el diseño intuitivo.
- Para intentar obtener óptimos, emplear la metodología de superficies de respuesta (RSM) combinada con análisis de regresión y diseños estadísticos.
- Finalmente, afirma que las técnicas descritas han sido aplicadas muchas veces en estudios de simulación práctica, con resultados más generales en menor tiempo.

Tipos de sistemas de manufactura/operaciones factibles de ser simulados

Generalmente, los estudios de simulación en producción/operaciones incluyen en sus objetivos medidas de rendimiento que se evalúan a través de unas variables de decisión. Las primeras establecen el nivel de eficiencia y efectividad del sistema, incluyendo entre estas: costo, *throughput*, tiempo de procesamiento, tiempo de espera, tiempo de servicio al cliente, tasas de abandono, confiabilidad, desperdicio, *wip*, tasas de utilización, etc. Las segundas impactan las medidas de rendimiento, e implican tomar decisiones sobre: instalaciones, automatización, tamaños de lote, control de producción, control de inventario, control de flujo, recursos, planeación de capacidad, etc.

La tabla 8.2 resume, por configuraciones productivas típicas, medidas de rendimiento y variables de decisión de sistemas de manufactura que pueden ser modelados mediante simulación de eventos discretos.

Tabla 8.2 Sistemas de producción: medidas de rendimiento y variables de decisión a emplear en estudios de simulación.

Tipo de sistema	Medidas de rendimiento	Variables de decisión
<p><i>Project shop</i> Las partes son estacionarias, mientras que los recursos son llevados al procesamiento del producto. Este último requiere considerable tiempo para ser terminado. Involucra muchos recursos en que la calidad del producto terminado y el tiempo para terminar el producto dependen de la capacidad de los recursos y de una correcta planeación y programación de estos recursos. A menudo, varios proyectos superpuestos deben ser coordinados, pues todos ellos requieren el uso de recursos comunes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo estimado para terminar el proyecto. • Tiempo estimado para completar múltiples proyectos. • Probabilidad de terminar el proyecto en un momento particular. • Costo estimado para terminar el proyecto. • Utilización esperada de los recursos. • Potenciales retrasos a través de la ruta crítica debido a no disponibilidad de recursos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subdivisión del proyecto en tareas individuales. • Tiempo requerido para completar cada tarea. • Recursos requeridos para ejecutar cada tarea. • Prioridades con las cuales las actividades acceden a los recursos. • Orden en el cual múltiples proyectos se ejecutan.
<p><i>Job shop</i> Consiste en un arreglo de estaciones de trabajo, usualmente por función o tipo de proceso. Producen una amplia variedad de partes en bajos volúmenes. Tienden a ser muy ineficientes debido a los largos tiempos de procesamiento y alto inventario en proceso.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo para terminar un conjunto de trabajos (<i>makespan</i>). • Número de trabajos terminados tardíamente. • Retraso promedio de los trabajos terminados. • Tasas de utilización de los equipos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Regla de selección de trabajos. • Secuencia en la cual los trabajos se procesan. • Reglas de enrutamiento. • Recursos asignados a los trabajos. • Tamaño del lote de transferencia. • Políticas de tiempo extra y turnos de trabajo. • Asignación de recursos a estaciones de trabajo.

NUEVAS TECNOLOGÍAS DE LA FABRICACIÓN Y LA INFORMACIÓN

Tipo de sistema	Medidas de rendimiento	Variables de decisión
<p><i>Cellular manufacturing</i> Es una configuración alternativa al job shop en la cual las maquinas son agrupadas en celdas acorde a procesos comunes, generalmente con supervisión computarizada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de máquinas. • Tasa de producción. • Utilización de operadores y robots. • Utilización de la estación cuello de botella. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos y número de máquinas en las celdas de trabajo. • Tamaño de lote de un particular tipo de parte. • Secuenciación de los tipos de parte dentro de la celda. • Prioridades de manejo de materiales dentro de la celda.
<p><i>Flexible manufacturing systems</i> Es una red de máquinas de control numérico (NC), centros de maquinado y/o celdas con sistemas de almacenamiento y transporte automatizados para partes y herramientas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización del sistema de manejo de materiales. • Utilización de máquinas. • Tasa de producción. • <i>Makespan</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Número y tipo de máquinas en el sistema. • Tamaño del lote de producción. • Tamaño del lote de transferencia. • Secuenciación de los tipos de partes a través del sistema. • Prioridades de manejo de materiales. • Número y tipo de accesorios disponibles. • Requerimientos de herramientas por operación. • Tamaño de almacenamientos.
<p><i>Batch flow shop</i> Emplea instalaciones basadas en el producto, en las cuales la secuencia de estaciones de trabajo es visitada por los diferentes lotes de producto. El flujo es básicamente unidireccional.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de recursos. • Capacidad de <i>Throughput</i>. • Trabajo en proceso (WIP). • Costo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Encolamiento entre estaciones. • Tamaño de lote de producción de un tipo particular de parte. • Tamaño del lote de transferencia. • Secuencia de productos.
<p><i>Line flow manufacturing</i> Consiste en líneas de producción/en-samble y líneas de transferencia en las cuales los productos se procesan y mueven individualmente. Es lo que se conoce como producción en masa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de recursos. • Capacidad de <i>Throughput</i>. • Trabajo en proceso (WIP). • Eficiencia del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • Número y tipos de estaciones en la línea. • Posición y tamaño de los almacenamientos. • Procedimientos de mantenimiento.

Fuente: Harrell et ál. (2004).

La tabla 8.3 resume, por configuraciones operativas típicas, medidas de rendimiento y variables de decisión de sistemas de servicios que pueden ser modelados mediante simulación de eventos discretos.

Tabla 8.3 Sistemas de servicios: medidas de rendimiento y variables de decisión a emplear en estudios de simulación.

Tipo de sistema	Medidas de rendimiento	Variables de decisión
<p><i>Service factory</i> Sistemas en los cuales se les provee servicios a los clientes usando equipo e instalaciones que requieren poca mano de obra. El servicio se presta en cuestión de minutos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de servicio por periodo. • Tiempo de espera por periodo. • Longitud de las colas por periodo. • Número de clientes en la instalación por periodo. • Utilización de recursos por periodo. • <i>Throughput</i> por periodo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de servidores durante cada periodo. • Cantidad de equipos. • Tamaño de las instalaciones (áreas de espera, parqueo). • Tasa de arribo sobre el ciclo de servicio. • Horas de operación. • Horas de limpieza y mantenimiento.
<p><i>Pure service shop</i> En estos sistemas los tiempos de servicio son más largos que en los <i>service factory</i>. Los clientes requieren ser identificados antes que el servicio sea provisto. Los clientes pueden salir del sistema y retornar. El precio generalmente se determina después que se presta el servicio. La consideración primaria es la calidad del servicio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de servicio promedio por periodo. • Tiempo de espera promedio por periodo. • Longitud de las colas por periodo. • Número de clientes en la instalación sobre el tiempo. • Tasa de abandono durante cada periodo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de prestadores de servicio • Tiempos de servicio. • Número y tipo de equipo de servicio y transporte. • Capacidad de la instalación. • Tamaño y localización de las instalaciones (áreas de espera, servicio, parqueo). • Secuenciación de los clientes que esperan ser servidos. • Número de personal de apoyo y programación de turnos. • Horas de operación. • Programa de mantenimiento.
<p><i>Retail service stores</i> Sistemas con instalaciones muy grandes para acomodar muchos clientes al mismo tiempo. Se ofrece a los clientes un gran número de opciones de productos para que elijan. Estos sistemas requieren bastante mano de obra pero bajo grado de interacción con el cliente. El tiempo de servicio es usualmente medido en minutos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de espera para ser atendido. • Número de clientes esperando en cajas por periodo. • Utilización de recursos por periodo. • Número de carritos disponibles por periodo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de servidores. • Número de cajas de pago. • Número de muelles de entrega y recolección. • Número de carritos. • Tamaño de la instalación. • Localización de las mercancías, carritos y puntos de atención. • Turnos de cajeros y representantes del servicio al cliente. • Frecuencia de remplazo y cantidad de inventario. • Horas de operación. • Programa de mantenimiento.

NUEVAS TECNOLOGÍAS DE LA FABRICACIÓN Y LA INFORMACIÓN

Tipo de sistema	Medidas de rendimiento	Variables de decisión
<p><i>Professional services</i> Son sistemas constituidos generalmente por una persona o un pequeño grupo, que prestan servicios en un campo específico. El servicio es altamente especializado y prestado con recursos costosos. La duración del servicio es larga, extremadamente variable y difícil de predecir.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo promedio de servicio. • Utilización de recursos. • Tiempo gastado haciendo retrabajos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Número y tipo de prestadores del servicio. • Programación de turnos y personal. • Tiempo de revisión de proyectos. • Horas de operación extra.
<p><i>Telephonic services</i> También llamados teleservicios, son sistemas que prestan servicios a través de líneas telefónicas (o Internet) sin contacto cara a cara con el cliente. Los servicios pueden ser: reservaciones, órdenes por catálogo, servicio de soporte, etc.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de servicio por periodo. • Tiempo de espera por periodo. • Tasa de abandono por periodo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de operadores. • Frecuencia de llamadas entrantes por periodo. • Capacidad del sistema telefónico. • Programación de turnos y personal. • Enrutamiento de llamadas. • Horas de operación.
<p><i>Delivery services</i> Sistemas que prestan servicios de toma de pedidos, envío y entrega de materias primas o productos terminados, hacia puntos de uso o ventas. Los clientes pueden aceptar las entregas solamente dentro de ciertos tiempos programados</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Entrega sobre el tiempo. • Costo de viaje. • Tiempo total de viaje. • Utilización del uso de vehículos. • Utilización de la capacidad de llevar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de vehículos y conductores. • Tamaño de las instalaciones y disposición. • Secuencia de enrutamiento. • Frecuencia de entregas y tamaño de la entrega. • Programación de carga de ida y vuelta para evitar tiempos muertos de transporte.
<p><i>Transportation services</i> Sistemas que involucran el movimiento de gente de un lugar a otro. Se diferencia con el anterior en que se transporta gente con rutas más bien fijas. Los clientes están interesados en un transporte conveniente y rápido.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de abordaje. • Tiempo en desabordar. • Tiempo de transporte. • Arribos sobre el tiempo. • Utilización de los vehículos de transporte. • Costo de viaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño y localización de las áreas de carga y descargue. • Número, tamaño y velocidad de los equipos de transporte. • Programación de tiempos de arribo y llegada. • Programación de vehículos y operadores. • Programa de mantenimiento.

Fuente: Harrell et ál. (2004).

LOS SISTEMAS ERP – ENTERPRISE RESOURCE PLANNING⁸

Los sistemas ERP permiten a la organización integrar el sistema de información cubriendo todas las áreas funcionales. Es una aplicación de software multimódulo que da la capacidad para gestionar todos sus departamentos, secciones y funciones, además de integrar aspectos tecnológicos como son una base de datos, aplicaciones, interfaces, herramientas y BPR (*business process reingeniery*). Los ERP se construyen según el flujo funcional de trabajo, lo que proporciona el mecanismo para dirigirlos y controlarlos por monitorización de aspectos logísticos como cargas de trabajo, capacidad, tiempos muertos, tiempos de proceso, colas de trabajo, etc. Además, actualmente son la única solución para una buena dirección de proyectos.

Los ERP funcionan como una cadena de aprovisionamiento integrada, donde en cada módulo se puede, por un lado, gestionar los recursos y, por el otro, establecer un control y así detectar desviaciones y corregirlas, determinar mejoras sobre los procesos, fijar precios más competitivos (Davenport, 1998). A nivel corporativo facilitan el intercambio de datos entre dos divisiones y gracias a ello se pueden unificar los procedimientos principales de una organización en una sola familia de módulos de software; con estos sistemas se aumenta la eficiencia y la eficacia de las empresas en cuanto a la gestión y obtención de información, y de este modo se logra una respuesta ágil a las demandas tanto internas como externas.

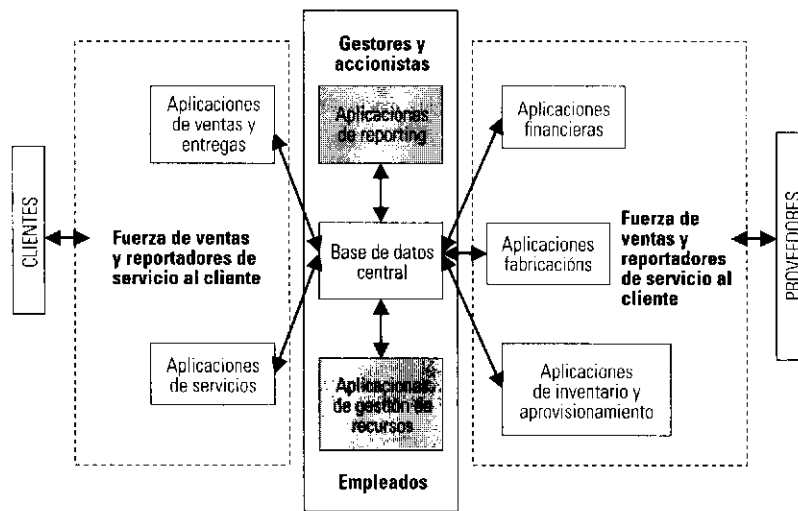


Figura 8.15 Interacción del ERP.
Fuente: Davenport (1998).

⁸ Este tema es desarrollado por el profesor Jhonny Tamayo.

Funciones del ERP

Cada módulo está diseñado para que gestione unas funciones determinadas dentro de cada departamento o sección, además de estar integrado con los otros que componen el ERP. Considerando el inicio de la actividad de una empresa como la venta, el ERP empieza a funcionar por el módulo de ventas (o comercial) cuando se genera la oferta, el pedido, el albarán de entrega y la factura al cliente. Para realizar estas funciones, es necesario disponer de fechas de entrega fiables, por lo que el departamento comercial tiene a su disposición los movimientos de almacén y el control de existencias o, en su defecto, el módulo producción. Además de la gestión del pedido, el módulo dispone de otras funciones como la gestión del transporte, agentes comerciales, catálogos.

Una vez generado el pedido, se lanzan las órdenes de producción; a partir de este momento se programa el pedido planificando materiales, recursos humanos y de máquinas; en cada caso se pasa al módulo correspondiente. Una vez planificado el pedido de los clientes, se generan las órdenes a proveedores en el módulo de compras, lo que facilitará su seguimiento y la interacción con estos. Paralelamente el módulo de fabricación inicia la gestión del mantenimiento de la maquinaria que se va usar.

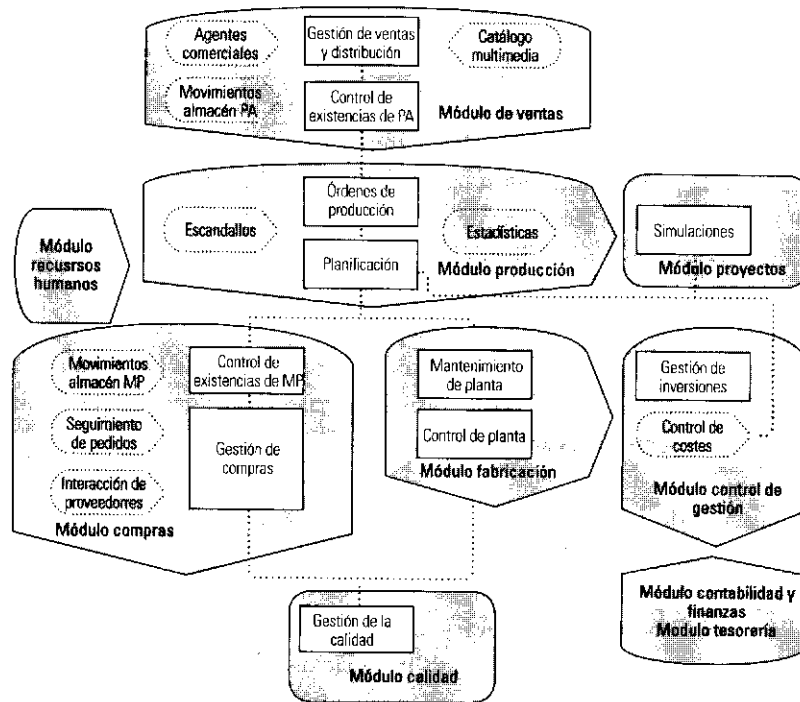


Figura 8.16 Proceso del ERP.
Fuente: Davenport (1998).

Con los recursos necesarios disponibles se inicia la fabricación del pedido, módulo que dispone de procesos para el control de planta. En línea con los módulos anteriores, existen los módulos que no son específicos de producción y que asisten la actividad de la empresa: módulo de recursos humanos, módulos de contabilidad, finanzas y tesorería (estos tienen funciones como: cuadro automático de apuntes, asientos predefinidos, seguimiento de previsiones, diseño de balances, gestión de cartera, gestión de inmovilizados y gestiones automáticas, extracto de cuentas...), módulo de control de gestión y módulo de proyectos con los que se efectúan simulaciones de cálculos de previsiones de costos de nuevos productos.

Módulos del ERP

En el conjunto de la empresa se pueden encontrar varias áreas diferenciadas, pero estrechamente relacionadas entre sí: producción, distribución, contabilidad y finanzas, mantenimiento y gestión de proyectos, y recursos humanos. Todas ellas importantes para el desarrollo de la organización, no obstante estar en el centro de la producción. Los paquetes integrados ERP actuales están compuestos por una serie de módulos de programa que abarcan todas estas áreas (Davenport, 1998).

Producción/fabricación

Estas aplicaciones están concebidas para ayudar en la compleja tarea que es mantener la producción conforme a los planes previstos, ofreciendo y analizando los datos vitales sobre el plan de producción, las materias primas y los artículos pedidos. Es decir, planifica la producción según las necesidades del cliente y las necesidades de compra. De acuerdo con los *stocks* de los que se disponga y los pedidos, el módulo planifica la producción (*stocks* disponibles, capacidades, empleados, compra de materias primas o componentes). La información se procesa en el MRP y el sistema realiza una previsión de lo que se necesita producir.

En general, el módulo de fabricación consta de subsistemas también modulares, que permiten la adaptación a los distintos sistemas de producción que utilizan las empresas. Estos subsistemas son los siguientes:

- Planificación de la producción: a partir de unas estructuras y rutas definidas desde la ingeniería, el sistema explota esta información calculando las necesidades brutas de material y tiempos. Una vez deducidas las existencias y componentes en proceso de compra y/o fabricación, se obtienen las necesidades netas. Comparando estos datos con la capacidad real, se tiene la información para elaborar una planificación detallada. Aquí se incluyen los módulos del plan maestro de producción (MPS), planificación de recursos de materiales (MRP) y planificación de capacidades (CRP).

- Módulo de ingeniería con interfaz de datos (enlace CAD): incluye toda aquella información que permite conocer con detalle la estructura de los productos, con la definición de los niveles que lo componen y la interrelación entre ellos, así como el detalle de las operaciones y fases que forman la *ruta de fabricación*; engloba también la definición de las rutas de producción.
- Gestión de fabricación repetitiva: módulo usado para agilizar la fabricación de productos en grandes cantidades. Los objetivos de este módulo son reducir los *stocks* y la mano de obra en curso, disminuir los tiempos de fabricación, mejorar la calidad y simplificar los procesos en las líneas de producción de flujo continuo.
- Gestión de fabricación/gestión de las órdenes de producción: permite la definición de diferentes estados de una orden de facturación (OF), como introducción, edición, etc.; cada uno de ellos asocia los movimientos correspondientes: reserva de material, informes a taller, actualización de existencias, etc.
- Administración de calidad: es usado para definir y guardar la calidad de productos, incluye inspección y pruebas durante el proceso de fabricación, inspección, mano de obra e inventario. El módulo de gestión de la calidad planifica e implementa con eficacia los procedimientos de inspección y asegura un alto nivel de calidad, así como también permite asignar automáticamente el nivel de calidad a los diferentes recursos del inventario.
- Planificación y programación a capacidad finita: mediante el módulo de capacidad finita se puede reajustar y priorizar las cargas por centros de trabajo y también clasificar las órdenes de producción con criterios previamente definidos.
- Gestión de costos: permite obtener una valoración de los costos históricos, calculando las diferencias entre los importes reales y los teóricos. Facilita la inclusión de multitud de conceptos que pueden intervenir en los procesos de producción. Regula los costos de la empresa: de maquinaria, de materia prima.
- Análisis de la producción: guarda la información de las órdenes de producción cerradas para el análisis posterior. Se comparan los resultados obtenidos con los datos teóricos tanto de cantidades producidas como de tiempos de ejecución. De igual forma, permite controlar la trazabilidad de los productos acabados efectuando el tratamiento de lotes desde la recepción de material, así como el seguimiento logístico de los materiales durante el proceso de fabricación.
- Monitorización y control de la producción: involucra funciones como control del flujo de trabajo en toda la planta; gestión de prioridades para todos los trabajos; gestión del trabajo en cada instalación (listas diarias de trabajo, con prioridades); localización de órdenes, generación de informes en línea que permiten ver la situación y el estado (en marcha, esperando) de todo en cualquier momento; determinación del costo de las actividades de producción, que está ligado a los

informes de producción; gestión y análisis de los centros de trabajo incluyendo análisis de entradas y salidas, estadísticas de colas.

- Subcontratación: Toda compañía que trabaja con subcontratistas necesita saber qué trabajos se les han encomendado, así como el progreso individual de cada uno de ellos, incluso si no se ha planificado la subcontratación en las fases iniciales del trabajo (Wallace y Kremzar, 2001).

Distribución (logística)

Este módulo, dependiendo del paquete, recibe un nombre u otro; sus funciones pueden estar todas integradas en el mismo módulo o bien divididas en dos o tres dependiendo de los fabricantes. Las funciones se relacionan con las actividades de ventas y distribución de los productos, desde la presentación de la oferta hasta la facturación, pasando por el pedido, gestión de almacenes, etc. Estas aplicaciones permiten entender el estado de los pedidos y el nivel de los créditos pactados con los clientes y proveedores, así como la posición de las cuentas de los clientes, las facturas pendientes de pago y la fecha de expedición real o prevista. Ofrecen las herramientas necesarias para analizar los datos de ventas en términos de volumen y de ganancia; además se pueden analizar los resultados de ventas, aceptar transacciones electrónicas, controlar y verificar las expediciones a los clientes y predecir la demanda futura.

A continuación se detallan los submódulos que están incluidos en distribución:

- Planificación de las necesidades de distribución: proporciona la planificación y control de la distribución y producción, así como información gerencial de compras y de alto nivel necesaria para la distribución y reaprovisionamiento entre almacenes y plantas de producción.
- Intercambio electrónico de datos (EDI): acelera la comunicación y promueve relaciones más estrechas entre asociados comerciales.
- Tiempos y administración de gastos.
- Facturación.
- Lotes.
- Compras: con este módulo las decisiones de compra estarán siempre respaldadas por la información adecuada, es decir que los proveedores pueden entregar los productos de acuerdo con las especificaciones propias de cada empresa y condiciones. Incluye: solicitudes de ofertas de compra, contratos de compra, órdenes de compra.
- Ventas: el proceso de ventas de los productos terminados está conectado a numerosos procedimientos a lo largo y ancho de la empresa. Además requiere una

solución de software que soporte todas las tareas en preventas y procesamiento de órdenes, así como proporcionar una conexión con materiales, gestión, planificación de producción y finanzas. Incluye: contratos de venta, ofertas de ventas, análisis de ventas, promociones y ofertas.

- Previsiones: este módulo ofrece un punto de previsión estadística que se adapta a una demanda variable, lo cual es una herramienta muy importante en la planificación de la producción.
- Gestión de transporte: incluye un gran número de aplicaciones diseñadas para realizar un control óptimo del transporte y de la logística de distribución; se destacan las siguientes: gestión de flotas de transporte, gestión de combustible, órdenes de transporte, tarifas de transporte, administración de entregas, planificación de órdenes de transporte.
- Gestión de almacén: el éxito en la gestión de almacenes significa la reducción drástica de costos operacionales y la mejora del servicio al cliente. La gestión de inventarios en el entorno de producción requiere un control sofisticado de las ubicaciones, cantidades, disponibilidad y calidad en los centros de distribución. Estos módulos proporcionan avanzadas funciones para ayudar a mejorar el servicio al cliente mejorando la exactitud del inventario, el control de calidad y la utilización del espacio de almacén. Incluye: control de inventarios, recepción, embalajes, órdenes de reaprovisionamiento, ubicaciones.
- Gestión de la calidad: los beneficios de integrar completamente la información de calidad en la empresa incluyen la mejora de la calidad del producto, mejor servicio al cliente, reducción en los retrasos de la producción y una gestión de laboratorio más eficaz. El objetivo es controlar el ciclo de calidad desde la realización de pruebas hasta la disposición o aplicación, para materias primas, obra en curso y productos terminados.

Contabilidad y finanzas

El área de contabilidad y finanzas es una de las más importantes en la estructura organizativa de la empresa. Para poder realizar una inversión, una compra o un plan de producción, en este departamento se ha de dar el visto bueno a la operación. Las aplicaciones de estos sistemas están muy desarrolladas en los paquetes informáticos actuales por ser un área que tradicionalmente ha gozado del privilegio de informatizarse en primer lugar, con lo cual hoy en día en los programas de gestión integrada concurren un gran número de funciones asociadas a la economía empresarial. Otra importante característica del módulo de finanzas es la gran flexibilidad a la hora de producir informes (*reporting*), permitiendo personalizar el contenido y aspecto de los informes y descender a datos de detalle.

Las aplicaciones financieras se suelen componer de los siguientes módulos:

- Cuentas a cobrar: proporciona un control completo sobre el ciclo de cobros pendientes, desde la gestión de caja a la de cobros y abonos. En un entorno integrado de cuentas a cobrar, se pueden efectuar los ingresos en el tiempo previsto y comunicar mejor al cliente su deuda pendiente.
- Cuentas a pagar: proporciona cobertura del proceso completo de pagos para ayudarle a gestionar mejor los mismos y mantener buenas relaciones con los proveedores. También controla el retraso en el pago de las facturas que hace que muchas veces se pierdan descuentos por pronto pago, gestionando de este modo el flujo de caja más eficazmente.
- Costos de recursos: permite tratar la mayor parte posible de los gastos generales como costos directos. Proporciona múltiples costos estándar, simulaciones y valoraciones de inventario.
- Costos de actividad: se mejoran las posibilidades de profundizar en los costos reales de los productos determinándolos de manera precisa en función de los factores realmente representativos. Asigna los gastos a cada actividad.
- Costos dinámicos: las continuas desviaciones en eficacia o gastos hacen que los costos tengan un comportamiento esencialmente dinámico.
- Contabilidad general: la aplicación de contabilidad general proporciona la flexibilidad necesaria para gestionar un entorno cambiante de negocio.
- Tesorería: mediante la función de banca electrónica se puede establecer una sólida base para la gestión de tesorería moderna y orientada hacia el futuro. La gestión de tesorería ayuda en la toma de decisiones y mejora la visión sobre los pagos y cobros.
- Activos fijos: Esta aplicación proporciona la contabilidad, finanzas e impuestos de personal con la capacidad de completar la contabilidad de los activos internos y externos, control de propiedades, contabilidad de impuestos y las necesidades de control de información.
- Nóminas: posibilita el ahorro de tiempo y trabajo, realizando todas las tareas relacionadas con las nóminas y calculando automáticamente los impuestos, los pagos a fondos de pensiones, los pagos a la seguridad social, los suplementos por horas extraordinarias y las deducciones salariales, todo ello garantizando la confidencialidad de la información tratada. Nóminas también realiza informes sobre los costos salariales.
- Análisis financiero: las funciones automáticas permiten ahorrar mucho tiempo en entrada de datos periódicos y recurrentes y, además, calculan automáticamente las amortizaciones e identifican los activos fijos.
- Contabilidad de contratos: esta aplicación reúne información desde los módulos operacionales del sistema y la almacena por contrato en una base de datos propia. Facilita preguntar e investigar como se desee para comprender completamente los costos y estado, así como gestionar el progreso del contrato. Permite: auditar

contratos, definir contratos, informes flexibles, costos actuales y proyectados, progreso de la facturación (Wallace y Kremzar, 2001).

Mantenimiento y gestión de proyectos

Un elemento clave en todas las empresas es el concepto de gestión de mantenimiento; para ello la mayoría de estas requieren un sistema separado que duplica muchas funciones de las aplicaciones de producción. El sistema de gestión de mantenimiento ayuda a optimizar la producción asegurando que los equipos de trabajo están en las mejores condiciones de utilización. Aunque en la mayoría de paquetes este módulo lo incluyen dentro del módulo de logística/distribución. Como componentes fundamentales del mantenimiento se pueden encontrar dos aplicaciones:

- **Gestión del mantenimiento y servicios:** ayuda a planificar y a controlar las actividades de mantenimiento de los equipos de producción, de los vehículos y de los edificios, para reducir costos y aumentar la disponibilidad. La aplicación sirve para planificar las órdenes de trabajo, los calendarios de mantenimiento preventivo y para evaluar los costos de los equipos. El sistema de mantenimiento permite planificar el trabajo, seguir los elementos y la mano de obra necesarios y revisar los gastos reales.
- **Seguimiento y control de proyectos:** el trabajo de mantenimiento puede llevarse a cabo contra las órdenes habituales o formar parte de proyectos especiales. El control de proyectos hace un seguimiento de todos los gastos incurridos contra los proyectos especiales e informa de los costos estimados, presupuestados, comprometidos y costos reales de cada proyecto; este informe puede emitirse en forma de "porcentaje realizado" o de "costos pendientes" para cada actividad, así como para el proyecto en su totalidad (Wallace y Kremzar, 2001).

Recursos humanos

Este módulo proporciona todas las herramientas de apoyo y explotación para obtener un conocimiento preciso y exhaustivo del entorno económico y administrativo del personal, que ayudará en la correcta toma de decisiones a través de la generación de informes de nóminas, estadísticas de personal, simulaciones y otros. El módulo abarca todo lo que es administración y desarrollo de personal, destacando las siguientes áreas:

- **Salarios y condiciones:** las aplicaciones de recursos humanos proporcionan una herramienta fácil de manejar para la administración de salarios y nóminas. La administración de salarios ayuda en las revisiones salariales mediante métodos con que asignar cambios salariales por defecto.

21. Castells, M. (2002). *La era de la información, economía, sociedad y cultura: sociedad red*, vol. 1, (4ª ed.). Versión castellana de Carmen Martínez Gimeno y Jesús Alborés. Siglo Veintiuno, México.
22. Chichang, J. (2004). *A genetic algorithm with sub index partitioning genes an its application to production scheduling of parallel machines*. Elsevier 2004.
23. Coleman, D. E. (2003). A systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment. In: *Technometrics*, vol. 35, pp. 1-27.
24. Collins, P. (1991). "Pinpointing the real cost of quality in a service company". *National Productivity Review*. Summer.
25. Connoly, T. (1977). "Information processing and decision making in organizations". In: B. Staw and G. Salancik (eds.). *New directions in organizational behavior*. St. Clair, Chicago.
26. Craig, J. (1989). *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. 2ª ed. Addison Wesley.
27. Davenport, T. (1998). *Putting the enterprise into the enterprise system*. Harvard University, vol. 76. Boston University, Boston, EEUU.
28. Delbecq, A. H. (1975). *Vande Ven and D.H. Gustafson, Group Techniques for Program Planning: A Guide to Nominal Group and Delphi Processes*. Scott-Foresman & Co.
29. Doemer, Roland; Peters, Ezers (1999). *Building e-commerce solution. Guidebook*. International Business Machines IBM.
30. Domingo, Saúl (2000). *Sistemas de gestión empresariales ERP*. Fundación Universitaria Iberoamericana. Barcelona.
31. Douglas, A. B.; Wang, K.; Xu, S. (2005). Advanced Decision Logic in Simulation of Material Flow Processing Networks. In: *Winter Conference Simulation v. 2005*. Georgia Institute of Technology.
32. Duncan, R. B. (1972). "Characteristics of Organizational Environments and Perceived Environmental Uncertainty". *Administrative Science Quarterly*.
33. Duque, N. (2005). *Seguridad en cómputo e inteligencia artificial*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
34. Elmaghraby, S. E. (1968). "The Role of Modeling in I. E. Design". *The Journal of Industrial Engineering*, vol. XIX, No. 6.
35. Escalona, I. (2004). *Diseño y manufactura asistida por computador e introducción al CNC*. Curso del Instituto Politécnico Nacional. México.
36. Faget, P.; Eriksson, U.; Herrmann, F. (2005). Applying Discrete Event Simulation and an Automated Bottleneck Analysis as an Aid to Detect Running Production Constraints. In: *Winter Conference Simulation v. 2005 (Volvo Car Corporation)*. Chalmers University of Technology.
37. Flores, Fernando (1984). *Inventando la empresa del siglo XXI*. Dolmen Ediciones, Chile.
38. Flores, Z. M. (2005). *La inteligencia empresarial en la gestión empresarial*. <http://www.monografias.com>
39. Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics*. MIT Press and Wiley, New York.
40. Fuentes, P. (1998). *Los costes de la calidad: un reto para la gestión*. ESIC Market.

41. Gahagan, S. M.; Herrmann, J. W. (2005). Finding the Optimal Production Control Policy Using the Production Control Framework. In: Winter Conference Simulation v. 2005. Northrop Grumman Corporation. University of Maryland.
42. Galbraith, J. (1977). "Organization Design". Addison-Wesley, Reading, MA.
43. Gómez, G.; Fernández, P. (2000). *Aplicaciones de los algoritmos genéticos en la industria*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Gijón. Universidad de Oviedo.
44. Granovetter, M. (1985). "Economic action and social structure: the problem of embeddedness". *American Journal of Sociology*, 91 (3), pp. 481-510.
45. Hamel, G. (1991). "Competition for competence and inter-partner learning within international strategic alliances". *Strategic Management Journal*, vol. 12, pp. 83-103.
46. Hammer, M. & Champy, J. (1993). The promise of reengineering. *Fortune*, vol. 131, No. 9, May.
47. Harrell, C. R.; Gosh, B. K. & Bowden, R. O. (2004). *Simulation Using Promodel*. 3ª ed. Editorial McGraw-Hill.
48. Hernández, J. A. (2005). *Modelo evolutivo para la asignación de carga a un taller en sistema de producción flexible*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
49. Holland, J. (1983). *Basic robotic concepts*. 1ª ed. Blacksburg continuing education series.
50. Hopp, W.J. & Spearman, M. L. (2000). *Factory Physics*. 2ª ed. Editorial McGraw-Hill.
51. Jacki, Song y Mariam Zahedi (1998). *Determinants of market strategies in electronic markets*. University of Wisconsin, Milwaukee.
52. Rayport, Jeffrey F.; Sviokla, John J. (1995). "Exploiting the Virtual Value Chain". *Harvard Business Review* Article. Nov. 1.
53. Jiménez, R. (2005). Robótica integrada a la manufactura. Documento en Pdf obtenido en www.fi.uba.ar.
54. Johnson, G., Scholes K. (1997). *Exploring Corporate Strategy*, 4th ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
55. Kalpakjian, C. & Schmid, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. 4ª ed. Prentice-Hall.
56. Kelton, W. D. & Law, A. M. (2000). *Simulation Modeling and Analysis*. 3ª ed. McGraw-Hill.
57. Kleijnen, J. P. (1995). Sensitivity analysis and optimization of system dynamics models: regression analysis and statistical design of experiments. *System Dynamics Review*, vol. 11, No. 4, pp. 275-288.
58. Klein, Lisa R. and John A. Quelch (1997). "Business-to-Business Market Making on the Internet". *International Marketing Review*, vol. 14(5), Spring, pp. 345-361.
59. Knepell, P. L. and Arango, D. C. (1993). *A simulated SMT Production Line*. *Surface Mount Technology*. Agosto de 1993, pp.27-29.
60. Koza, J. R. (1992). *Genetic Programming: On the programming of computers by mean of natural selection*. The MIT Press.
61. Little, J. D. C. (1992). "Tautologies, Models and Theories: Can We Find 'Laws' of Manufacturing?". *IIE Transactions*, vol. 24, pp. 7-13.

62. Llarra, J. R. (2000). Aplicación de la inteligencia artificial en sistema automatizados de producción. Universidad Cantabria, Cantabria.
63. López, S.; Sánchez, P. (2004). "Secuenciación de tareas mediante metaheurísticos". Madrid: VIII Congreso de Ingeniería de Organización.
64. López, Víctor (2000). "Los sistemas Business Intelligence". Fundación Universitaria Iberoamericana, Barcelona.
65. Lozano, E. (2002). Tópicos en reconocimiento de patrones funciones de base radial. Universidad de Puerto Rico. Departamento de matemáticas.
66. García de la Banda, M.; Bueno, F.; Hermenegildo, M. 1995. "Towards Independent And-Parallelism in CLP Programming Languages: Implementation, Logics, and Programs, LNCS". Num. 1140, pp. 77-91, Springer-Verlag.
67. Yang, M.-H. and Ahuja, N. (1999). "Face detection using a mixture of factor analyzers. In IEEE ICIP". Kobe, Japan. Article.
68. Maas, S. L.; Standridge, C. R. (2005). "Applying Simulation to Interactive Manufacturing Cell Design". In: Winter Conference Simulation v. 2005. Leon Plastics. Grand Valley State University.
69. Mallet, Rogert (2001). *Guía para una correcta gestión de activos a lo largo de su ciclo de vida*. Anneleen Dekker, Reino Unido.
70. March, J. G. & Simon, H. A. (1958). *Organization*. John Wiley & Sons, New York.
71. Marczyk, A. (2004). *Algoritmos genéticos y computación evolutiva*. Sydney: Mathematics Department, Macquarie University.
72. Markides, C. y Williamson, P. (1996). "Corporate diversification and organizational structure: A resource-based view", *Academy of Management Journal*, vol. 39, No. 2, pp. 340-367.
73. MathWorks (2000). *Neural Network Toolbox: User's Guide - Version 4*. For Use with Matlab. The MathWorks, Inc.
74. Monks, J. (1995). *Administración de operaciones*. McGraw-Hill, México.
75. Montgomery, D. C. (2003). *Design and Analysis of Experiments*. 2ª ed. Ed. John Wiley & Sons.
76. Navas, J. E.; Guerras, L. A. (1998). *La dirección estratégica de la empresa. Teoría y aplicaciones*. Civitas, Madrid.
77. Nonaka, I.; Takeuchi, H. (1998). *The concept of BA: building a foundation of knowledge creation*. California.
78. Noori, H. & Radford, R. (1997). *Administración de operaciones y producción: calidad total y respuesta sensible rápida*. McGraw-Hill.
79. Palmer, D.; Friedland, R. & Singh, J. (1986). "The Ties That Bind: Organizational and Class Bases of Stability in Corporate". Interlock Networks. *American Sociological Review*, 51(6), pp. 781-796.
80. Pedgen, C. D.; Shannon, R. E. & Sadowski. (1995): *Introduction to Simulation Using Siman*, 2ª ed. McGraw-Hill, New York.
81. Penrose, E. T. (1959). *The Theory of Growth of the Firm*. Basil Blackwell, Londres.

82. Petrovic, S. (2003). *A Fuzzy scheduling problem with Dynamic Job Priorities and an Extension to Multiple Criteria*. Automatic Scheduling, Optimization and Planning group (ASAP). University of Nottingham, Great Britain.
83. Pritsker, A. A. B. & Reilly, J. J. (2000): *Simulation with Visual and AweSim*. 2ª ed. John Wiley, New York.
84. Provan & Milward (1995). "Organizational-effectiveness; community-mental-health-services-United-States; Network-analysis-Sociology; Interorganizational-relations". Journal Article. University of Arizona.
85. Reichwald, R.; Möslein, K.; Sachenbacher, H.; Englberger, H. & Oldenburg, S. (1998). "Telekooperation. Verteilte Arbeits- und Organisationsformen". Springer. Germany.
86. Merton, Robert K. (1973). "The Normative Structure of Science". In: Robert K. Merton. *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*, pp. 267-278. University of Chicago.
87. Rohrer, M. W. (2000): "Simulating of Manufacturing and Material Handling Systems". In: *Handbook of Simulation*. John Wiley.
88. Rowe, A.J. (1963). Simulation – A decision – Aiding Tool. A. I. I. E. International Conference Proceedings. New York.
89. Rubio, Enrique (1998). "Docencia y aprendizaje en red: ¿innovación y necesidad?". Conferencia. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
90. Rubio, Enrique (2000). "La sociedad del conocimiento, cambio generalizado". Fundación Universitaria Iberoamericana. Barcelona.
91. Rubio Enrique & Ocon Vásquez (1995). "Prototype of Multiservices Network in Canary Island: project oriented tele-teaching, tele-training and tele-working". Presentación en el Congreso de la Sociedad Europea de Proyéctica de Bayona.
92. Sargent, R. G. (1992). Validation and Verification of Simulation Models. In: Winter Conference Simulation v. 1992.
93. Schroeder, R. (1992). *Administración de operaciones*. 3ª ed. McGraw-Hill.
94. Schwarz, (1998). "A new teaching paradigm: The Information/Control/Buffer Portafolio". *Production and Operations Management*, vol. 7, pp: 135-137.
95. Seppanen, S. M. (2005). *Operator Paced Assembly Line Simulation*. In: *Winter Conference Simulation v. 2005*. (Productive Systems).
96. Shannon, E. R. (1988). *Simulación de sistemas*. 1ª ed. Editorial Trillas, México.
97. Sieber, Pascal. (998). "Virtuelle Unternehmen in der IT-Branche: Die Wechselwirkung zwischen Internet-Nutzung, Strategie und Organisation". Paul Haupt.
98. Skirme, David (1998). "Espacio de Interacción". Aportaciones al capital intelectual. Editorial Granica.
99. Sule, D. R. (2001). *Instalaciones de manufactura*, 2ª ed. Thompson Learning.
100. Sullivan, L. P. (1986). "Quality Function Deployment Quality Progress". ASQC.
101. Taillard, E. D. (1994). Parallel Taboo Search techniques for job shop scheduling problem. *Inform Journal on Computing*.

102. Teece, D. J. & Fladmoe-Lindquist, K. (1994). "A resource-based model of multinational firm". *14th Annual International Conference of the Strategic Management Society*. París.
103. Winograd, Terry & Flores, Fernando. (1986). "Understanding Computers and Cognition: a new foundation for design". Wesley.
104. Tsujimura, Y.; Yuichiro, M. (2001). *Effects of Symbiotic Evolution in Genetic Algorithms for Job Shop Scheduling*. Ashikaga Intitute of Technology, IEEE.
105. Tushman, M. (1978). "Technical communications in R&D laboratories: the impact of project work characteristics". *Academy of Management Journal*, 21 (4), pp. 624-645.
106. Varela (1988). *Conocer: las ciencias cognitivas: tendencias y perspectivas*. Cartografía de las ideas actuales. Editorial Gedisa, Barcelona.
107. Véliz, Q. E. (2001). *Modelo poblacional con algoritmos genéticos*. Escuela Superior Politécnica Litoral. Instituto de Ciencias y Matemáticas, Guayaquil.
108. Vila, G. E. & Tiberti, A. J. (2005). *A Group Genetic Algorithm for the Machine Cell Formation Problem*. Elsevier.
109. Vince, C. & Stefano, I. (1999). *Minimizing Makespan in a Blocking Flowshop Using Genetic Algorithms*. Elsevier.
110. Vollman, T.; Berry, W. & Whybark, D. (1995). *Sistemas de planificación y control de la fabricación*, 3^a ed. Irwin.
111. Wagner, M. A. & Wilson J. R. (1993). *Using Univariate Bezier Distributions to Model Simulation Input Processes*. In: Winter Conference Simulation v. 1993.
112. Wallace, T. & Kremzar M. (2001). "ERP: making it happen". *The Implementers Guide to Success with Enterprise Resource Planing*. John Wiley and Sonsn Inc., Canada.
113. Watson, J. (2005). *Deconstructing Nowicki and Smutnicki's i-TSAB tabu search algorithm for the job-shop scheduling problem*. Elsevier.
114. Whitten, J.; Bentley, L. & Barlow, V. (1996). *Análisis y diseño de sistemas de información*, 3^a ed. Irwin.
115. Wilson, E. B. (1952). *An Introduction to Scientific Research*. McGraw-Hill, pp. 29.
116. Witt, A. & Vob, S. (2005). *Simple heuristics for scheduling with limited intermediate storage*. Elsevier.

Gestión de la producción:

una aproximación conceptual

se terminó de imprimir en los
talleres gráficos de Unibiblos,
Universidad Nacional de Colombia
en el mes de marzo de 2008.

Se imprimieron 500 ejemplares en
Propalibros blanco de 70 g,
con caracteres Adobe Jenson Pro
en un formato de 16,5 x 24 cm.