

MODELACIÓN DE CADENAS ABASTECIMIENTO

ANDRÉS T. VELÁSQUEZ CONTRERAS¹

Resumen

El artículo tiene como objetivo presentar algunas alternativas y elementos de la modelación matemática aplicada a la administración y diseño de cadenas abastecimiento que sirva como apoyo a la toma de decisiones.

Actualmente en el Sistema Universitario de Investigación (SUI) de la Universidad Autónoma de Colombia se adelanta la investigación MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA CADENAS DE ABASTECIMIENTO: ESTUDIO DE CASO EN EL SECTOR TEXTIL, el modelo estará basado en las metodologías y tecnologías de programación matemática. Se pretende difundir los beneficios económicos que se derivan del uso de éste tipo de herramientas en los procesos decisivos de las empresas. Se presentará una visión general de la modelación y un ejemplo sencillo codificado en GAMS.

Palabras claves: Optimización de cadenas de abastecimiento, modelación matemática, logística.

Abstract

This paper has as objective to present some alternatives and elements of the mathematical modeling applied to the management and design of chains supply that it serves like support to the taking of decisions.

At the moment in the University System of Research (SUI) of the University Autónoma of Colombia is ahead the research MODEL OF OPTIMIZATION FOR CHAINS OF SUPPLY: ONE STUDY OF CASE IN THE TEXTILE SECTOR, the pattern will be based on the methodologies and technologies of mathematical programming. It seeks to spread the economic benefits that are derived of the use of this type of tools in the decisive processes of the companies. A general vision of the modeling and a simple example coded in GAMS will be presented.

Keys Word: supply chains Optimization, modeling mathematical, and logistics.

INTRODUCCIÓN

La administración moderna y la gestión de organizaciones hoy por hoy, implican la utilización de técnicas cuantitativas. La complejidad y las altas exigencias del entorno colocan al ingeniero industrial, al economista, al administrador y otros profesionales de la ciencia empresarial en el foco de la escuela cuantitativa, superando la sociológica y la del manejo contingente.

El desarrollo de las tecnologías de comunicación, particularmente computadores de alta capacidad y velocidad, sofisticados sistemas información transaccionales y software de aplicación para análisis estadístico, de optimización y simulación (SAS, SPSS, GAMS, Xpress, PROMODEL, ARENA, VENSIM, etc.), permiten a las empresas tomar decisiones mejor informadas minimizando el riesgo y la incertidumbre.

Además los nuevos enfoques de gestión, de pensamiento sistémico y métodos de análisis permiten hacer nuevas distinciones como la logística, la Administración de la Cadena

¹ M. Sc. en Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes. Especialista en Logística de Producción y Distribución, Fundación Universitaria del Área Andina. Ingeniero Industrial, Universidad Distrital. Profesor investigador, Universidad Autónoma de Colombia y Universidad EAN. Miembro de los grupos de investigación GIGLO, PEGES y GpyMEs, reconocidos por COLCIENCIAS. Gerente de logística de Comestibles Rico Ltda., Jefe Administrativo BonBril. Algo más de 10 artículos publicados sobre gerencia de operaciones y logística. Consultor y asesor del sector privado, público y Fuerzas Militares.

de Abastecimiento, Cadena de Valor, Costos de tracción, etc., los cuales presentare integrándolos con la modelación matemática.

Cadena de abastecimiento²

La cadena de abastecimiento es la red y estructura, física, virtual y relacional, en la que se desarrollan todas las prácticas comerciales conocidas y por conocer, entre proveedores, productores, distribuidores y consumidores, que tiene por objeto generar valor en cada transacción e integrar los distintos actores, los cuales, solo mediante sistemas logísticos diseñados intencionalmente logran los objetivos económicos y perceptivos de tiempo, valor, modo y lugar, tanto para las organizaciones como para los individuos.

La dinámica de la cadena de abastecimiento es compleja y abarca desde los orígenes de las materias primas, pasando por los distintos productos y subproductos que conformaran el bien final, hasta los nodos de distribución y la satisfacción total del cliente. Ella, se caracteriza por su conectividad, gracias a las redes y al flujo de información que entre sus actores se emite, por su alineamiento al cliente, por su sensibilidad a los cambios, por lentos que sean, y por su flexibilidad, capacidad de adaptación. La administración y optimización de la cadena de abastecimiento permite competir con éxito en los mercados actuales, gracias al resultado que produce la conjunción de los objetivos de logística y la implantación de mejores prácticas en la planificación de compras y la proyección de la demanda, producción, transporte, almacenaje, inventarios y servicio al cliente.

La Administración de la Cadena de Abastecimiento (ACA) engloba los procesos de negocio, las personas, la organización, la tecnología y la infraestructura física que permite la transformación de materias primas en productos y servicios intermedios y terminados que son ofrecidos y distribuidos al consumidor para satisfacer su demanda. En una organización incluye procesos tanto externos como internos, desde los proveedores de materias primas hasta los consumidores finales.

El éxito de una organización que reduce costos y que satisface las necesidades de sus clientes, depende de una cadena de abastecimiento bien gestionada, integrada y flexible que sea controlada en tiempo real y en la que fluya información eficientemente entre los distintos niveles de la misma. Es recomendable estudiar el juego de la cerveza (MIT) y la culpa es de vaca.

“La administración de cadenas de abastecimiento ha surgido como una de las herramientas más poderosas con las que contamos hoy en día para el mejoramiento de los negocios. Los proveedores, fabricantes, distribuidores, detallistas y un buen número de organizaciones de servicios han descubierto que deben transformar sus operaciones y tácticas, o resultaran

vencidos por competidores con redes de abastecimiento más innovadoras y agresivas. A lo largo de esta última década se ha dedicado mucho esfuerzo a la mejora de las cadenas de abastecimiento, y dichas prácticas han sido descritas con nombres como asociación, reestructuración logística, rediseño de procesos o mejoramiento de los canales de distribución”.³

Al señalar la cadena de abastecimiento como una red en la que intervienen de manera conjunta proveedores, fabricantes, distribuidores, detallistas y otras organizaciones, se evidencia un componente nuevo en las prácticas y tácticas de las organizaciones, a saber, actuar de manera integrada y compartida, éste es el componente administrativo. El esfuerzo del que escribe Poirier, es el que posibilita a la red ser más innovadora, más agresiva y más competitiva. Veamos ahora.

“En los negocios actuales, las organizaciones han formado redes para la compra de materias primas, la manufactura de productos o la creación de servicios, el almacenamiento y la distribución de los bienes... El nombre de este esfuerzo es Administración de cadenas de abastecimiento, y sus focos de atención se encuentran en movimiento tanto externa como internamente. Los primeros intentos se centraron en mejorar sólo la eficiencia interna de una empresa individual o un único constituyente de la red de abastecimiento”.⁴

Queda claro que optimizar una cadena de abastecimiento implica un vistazo no solamente a los componentes internos de una organización, sino a las múltiples relaciones en su micromercado, subsector y un corte longitudinal desde la extracción de materia primas hasta su consumo.

Elementos para la Administración de Cadenas de Abastecimiento⁵

La administración de la cadena de abastecimiento es mucho más amplia y compleja; supera los límites tradicionales de planeación, gestión y operación de una organización. Desde el punto de vista de los costos de transacción y de la logística es posible plantear un nuevo y poderoso escenario de análisis

² VELÁSQUEZ, Andrés. Logística y Administración de la Cadena De Abastecimiento. Revista Clepsidra, Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Colombia, No.1. pg.94-105, 2005.

³ POIRIER, Charles C. Administración de cadenas de aprovisionamiento. OXFORD, University Press. México. 2001.

⁴ Idem.

⁵ Velásquez Contreras, Andrés y Saldaña Cortes, Carolina. Modelos de optimización para cadenas de abastecimiento: estudio de caso en el sector textil. Informe de avance. Universidad autónoma de Colombia, facultad de ingeniería, SUI. Bogotá, 2005.

imbricando conceptos de microeconomía, administración y teoría de la organización.⁶

Una cadena de abastecimiento consiste en:

- Instalaciones geográficamente dispersas donde se adquieren, se transforman, se almacenan o se venden las materias primas, los productos intermedios o los productos acabados y
- Los acoplamientos del transporte que conectan las instalaciones a lo largo de las cuales fluyen los productos.

A nivel funcional, las cadenas están integradas por las plantas de fabricación, instalaciones donde ocurren las transformaciones físicas del producto y por los centros de distribución, instalaciones donde se reciben los productos, se clasifican, se almacenan y se despachan. La compañía puede ser o no propietaria de estas instalaciones, puede administrarlas, o pueden ser administradas por los vendedores, los clientes, los proveedores u otras firmas. La meta está en agregar valor a los productos mientras que pasan a través de la cadena de abastecimiento y se transportan a los mercados geográficamente dispersos en las cantidades correctas, con las especificaciones correctas, en el tiempo correcto, y a un costo competitivo.

La gerencia de la cadena de abastecimiento, agrupa los conceptos de la planificación integrada de empresas que han sido usadas por muchos años por expertos en logística, por estrategas, y por expertos en la investigación de operaciones. Hoy, el planeamiento integrado basado en modelos matemáticos de optimización es posible debido a los avances en la tecnología de información, pero la mayoría de las compañías todavía tienen mucho que aprender sobre las nuevas herramientas analíticas que se deben poner en ejecución para alcanzar el éxito. También deben aprender a adaptar sus procesos de negocio a las facilidades proporcionadas por estas herramientas.⁷

Hay cuatro dimensiones de gerencia integrada de la cadena de abastecimiento. La primera es la integración funcional de la compra, la fabricación, el transporte y el almacenamiento. La segunda es la integración espacial de estas actividades a través de los vendedores, de las instalaciones, y de las formas de los mercados. La tercera dimensión exige la integración ínter temporal de los horizontes estratégicos, tácticos y operacionales del planeamiento. La cuarta dimensión es la integración de la empresa, que responde a los propósitos del planeamiento estratégico y táctico dentro de la gerencia integrada de la cadena de abastecimiento.

El planeamiento estratégico implica decisiones de impacto a largo plazo para:

- La adquisición de recursos de infraestructura
- Selección de productos a ofrecer al mercado, y
- La selección de las tecnologías a utilizar en los procesos productivos.

El planeamiento táctico implica horizontes de mediano plazo para la asignación de metas para el consumo de recursos para satisfacer las metas de producción establecidas. El planeamiento operacional (programación de operaciones) implica definir las actividades (eventos) que determinan las acciones de producción y de distribución en el corto plazo. La integración ínter-temporal, que también se llama planeamiento jerárquico, requiere consistencia y coherencia entre decisiones traslapadas de la cadena de abastecimiento en los diferentes niveles del planeamiento. Aunque las firmas no son consientes totalmente, la integración ínter-temporal de las decisiones es crítica como ventaja competitiva. Las operaciones eficientes no conducirán a beneficios superiores si los productos de las compañías se están fabricando en plantas con tecnologías anticuadas. La localización incorrecta en lo referente a los puntos de venta de las compañías y a sus mercados es también un impedimento. Por otra parte, la ventaja competitiva en la gerencia de la cadena de abastecimiento no se gana simplemente con una comunicación más rápida y más barata de datos, ya que el acceso "on line" a los datos transaccionales no conduce automáticamente a mejorar la toma de decisiones. Los denominados ERPs, Enterprise Resource Planning, no son la solución al problema de tomar decisiones eficaces.

Para mejorar su ventaja competitiva, los gerentes buscan cada día más integrar la planificación de las actividades de su cadena de abastecimiento. Los objetivos son diseñar y operar su infraestructura industrial y manejar las relaciones con su entorno de tal forma de minimizar la suma de la inversión total y de los costos de materias primas, de producción, de transporte y de distribución, satisfaciendo el nivel deseado de servicio al cliente. Los APS, Advanced Planning and Scheduling, han sido la solución tecnológica para enfrentar esta problemática, ya que son sistemas avanzados de planificación que explotan la últimas tecnologías informáticas y el modelamiento matemático técnico-económico de complejas cadenas de abastecimiento integradas horizontal y verticalmente, operando en un país o en múltiples países. Su capacidad de optimización matemática unida a su capacidad para representar precisamente las relaciones de costo y de volumen provee confianza en resultados óptimos que no pueden obtenerse con enfoques más simplistas. Sus servicios para generación de modelos, se acoplan con hojas de cálculos, bases de datos y herramientas de generación de escenarios; proveyendo un ambiente ideal para desarrollar rápida y comprensivamente estudios de optimización de la cadena de abastecimiento. Los APS están orientados al manejo de los datos lo que permite a los usuarios desarrollar modelos de

⁶ VELÁSQUEZ Andrés y RODRIGUEZ, Luisa Fernanda (2003). Costos Transaccionales y Cadena de Abastecimiento: Un Asunto de Competitividad. Revista No. 49 Septiembre – Diciembre de 2003. Págs. 62 – 81.

⁷ Shapiro, Jeremy F. Modeling the supply Chain. MIT. DUXBURY, Thomson Learning. 2001.

acuerdo a la complejidad de su cadena de abastecimiento y a los requerimientos de optimización de la misma.⁸

Para obtener una planificación estratégica eficaz, la gerencia de la cadena de abastecimiento tiene que integrarse con la gerencia de demanda para maximizar los rendimientos netos de las compañías. La gerencia de la cadena de abastecimiento también necesita integrarse con la gerencia financiera corporativa para evaluar las inversiones de capitales en la cadena de abastecimiento de las compañías, los activos, y en última instancia, para maximizar el valor aportado al accionista.⁹ Los progresos en la gerencia integrada de la cadena de abastecimiento se han facilitado y conducido por los avances derivados de aumentos asombrosos en la velocidad de los PC, el e-comercio, y la flexibilidad del software para la administración de datos. Es así como surge una nueva sigla para referirse a los modelos integrados: finanzas-producción-distribución-marketing: Enterprise Profit Optimization (EPO) identifica a la nueva familias de modelos matemáticos convertidos en software que han comenzado a utilizar las cadenas de abastecimiento de países desarrollados.

Adicional a todo lo anterior, el diseño y la administración de cadenas de abastecimiento internacionales es una de las áreas de investigación más activa en logística global. Vidal y Goetschalckx¹⁰ identifican múltiples oportunidades para investigación en metodologías para el diseño estratégico y la planificación táctica de cadenas de suministro internacionales. Actualmente muchos modelos de planificación se ignoran aspectos tales como selección del modo de transporte con base en costos totales de logística, la asignación de costos de transporte entre subsidiarias de una misma organización, la inclusión de costos de inventario como parte del problema, la inclusión explícita de proveedores y los efectos no lineales de los sistemas internacionales de impuestos y aranceles.

En la planificación de cadenas globales, es común que los precios de transferencia (PT) o costo de transacción, se asuman fijos y predeterminados. La determinación de PT es uno de los aspectos más controvertidos e importante en compañías multinacionales. La mayoría de los investigadores en logística global han considerado su determinación como un típico problema contable, en lugar de una importante oportunidad de decisión que afecta profundamente el diseño y la administración de una cadena de abastecimiento. Indudablemente, el problema de fijación de PT es mucho más que un problema contable (Goetschalckx, Vidal y Dogan 2002)¹¹. Pequeños cambios en los PT pueden conducir a diferencias significativas en la utilidad después de impuestos de una compañía. Hoy en día la tendencia es clara: la globalización de las cadenas de abastecimiento conlleva su propia complejidad a los procesos de toma de decisiones.

Es fácil verificar la ausencia casi generalizada de herramientas cuantitativas basadas en programación matemática como medio

de apoyo a la gestión de las cadenas de abastecimiento en los países en vía de desarrollo. En Colombia, a nivel de investigación cabe destacar el trabajo que viene realizando el profesor Carlos Julio Vidal de la Universidad del Valle quien ha profundizado en la problemática de las cadenas de abastecimiento globales, incluyendo el diseño de algoritmos especializados para manejar el problema no-lineal que se deriva de la determinación simultánea de precios y cantidades. Una experiencia exitosa del manejo de este tipo de herramientas en la industria colombiana, es reportada por Jesús Velásquez¹² para el caso de una empresa importante del sector bebidas en Colombia, que desde 1991 utiliza este tipo de tecnologías para apoyar los procesos de toma de decisiones. Desafortunadamente este no es el caso común en el sector industrial colombiano.

Por otro lado, programas como el ProModel y Arena, han permitido simular problemas de alta complejidad de manera amigable, aun que sea necesario reconocer sus limitaciones en cuanto a lograr soluciones exactas, a pesar de lo anterior muchas empresas hoy en día usan ésta herramienta. Para el caso de la simulación continua con el Vensim o el Ithink, resuelven problemas en donde los procesos de retroalimentación y dinámicos estructuralmente están presentes en la unidad de análisis, son muy útiles en el análisis de flujos y acumulación de inventarios, el ejemplo típico es la simulación del juego de la cerveza.

La investigación de Operaciones

La investigación de operaciones se origino en la segunda guerra mundial, solo hasta 1940 se desarrollo este concepto en Inglaterra como investigación operacional, se alío con estados unidos y designaron científicos de distintos campos para trabajar en la solución de problemas complejos de logística y estrategias militares¹³.

⁸ VELÁSQUEZ, Jesús. Advanced Planning and Scheduling (APS): La vía para la optimización de la cadena de suministro. Revista Zonolística, No. 9, Pg. 46. 2004.

⁹ Shapiro, op. cit.

¹⁰ Vidal, Carlos Julio Goetschalckx, Marc. Modeling the effect of uncertainties on global logistics systems. Journal of business logistics, Vol, 21, No. 1, 2000. p. 95

¹¹ GOETSCHALCKX, Marc, C. J. Vidal y K. Dogan (2002), "Modeling and design of global logistics systems: A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms", European Journal of Operational Research 143 (1), 1-18.

¹² VELÁSQUEZ, Jesús y GUTIERREZ, Freddy. "Optimización de la Cadena de Suministro en la Industria de Bebidas", Congreso de Ingeniería de Producción 2001, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia (disponible en <http://www.decisionware-ltd.com/ocsbebidas.htm>).

¹³ STARR, Martin. Administración de producción. Editorial Prentice/Hall. España, 1979. P. 444.

Al terminar la guerra, se reconoció el éxito de la investigación de operaciones en las actividades bélicas y solo era cuestión de tiempo entender que muchos de los problemas militares son muy similares a los de las operaciones en las empresas y el gobierno, para la década de 1950, los métodos y técnicas cuantitativas ya eran aplicadas en la industria. “Un ejemplo sobresaliente es el método simpléx para resolver problemas de programación lineal, desarrollado en 1947 por George Dantzing.”¹⁴ Otras herramientas fueron empleadas en la solución de los problemas de la producción; la simulación, análisis de sistemas, teoría de decisiones y métodos matemáticos como la teoría de redes, el PERT, teoría de colas, teoría de juegos, teoría de la información, teoría de control, programación dinámica y teoría de inventarios. Estas técnicas demandan gran número de cálculos debido a su complejidad, la computadora hizo efectivo la solución de los problemas inherentes a esta disciplina.

Como su nombre lo indica se preocupa por hacer investigación sobre las operaciones y por lo tanto se refiere a todos los problemas en donde se realizan actividades y procesos, en especial se aplica en la manufactura, el transporte, la construcción, las telecomunicaciones, la planeación financiera, la salud y los servicios, por nombrar algunos.

La investigación de operaciones se fundamenta en la teoría general de los sistemas y en el método científico, es un campo interdisciplinario en el que se busca la optimización de las actividades, el cual ha aportado a la milicia, la industria, de manera especial, a la producción y la logística, técnicas eficaces en la solución de problemas de gran complejidad.

Modelos matemáticos en logística

En sentido amplio, los modelos son representaciones de una porción de la realidad, constituyen un instrumento de comunicación y análisis; los planos, los mapas, las maquetas, las gráficas, los diagramas, los organigramas, el modelo del sistema solar, la estructura genética, las ecuaciones matemáticas, la ISO 9001, etc., son ejemplo. Son importantes porque ellos representan las interrelaciones, la estructura y las funciones del sistema objeto de estudio, establecen el límite de su acción y permiten realizar pruebas variando sus componentes. Obteniendo como resultado mejor comprensión de las características de la situación.

Los modelos han permitido realizar análisis de situaciones experimentales con aceptables resultados, por su bajo costo y facilidad de manejo. “Un modelo es una representación cualitativa o cuantitativa de un proceso o una tentativa que muestra los efectos de aquellos factores que son importantes para los propósitos que se consideran.”¹⁵

Al desarrollar un modelo, se recomienda empezar por una versión sencilla y moverse en forma evolutiva, hacia modelos

más elaborados que se ajusten a la complejidad del problema real. Este proceso de enriquecimiento del modelo¹⁶ permite planear su desarrollo y hacer ajustes continuamente¹⁷. Particularmente la investigación de operaciones nace modelando y resolviendo problemas de tipo logístico en la II Guerra Mundial, desde ese punto de vista las aplicaciones son variadas, pero típicamente es posible mencionar:

- Programación lineal¹⁸
- Teoría de juegos¹⁹
- Teoría de colas²⁰
- Procesos Markovianos²¹
- Modelos de distribución por métodos de asignación²²
- Modelos de distribución por grafos²³: Algoritmo de Ford, de Bellman-Kabala y de Ford-Fulkerson.
- Modelos de transporte²⁴
- Modelos de asignación y localización²⁵
- Modelos de inventarios²⁶
- Modelos de pronósticos²⁷
- Modelos de disponibilidad²⁸

¹⁴ HILLIER/LIEBERMAN. Introducción a la investigación de operaciones. Sexta Edición. McGraw Hill. México, 1997. p. 2

¹⁵ Chestnut, citado por, WILSON, Brian. Sistemas: Conceptos, metodologías y aplicaciones. Grupo Noriega Editores. Mexico.1993. Pg. 27.

¹⁶ HILLIER/LIEBERMAN. Introducción a la investigación de operaciones. Tercera Edición. McGraw Hill. México, 1980. Pg. 13

¹⁷ VELÁSQUEZ, Contreras, Andrés. Modelo de Gestión de Operaciones para Pymes Innovadoras. Revista EAN. No. 47 Enero-Abril de 2003. Pg. 66-87

¹⁸ HILLIER/LIEBERMAN. Introducción a la investigación de operaciones. Sexta Edición. McGraw Hill. México, 1997. Pg. 81

¹⁹ *Ibíd.* Pg. 470.

²⁰ *Ibíd.* Pg. 733.

²¹ *Ibíd.* Pg. 833.

²² ACERO, Iván. Administración de la red de distribución regional de la embotelladora Bogotá norte (PANAMCO S:A). Memos de Investigación. No. 470. Centro de Documentación, Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá, 1998.

²³ SORET los Santos, Ignacio. Logística Comercial y Empresarial. ESIC Editorial, España, 1994. Pg. 51.

²⁴ *Ibíd.* Pg. 135.

²⁵ *Ibíd.* Pg. 205.

²⁶ PLOSSL, George W. Control de la Producción y de Inventarios. Segunda Edición. Prentice Hall, México, 1987.

²⁷ MAKRIDAKIS, Spyros y WHEELWRIGHT, Steven. Manual de Técnicas de Pronósticos. Ed. Limusa. México, 1994.

²⁸ BLANCHARD, Benjamin S. Logistics Engineering and Management. Fourth Edition. Prentice Hall Internacional. 1992, USA. Pg. 69. y BARDOU, Louis. Mantenimiento y soporte de los sistemas de información. Alfaomega grupo editores. 1997. Bogota. Capitulo 1 y 2. Pg. 25.

- Modelos de localización: Fressin, ley de gravitación, Huff, interacción espacial (MCI).²⁹
- Simulación en centros de distribución.³⁰
- Modelos de distribución por algoritmos genéticos³¹

En general la modelación tiene tres matices:

La simulación discreta y continua
Las técnicas exactas de optimización como la programación lineal
Las metaheurísticas

Una presentación responsable sobre el tema demandaría muchos volúmenes, aquí llamare la atención sobre la simulación y la programación lineal.

Dinámica de sistemas y simulación

La dinámica de sistemas es una disciplina creada en los años 60 por Jay W. Forrester del MIT. Sus raíces originales están en análisis de sistemas industriales, económicos y gerenciales pero hoy en día se ha convertido en una herramienta utilizada para el análisis de sistemas sociales, físicos, químicos, biológicos y ecológicos³².

La dinámica de sistemas tiene su origen en lo que se conoce como el enfoque de sistemas. Un sistema puede definirse como una colección de elementos que interactúan y funcionan conjuntamente para obtener un determinado propósito. Este enfoque hace énfasis en:

- Las conexiones entre las partes que constituyen el todo; en la unidad del todo (holismo)
- Interdisciplinariedad
- Los principios de la cibernética. La cibernética es el estudio de los mecanismos de comunicación y control en sistemas complejos.

La dinámica de sistemas puede definirse como el enfoque de sistemas aplicado a la simulación. Es una metodología usada para entender como cambia un sistema a lo largo del tiempo. Veamos algunas aproximaciones a la dinámica de sistemas:³³

Es una metodología de uso generalizado para modelar y estudiar el comportamiento de cualquier clase de sistema y su comportamiento a través del tiempo en la medida que presente retardos y bucles de realimentación³⁴.

Estudia las características de realimentación de la información en la actividad industrial con el fin de demostrar como la estructura organizativa, la amplificación (de políticas) y las demoras (en las decisiones y acciones) interactúan e influyen en el éxito de la empresa³⁵.

Es un método en el cual se combinan el análisis y la síntesis, suministrando un ejemplo concreto de la metodología sistémica.

La dinámica de sistemas suministra un lenguaje que permite expresar las relaciones que se producen en el seno de un sistema, y explicar como se genera su comportamiento³⁶.

Finalmente “con el modelo explícitamente definido y con un escenario que determina las concisiones de simulación, es posible obtener una solución numérica que ofrece trayectorias temporales para cada una de las variables consideradas en el modelo”³⁷, hacer análisis de sensibilidad y proponer nuevos escenarios. Entones, ¿qué es simulación?

“Una simulación de un sistema o de un organismo es la operación de un modelo o simulador, que es una representación del sistema u organismos. El modelo es susceptible de manipulaciones que serian imposibles, demasiado caras o impracticables en la entidad que reproduce... La simulación es una técnica cuantitativa para llevar a cabo, por medio de computadores digitales, operaciones sobre algunos tipos de modelos lógicos y matemáticos que describen el comportamiento de una estructura social o de un sistema, o alguna de sus partes componentes sobre extensos periodos de tiempo real”³⁸.

²⁹ DIEZ DE CASTRO, Enrique. Distribución Comercial. McGraw-Hill. Segunda Edición. España. 1997. Pg. 67.

³⁰ VELEZ, Raúl. Propuesta metodología para aplicar la simulación en el análisis y diseño de un centro de distribución. Revista Zonológica. No. 14. Colombia. 2003. Pg. 64.

³¹ MENDEZ, Germán. Diseño de un algoritmo genético para un sistema logístico de distribución.

³² Para ver distintas aplicaciones consúltese: Universidad Industrial de Santander. Primera Conferencia Colombiana sobre Modelamiento Sistémico. COLCIENCIAS. Bucaramanga. 1994. y ANDRADE, Sosa, Hugo, DYNER, Isaac y Otros. Pensamiento Sistemático: Diversidad en búsqueda de Unidad. Ediciones Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2001.

³³ LAGARDA, Ernesto. www.itson.mx/dii/elagarda/apagina2001/Dinamica/powerpoint/diapositiva-sesion1.PPT

³⁴ MARTÍNEZ Silvio y REQUEMA Alberto. “Simulación dinámica por ordenador” Alianza Editorial, Madrid, 1988

³⁵ FORRESTER, Jay W. “Dinámica industrial”. Editorial Ateneo, Buenos Aires, 1981.

³⁶ ARACIL Javier y Gordillo Francisco. “Dinámica de sistemas”, Alianza Editorial, Madrid, 1997.

³⁷ ANDRADE, Sosa, Hugo, DYNER, Isaac y Otros. Pensamiento Sistemático: Diversidad en búsqueda de Unidad. Ediciones Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2001.

³⁸ ARANGO, Martín Darío. Una aproximación Metodológica para el Modelamiento Organizacional Bajo un Enfoque de Dinámica de Sistemas. Revista Tecnología Administrativa. Vol. XII No. 27 Mayo-Agosto de 1998. Universidad de Antioquia. Medellín.

Modelamiento sistémico

El termino modelado o modelaje y simulación designan el complejo de actividades asociadas a la construcción de arquetipos³⁹ de sistemas reales, el establecimiento de las relaciones causales y su experimentación estadística en el computador, es decir, su simulación. El interés está en cuatro elementos:⁴⁰ a) El sistema real, b) El modelo y c) El software y el computador, y d) Las relaciones que existen entre ellos, a saber:

- El modelado es la relación que se establece entre el sistema real y el modelo.
- La simulación es la relación que se establece entre el modelo y el computador.

Aunque el modelo en sí mismo no genera datos, frecuentemente se habla de los datos o el comportamiento del modelo ya que es el modelo el que proporciona las instrucciones claves al computador para generar este comportamiento. Es importante distinguir entre el comportamiento del modelo y la estructura del modelo: a) El comportamiento es lo que el modelo hace, b) La estructura se refiere a la forma particular de relaciones. Es la razón por la cual el modelo se comporta de una cierta manera.

Para analizar y resolver un problema usando dinámica de sistemas se requieren tres competencias:

- Un conocimiento cabal del problema a tratar
- Un método para estructurar y organizar el conocimiento acerca del problema
- Una herramienta, la simulación por computador, que permita tomar en cuenta simultáneamente todas las relaciones que se consideran importantes para describir el problema.

Simuladores

Un simulador es un modelo del mundo real, para lo cual se deben identificar las variables y las interrelaciones entre éstas, pero existen casos donde el proceso de definición y construcción del modelo es complejo en razón del gran número de variables existentes o de sus interrelaciones, tal es caso de las herramientas de simulación meteorológicas, donde existe un sinnúmero de variables que aún no se han identificado, muchos menos sus interrelaciones, por esto es difícil diseñar herramientas para simular o modelar el comportamiento del clima.

Una de las principales ventajas de los simuladores es que permite tener un control total sobre el diseño y configuración de las variables que van a regular el proceso de ejecución o corrida del simulador, tal es el caso de la variable tiempo, donde es posible definir que una corrida del simulador represente cortos o largos lapsos de tiempo, según la preferencia del usuario.

Otra de los conceptos de la simulación es el hecho que el usuario puede modificar cada una de las variables con el propósito de analizar su impacto e incidencia en los resultados de la corrida de la simulación. El cual puede realizarse en un software especializado, por ejemplo el ProModel.

“ProModel®, es un software de simulación animada, especial para modelar procesos productivos y logísticos, que incluye ayudas que permiten incluir la variabilidad, siempre presente en los sistemas productivos, en los materiales, en los procesos y en los recursos.

Entre las aplicaciones más frecuentes que se pueden hacer en los sistemas logísticos utilizando la simulación con ProModel® están: a) el mejoramiento del layout, con el objeto de reducir las distancias a recorrer por los operarios y los materiales, que se traduce en reducción de los costos logísticos; b) simulación de operaciones de recolección o picking en instalaciones de almacenamiento de diversa índole, utilizando diferentes recursos y en diversas cantidades para la recolección; c) simulación de la operación de muelles de intercambio rápido o crossdocking en donde se organizan rápidamente los embarques provenientes de fuentes diversas y se realizan economías de escala en su asignación y transporte hacia múltiples destinos en el exterior; d) escogencia de buenas alternativas entre un conjunto de posibles rutas que deben seguir los vehículos de distribución minimizando distancia y tiempo; e) simular los flujos de materiales, personas, recursos, transportes en operaciones de cargue y descargue; f) simulación de los flujos de información que se producen en el manejo de las órdenes o pedidos, más conocidos como call centers; g) o simular la totalidad de flujos de información, transporte y control de la operación a lo largo de la cadena de abastecimientos con el fin de encontrar alternativas más rentables.”⁴¹

Programación matemática⁴²

GAMS (General Algebraic Modeling System) es un lenguaje de programación que permite el modelado, análisis y resolución de diversos problemas de optimización. Aunque inicialmente

³⁹ SENGE, Peter M. La Quinta Disciplina. Barcelona, GRANICA. 1990. Pg. 122. Revista de Ingeniería. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. No.1, 2000. Pg. 20.

⁴⁰ Adaptado de: <http://chue.ing.ula.ve/~mablan/cursos/dinsin/>

⁴¹ BLANCO RIVERO LUIS ERNESTO. APLICACIONES DE SIMULACIÓN CON PROMODEL EN LOGÍSTICA. PROFESOR ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA. MEMORIA DE SOCIO, 2004.

⁴² CASTILLO Enrique, Conejo Antonio J., Pedregal Pablo, García Ricardo y Alguacil Natalia. Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia. 20 de febrero de 2002. pg. 293.

el manejo y comprensión de sus estructuras requiere cierto esfuerzo, una vez entendidas se dispone de una herramienta muy versátil capaz de resolver problemas de programación matemática. A pesar de ser una magnífica herramienta, el lector debe ser consciente de las limitaciones impuestas por el estado del arte existente en programación matemática.

Veamos a manera de ejemplo el problema del transporte. Este problema se describe a continuación. Considérese un conjunto de consumidores y productores. Conocida (1) la demanda de cada consumidor, (2) la producción máxima de los productores, y (3) el costo del transporte de los productos desde los productores hasta los consumidores, el problema del transporte consiste en determinar la cantidad de producto a transportar de forma que el costo sea mínimo. La formulación del problema anterior de programación lineal es como sigue:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

1. Subíndices

i: para los productores
j: para los consumidores

2. Datos

m: el número de orígenes (productores)
n: el número de destinos (consumidores)
a_i: la producción máxima del productor *i* en toneladas
b_j: la demanda del consumidor *j* en toneladas
c_{ij}: el costo de envío de una unidad de producto desde el origen *i* al destino *j*

3. Variables

x_{ij}: la cantidad que se envía desde el origen *i* al destino *j*.

Se supone que las variables deben ser no negativas:
x_{ij} = 0; *i* = 1, . . . , *m*; *j* = 1, . . . , *n*

4. Restricciones

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, \quad \forall i$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j, \quad \forall j$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j$$

Solución en GAMS®

Distancias en kilómetros entre productores y consumidores, Tabla 1:

	Consumidores		
Productores	m1	m2	m3
p1	2.0	1.6	1.8
p2	2.5	1.2	1.4

c_{ij}: el costo de transporte desde el productor *i* al consumidor *j* en euros por tonelada y kilómetro

Las variables de decisión son

x_{ij}: la cantidad de producto que se transporta desde el productor *i* hasta el consumidor *j* en toneladas

Considérense dos productores y tres consumidores. Las producciones máximas son 300 y 500 toneladas. Las demandas son de 100, 200 y 300 toneladas. Las distancias en kilómetros entre productores y consumidores vienen dadas en la Tabla 1. El costo de transporte en euros es de 0.09 por tonelada y kilómetro.

En GAMS, el problema anterior se codifica y almacena en un fichero cuya extensión por defecto es “.gms”. El contenido de este fichero es el siguiente, el lector debe tratar de comprender el código y las reglas del lenguaje:

\$Title El Problema de Transporte * Un ejemplo de transporte sencillo

```
Sets
    i productores / p1, p2 /
    j consumidores / m1*m3 /;
```

Table d(i,j) distancia en kilómetros

	m1	m2	m3
p1	2.0	1.6	1.8
p2	2.5	1.2	1.4;

Scalar f costo del transporte (euros por tonelada y km) /0.09/;

Parameters

```
a(i) producción máxima del productor i en toneladas
    / p1 300
    p2 500 /
```

```
b(j) demanda del consumidor j en toneladas
    / m1 100
    m2 200
    m3 300 /
```



$c(i,j)$ costo de transporte en euros por tonelada;

$$c(i,j) = f * d(i,j);$$

Variables

$x(i,j)$ cantidad de producto transportada entre i y j en toneladas
 z costo total del transporte en euros;

Positive Variable x ;

Equations

costo funcion objetivo

maximo(i) cumplimiento de máxima producción del productor i
 demanda(j) cumplimiento de la demanda del consumidor j ;

$$\text{costo} \dots z = e = \sum((i,j), c(i,j)*x(i,j));$$

$$\text{maximo}(i) \dots \sum(j, x(i,j)) = l = a(i);$$

$$\text{demanda}(j) \dots \sum(i, x(i,j)) = g = b(j);$$

Model transporte /all/;

Solve transporte using lp minimizing z;

Display x.l;

Modelo prototipo para la producción de algodón en Colombia

Veamos un modelo algo más complejo de una parte de la cadena de abastecimiento textil. El modelo es de optimización determinística y dinámica que busca identificar un óptimo de producción del algodón en general.

Índices

Representan las entidades incluidas en el sistema.

- Cultivo $c = \{c1, c2, c3\}$
- Plantas de Proceso $i = \{pp1, pp2, pp3\}$
- Tipos de Algodón $n = \{tp1, tp2, tp3\}$
- Tiempo $t = \{t0, \dots, t60\}$
- Indicador de desplazamiento de tiempo $q = \{q0, \dots, q14\}$
- Zona de demanda $z = \{z1, z2, z3, z4\}$

Parámetros

Se presentan agrupados de acuerdo a una entidad de referencia, es la información (data) que se tiene del sistema, corresponden a la descripción de los medios de producción que tienen valores conocidos y que dependen de las características del cultivo, la planta de proceso, etc.

CSC c	Capacidad de cultivo	Hectáreas
LAZ t	Limite ambiental de quema de la zona	% toneladas quemadas permisibles

FPE n	Factor de productividad de la variedad de Algodón sembrado	Toneladas de Algodón producida por hectárea
TSU n	Tiempo de corte de la variedad específica	Meses
CPC i	Capacidad de transporte	Toneladas
CPM i	Capacidad de molienda de la planta procesadora	Toneladas
DBB z,t	Demanda de Algodón	Toneladas
TAH h,t	Precio de venta del Algodón	USD por tonelada
TCS c,n	Costo de sembrar Algodón	USD por tonelada
TCN c,n	Costo de producir Algodón	USD por tonelada
TCT i,t	Costo de transportar Algodón	USD por tonelada
TAN i,t	Costo de agua	USD por tonelada

Variables

Representan las decisiones que se obtienen como resultado del proceso de optimización.

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN
K	UTILIDAD POSIBLE	MÁXIMA \$ USD (Función objetivo)
CS c,n,t	Algodón sembrado	Toneladas
CN c,n,t	Algodón producida	Toneladas
CT c,n,i,t	Algodón transportado	Toneladas
CE i,t	Algodón entregado	Toneladas

Ecuaciones

Son las relaciones del sistema expresadas en forma de ecuaciones, estas se presentan agrupadas de acuerdo a su funcionalidad.

C1 c_i Distribución de área: esta ecuación permite distribuir el área de los cultivos para la siembra, adjudicando a cada parte de este, el tipo de Algodón.

$$\sum_{n,q} CN_{c,n,t-q} * 1/FPE_n \leq CSC_c$$

C2 t Límite de Algodón quemada respecto al límite ambiental: esta ecuación permite fijar el límite de quema de Algodón que es permisible según las reglamentaciones ambientales.

$$\sum_{c,n} CQ_{c,n,t} \leq LAZ_t * \sum_{c,n} CN_{c,n,t}$$

C3 t Algodón total: la restricción se hace como cumplimiento a la totalidad de Algodón producida

$$\sum_{c,n} CN_{c,n,t} = \sum_{c,n} CQ_{c,n,t} + CV_{c,n,t}$$



- C4_{c,n,t} Generación del ciclo

$$CN_{c,n,t} - TSU_n \leq CV_{c,n,t} + CQ_{c,n,t}$$
- C5_{c,n,t} Algodón producida con respecto a la sembrada

$$CS_{c,n,t} - TSU_n = CN_{c,n,t}$$
- T3_{c,n,t} Algodón entregado

$$CN_{c,n,t} = \sum_i CT_{c,n,i,t}$$
- V1_{i,t} Inventario Algodón

$$CS_{i,t} = CS_{i,t-1} + CQ_{i,t} - CN_{i,t}$$
- D2_{z,t} Demanda de Algodón

$$\sum_i CS_{i,t} + CQ_{z,t} = DBB_{z,t}$$

Función Objetivo

El objetivo de la optimización es la maximización de utilidades. A continuación se presentan los costos considerados

Costo de sembrar Algodón
 Costo de producir Algodón
 Costo de quemar Algodón
 Costo de transportar Algodón
 Costo de agua
 Conclusiones

Los estudiantes, profesores, investigadores y empresarios hoy cuentan con herramientas de hardware y software muy sofisticadas y de relativo bajo costo. Las aplicaciones son innumerables por tanto es necesario seleccionar la adecuada para el problema correspondiente.

Resulta ilusorio intentar aprender todas las técnicas, son tantas que no es posible dominar simultáneamente tantas, por tanto debemos especializarnos y volvernos expertos en un grupo de técnicas y queremos ser responsables en la solución de los problemas.

Todas las técnicas tienen ventajas y desventajas que el analista deberá evaluar a la hora de modelar un problema, no queda sino estudiar, estudiar y modelar y modelar.

BIBLIOGRAFÍA

ACERO, Iván. Administración de la red de distribución regional de la embotelladora bogota norte (PANAMCO S:A:). Memos de Investigación. No. 470. Centro de Documentación, Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá, 1998.

ANDRADE, Sosa, Hugo, DYNER, Isaac y Otros. Pensamiento Sistemático: Diversidad en búsqueda de Unidad. Ediciones Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2001.

ARACIL Javier y GORDILLO Francisco. "Dinámica de sistemas", Alianza Editorial, Madrid, 1997.

ARANGO, Martín Dario. Una aproximación Metodológica para el Modelamiento Organizacional Bajo un Enfoque de Dinámica de Sistemas. Revista Tecnología Administrativa. Vol. XII No. 27 Mayo-Agosto de 1998. Universidad de Antioquia. Medellín.

ARBOLES, MALISANI Eduardo. Logística empresarial. Marcombo Boixareu Editores. 1990, Barcelona España.

BALLOU, Ronald; Basic Business Logistics; Prentice Hall International Editions, 1987.

BARDOU, Louis. Mantenimiento y soporte de los sistemas de información. Alfaomega grupo editores. 1997. Bogotá.

BLANCHARD, Benjamin S. Logistics Engineering and Management. Fourth Edition. Prentice Hall Internacional. 1992, USA.

BLANCO Rivero Luis Ernesto. Aplicaciones de simulación con promodel en logística. .Profesor Escuela Colombiana de Ingeniería. Memoria de SOCIO, 2004.

BOWERSOX, Donald y Cols; Logistical Management, Macmillan publishing company, 1986.

CHIAVENATO, Idalberto. Introducción a la teoría general de la administración. Cuarta Edición. Ed. McGraw-Hill, 1997, México.

CHRISTOPHER, Martin. Logística y Aprovisionamiento. Ediciones Folio. Barcelona. Financial Times. 1994.

COHEN Morris y NAGEL Ernest. Introducción a la Lógica y al Método Científico. Amorrortu editores, Buenos Aires, 1983, tomo 2, Cap. XIII, sexta impresión.

DIEZ DE CASTRO, Enrique. Distribución Comercial. McGraw-Hill. Segunda Edición. España. 1997.

- DURAN, Alfonso, GUTIERREZ, Gil y SÁNCHEZ Teresa. Logística y el comercio electrónico. Ed. McGraw-Hill. España, 2001.
- CASTILLO Enrique, CONEJO Antonio J., PEDREGAL Pablo, GARCÍA Ricardo y ALGUACIL Natalia. Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia. 20 de febrero de 2002.
- FORRESTER, Jay W. "Dinámica industrial". Editorial Ateneo, Buenos Aires, 1981.
- GOETSCHALCKX, Marc, C. J. VIDAL y K. DOGAN (2002), "Modeling and design of global logistics systems: A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms", European Journal of Operational Research 143 (1), 1–18.
- GUTIERREZ, Casa, Gil y PRIDA, Romero, Bernardo. Logística y distribución física. Ed. McGraw-Hill. España, 1998.
- HESKETT, James y cols; Business Logistics; The Ronald Press Company, 1964.
- HILLIER/LIEBERMAN. Introducción a la investigación de operaciones. Sexta Edición. McGraw Hill. México, 1997.
- IAC Instituto Colombiano De Codificación y Automatización Comercial. Segundo Estudio de Benchmarking. Indicadores logísticos, Colombia. 1999.
- IAC, Instituto Colombiano De Codificación y Automatización Comercial. Guía de referencia, para un Proceso de Administración por Categorías. Category Management. Bogotá, Colombia. 1999.
- IAC, Instituto Colombiano De Codificación y Automatización Comercial. Qué es Logística?. Cartilla. Av. El Dorado No. 68b-85 Torre 2 Piso 6. Bogotá.
- IAC, Instituto Colombiano De Codificación y Automatización Comercial. Situación y perspectivas de la logística en Colombia, para el sector de consumo masivo. Bogotá, 1995.
- LAGARDA, Ernesto. www.itson.mx/dii/elagarda/apagina2001/Dinamica/powerpoint/diapositiva-sesion1.PPT.
- MAKRIDAKIS, Spyros y WHEELWRIGHT, Steven. Manual de Técnicas de Pronósticos. Ed. Limusa. México, 1994.
- MARTÍNEZ Silvio y REQUEMA Alberto. "Simulación dinámica por ordenador" Alianza Editorial, Madrid, 1988.
- MATERON T. Orlando. LOGÍSTICA. Revista Fuerzas Militares. Vol 10 No. 29 Nov-Dic, 1964, Bogotá, Colombia.
- MENDEZ, Germán. Diseño de un algoritmo genético para un sistema logístico de distribución. Revista de Ingeniería. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. No.1, 2000.
- MENDOZA, Martha Ruth y VELÁSQUEZ, Andrés. Investigación en logística: Esquema de integración e instrumentación de estrategias de gestión logística para el contexto colombiano. 2002.
- CRITERIO, revista de la Universidad Autónoma de Colombia, No. 31. Pag. 45-66. Noviembre de 2002.
- PLOSSL, George W.. Control de la Producción y de Inventarios. Segunda Edición. Prentice Hall, México, 1987.
- POIRIER, Charles C. Administración de cadenas de aprovisionamiento. OXFORD, University Press. México. 2001.
- POSADA, Zamudio, Eduardo. La logística militar y sus aplicaciones en la logística empresarial. Revista Gestión, Universidad del Norte. No. 6, 1:71-87, 1999. Barranquilla.
- PRIDA, Romero, Bernardo y GUTIERREZ, Casa, Gil. Logística de Aprovisionamiento. Ed. McGraw-Hill. España, 1996.
- RUIZ, Novoa, Alberto. Enseñanzas militares de la campaña de Corea. Ed. Antares. Bogotá, D.E. 1956.
- SALGADO Alba Jesús. Logística General y Naval Operativa, Barcelona. España.
- SENGE, Peter M. La Quinta Disciplina. Barcelona, GRANICA. 1990.
- SHAPIRO, JEREMY F. MODELING THE SUPPLY CHAIN. MIT. DUXBURY, THOMSON LEARNING. 2001.
- SORET los Santos, Ignacio. Logística Comercial y Empresarial. ESIC Editorial, España, 1994.
- STARR, Martin. Administración de producción. Editorial Prentice/Hall. España, 1979.
- VELÁSQUEZ Andrés y RODRIGUEZ, Luisa Fernanda (2003). Costos Transaccionales y Cadena de Abastecimiento: Un Asunto de Competitividad. Revista No. 49 Septiembre – Diciembre de 2003 Págs. 62 – 81.
- VELÁSQUEZ Contreras, Andrés y SALDAÑA Cortes, Carolina. Modelos de optimización para cadenas de abastecimiento: estudio de caso en el sector textil. Informe de avance. Universidad autónoma de Colombia, facultad de ingeniería, SUI. Bogotá, 2005.
- VELÁSQUEZ, Andrés. Análisis del sistema logístico en el sector farmacéutico, un enfoque operativo, No. 41 Sep – Dic. 2000.

- VELÁSQUEZ, Andrés. Logística y Administración de la Cadena de Abastecimiento. Revista Clepsidra, Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Colombia, No. 1. pg.94-105, 2005.
- VELÁSQUEZ, Andrés. Logística; Una aproximación a su lógica. Revista EAN, No. 36, Bogotá, Enero - Mayo, 1999.
- VELÁSQUEZ, Andrés. Metodología de Diagnóstico para Sistemas Logísticos. Revista EAN, No. 38, Bogotá, Sep - Dic, 1999.
- VELÁSQUEZ, Andrés. Modelo de Gestión de Operaciones para Pymes Innovadoras. Revista EAN. No. 47 Enero-Abril de 2003. Pg. 66-87.
- VELÁSQUEZ, Jesús y GUTIERREZ, Freddy. "Optimización de la Cadena de Suministro en la Industria de Bebidas", Congreso de Ingeniería de Producción 2001, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia (disponible en <http://www.decisionware-ltd.com/ocsbebidas.htm>).
- VELÁSQUEZ, Jesús. Advanced Planning and Scheduling (APS): La vía para la optimización de la cadena de suministro. Revista Zonológica, No. 9, Pg. 46. 2004.
- VELEZ, Raúl. Propuesta metodología para aplicar la simulación en el análisis y diseño de un centro de distribución. Revista Zonológica.No. 14. Colombia. 2003. Pg. 64.
- VIDAL, Carlos Julio y GOETSCHALCKX, Marc. Modeling the effect of uncertainties on global logistics systems. Journal of Business Logistics, vol, 21, no. 1, 2000. p. 95.
- VIDAL, Carlos Julio, LONDOÑO, Julio César y CONTRERAS, Fernando. Aplicación de modelos de inventarios en una cadena de abastecimiento de productos de consumo masivo con una bodega y n – puntos de venta. III congreso colombiano y I conferencia andina internacional de investigación de operaciones. Universidad del Valle, escuela de ingeniería industrial y estadística, Cali, Colombia. Latin American Logistics Center (LALC), Atlanta, ga, USA.
- WILSON, Brian. Sistemas: Conceptos, metodologías y aplicaciones. Grupo Noriega Editores. Mexico. 1993.

Consultas en Internet:

<http://chue.ing.ula.ve/~mablan/cursos/dinsis/>
<http://www.logespro.com/>
<http://web.mit.edu/>
[http://www.apics.org:](http://www.apics.org)
<http://www.clm1.org>
<http://www.cpfr.org/>