

MODELACION MULTICRITERIO DE LOS RECURSOS EN LOS SISTEMAS LOGISTICOS. ¿ES UNA NECESIDAD?

MULTI-CRITERIA MODELING OF THE RESOURCES IN LOGISTIC SYSTEMS. IT IS A NECESSITY?

Leudis O. Vega de la Cruz¹, Yosvani O. Lao León², Luis O. Castellanos Pérez³

Universidad de Holguín, (1) Departamento de Ingeniería Industrial, (2) Departamento de Computación,
(3) Departamento de Matemática, Av. XX Aniversario, Holguín – Cuba
(e-mail: leudis.vega@facii.uho.edu.cu)

Recibido: 30/01/2016 - Evaluado: 15/03/2016 - Aceptado: 02/05/2016

RESUMEN

Se discute la necesidad de utilizar la modelación multicriterio como herramienta de modelación en la gestión de los diversos recursos que se gestionan en los sistemas logísticos. Para desarrollarlo se emplearon diversas técnicas de la estadística multivariada, a partir del análisis de fuentes bibliográficas donde se hace referencia a la variedad de naturalezas que existen en el proceso de toma de decisiones en los sistemas logístico que demandan de la utilización de técnicas y métodos de esta índole. En el artículo se muestra la evolución de la Investigación de Operaciones desde una perspectiva logística y se plantea una tendencia conceptual de la modelación matemática que permite visualizar su aplicación al campo de la Logística Empresarial. Como principal conclusión se demostró que la modelación multicriterio es necesaria para desarrollar una eficiente gestión de los recursos en los sistemas logísticos.

ABSTRACT

The necessity of utilizing the multi-criteria modeling as instrument of the management of the several resources in the logistic systems it's discussed. In order to develop it were employed some techniques of the multivariate statistics, from the analysis of literature sources which referred to the diversity of natures that exist in the decision-making process in the logistic systems that require of the application of techniques and suchlike methods. In the article describes the evolution of the Operations Research from a logistic perspective and a conceptual tendency of the mathematic modeling is put forward that allow to visualizing its application to the Entrepreneurial Logistics field. The main conclusion was demonstrated that multi-criteria modeling is necessary to develop an efficient management of the resources in the logistic systems.

Palabras claves: investigación de operaciones, modelación matemática, logística empresarial, enfoque metodológico

Keywords: operations research, mathematic modeling, entrepreneurial logistic, methodologic focuses

INTRODUCCIÓN

La sociedad del nuevo milenio se encuentra inmersa en un proceso de profundas transformaciones, derivadas fundamentalmente de la globalización de la economía. Las exigencias a las empresas desde el punto de vista de eficiencia y eficacia, se ve condicionada entre otros factores por: la evolución de los mercados y la competencia por estos. Múltiples cambios en las relaciones comerciales, los efectos de las crisis capitalistas, las transformaciones tecnológicas y los adelantos científico-técnicos, propician una significativa revolución en la organización de las actividades productivas y de servicios que han alcanzado niveles mundiales.

Por esto, entre otras causas, es un objetivo del Modelo Económico y Social Cubano que el sistema empresarial esté constituido por empresas bien organizadas, competitivas y que generen la máxima satisfacción de la población. Lo anterior presupone que los directivos deben desarrollar métodos y técnicas que tributen a la eficiencia y eficacia de las producciones y (o) servicios, garantizando un desempeño superior de las organizaciones (Negrin Sosa, 2003), aspectos que se encuentran estrechamente relacionados con la Investigación de Operaciones (IO).

En la práctica del proceso de toma de decisiones logísticas, tradicionalmente, se emplean técnicas de la IO (programación lineal, transporte, redes, etc.) carentes de una verdadera modelación de las preferencias del decisor. Esta dificultad hace que las técnicas existentes no satisfagan las expectativas de los logísticos, que en muchos casos, desisten de su aplicación. El presente problema decisional presente tanto en el campo de la logística como en otros campos de las ciencias, provocó el surgimiento de un nuevo paradigma: el multicriterio.

Uno de los problemas que con mayor frecuencia confronta la alta gerencia de las organizaciones y que ha sido reconocido por su influencia positiva en el costo total, al ser un factor que incide en la elevación de la competitividad, es el de la conformación del sistema logístico de la empresa como lo confirma Marrero (2002). Este sistema permite que la complejidad del proceso de toma de decisiones sea proporcional a la cantidad de variables que intervienen y al sistema informativo que lo sustenta, por lo que se constituye en potente candidato en la experimentación de técnicas de nueva generación, flexibles y abarcadoras de opiniones que derivan de soluciones integradoras.

El análisis de artículos, tesis de doctorado e informes de resultados de organizaciones cubanas, permite identificar que existen deficiencias que denotan la necesidad latente en las empresas de perfeccionar su sistema logístico, afectado en la mayoría de las ocasiones por capacidades restrictivas de medios, insumos y recursos humanos. Por tal motivo, en este artículo se pretende demostrar la necesidad de utilizar la modelación multicriterio como herramienta de modelación en la gestión de los diversos recursos que se gestionan en los sistemas logísticos.

METODOLOGÍA

Se utilizó la investigación exploratoria fundamentada en que el tema de la modelación multicriterio aplicada a la modelación matemática de los recursos representativos en el sistema logístico no ha sido lo suficientemente explorado y reconocida, y cuando aún, es difícil demostrar hipótesis o arribar a ciertas generalidades. Se pueden establecer dos clases de métodos de investigación: los métodos teóricos y los empíricos. Los primeros son todos aquellos que se basan en la utilización del pensamiento en sus funciones de deducción, análisis y síntesis, mientras que los métodos empíricos, se aproximan al conocimiento del objeto mediante sus conocimientos directos y el uso de la experiencia.

El análisis y síntesis de la información, para la revisión de la literatura especializada, así como de la experiencia personal de especialistas consultados para desarrollar el análisis del proceso de modelación matemática de los recursos en los sistemas logísticos y la pertinencia de la utilización de técnicas multicriterios; el histórico – lógico, para el estudio de las etapas por las cuales transitó la Investigación de Operaciones y en la demostración

del problema detectado; el inductivo – deductivo, en el diagnóstico de la utilización de la modelación multicriterio en las investigaciones a las que se tuvo acceso; y el sistémico estructural en el desarrollo del análisis del proceso objeto de estudio tanto desde la perspectiva teórica como práctica, mediante su descomposición en los elementos que lo integran, para determinar las variables que más inciden y su interrelación con un enfoque sistémico.

Como materiales para los métodos empíricos se utilizó el programa UCINET 6 for Windows (Borgatti *et al.*, 2002), el cual es un programa que representa características similares a otros programas de Windows que permiten representar las interacciones entre los diferentes actores en una red. Por otra parte se complementó con la utilización del SPSS (*Statistic Program for Social Sciences*) que constituye una potente herramienta de tratamiento de datos y análisis estadístico. En este se realizó un análisis de correlación a partir de las distancias y similitudes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La investigación de operaciones. Definición y enfoques

La IO está al servicio del hombre de acción. Su propósito es preparar la elección de este, entre diferentes medios o métodos disponibles para realizar todo objetivo que se proponga, de modo que se optimice el resultado en relación a un cierto criterio de juicio. Ciertamente, fundándose en la experiencia y la intuición se asumen las innumerables decisiones que implica la vida profesional o privada. Sin embargo, algunas de ellas merecen un estudio más profundo, en razón de sus consecuencias y de la complejidad de la situación en la cual se inscriben. Para la realización del análisis conceptual de la IO, se partió de efectuar una valoración de cada uno de los elementos que componen el término y luego se realizó de manera integrada.

La consulta de los criterios de un grupo de teóricos en la materia, reafirma el análisis anterior y evidencia cómo el alcance del concepto de IO ha evolucionado en el tiempo, varios son los autores que la abordan en diferentes objetos (Ackoff & Sasieni, 1994; Serra de La Figuera, 2003; Hillier Lieberman, 2007; García Sabater & Maheut, 2012; Pérez Torranzo, 2013; Salazar López, 2013; Argoty López, 2014; Ray *et al.*, 2014) en lo referente a las actividades y enfoques (Figura 1) que identifican sus características, los recursos que incluyen y la finalidad con que lo trabajan.



Fig. 1: Enfoques de la investigación de operaciones.

Como resultado de la búsqueda realizada (20 conceptos de diferentes autores) y apoyado en el *SPSS para Windows versión 19.0* y *Ucinet* se realizó un análisis de correlación a partir de la distancia *Jaccard*, del cual se obtuvo que los términos de mayor tratamiento son: organización, toma de decisión, solución de problemas, sistema, grupos interdisciplinarios, objetivo y metodología científica. En la Figura 2 se muestra la red que se obtuvo como resultado de este procesamiento.

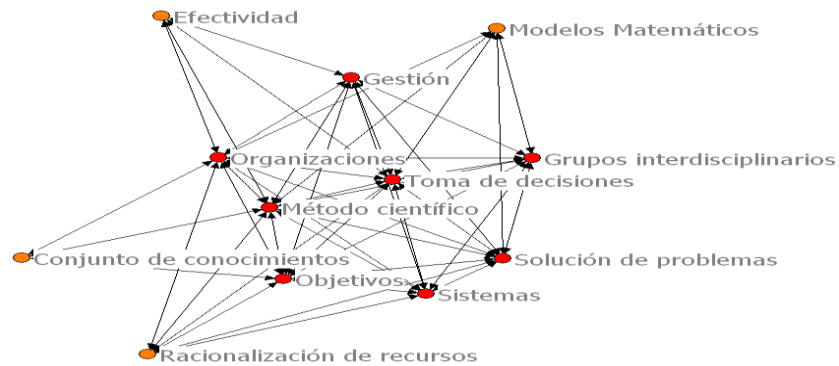


Fig. 2: Red social de los términos de investigación de operaciones.

Construida esta, se realizó un análisis de las medidas de centralidad (Tabla 1). En esta se muestran los términos que presentan un alto grado de centralidad normalizada comparado con los restantes términos analizados. Presentan menor centralización global de cercanía con la red (*In Closeness*), mayor centralización global de la cercanía armónica (*In Harmonic Closeness*) y mayor robustez en los valores del *eigenvector*, como medidas de centralidad.

Tabla 1: Análisis de centralidad

| Términos | Degree | Closeness | In Harmonic Closeness | In Eigen Vector |
|----------------------------|--------|-----------|-----------------------|-----------------|
| Organizaciones | 11 | 23.000 | 11.000 | 0.358 |
| Método científico | 11 | 23.000 | 11.000 | 0.358 |
| Toma de decisiones | 10 | 24.000 | 10.500 | 0.345 |
| Objetivos | 9 | 25.000 | 10.000 | 0.319 |
| Solución de problemas | 9 | 25.000 | 10.000 | 0.328 |
| Sistemas | 8 | 26.000 | 9.500 | 0.306 |
| Grupos interdisciplinarios | 8 | 26.000 | 9.500 | 0.302 |
| Gestión | 8 | 26.000 | 9.500 | 0.297 |

Evolución de la concepción de la investigación de operaciones

La evolución de la IO ha estado influenciada por cambios en el entorno. Los autores de esta investigación consideran que el desarrollo de la IO se puede describir a lo largo de cuatro etapas (propuesta de los autores del artículo), la primera de ellas desde el siglo XVIII hasta principios del siglo XX, génesis en la que se considera que se realizaron los primeros intentos, esta etapa estuvo influenciada por la Revolución Industrial donde apareció el poder de las máquinas, la edad de la mercadotecnia dio mayor énfasis a la automatización y a la producción de altos volúmenes, la división del trabajo hizo notar que la especialización del trabajo incrementó la producción debido al incremento en la destreza de los trabajadores, evitar el tiempo perdido debido al cambio de trabajo y la adición de las herramientas y de las máquinas. Posteriormente de la etapa (1939-1975) Nacimiento y Desarrollo, nació el estudio de la IO y se produjo un desarrollo notable de esta, pues se comenzaron a utilizar en la industria y el negocio, luego se incrementaron los avances científicos técnicos y la expansión industrial de la posguerra.

En la etapa de Decadencia (1975-1996), desafortunadamente, vino un relajamiento de la disciplina en el contexto académico. A esta le siguió en la década de los 80's una decadencia propagada hacia su aplicación en el ámbito

profesional (Geoffrion, 1999). Un avance más, tuvo lugar en la década de los 80's con el desarrollo de las computadoras personales, acompañado de buenos paquetes de software para resolver problemas, esto puso las técnicas al alcance de un gran número de personas (Hillier Lieberman, 2007).

En 1991, se presentó el punto más crítico, año en el que el AACSB (*American Assembly of Collegiate School of Business*) quitó la obligatoriedad de la materia en los programas de postgrado en Administración de Negocios en las universidades de los Estados Unidos. La respuesta tardía a esta situación se dio en el año 1996 cuando la organización INFORMS (*International Federation of Operation Research and Mangament Science*), designó una comisión con el propósito de investigar la problemática y desarrollar una autocrítica y un replanteamiento hacia el interior de la disciplina desde un punto de vista, tanto académico como profesional, así comenzó la última etapa de Madurez que se mantiene hasta la actualidad, donde se logra un crecimiento en la concepción de la IO con la nueva economía representada por una diversidad cultural (la participación de la mujer, múltiples culturas, fuerza de trabajo heterogénea), expectativas sociales (la responsabilidad social, los derechos humanos, la responsabilidad de cuidar el medio ambiente), la nueva organización representada por la flexibilidad temporánea (fuerza laboral flexible, empleos temporales, redefinición de los puestos de trabajo) y diversidad de la fuerza de trabajo (organizaciones con fuerza de trabajo heterogénea, preocupación por su trabajadores, su familia y la capacitación). Las características distintivas de cada una de estas etapas se resumen en la Figura 3.

Existen varias asociaciones en todo el mundo, que agrupan a personas (estudiantes, científicos y profesionales) interesados por el estudio y aplicación de la IO. La más grande de todas es INFORMS, de Estados Unidos de Norteamérica, asociación que nace de la unión de la ORSA (*Operation Research Society of America*), con aproximadamente 8000 miembros y la TIMS (*Institute of Managment Science*) con más de 6000 miembros. Igualmente existen otras asociaciones canadienses, europeas, latinoamericanas y asiáticas federadas en la IFORS (*International Federation of Operation Research Societies*) La Asociación Latinoamericana de Investigación de Operaciones (ALIO), reúne a la mayor parte de las Asociaciones de América Central y Sur.

La modelación matemática. Fundamentos

La modelación matemática se asocia a la actividad o proceso de construir modelos, varios autores así lo confirman (Barba Romero & Pomerol, 1997; Castillo *et al.*, 2002; Garza Ríos y González Sánchez, 2004; Planchart Márquez, 2005; Soto, 2007; Ministerio Nacional de Educación de Colombia, 2012; Sosa *et al.*, 2012; Jiang *et al.*, 2013; Salazar López, 2013; Tsai *et al.*, 2013; Tsai *et al.*, 2014; Yu, 2014; Yazdani *et al.*, 2015) evidenciándose la evolución del concepto hacia la relación de la teoría y la realidad, así como su enfoque práctico.

Varios autores (Tsai *et al.*, 2014; Voracek *et al.*, 2014; Yu, 2014) coinciden en que la modelación matemática es un poderoso método de conocimiento para el estudio de la realidad objetiva, que permite además la predicción y dirección de determinados procesos. En sus estudios Tsai *et al.* (2013), sostienen que modelar es una habilidad compleja.

El proceso de construcción de un modelo de IO proviene del instinto humano para la creación de una representación abstracta y simplificada de la realidad (Figura 4) con la finalidad de obtener un mejor entendimiento a un problema. El propósito de la modelación es la comprensión de los problemas y no tanto su solución computacional.

Se debe aclarar que la ciencia y el arte no son mutuamente excluyentes, si no complementarios, ya que es precisamente el arte lo que motiva y prolonga el estudio de la ciencia ante la mirada evaluativa de su propio rendimiento. Lo anterior concede gran importancia a la modelación matemática, ya que esta proporciona el habla entre el modelador y experto, establece información disponible, organiza la comprensión del comportamiento del sistema, analiza la estructura organizativa de la empresa, permite compartir supuestos entre el modelador y el experto, proporciona una herramienta para el análisis e indica dirección de mejora en materia de decisiones.

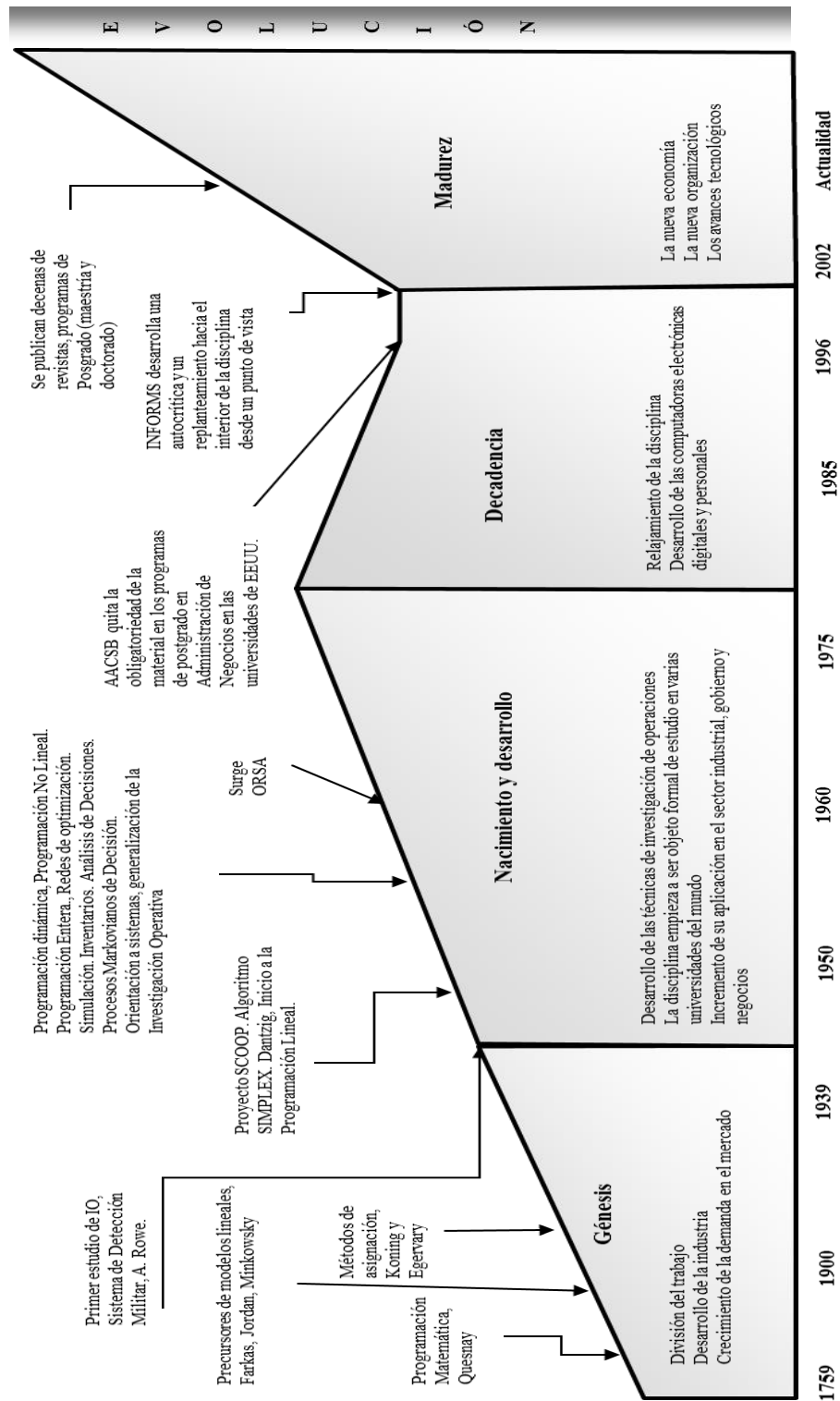


Fig. 3: Evolución de la concepción de investigación de operaciones.

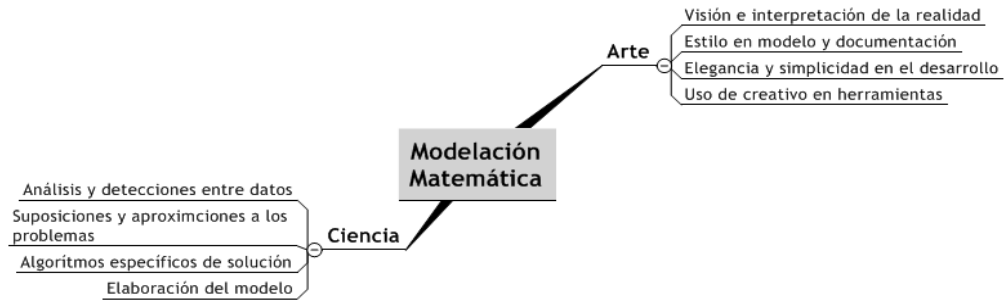


Fig. 4: Arte y ciencia de la modelación matemática.

Con el objetivo de validar lo expresado por los autores (se utilizaron cerca de 50 conceptos) se realizó un análisis factorial para encontrar grupos homogéneos de las variables. Para el concepto de modelación matemática, en la Tabla 2 se muestra que el contraste de esfericidad (prueba de esfericidad de Bartlett) es favorable, y la medida de adecuación muestral KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) sobrepasa el valor mínimo (0,5) aceptado, sugiriendo ambos la pertinencia de realizar el análisis factorial.

Estudiando las comunalidades de la extracción, se pudo valorar que la variable predicción de procesos es la peor explicada: el modelo sólo es capaz de reproducir el 54,3% de su variabilidad original (Tabla 3).

Tabla 2: Prueba de esfericidad de Barlett y KMO

| KMO y prueba de Bartlett | | |
|--|-------------------------|--------|
| Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin. | | ,615 |
| Prueba de esfericidad de Bartlett | Chi-cuadrado aproximado | 291,85 |
| | Gl | 45 |
| | Sig. | ,000 |

Tabla 3: Comunalidades y matriz de componentes rotados

| Variables | Comunalidades | | Matriz de componentes rotados ^a | | |
|---|---------------|------------|--|-------------|-------------|
| | Inicial | Extracción | Componente | | |
| | | | 1 | 2 | 3 |
| Modelo de sistema | 1,000 | ,859 | ,923 | -,052 | ,058 |
| Fenómenos complejos | 1,000 | ,677 | ,786 | ,005 | ,243 |
| Predicción de procesos | 1,000 | ,543 | ,242 | -,200 | -,666 |
| Resolución de problemas | 1,000 | ,689 | -,117 | ,812 | -,124 |
| Lenguaje matemático | 1,000 | ,868 | ,428 | -,325 | ,761 |
| Toma de decisiones | 1,000 | ,746 | -,069 | ,853 | -,122 |
| Interrelación de variables | 1,000 | ,793 | ,866 | ,168 | ,125 |
| Detección de esquemas | 1,000 | ,894 | ,406 | -,326 | ,789 |
| Conceptualización realidad | 1,000 | ,697 | ,739 | -,355 | -,158 |
| Elaboración de modelos | 1,000 | ,650 | ,470 | ,632 | ,173 |
| Método de extracción: Análisis de Componentes principales | | | Método de extracción: Análisis de componentes principales. | | |
| | | | Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser. | | |
| | | | La rotación ha convergido en 9 iteraciones | | |

En este caso la validez se analizó desde el punto de vista del constructo o interno, se denomina matriz de componentes porque se utilizó el método de componentes principales como método de extracción, con el objetivo de detectar las variables que más explican la varianza total que se da en la modelación matemática, a partir de considerar tres factores los cuales se pueden apreciar en la Tabla 4, quedando los componentes como sigue: primero modelo de sistema, fenómenos complejos, interrelación de variables, conceptualización de la realidad y predicción de procesos con una explicación del 34,10% de la varianza total; Garcia (2006) destaca que "un sistema complejo es una representación de un recorte de esa realidad, conceptualizado como una totalidad organizada (de ahí la denominación de sistema) por lo que este factor será un sistema complejo que permita la predicción de procesos, el segundo compuesto por resolución de problemas, elaboración de modelos y toma de decisiones, aumentando su explicación a un 21,95% este sin duda se refiere a la práctica de la modelación en procesos decisionales donde en estos se resuelven problemas para seleccionar la mejor alternativa evidenciándose un enfoque pragmático por lo que será la práctica y resolución de los problemas decisionales; el tercero por lenguaje matemático, detección de esquemas a un 18,00% se refiere al lenguaje matemático (esquemas, símbolos, ecuaciones), al considerar la proyección de las unidades de análisis sobre el plano factorial (Figura 5) en dos dimensiones y en un sistema de tres ejes la convergencia de los tres factores.

Por lo antes planteado los autores de esta investigación consideran que la modelación matemática es la actividad de construir modelos de sistemas complejos que permitan la predicción de procesos mediante un lenguaje matemático, para resolver a través de la práctica los problemas decisionales.

Tabla 4: Varianza total explicada

| Varianza total explicada | | | | | |
|--------------------------|--|-------------|---|------------------|-------------|
| Componente | Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción | | Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación | | |
| | % de la varianza | % acumulado | Total | % de la varianza | % acumulado |
| 1 | 3,889 | 38,887 | 38,887 | 34,109 | 34,109 |
| 2 | 2,140 | 21,399 | 60,285 | 21,956 | 56,065 |
| 3 | 1,387 | 13,872 | 74,157 | 18,092 | 74,157 |

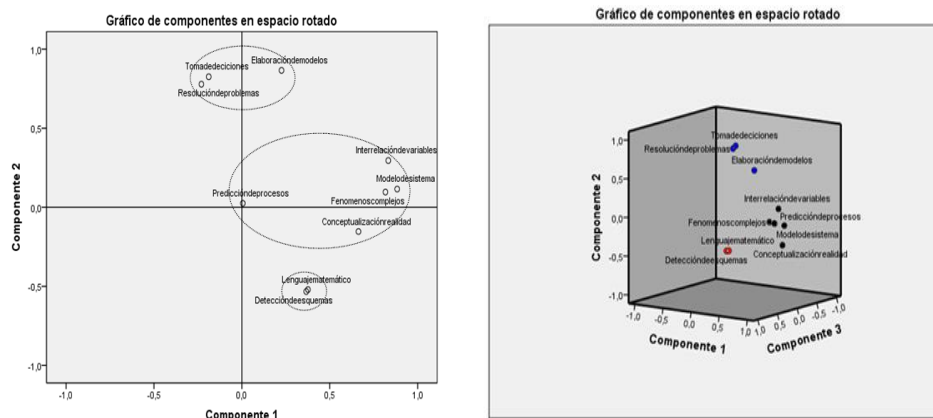


Fig. 5: Gráfico de componente en espacio rotado en dos y tres ejes.

Modelación multicriterio: Características y aplicaciones

En la vida cotidiana como en las organizaciones, las personas se enfrentan a difíciles decisiones fruto de la necesidad de cubrir varios imperativos; el decisor se encuentra en disposición de escoger entre varias posibilidades, denominadas alternativas, el conjunto de las cuales constituye el llamado conjunto de elección. Para escoger en este conjunto, el decisor tiene diversos puntos de vista, denominadas criterios. Estos criterios

son, parcialmente, contradictorios en el sentido de que si el decisor adopta uno de dichos puntos de vista, por ejemplo la minimización del costo, no escogerá la misma alternativa que si se basa en otro criterio, por ejemplo el de mayor productividad. Independientemente a la creciente aplicación de las técnicas matemáticas en el ámbito empresarial, aún existen limitaciones en la introducción de dichas técnicas, predominando en su utilización autores que trabajan en las propias universidades.

Las empresas desarrollan en el seno de la realidad circundante sus dinanismos, que es el ambiente en el cual se implantan estas, de su éxito dependerá su efectividad en el entorno. Varios autores, fundamentalmente del campo de la IO (Saaty, 1990; Barba Romero y Pomerol, 1997; Osorio Gómez y Orejuela Cabrera, 2008; Blander Reinhardt y Pisinger, 2011; Hasan Bal y Hasan Orkcu, 2011; Badri *et al.*, 2014; De & Sana, 2015; Streimikiene *et al.*, 2016; Stringer *et al.*, 2016; Zorpa, 2016), en el ámbito internacional y en Cuba por (Martínez & Rodríguez, 1996; Arzola, 2000; Marrero *et al.*, 2001; Martínez Delgado, 2003; Garza Ríos & González Sánchez, 2004; Garza Ríos *et al.*, 2007; Delgado Sobrino, 2009; Duany Alfonso, 2009) han desarrollado un paradigma alternativo al tradicional, que permite acomodar con mayor precisión los procesos reales de decisión: el paradigma multicriterio.

Este constituye un método de gran potencialidad cuando el contexto decisional está definido por una serie de objetivos que deben satisfacer un determinado conjunto de restricciones (Vega de la Cruz & Nieves Julbe, 2015). Como la optimización simultánea de todos los objetivos es usualmente imposible, ya que en la vida real, usualmente los objetivos se encuentran en conflicto, el enfoque multicriterio, en vez de intentar determinar un óptimo, pretende establecer el conjunto de soluciones existentes. Por lo que es objetivo y legible para el proceso decisorio, vital para el compromiso entre las diversas aspiraciones casi imposibles de satisfacer en su totalidad.

Las ventajas de la modelación multicriterio deben valorarse en relación con la modelación clásica, donde el objetivo consiste en llegar a un problema de maximización con restricciones, en que la solución óptima representa la mejor elección (Barba Romero y Pomerol, 1997). Según Marrero Delgado (2002), este, proporciona al decisor la libertad de juicio que le es ocultada por la modelación monocriterio. Sin embargo, la urgente necesidad de poseer organizaciones eficientes, la responsabilidad de ahorrar recursos energéticos, de utilizar racionalmente los recursos para dar satisfacción a un cliente cada vez más exigente, consciente y preparado, ha provocado el cambio del paradigma decisional de un enfoque de optimización a un enfoque multicriterio, donde se obtienen soluciones que modelan racionalmente la forma de actuar del decisor, ya que lo fundamental no es abordar técnicas y (o) herramientas que permitan obtener un ahorro en cualquier dirección de una empresa, sino buscar una solución en la que se reduzcan los costos totales y se mejore el servicio.

Enfoques que tributan a la modelación multicriterio en los sistemas logísticos

En la actualidad no se considera tan importante el tamaño de las empresas, sino el nivel de competitividad al que estén dispuestas a lograr. La posición competitiva de una empresa está muy condicionada por la competitividad de todos los protagonistas de la cadena de suministros de la que esta es parte. Es común el escuchar que los procesos de producción, con una reducción de costos asociados a la logística, definitivamente marcarán la pauta para el posicionamiento de las organizaciones en un marco donde impera la Globalización Neoliberal. La práctica de la logística viene desarrollando actividades y funciones que quizás en el pasado resultaron suficientes. No obstante, en el contexto de negocios de altos volúmenes y bajos márgenes, se hace indispensable el desarrollo e implementación de nuevas formas de organización que permitan aumentar la productividad de los recursos de las empresas.

De esta forma, el nuevo entorno exige rapidez y flexibilidad en procesos productivos, implicando una nueva dinámica en la compra de materias primas necesarias en la manufactura, las cuales no son producidas al mismo ritmo que se consumen. De igual forma, sucede con los volúmenes de producción, los cuales son mayores a las necesidades del mercado doméstico o regional, haciendo necesario llevarlos a otras regiones y países.

Segmentados los estratos (95 investigaciones cubanas y extranjeras), se concluyó que las propuestas cuyo resultados se consideran más atinado al objetivo de esta investigación son las que se muestran en la Tabla 5. Gómez Acosta (1997), propone el Sistema del Plan de Fechas Principales como herramienta para la coordinación de las actividades del flujo logístico, la cual fue aplicada en producciones de alta masividad en la industria sideromecánica, no así para producciones de baja masividad, ni en el sector de los servicios. Solo tiene en cuenta restricciones de capacidad o características técnicas de los procesos, en empresas que realizan a pedido productos complejos y de ciclos logísticos extensos.

Tabla 5: Comparación de las propuestas de los autores

| Autores | Contribución a la toma de decisiones | Objeto de modelación | Nivel de especialización | Métodos Multicriterio | Área de aplicación |
|-------------------------|--|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Gómez Acosta (1997) | Sistema del Plan de Fechas Principales | tiempo, recursos | Bajo | No | Flujos logísticos |
| Acevedo (2008) | Modelo de valor de los procesos logísticos, a través de los elementos de la estructura del proceso | costo, recursos, tiempo | Bajo | No | Cadena de suministros |
| Pérez Pravia (2010) | Gestión integrada y proactiva restricciones físicas, en los subsistemas logísticos en un hotel | recursos | Alto | No | Sistema logístico de hoteles |
| Pardillo Báez (2013) | Nodos de integración para las operaciones inter-empresariales | recursos, tiempo, costo | Bajo | Si | Cadena de suministros |
| Acevedo Urquiaga (2013) | Planificación colaborativa en los procesos y actividades logísticos | recursos, tiempo, costo | Bajo | No | Cadena de suministros |

Acevedo (2008), pone a relieve decisiones de los flujos para discutirlos sin correr el riesgo de omitir detalles, pero no en detalle por separado de cada uno de los subsistemas (Pardillo Baez, 2013; Acevedo Urquiaga, 2013), tienen un grado de especialización bajo, evidenciándose las relaciones inter-empresariales, entre procesos y actores, sin particularizar las relaciones entre los subsistemas a diferencia de Pérez Pravia (2010), pero esta se enfoca en la cadena logística de instalaciones hoteleras, así como la no utilización de los métodos de la modelación multicriterio. Como resultado de este análisis los autores concluyen que no existe una propuesta donde se utilice la modelación multicriterio, en los cuatro subsistemas del sistema logístico y los diferentes recursos que en este se gestionan. Derivándose de esta conclusión la existencia de una brecha científica.

CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos, en la presente investigación, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La evolución de la Investigación de Operaciones ha transitado por una concepción práctica y decisoria a una madurez orientada hacia el entorno de las organizaciones.
- La conceptualización de la modelación matemática abarca términos fundamentales en la investigación como sistemas complejos y problemas desicionales, donde la modelación multicriterio constituye un factor imprescindible.

- La Investigación de Operaciones a través de la modelación multicriterio de los recursos con enfoque logístico, requiere ser realizada bajo nuevos conceptos e instrumentos metodológicos que permitan integrar los conocimientos teóricos.
- Se demostró la necesidad de un enfoque metodológico para la modelación multicriterio, a través de la descripción de la situación desfavorable de la modelación de los cuatro subsistemas del sistema logístico y los diferentes recursos que en este se gestionan.

REFERENCIAS

1. Acevedo Urquiaga, A.J. (2013). *Modelo de Gestión Colaborativa del Flujo Logístico*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba. Recuperado desde <http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/>
2. Acevedo, J. (2008). *Modelos y estrategias de desarrollo de la logística y las redes del valor en el entorno de Cuba y Latinoamérica*. Tesis por el grado de Doctor en Ciencias, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Facultad de Ingeniería Industrial.
3. Ackoff, R.L. & Sasieni, M.W. (1994). *Fundamentos de Investigación de Operaciones*. México: Limusa.
4. Argoty López, J. (2014). La investigación de operaciones en la administración de la empresa. *Boletín horizontes empresariales*, (4), 28-34.
5. Arzola, J. (2000). *Sistemas de Ingeniería*. La Habana: Editorial Félix Varela.
6. Badri, S. A., Ghazanfari, M. & Shahanaghi, K. (2014). A multi-criteria decision-making approach to solve the product mix problem with interval parameters based on the theory of constraints. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(5-8), 1073-1080. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-013-5360-8>
7. Barba Romero, S. & Pomerol, J. (1997). *Decisiones multicriterio: Fundamentos teóricos y utilización práctica*, España.
8. Blander Reinhardt, L. & Pisinger, D. (2011). Multi-objective and multi-constrained non-additive shortest path problems. *Computers & Operations Research*, 38(3), 12. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2010.08.003>
9. Borgatti, S.P., Everett, M.G. & Freeman, L.C. (2002). *Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis*. Harvard, MA: Analytic Technologies. <https://sites.google.com/site/ucinetsoftware/home>
10. Castillo, E., Conejo, A.J., Pedregal, P., Garcia, R. & Alguacil, N. (2002). *Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia*. España. <http://eco.mdp.edu.ar/cendocu/repositorio/00216.pdf>
11. De, S.K. & Sana, S.S. (2015). Multi-criteria multi-attribute decision making for EOQ model under hesitant fuzzy environment, 56, 22. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pscr.2015.06.001>
12. Delgado Sobrino, D.R. (2009). *Procedimiento general para el diseño, implantación y control de rutas en cadenas de productos lácteos. Aplicación a la distribución de productos de la Pasteurizadora de Sancti Spiritus*, Tesis en opción al título académico de Master en Ingeniería Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, Cuba. Retrieved from <http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/>

13. Duany Alfonso, Y. (2009). *La Eficacia de los Procesos con un enfoque Multicriterio Multiexperto*. Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Industrial, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" La Habana, Cuba.
14. Garcia, R. (2006). *Sistemas Complejos; Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Argentina Ed. Gedisa.
15. García Sabater, J.P. & Maheut, J. (2012). *Modelos y Métodos de Investigación de Operaciones. Procedimientos para Pensar*.
16. Garza Ríos, R. & González Sánchez, C. (2004). Modelo matemático para la planificación de la producción en la cadena de suministro. *Ingeniería Industrial, XXV*(2), 4.
17. Garza Ríos, R., González Sánchez, C. & Salinas González, E. (2007). Toma de decisiones empresariales: Un enfoque multicriterio multiexperto. *Ingeniería Industrial, XXVIII*(1), 8.
18. Geoffrion, A. (1999). *The decadence of Operations Research*. EUA: ORMS Today.
19. Gómez Acosta, M.I. (1997). *La planificación y control del flujo logístico en empresas de producción contra pedidos de la Industria Mecánica*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad de La Habana, Cuba. Recuperado desde <http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/>
20. Hasan Bal & Hasan Orkcu, H. (2011). A new mathematical programming approach to multi-group classification problems. *38*, 6. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2010.04.003>
21. Hillier Lieberman, F. (2007). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. Ciudad de la Habana, Cuba: Félix Varela.
22. Jiang, S., Jin, J., Xu, H., Zhou, Y. & Wang, Y. (2013). Fluctuations effect analysis of grain yield per hectare based on empirical mode decomposition and set pair analysis. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 29* (4), 213-221. doi: <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2013.04.027>
23. Marrero Delgado, F. (2002). *El proceso de toma de decisiones y el paradigma decisional multicriterio*. Paper presentado en las Herramientas Modernas para la Toma de Decisiones.
24. Marrero Delgado, F., Asencio García, J., Cespón Castro, R., Abréu Ledón, R., Orozco Sánchez, R. & Sánchez Castillo, J. (2001). Aplicación de la toma de decisiones multicriterio en la cadena de corte, alza y tiro de la caña de azúcar. *Ingeniería Industrial, 22* (3), 5.
25. Martínez Delgado, E. (2003). *Modelo para la evaluación integral de un sistema de producción-distribución de medios biológicos aplicado a la agricultura urbana*. Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad de la Habana, Cuba. Retrieved from <http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/>
26. Martínez Delgado, E. & Rodríguez, A. (1996). *Análisis del Sistema de Distribución de Medicamentos en el Almacén No 2*. Paper presentado en Logística 1996, La Habana-Cuba.
27. Ministerio Nacional de Educación de Colombia. (2012). *Bases Curriculares*. Colombia.

28. Negrin Sosa, E. (2003). *El mejoramiento de la administración de operaciones en empresas de servicios hoteleros*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Recuperado desde <http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/>
29. Osorio Gómez, J.C. & Orejuela Cabrera, J.P. (2008). EL proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio, ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica*, 14 (39), 5.
30. Pardiño Baez, Y. (2013). *Modelo de Diseño de Nodos de Integración en las Cadenas de Suministro*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba. Recuperado desde <http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/>
31. Pérez Pravia, M.C. (2010). *Modelo y procedimiento para la gestión integrada y proactiva de restricciones físicas en organizaciones hoteleras*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín, Cuba. Retrieved from <http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/>
32. Pérez Torranzo, O. (2013). *Propuesta Didáctica para la Enseñanza y Aprendizaje de Investigación de Operaciones con la utilización de un sitio web en la carrera de Contabilidad y Finanzas*. Tesis en opción al Título de Máster en Ciencias de la Educación Superior, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad de La Habana, Cuba. Retrieved from <http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/>
33. Planchart Márquez, O. (2005). La Modelación Matemática: Alternativa Didáctica en la Enseñanza de Precálculo. *Revista de Investigación 360° en Ciencias y Matemáticas*, 1.
34. Ray, S., Soeanu, A., Berger, J. & Debbabi, M. (2014). The multi-depot split-delivery vehicle routing problem: Model and solution algorithm. *Knowledge-Based Systems*, 71, 238-265. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.knosys.2014.08.006>
35. Saaty, T. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48 (1), 9-26.
36. Salazar López, B.A. (2013). *Investigación de operaciones*. Recuperado el 25 de Octubre, 2014, desde www.ingenierosindustriales.jimdo.com
37. Serra de La Figuera, D. (2003). *Investigación operativa y logística empresarial*. Catedrático de Organización de Empresas GREL-IET Universitat Pompeu Fabra.
38. Sosa, D., Boucourt, R. & Dust, J.C. (2012). Uso de la modelación matemática en los procesos de fermentación en estado sólido de sustratos fibrosos destinados a la alimentación animal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46 (2), 119-125.
39. Soto, Z. (2007). La matemática aplicada a la logística. *La Tribuna del GREL*, (58), 2.
40. Streimikiene, D., Sliogeriene, J. & Turskis, Z. (2016). Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania. *Renewable Energy*, 86, 148-156. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.032>
41. Stringer, L., Dougill, A., Dallimer, M. & Reed, M. (2016). Multi-Criteria Decision Analysis to identify dryland ecosystem service trade-offs under different rangeland land uses. 48. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.12.005>

42. Tsai, W.-H., Chen, H.-C., Leu, J.-D., Chang, Y.-C. & Lin, T.W. (2013). A product-mix decision model using green manufacturing technologies under activity-based costing. *Journal of Cleaner Production*, 57, 178-187. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.011>
43. Tsai, W.H., Chang, Y.C., Lin, S.J., Chen, H.C. & Chu, P.Y. (2014). A green approach to the weight reduction of aircraft cabins. *Journal of Air Transport Management*, 40, 65-77. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.06.004>
44. Vega de la Cruz, L.O. & Nieves Julbe, A.F. (2015). Validación prospectiva de modelos académicos. *Enl@ce*, 12(3), 71 - 98, ISSN: 1690 - 7515. Disponible en: <http://produccioncientificaluz.org/index.php/enlace/article/view/20628>
45. Voracek, J., Vojackova, H., Kuncova, M. & Zazimal, D. (2014). Modelling, visualization and optimization of Hospital Emergency Department. *Mathematical Methods in Economics*, 1084-1089.
46. Yazdani, A., Neumann, W.P., Imbeau, D., Bigelow, P., Pagell, M. & Wells, R. (2015). Prevention of musculoskeletal disorders within management systems: A scoping review of practices, approaches, and techniques. *Applied Ergonomics*, 51, 255-262. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2015.05.006>
47. Yu, C. (2014). *Application on Mathematical Model of Multivariate Decision in the Marketing Model of Foreign Logistics*. In Z. Zhixian, C. Guiran y L. Zhen (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Logistics, Engineering, Management and Computer Science* (Vol. 101, pp. 1188-1190). Paris: Atlantis Press.
48. Zorpa, A.A. (2016). Multi-criteria analysis of sustainable environmental clean technologies for the treatment of winery's wastewater. *Int. J. Global Environmental Issues*, 15 (1/2), 151-169.