

UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES Y ADMINISTRACIÓN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DECISIONES
MULTICRITERIO EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE
MERCANCÍAS**

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

DANIEL IVÁN RODRÍGUEZ PUPO

HOLGUÍN

2021

UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES Y ADMINISTRACIÓN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DECISIONES
MULTICRITERIO EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE
MERCANCÍAS**

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR: DANIEL IVÁN RODRÍGUEZ PUPO

TUTOR: M. SC. MANUEL ENRIQUE COLOMA SALAZAR

HOLGUÍN

2021

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a **Dios** por haberme permitido llegar hasta aquí y rodearme de personas que me han ayudado incondicionalmente.

A **mi familia** por su apoyo y comprensión en especial: A mis padres, mi padrastro, mis tíos, abuelos y a mi querida esposa.

A **mis profesores** de la carrera por contribuir con sus conocimientos a mi formación profesional; en especial a **mi tutor** M. Sc. Ing. Manuel Enrique Coloma Salazar por hacer un espacio de su limitado tiempo, su orientación, enseñanza y ayuda incondicional en el desarrollo de este trabajo.

A **mis compañeros** de clase por, compartir sus conocimientos, su ayuda en momentos difíciles y porque fueron motivación para mi formación como profesional.

A todos, los que de una forma u otra han contribuido con la culminación de mis estudios universitarios.

A todos muchas gracias.

SÍNTESIS

En el contexto empresarial en el que hay tal cantidad de factores interrelacionados a la hora de la toma de una decisión, muchos de ellos en conflicto, es de gran utilidad tener el mayor número de herramientas posibles para elegir una alternativa adecuada. El grupo de decisores se apoyarán en estas para, en base a distintos criterios que se analizan de cada alternativa, elegir la alternativa a priori idónea.

En este proyecto desarrollaremos un procedimiento para la toma de decisiones en el proceso de distribución de mercancías, apoyándonos en la evaluación multicriterio multiexperto. La propuesta comprende el uso de las herramientas de decisión multicriterio: AHP y TOPSIS. Se definen una serie de criterios que se consideran importantes a la hora de la evaluación de las rutas de distribución y a través de la herramienta AHP se muestra como ponderarlos para determinar el peso que tienen para el grupo de decisión. Para seleccionar la mejor alternativa se explica el algoritmo TOPSIS.

Debido a la inmensa complejidad de la distribución de mercancías y la importancia del sector del transporte. Se deben establecer para ello un grupo de decisores que nos ayuden a elegir la solución óptima en base a los criterios que previamente sean elegido. El procedimiento realizado podrá aplicarse a otras empresas distribuidoras del país, para el perfeccionamiento del proceso de toma de decisiones en el transporte y consigo la mejora de las rutas de distribución y otras decisiones importantes.

ABSTRACT

In the business context in which there are so many interrelated factors when making a decision, many of them in conflict, it is very useful to have as many tools as possible to choose a suitable alternative. The group of decision-makers will rely on these to, based on different criteria that are analyzed for each alternative, choose the appropriate a priori alternative.

In this project we will develop a procedure for decision-making in the merchandise distribution process, based on multi-expert multi-criteria evaluation. The proposal includes the use of the multi-criteria decision tools: AHP and TOPSIS. A series of criteria that are considered important when evaluating distribution routes are defined and through the AHP tool it is shown how to weight them to determine the weight they have for the decision group. To select the best alternative, the TOPSIS algorithm is explained.

Due to the immense complexity of the distribution of goods and the importance of the transport sector. For this, a group of decision-makers must be established to help us choose the optimal solution based on the criteria that are previously chosen. The procedure carried out may be applied to other distribution companies in the country, for the improvement of the decision-making process in transport and thus the improvement of distribution routes and other important decisions.

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

Siglas y ac.	Significado
MCDM	<i>Multi-Criteria Decision Making</i>
MADM	<i>Multi-Attribute Decision Making</i>
MODM	<i>Multi-Objective Decision Making</i>
SAW	<i>Simple Additive Weighting</i>
COPRAS	<i>Complex Proportional Assessment</i>
GP	<i>Goal Programming</i>
CP	<i>Compromise Programming</i>
VIKOR	<i>Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje</i>
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i>
ELECTRE	<i>ELimination Et Choix Traduisant la REalité</i>
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i>
MAVT	<i>Multi-Attribute Value Theory</i>
MIVES	<i>Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Eostenibles</i>

ÍNDICE

SÍNTESIS	I
ABSTRACT.....	II
SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	III
ÍNDICE.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE GRÁFICOS	V
LISTA DE TABLAS	V
LISTA DE ANEXOS.....	V
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO-PRÁCTICO REFERENCIAL DE LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN	6
1.1 Logística, cadenas de suministro y gestión de la distribución	6
1.2.1 Logística y cadenas de suministros	6
1.2.2 La gestión de la distribución en el contexto empresarial	11
1.2. El proceso de toma de decisiones.....	18
1.2.1 El proceso de toma de decisiones. Conceptos y clasificación.....	19
1.2.2 El proceso de toma de decisiones multicriterio.....	21
1.3 Métodos para la toma de decisiones multicriterio.....	25
1.4. La gestión de la distribución en Cuba	28
CAPÍTULO II. PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE MERCANCÍAS	32
2.1 Procedimiento para la toma de decisiones multicriterio en el proceso de distribución de mercancías.....	32
2.1.1 Etapa 1. Identificación del problema.....	32
2.1.2 Etapa 2. Definición y estructuración del problema	34
2.1.3 Etapa 3. Selección de las alternativas.....	40
2.1.4 Etapa 4. Implementación de la alternativa seleccionada	44
2.1.5 Etapa 5. Control y evaluación	45
2.2 Valoración del procedimiento por especialistas.....	45
CONCLUSIONES GENERALES.....	47
RECOMENDACIONES.....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXOS	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura simple de la cadena de suministros	8
Figura 2. Estructura extendida de la cadena de suministros	8
Figura 3. Coordinación en la cadena de suministros. Fuente: Hugos (2011)	9
Figura 4. Red de palabras claves relacionadas con gestión de la distribución (VOSviewer 1.6.16)	14
Figura 5. Red de autores que han investigado sobre gestión de la distribución (VOSviewer 1.6.16)	15
Figura 6. Análisis de correlación de dimensiones e indicadores de distribución. Fuente: Coloma Salazar (2021)	17
Figura 7. Estructura del modelo jerárquico del AHP	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Publicaciones en Scopus sobre "distribution management"	13
Gráfico 2. Carga transportada en Cuba 1985-2019 (miles de toneladas). Fuente: Coloma Salazar (2021)	29
Gráfico 3. Transporte, almacenamiento y comunicaciones 1996-2019. Fuente: Coloma Salazar (2021)	29

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Relación de procesos y funciones en una empresa comercializadora. Fuente: Torres Gemeil et al. (2004)	15
Tabla 2. Escala de Saaty	38
Tabla 3. Índices de consistencia aleatorios	40

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Metodología PRISMA para la sistematización de la literatura y meta-análisis. Fuente: Moher et al. (2009)	56
Anexo 2. Relación de palabras claves en VOSviewer 1.6.16 por años	57
Anexo 3. Relación de autores en VOSviewer 1.6.16 por años	58
Anexo 4. Taxonomía de metodos para la toma de decisiones multiatributos (MADM). .	59
Anexo 5. Cuadro de especificaciones de los métodos para la toma de decisiones multiatributo (MADM). Fuente: (Hwang y Yoon, 1981)	60
Anexo 6. Procedimiento para la toma de decisiones multicriterio en el proceso de distribución de mercancías	61
Anexo 7. Encuesta para validación por expertos del procedimiento	62

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, no se puede pensar en toma de decisiones aisladas, sin considerar los procesos integrales de una empresa. En el caso de la logística, se deben combinar las decisiones de aprovisionamiento, producción, distribución, y gestión de residuos, teniendo como objetivo principal la satisfacción del cliente.

Según CSCMP (2013) la logística se puede entender como: “la parte de la gestión de cadenas de suministros que planifica, implementa y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo de productos, servicios e información relacionada entre un punto de origen y un punto de consumo con el objetivo de cumplir los requisitos del cliente”.

Una definición sobre la que se asienta esta investigación describe a la logística como la acción del colectivo laboral dirigida a garantizar las actividades de diseño y dirección de los flujos material, informativo y financiero, desde sus fuentes de origen hasta sus destinos finales, que deben ejecutarse en forma racional y coordinada con el objetivo de proveer al cliente los productos y servicios en la cantidad, calidad, plazos, costos, lugar y con la información demandados, con elevada competitividad y garantizando la preservación del medio ambiente. (Gómez Acosta y Acevedo Suárez, 2001)

La optimización de las funciones logísticas es una de las mejores inversiones que puede llevar a cabo una compañía. Ya que contribuye a mejorar la eficiencia de todos los procesos desarrollados en la empresa.

La distribución de mercancías es uno de los aspectos más importantes a la hora de conseguir que el proceso logístico en su conjunto se lleve a cabo de manera exitosa, de esta depende que el producto llegue finalmente al consumidor acorde a los valores establecidos. Debido a esto es importante garantizar que se realice correctamente.

En la distribución de mercancías, el transporte es una de las principales funciones logísticas, este representa la mayor parte de los costos logísticos en la mayoría de las organizaciones. Según Toth y Vigo (2002) pueden significar entre el 10 % y el 20 % del coste final de los productos.

Una gestión eficaz en el transporte tendrá como resultado una ventaja competitiva tanto en la calidad del servicio, como en la reducción de los costes, proporcionando la posibilidad de tener unos precios más bajos y competitivos dentro de un mercado cada vez más exigente. Sin embargo, es al mismo tiempo uno de los problemas más difíciles de resolver para las empresas, especialmente cuando se atiende a un grupo numeroso de clientes. Esta complejidad se

multiplica con el hecho de que el decisor no es una sola persona y que las organizaciones se encuentran en ambientes dinámicos y complejos (Cabanas Moreda, 2007, p. 1); además de que estos no están interesados en buscar la solución con respecto a un único criterio, sino que desean efectuar esta tarea con arreglo a diferentes intereses y preferencias. (Garza Ríos *et al.*, 2007, p. 30)

Considerar varios criterios aumenta la dificultad del problema de optimización ya que además de satisfacer las limitaciones del problema la solución tiene que tratar con objetivos contrapuestos entre ellos. Dichos criterios, tienen diferente trascendencia a la hora de seleccionar una alternativa, ya que existen unos que son más relevantes, que otros. Por tanto, la decisión para la selección puede ser vista como un problema de toma de decisión multicriterio, ya que involucra la evaluación de un conjunto de alternativas, caracterizada por un conjunto de criterios, donde frecuentemente se encuentran en conflicto unos con otros. (Osorio Gómez y Orejuela Cabrera, 2008)

La toma de decisiones multicriterio es un proceso que permite obtener soluciones que satisfagan diferentes objetivos. Este proceso puede llevarse a cabo de múltiples formas. (Hwang y Yoon, 1981), clasificaron los procesos de toma de decisiones multi-criterio en toma de decisiones multi-atributo (*Multiple Attribute Decision-Making*, MADM), y toma de decisiones multi-objetivo (*Multiple Objective Decision-Making*, MODM). Los MADM se usan para decidir sobre un número discreto de soluciones. En este caso, los decisores actúan al inicio del proceso, o bien dando pesos a los diferentes criterios existentes para la evaluación de cada una de las soluciones, o bien evaluando dichas soluciones atendiendo a criterios subjetivos. Finalmente, se obtiene una priorización de las alternativas estudiadas. Por su parte, los MODM permiten obtener un conjunto continuo de soluciones, respecto a dos o más criterios, denominado frontera de Pareto. Este trabajo se va a centrar en los métodos de decisión multi-atributo, ya que es el proceso de toma de decisión más común en la vida real, especialmente en el uso de los métodos AHP y TOPSIS.

Las decisiones pueden tomarse de dos formas: No racional (intuición y experiencia) y racionalmente. Cuando la toma de decisiones se realiza de forma no racional, puede ser por intuición o por experiencia de los expertos que vayan a tomar la decisión, de esta forma puede prevalecer alguna opinión inadecuada, siendo esta una gran desventaja para la organización. Además, se toman las decisiones con un alto porcentaje de error, debido a que no se tienen en

cuenta las preferencias de los decisores y esto hace que aumente la probabilidad de equivocarse. La toma racional de una decisión cualquiera supone un proceso que lleva aparejado un sistema de preferencias del decisor que se materializará en la concreción de un objetivo a alcanzar y en la definición de una serie de actuaciones tendentes a conseguir dicho objetivo. (Garza Ríos *et al.*, 2007, p. 30)

El sistema de preferencia de los decisores es el eslabón fundamental del proceso de toma de decisiones logísticas en la distribución de mercancías y comprende cuatro dimensiones: económica, espacial, temporal y ambiental; donde se expresa el nivel de orientación hacia una determinada solución desechando una serie de factores no esenciales. (Coloma Salazar, 2021) En cada una de estas dimensiones existen un conjunto importante de criterios para la evaluación de las alternativas de ruteo de la transportación de mercancías, que se deben tener en cuenta para una efectiva toma de decisiones.

Actualmente la distribución en nuestro país se realiza sin un análisis adecuado de estos criterios: ya que se toman las decisiones de forma empírica en base a la experiencia de los responsables del proceso, o en base a unos pocos criterios, generalmente (distancia recorrida, consumo de combustibles, número de equipos), por lo que no se tienen en cuenta todas estas dimensiones y la toma de decisiones en este sentido, carece de una apropiada determinación de las preferencias del decisor. Lo cual genera gastos innecesarios que son importantes teniendo en cuenta la obsoleta flota utilizada y la complicada situación energética que vive el país, debido al recrudescimiento de las medidas coercitivas de los EEUU respecto a la obtención de combustibles. Todo esto compone la situación problemática de esta investigación.

Las insuficiencias en la toma de decisiones en el proceso de distribución de mercancías limitan la eficiencia y eficacia de las empresas comercializadoras, esto constituye un problema profesional a resolver. Por lo que el objeto de estudio es el proceso de toma de decisiones logísticas. El objetivo general propuesto es: desarrollar un procedimiento para la toma de decisiones multicriterio en el proceso de distribución de mercancías. Por lo que se derivan los siguientes objetivos específicos:

1. Elaborar el marco teórico práctico referencial de la investigación a partir de la consulta de la literatura especializada sobre el proceso de toma de decisiones logísticas y la toma de decisiones en el proceso de distribución.

2. Diseñar un procedimiento para la toma de decisiones multicriterio en el proceso de distribución de mercancías.
3. Validar el procedimiento propuesto a través de la valoración por expertos.

El campo de acción se enmarca en la toma de decisiones multicriterio en el proceso de distribución de mercancías. Para dar solución al problema profesional identificado se define como idea a defender: La toma de decisiones multicriterio contribuye a satisfacer el sistema de preferencias de los decisores en el proceso de distribución de mercancías y por ende a la mejora de la eficiencia y eficacia en las empresas comercializadoras.

En el desarrollo de la investigación se utiliza diferentes métodos teóricos, empíricos, y matemáticos entre los que se destacan:

- Análisis y síntesis de la información obtenida de la revisión de la literatura de los aspectos teóricos esenciales relacionados con la toma de decisiones multicriterio en la distribución específicamente en el subsistema transporte.
- Histórico - lógico en la construcción del marco teórico práctico de la investigación
- Sistémico-estructural para abordar todos los procesos involucrados en la temática estudiada y en la elaboración del procedimiento
- Métodos de decisión multicriterio como AHP y TOPSIS para la determinación de los pesos de los criterios y selección de la mejor alternativa respectivamente.

Para el desarrollo de las tareas planteadas, la tesis se ha estructurado en dos capítulos además de las conclusiones, recomendaciones y anexos.

En el primer capítulo se hace un estudio de los elementos fundamentales de la logística, las cadenas de suministros y la gestión de la distribución. Particularmente se abordan los problemas de decisión que surgen en el contexto de la distribución de mercancías y las técnicas y herramientas de apoyo a la toma de decisiones multiatributo.

En el segundo capítulo se diseña el procedimiento para la toma de decisiones multicriterio en el proceso de distribución de mercancías, y se describen los pasos a seguir para su desarrollo.

CAPÍTULO I.

**MARCO TEÓRICO-PRÁCTICO REFERENCIAL DE LA
TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO EN LA GESTIÓN
DE LA DISTRIBUCIÓN**

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO-PRÁCTICO REFERENCIAL DE LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN

En el presente capítulo se abordan los principales conceptos y métodos que se emplean en el desarrollo de la investigación a partir de la consulta de bibliografía especializada. Se realiza una valoración de la logística, las cadenas de suministros y la gestión de la distribución, sus componentes e importancia de su gestión en el ámbito empresarial. Particularmente se abordan los problemas de decisión que surgen en el contexto de la distribución de mercancías y las técnicas y herramientas de apoyo a la toma de decisiones multiatributo. Igualmente se analizan las principales metodologías y procedimientos para toma de decisiones en el proceso de distribución, sus ventajas y desventajas; y, cómo se comporta este sector en el contexto empresarial cubano.

1.1 Logística, cadenas de suministro y gestión de la distribución

1.2.1 Logística y cadenas de suministros

La logística, desde su surgimiento hasta la actualidad, ha transitado por varias etapas que han nutrido su concepción. Aunque su surgimiento se encuentra aparejado al desarrollo de la humanidad, es en el ámbito militar donde alcanza su connotación histórica. Tal es el caso de Napoleón cuando aseveró “...un ejército marcha con su estómago”, dando claros signos del aseguramiento de la contienda: “a menos que los soldados estén alimentados, no se pueden mover” (Hugos, 2011). Por otro lado, en esas mismas líneas planteaba el autor “...los novatos hablan de estrategia y los profesionales de logística”.

Logística proviene del término griego *lógos*, que significa “orden”, o del término francés *loger*, que significa “ubicar” y como se expresaba anteriormente su origen es estrictamente de naturaleza militar. Esta disciplina según Ghiani *et al.* (2013) estudia las metodologías empleadas en garantizar el correcto abastecimiento a las tropas de víveres, municiones, combustible, y, en general, asegurar la posibilidad de que los ejércitos se muevan y combatan en las condiciones más eficientes. De hecho, fueron los babilonios (siglo XX antes de Cristo) quienes por primera

vez crearon un cuerpo especializado en el abastecimiento, almacenamiento, transporte y distribución del equipamiento de los soldados. La logística fue aplicada exclusivamente en el contexto militar hasta el final de la Segunda Guerra Mundial. Luego fue extendida a empresas manufactureras para determinar las actividades para asegurar la correcta adquisición, movimiento y manipulación de materiales. Hoy día los problemas logísticos están fuertemente presentes en el sector de los servicios: la distribución de agua y combustibles, los servicios postales, la recogida de desechos sólidos urbanos, mantenimiento de calles y redes de electricidad, en los servicios posventa de las compañías manufactureras y otros.

Se hace evidente el papel que juega la logística en el campo militar y se pueden realizar disímiles analogías al campo empresarial o de los negocios. Para ello, primeramente, se necesita comprender qué es logística y cuál es su alcance para comprender su nivel de implicación en la toma de decisiones empresariales. En el contexto nacional, Gómez Acosta y Acevedo Suárez (2001) la definen como “...*el conjunto de todas las actividades relacionadas con el flujo de materiales desde el punto del proveedor hasta el punto del consumidor, contempla además de las actividades materiales aquellas mediante las que se planifica, organiza, regula y controla dicho flujo material (gestión) de forma eficiente entendiéndose por eficiente llegar al punto consumidor con la cantidad y calidad requerida en el momento y lugar demandado con el menor costo posible*”. Cespón Castro y Amador Arellana (2003), consideran que “*la logística es el proceso de gestionar los flujos material e informativo de materias primas, inventario en proceso, productos acabados, servicios y residuales desde el suministrador hasta el cliente, transitando por las etapas de gestión de los aprovisionamientos, producción, distribución física y de los residuales*”.

Como parte del proceso evolutivo de la logística, esta es redefinida por Acevedo Suárez y Gómez Acosta (2007), cuando enuncian el concepto moderno de logística, estos la describen como la acción del colectivo laboral dirigida a garantizar las actividades de diseño y dirección de los flujos materiales, informativo y financiero, desde sus fuentes con el objetivo de proveer al cliente los productos y servicios en la cantidad, calidad, plazos, costos, lugar y con la Información demandados, con elevada competitividad y garantizando la preservación del medio ambiente.

Según CSCMP (2013) se puede entender como: “*la parte de la gestión de cadenas de suministros que planifica, implementa y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo*”.

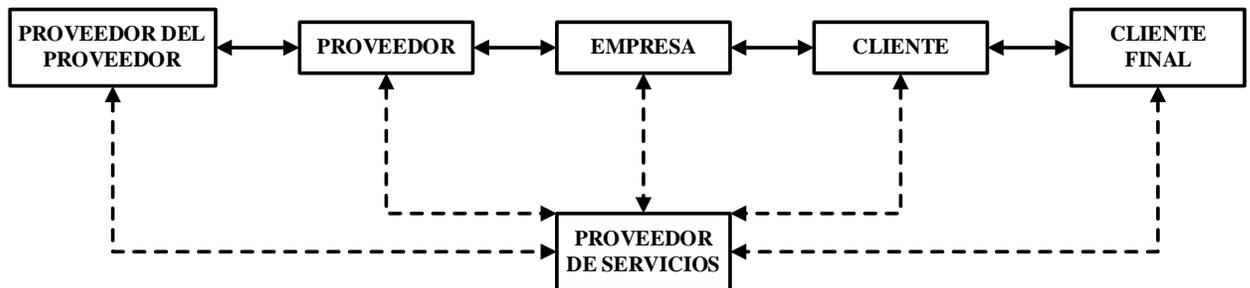
de productos, servicios e información relacionada entre un punto de origen y un punto de consumo con el objetivo de cumplir los requisitos del cliente”. Se manifiesta conceptualmente que el ciclo de gestión está implícito por lo que el decisor juega un papel importante en el proceso.

Aparejado a la gestión logística surge el término de cadena de suministros que consiste, esencialmente, en la alineación de firmas/empresas/negocios que brindan un producto al mercado (Lambert *et al.*, 1998). Por otro lado, Chopra y Meindl (2003) plantea que la cadena de suministros consiste en todos los niveles involucrados, directa o indirectamente, en cumplir con las demandas de los clientes. Asimismo, este autor manifiesta que la cadena de suministros no solo involucra a las empresas manufactureras o suministradoras, también incluye a los transportistas, minoristas y a los mismos clientes. Siguiendo la visión funcional de las cadenas de suministros Ganeshan y Harrison (1995) plantean que esta es una red de instalaciones y opciones de distribución que realizan las funciones de aseguramiento material, transformación de dichos materiales en productos intermedios y finales, y la distribución de los productos finalizados a los clientes.

En la **Figura 1** y la **Figura 2** se muestran los tipos genéricos de cadenas de suministros.



Figura 1. Estructura simple de la cadena de suministros



Proveedor de servicios en áreas como:

- Logística
- Finanzas
- Investigación de mercados
- Diseño de productos
- Tecnologías de la información

Figura 2. Estructura extendida de la cadena de suministros

Teniendo en cuenta las acciones que se realizan para influenciar el comportamiento de la cadena de suministros para obtener los resultados deseados, se integra el concepto de gestión. Es así como surge un nuevo núcleo teórico que, según Mentzer *et al.* (2001) consiste en la coordinación sistémica, estratégica y táctica de las funciones empresariales tradicionales en la cadena de suministros, con el objetivo de mejorar el comportamiento a largo plazo de los negocios individuales y de la cadena como un todo. Hugos (2011) precisa que la gestión en las cadenas de suministros se refiere a la coordinación de la producción, inventario, ubicación y transportación entre los participantes en la cadena para obtener la mejor mezcla de respuesta y eficiencia para el mercado al que sirven (**Figura 3**).

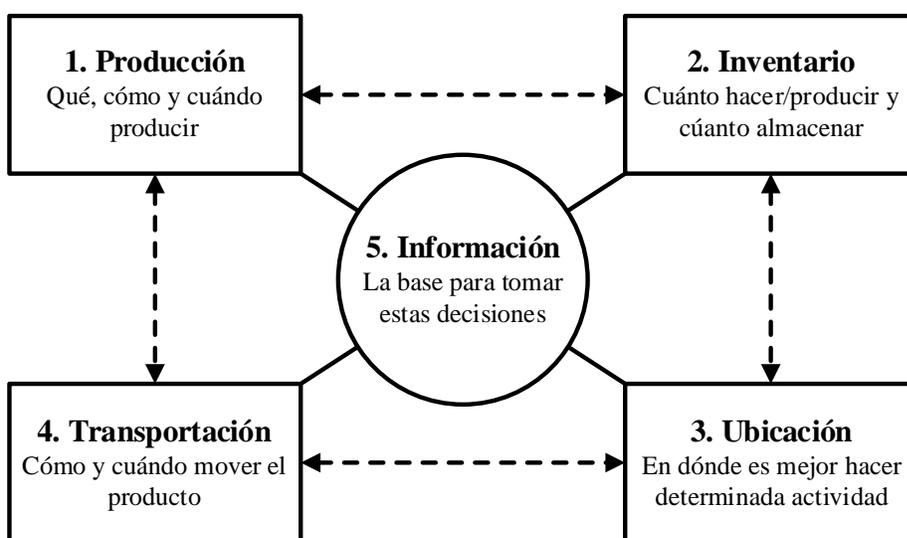


Figura 3. Coordinación en la cadena de suministros. Fuente: Hugos (2011)

Dicho autor concibe la información como un elemento de especial importancia en la integración de la cadena. Sin información ninguno de los eslabones puede contribuir al cumplimiento de los objetivos individuales y globales de la cadena. Se manifiesta como un elemento vital para la toma de decisiones y requiere de mecanismos, instrumentos, metodologías que permitan medir la conducta de variables, dimensiones e indicadores oportunamente.

Autores cubanos han realizado sus aproximaciones a los conceptos de logística y cadenas de suministros y han abordado diferentes temas que orbitan alrededor de los problemas de la profesión. En los últimos diez años el tema ha experimentado un crecimiento en la literatura cubana donde aparecen referencias a Marrero Delgado (2001) que trabaja la toma de decisiones logísticas multiobjetivo en el proceso de alza, corte y transporte de la caña de azúcar; González

González (2002) que aborda una plataforma logística para el petróleo en Cuba. Por otro lado, Garza Ríos (2001) aborda los problemas de ruteo de vehículos (*Vehicle Routing Problems, VRP*) para optimizar costo total de la distribución, el coeficiente de ponderación de calidad y tiempo medio de brindar el servicio.

Otras aproximaciones teóricas en el orden de la gestión y el enfoque estratégico reconocen la importancia de la logística y las cadenas de suministros. Tal es el caso de Hevia Lanier (2008) que trata la logística inversa; Sáez Mosquera (2008) que centra su investigación en procesos estratégicos de gestión logística; Pérez Campaña (2005) que, aunque precisa los elementos de las cadenas de suministros, se enfoca principalmente en el control de gestión; la gestión integrada y proactiva de restricciones físicas (Pérez Pravia, 2010); modelo de gestión colaborativa del flujo logístico (Acevedo Urquiaga, 2013) y de planificación en cadenas de suministros (Sablón Cossío, 2014).

El uso de técnicas y herramientas de la optimización multiobjetivo se manifiestan en la investigación de Feitó Cespón (2015) donde se plantea un modelo multiobjetivo para el rediseño de la cadena de suministro de reciclaje de múltiples productos. Se evidencia la oportunidad de las técnicas cuantitativas que brindan un sistema de apoyo a la toma de decisiones, en contraste con criterios cualitativos motivados por la experiencia empírica y el juicio personal. Asimismo, Lao León (2017) se aproxima a la gestión integrada de restricciones físicas donde analiza la viabilidad en las rutas de distribución mediante el árbol de expansión mínimo.

Por otra parte, siguiendo el rumbo del aporte metodológico en esta esfera se encuentra Delgado Sobrino (2009) que plantea un acercamiento al diseño de rutas de distribución mediante métodos multicriterio que se utilizan para abordar problemas discretos. Igualmente Zamora Rodríguez (2009) plantea un diseño de cadenas de suministros de productos centralizados y Meneses Marcel (2009) se reconoce el poder de las técnicas metaheurísticas basadas en el comportamiento de poblaciones para crear rutas de distribución.

Asimismo, en la Revista de Ingeniería Industrial se introducen investigaciones desde el 2000 respecto a temas de interés desde el punto de vista logístico. Marrero Delgado *et al.* (2001) se muestra como un referente en temas de transporte en la industria de la caña de azúcar; la distribución de mercancías en el comercio electrónico (Garza Ríos y González Sánchez, 2002); la plataforma logística del petróleo en Cuba (González González *et al.*, 2003); las decisiones estratégicas (Cárdenas Aguirre y Urquiaga Rodríguez, 2007); la gestión del combustible

(Miyashiro Pérez y Delgado Fernández, 2009); y, la clasificación del área de solución para problemas reales de enrutamiento de vehículos en empresas cubanas Costa Salas *et al.* (2010). Otras investigaciones se orientan al diagnóstico: Gómez Acosta *et al.* (2013) caracteriza el estado de la logística y la gestión de las cadenas de suministro en una muestra de empresas estadísticamente significativa y Lopes Martínez y Gómez Acosta (2013) en la auditoría logística de la gestión de inventarios. Mientras, (Pardillo Baez y Gómez Acosta, 2013; Sablón Cossío *et al.*, 2017) abordan la integración de las cadenas de suministro; la planificación de productos alimenticios en una cadena de suministro comercial (Sablón Cossío *et al.*, 2013); la modelación de recursos restrictivos en el sistema logístico de empresas comercializadoras (Lao León *et al.*, 2017); la mejora de procesos logísticos (Covas Varela *et al.*, 2017); y, la optimización de emisiones en la red de carreteras de infraestructura urbana (Vladimirovich Fedosov y Fedossova, 2017).

Definitivamente, esta área es de vital importancia para la comunidad científica, particularmente la cubana, y ha desarrollado distintos métodos para hacer eficientes los eslabones de la cadena de suministros. Sin embargo, persisten problemas que, aunque han sido definidos por Acevedo Suárez (2008) y consisten en elementos estratégicos en el fomento de la infraestructura logística en Cuba, no se les ha dado solución desde la ciencia cubana. Asimismo, Acevedo Suárez *et al.* (2004) detectan una serie de factores que desafortunadamente hoy mantienen una vigencia importante en el sector empresarial del país:

- Bajo grado de utilización de la tecnología del código de barra y la unificación con los clientes y proveedores.
- Bajo grado de automatización de la gestión logística.
- Débil utilización de un sistema de indicadores en logística.
- Débil aplicación del benchmarking a las actividades logísticas.

1.2.2 La gestión de la distribución en el contexto empresarial

En la literatura especializada se evidencia un extenso y diverso estudio de la gestión logística y las cadenas de suministros, incluyendo aquellos de tipo bibliométrico o de sistematización de la literatura. Se puede mencionar a Johnsen *et al.* (2017) donde se aborda la sostenibilidad en el proceso de compras y abastecimiento, que, si bien no explicita la gestión de la distribución aborda la distribución de los proveedores. Por otro lado, Khajehaminian *et al.* (2018) mencionan

la aplicación a situaciones de desastres, particularmente médicos. Sharma *et al.* (2020) conducen un estudio de la aplicación del *machine learning* en las cadenas de suministros en la agricultura sostenible, y, Koot *et al.* (2021) realizan un estudio de la integración del internet de las cosas a la toma de decisiones en la cadena de suministros.

Dichos estudios evidencian tanto el interés en los patrones y tendencias de las investigaciones en temas logísticos y de cadenas de suministros como la ausencia de un estudio de la gestión de la distribución. Dada esta deficiencia se une una carencia en la definición de patrones, tendencias, convergencias y la proyección de estudios de esta temática. Es por ello que se realiza una sistematización de la literatura especializada sobre gestión de la distribución la cual está estructurada en un análisis bibliométrico y del contenido. Para esta investigación se escoge *Scopus* la cual es considerada una de las bases de datos académicas más importantes utilizadas en este tipo de estudios. Además, se utiliza la metodología PRISMA (Moher *et al.*, 2009) la cual establece los pasos que determinan el flujo de información en la revisión sistemática de la literatura especializada. **(Anexo 1)**

Se escoge el término “*distribution management*” comúnmente utilizado en la literatura especializada, que coincide con el núcleo teórico seleccionado como campo de acción, y se realiza la búsqueda en los campos “*Título, resumen y palabras clave*”, donde se escogen los artículos de revistas en todos los idiomas, siendo el inglés el más representativo. Se fija como período de consulta desde la génesis de este campo de estudio hasta el 10 de octubre 2021 donde, luego de eliminar registros duplicados, se precisaron 2010 entradas o artículos **(Gráfico 1)**.

El análisis del número total de artículos encontrados en estas bases de datos evidencia el creciente interés por la comunidad científica, siendo Ahituv *et al.* (1998) el primer estudio publicado en la revista *Information & Management*. Los artículos fueron publicados en más de 340 revistas, siendo las principales de acuerdo a la cantidad de publicaciones en el ámbito logístico: *Computers and Industrial Engineering*, *Computers and Operations Research*, *European Journal of Operational Research*, *Expert Systems with Applications*, *Industrial Marketing Management*, *International Journal of Production Economics*, *Journal of Retailing and Consumer Services*, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* y otras. En el contexto de la distribución energética aparecen como revistas representativas: *Applied Energy*, *Electric Power Systems Research*, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* y otras.

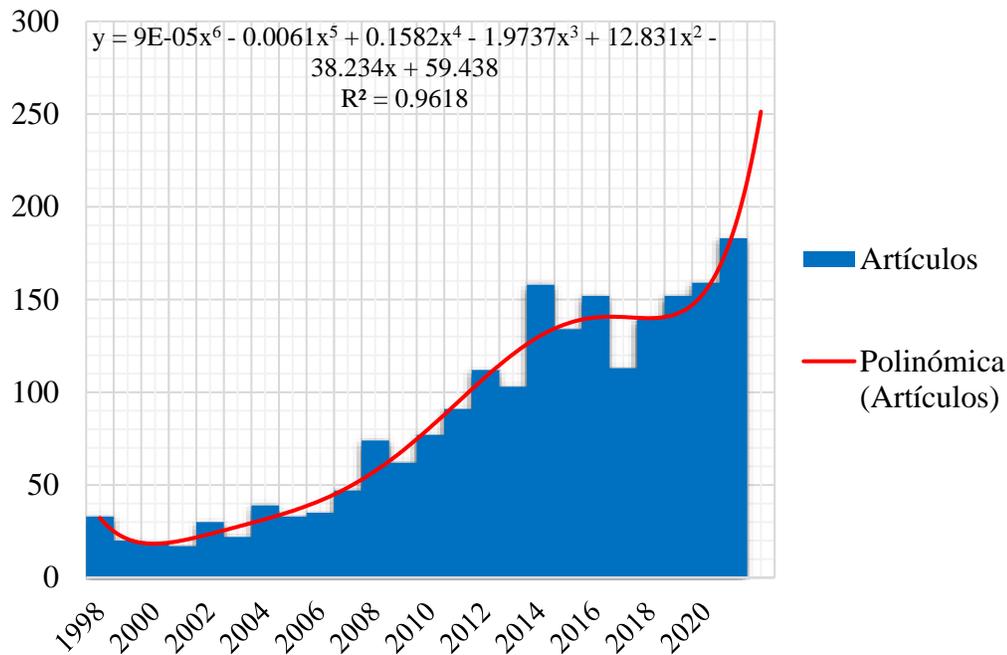


Gráfico 1. Publicaciones en Scopus sobre "distribution management"

Las principales temáticas (**Figura 4** y **Anexo 2**) abordadas en dichos artículos en los últimos años están relacionadas con energía renovable (Mahfouz, 2020; Kalair *et al.*, 2021; Youssef, 2021), respuesta a la demanda (Feng *et al.*, 2020; Mak y Choi, 2020; Tsao *et al.*, 2021), (Hussein *et al.*, 2021; Li, 2021; Liu y Li, 2021), sostenibilidad (Qazi *et al.*, 2021; Suryawanshi *et al.*, 2021), ruteo de vehículos (Eydi y Ghasemi-Nezhad, 2021; Guo *et al.*, 2021; Zhou *et al.*, 2021) y cadenas de suministros sostenibles (Paul *et al.*, 2021; Tsai *et al.*, 2021).

Dichos términos son usados en disímiles situaciones y aparecen recogidos en distintos clústeres. Por un lado, tenemos los términos asociados a la distribución de energía eléctrica: red inteligente, generación distribuida, sistemas de distribución, redes de distribución, conservación de la energía y otros. Asimismo, aparecen otros términos asociados al cliente: satisfacción del cliente, lealtad, confianza, venta minorista, intención de compra, etc. No obstante, aparecen muchos relacionados con la logística: ruteo de vehículos, logística verde, transportación marítima, diseño de redes, ventanas de tiempo, entre otros. Se evidencia entonces un elevado trabajo en la ciencia sobre gestión de la distribución como palabra clave, pero los datos demuestran que, como núcleo teórico en la gestión logística, no es suficientemente abordado.

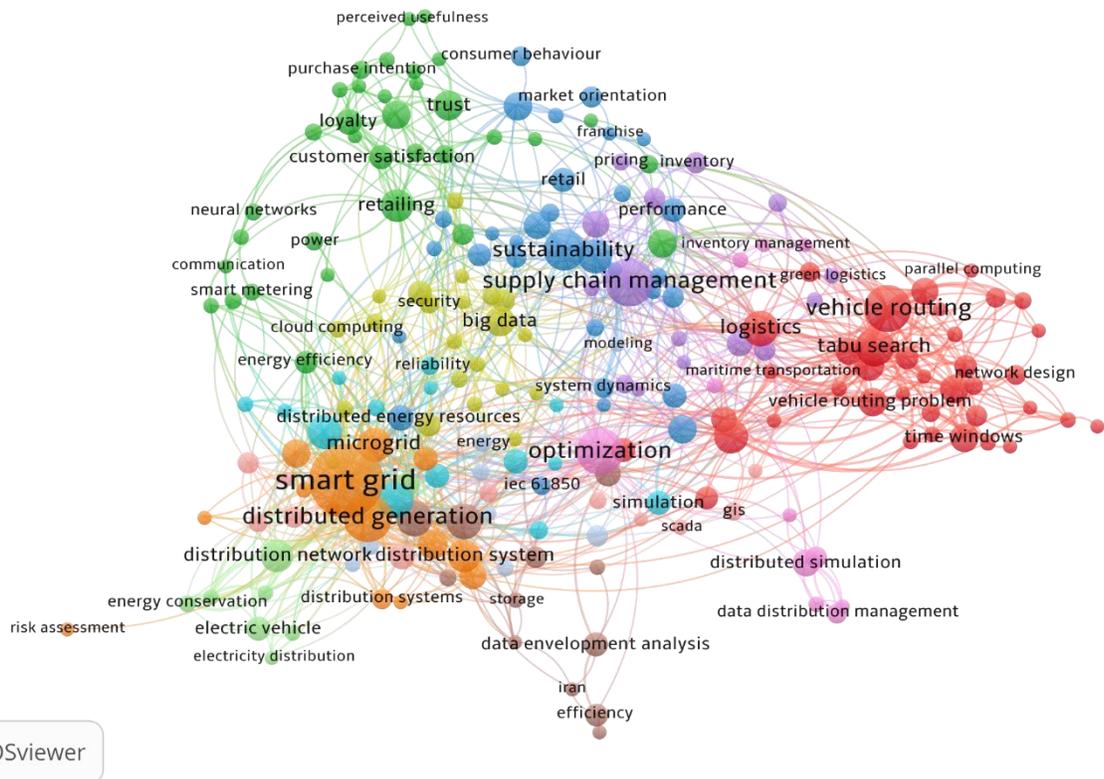


Figura 4. Red de palabras claves relacionadas con gestión de la distribución (VOSviewer 1.6.16)

Muchos son los autores que han abordado esta temática en el sector de la logística (Figura 5) y las cadenas de suministros. Los principales se adscriben a la concepción logística del término, tal es el caso de Gilber Laporte, Jean-François Cordeau, Tolga Bektas y Michel Gendreau. Dichos investigadores inciden principalmente en el problema de ruteo de vehículos, uno de los modelos más conocidos e importantes de la gestión de la distribución. Los autores y la actualidad de sus producciones científicas por años se muestran en el **Anexo 3**.

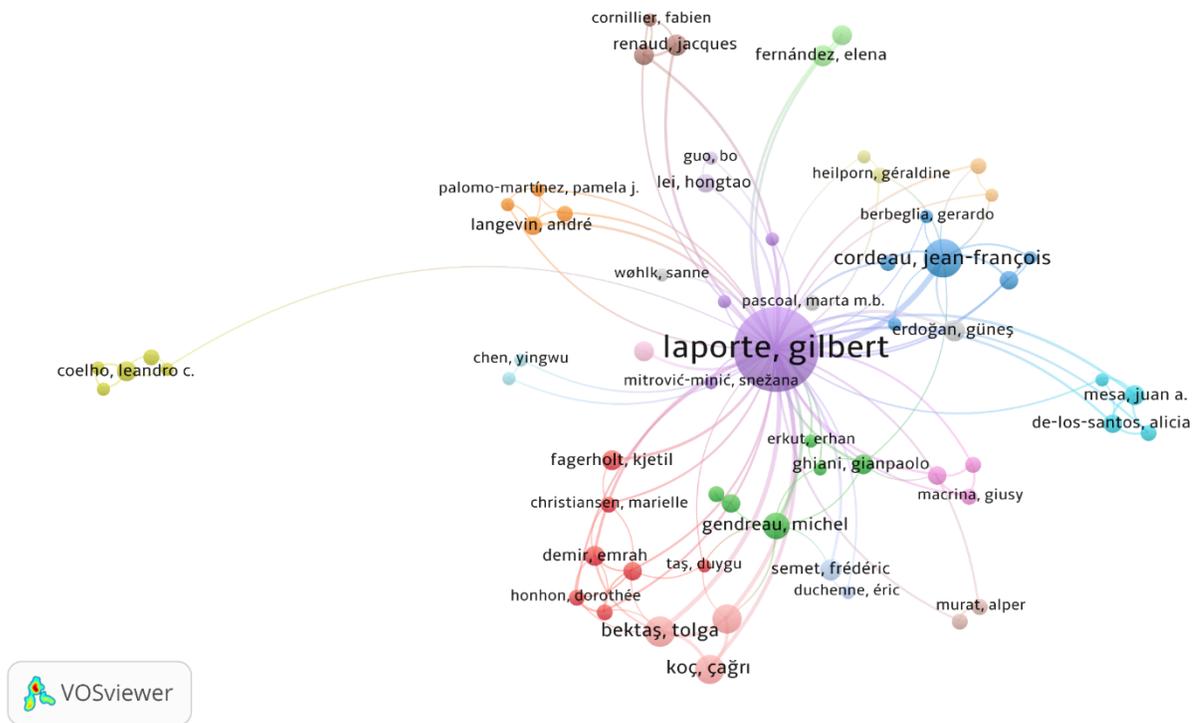


Figura 5. Red de autores que han investigado sobre gestión de la distribución (VOSviewer 1.6.16)

Según Lao León (2017) aunque el sistema logístico comprende el aprovisionamiento, la producción, distribución y retorno se puede asumir la concepción de Torres Gemeil et al. (2004) donde el subsistema de producción es sustituido por el almacenamiento. En el proceso de aprovisionamiento se ejecutan las funciones de planificación, compras y almacenamiento. Mientras que en el proceso de distribución persiste el almacenamiento y se insertan la preparación y transporte (Tabla 1)

Tabla 1. Relación de procesos y funciones en una empresa comercializadora. Fuente: Torres Gemeil et al. (2004)

Sistema	Proceso	Función
Logístico	Aprovisionamiento	Planificación
		Compras
		Almacenes
	Distribución	Preparación
		Transporte

Por otro lado, García Guardia et al. (2013) plantea que el objetivo de la distribución es salvar aquellos desajustes entre la oferta y la demanda para hacer posible el consumo de los productos comercializados mediante la producción de una serie de utilidades: de lugar, de tiempo, de forma y de posesión. La utilidad del lugar permite el acercamiento físico entre los puntos de fabricación y los de consumo; la utilidad temporal hace posible la adecuación de los diferentes momentos de producción y consumo; la utilidad de forma consigue la presentación del producto en la forma idónea para su consumo; y, la utilidad de la posesión por la transmisión de la propiedad y de información sobre lo distribuido.

Asimismo, dichos autores expresan que la distribución genera múltiples actividades interrelacionadas entre sí para que la producción llegue al consumidor final, formando un sistema en el que intervienen diversas instituciones y personas que ejercen diferentes funciones relacionadas con la distribución y que se encuentran unidas por diversos vínculos en función de la posición que ocupen en el sistema y de los servicios que prestan.

No obstante, cuando se aborda el proceso de toma de decisiones en el proceso de distribución de mercancías se evidencian carencias en su tratamiento. Aunque se considera un proceso vital en las empresas comercializadoras no se describen métodos, técnicas y herramientas para seleccionar alternativas en sus problemas de decisión. Se manifiesta así la necesidad de realizar un estudio del proceso de toma de decisiones, sus métodos y herramientas, que permita conocer el ámbito de aplicación en la solución de problemas reales de la distribución.

Uno de los elementos que resalta es la importancia que tiene el decisor en este proceso. Según Coloma Salazar (2021) en empresas donde se realiza la distribución se busca, esencialmente, la eficiencia en diversas áreas. Los decisores cuentan con un sistema de preferencias para la selección de la solución/acción que les satisfaga y de solución a situaciones reales de la transportación.

Según este autor, en las publicaciones sobre el enfoque multiobjetivo que se emplea en la optimización del proceso de distribución, se recogen los objetivos que pueden ser resumidos en las dimensiones económica, temporal, espacial y ambiental. En un análisis de correlación (visualizada en la **Figura 6**) se muestra que dichas dimensiones presentan un alto grado de centralidad normalizada comparado con los restantes términos analizados. Presentan menor centralización global de cercanía con la red, mayor centralización global de la cercanía armónica y mayor robustez en los valores del *eigenvector*, como medidas de centralidad.

Los criterios analizados se subordinan a dichas dimensiones y se persigue minimizar o maximizar cada uno de ellos. Desde el punto de vista económico se analizan los costos totales, remuneración del conductor, ganancias recogidas, ventas, ahorros totales, entre otros. La dimensión espacial comprende la distancia recorrida, el número de vehículos, el balance/desbalance en las rutas, clientes serviciados, aprovechamiento de la capacidad del vehículo, recogidas realizadas, demanda satisfecha, riesgos de la transportación y otros. Mientras, en la dimensión temporal se analizan la satisfacción del cliente / nivel de servicio, tiempos totales, tiempos de espera de los clientes y/o de los vehículos, frecuencia de las visitas, etc. Por último, se analizan los aspectos ambientales de los VRP, aunque esta dimensión es la que menos desagregación presenta en la literatura consultada y se muestra solamente el indicador/objetivo emisiones totales. En estos casos, aunque se utiliza la emisión de CO₂, existen otros gases emitidos por la combustión de combustibles que se pueden convertir en CO₂-equivalente.

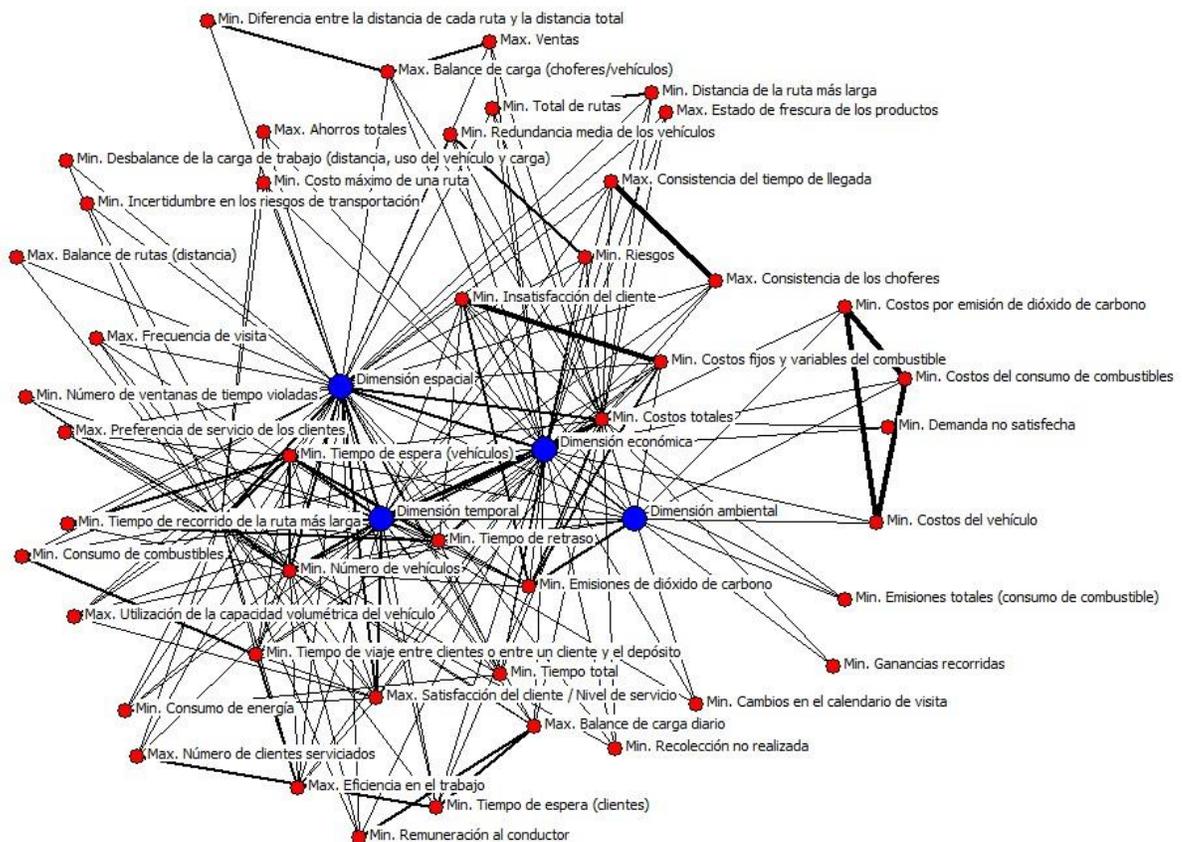


Figura 6. Análisis de correlación de dimensiones e indicadores de distribución. Fuente: Coloma Salazar (2021)

A propósito, Coloma Salazar (2021) plantea que este análisis induce que el sistema de preferencias es el eslabón fundamental del proceso de toma de decisiones logísticas en la distribución de mercancías y comprende las dimensiones: económica, espacial, temporal y ambiental; donde se expresa el nivel de orientación hacia una determinada solución/acción desechando una serie de factores no esenciales. Por lo tanto, este sistema de preferencias de los decisores busca maximizar o minimizar determinada preferencia; está condicionado por factores objetivos y subjetivos; la búsqueda de la satisfacción completa es compleja dado que la optimización explora el intercambio de objetivos/preferencias en conflicto; es intrínseco a cada decisor, por lo que la satisfacción de un grupo de sistemas de preferencias involucra lograr un consenso; y, en el ámbito de esta investigación prioriza factores esenciales del proceso de toma de decisiones logísticas.

1.2. El proceso de toma de decisiones

En su quehacer cotidiano las organizaciones se ven obligadas a tomar decisiones que afectan tanto su día a día como su futuro. Sin embargo, numerosos problemas de notable trascendencia son complicados de solucionar, y no por ello, las empresas deben dejarlo sin respuesta.

Los problemas aparejados a la toma de decisiones, que generalmente se presentan en las empresas, se plantean en un entorno donde los recursos son escasos (personal, presupuesto, tiempo), o donde deben cumplirse determinados requisitos mínimos (producción, horas de descanso), que condicionan la elección de la decisión adecuada, ya sea en el ámbito estratégico, táctico e incluso operativo. El propósito al tomar la decisión consiste en llevar a cabo el plan propuesto de una manera óptima: costes mínimos, máximo beneficio, máxima satisfacción del cliente, etc. (Piqueras y Folgado, 2002)

La toma de decisión siempre se basa en el objetivo que se pretende alcanzar, analizando cada una de las alternativas. El proceso de análisis de las alternativas se realiza a partir de la información que se dispone, ya sea proveniente de fuentes objetivas o por personas o expertos que proporcionan sus valoraciones u opiniones. (Osorio Gómez y Orejuela Cabrera, 2008)

Los métodos de toma de decisión, proporcionan enfoques para seleccionar la alternativa que mejor se adecúe al objetivo que se pretende lograr. Para lo cual se tienen en cuenta una serie de elementos básicos, número de objetivos, alternativas, y un conjunto de criterios que definen el contexto en el que se plantea el problema de decisión. Sin embargo, la información disponible en la mayoría de los problemas reales no es exacta debido a que los decisores frecuentemente

encuentran dificultades para expresar y cuantificar con claridad sus opiniones y no pueden proporcionar más que información orientativa.

Por otra parte, ante la complejidad y el creciente carácter multidisciplinar del entorno socioeconómico actual, es frecuente que la toma de decisiones se realice en grupo, ya que el conocimiento de un único experto no puede abarcar todos los aspectos del problema. Además, el carácter colectivo de proceso de toma de decisiones mejora la calidad de la decisión. Por lo tanto, este es el marco natural de trabajo de la metodología de toma de decisiones multicriterio, capaz de considerar un conjunto de preferencias del centro decisor que ayudan a la toma de decisiones en cualquier campo de la investigación científica y de la vida humana.

1.2.1 El proceso de toma de decisiones. Conceptos y clasificación

Para poder comprender el proceso de toma de decisiones, es necesario considerar el concepto de decisión. Según Garza Ríos *et al.* (2007) la palabra decisión proviene de la raíz latina “decido” que significa cortar, es decir; corte entre el pasado y el futuro. Por lo que decisión, es la respuesta adecuada de un ser inteligente ante una situación que requiere acción. Cada decisión es el resultado de un proceso dinámico que recibe influencias de muchas fuerzas por lo que la toma de decisiones es el proceso de pensamiento y deliberación. En este proceso intervienen un conjunto de subdecisiones como: la decisión de buscar medidas optativas; la decisión de determinar las posibilidades de éxito; la elección real de las medidas optativas para satisfacer más plenamente las posibilidades. (Bayos y Benítez, 1994)

La toma de decisiones en las organizaciones, de acuerdo con lo planteado por los autores Romero (1993), Render y Heizer (1996), Barba-Romero y Pomerol (1997) y Marrero Delgado *et al.* (2001), es un proceso a lo largo del tiempo en el que se pueden identificar al menos cuatro fases: recogida de información (obtención de datos de criterios y alternativas), diseño (determinación precisa de criterios y sus escalas de medida, así como la construcción completa del conjunto de elección), selección (elección de una de las alternativas) y revisión (revisión de las decisiones).

Otros autores como Baker *et al.* (2001) y Fülöp (2005) refieren que la toma de decisiones es el estudio de la identificación y elección de alternativas basadas en los valores y las preferencias del tomador de decisiones. Tomar una decisión implica que hay alternativas a considerar y en tal caso no solo queremos identificar tantas de estas alternativas como sea posible, sino elegir la que mejor se adapte a nuestras metas, objetivos, deseos, valores y todo esto en poco tiempo. La

primera prioridad al tomar una decisión es establecer quiénes son los responsables de la toma de decisiones y las partes interesadas en la decisión.

La toma de decisiones se considera un problema complejo y según sus características se pueden clasificar en diferentes categorías. En este caso Raiffa y Luce (1985) los dividen:

- según el número de criterios o atributos que se han de valorar en la toma de decisión;
- según el ambiente de decisión en el que se han de tomar las decisiones; y,
- según el número de expertos que participan en el proceso de decisión.

El **número de criterios o atributos** que se tienen en cuenta en los procesos de decisión se subclasifican a los problemas de decisión en dos tipos: monocriterio y multicriterio (Chuu, 2005). Los problemas con un solo criterio o atributo tienen en cuenta un único criterio o atributo que representa la valoración dada a esa alternativa. La solución se consigue con la alternativa que mejor resuelve el problema respecto a este único criterio. En contraste los problemas multicriterio o multiatributo, tienen en cuenta dos o más criterios o atributos que definen cada alternativa. La alternativa solución será aquella que mejor resuelva el problema considerando todos estos criterios o atributos.

El **ambiente de decisión** viene determinado por las características y el marco en el que se va a llevar a cabo la toma de decisión. La teoría clásica de la decisión distingue tres situaciones o ambientes de decisión (Raiffa y Luce, 1985; Triantaphyllou, 2000):

- Ambiente de certidumbre; cuando se conocen con exactitud todos los elementos o factores que intervienen en el problema. Esta situación permite asignar valores cuantitativos de utilidad a cada una de las alternativas presentes en el problema.
- Ambiente de riesgo: cuando alguno de los elementos o factores que intervienen están sujetos a las leyes del azar. En estos casos, los problemas pueden ser resueltos utilizando la teoría de la probabilidad.
- Ambiente de incertidumbre: cuando la información disponible sobre las distintas alternativas puede ser incompleta, vaga o imprecisa. Esta incertidumbre surge a raíz del intento de modelar la imprecisión propia del comportamiento humano o la inherente a ciertos fenómenos que por su naturaleza son inciertos (imprecisos).

Por último, se encuentran los problemas de decisión donde interviene un **número de expertos o fuentes de información**. En este caso múltiples expertos proporcionan sus valoraciones sobre

el problema y en dependencia del problema de toma de decisión, el hecho de que intervengan varios expertos con puntos de vista diferentes puede ofrecer una solución más satisfactoria (Triantaphyllou, 2000). Teniendo en cuenta el número de expertos que forman parte en el proceso de toma de decisiones, los problemas se pueden clasificar en:

- Unipersonales o individuales: donde las decisiones son tomadas por un único experto.
- En grupo o multiexperto: donde las decisiones son tomadas en conjunto por un grupo de expertos que intenta alcanzar una solución, en común, al problema. El número de expertos en problemas de decisión multiexperto se asume que es finito.

1.2.2 El proceso de toma de decisiones multicriterio

Para comprender el proceso de toma de decisiones multicriterio, según Barba-Romero (1996) y (Ruiz, 2015), debe tenerse en cuenta el concepto de *decisor* (*decision-maker*). Se entiende por este término a la persona o grupo de personas encargados de tomar una decisión, según sus propias preferencias expresadas con respecto a los objetivos a alcanzar y sopesando la importancia relativa de cada criterio. Es importante que actúe libremente y bajo ninguna coacción ya que él es el protagonista de la toma de decisión. Como se ha mencionado, un problema puede ser planteado por más de un decisor. En este caso se obtendrán distintas soluciones según la visión de cada uno y existirán métodos para llegar a una solución de compromiso entre todos en caso de que fuera necesario.

Por otro lado, el *analista*, es aquella persona encargada de seleccionar el método cuantitativo de decisión a emplear, y que, conociendo las preferencias del decisor o grupo de decisores, extrae del mismo unas conclusiones que permitan tomar la decisión o decisiones correspondientes. Es el encargado de modelar el problema y de hacer recomendaciones a los decisores, pero en ningún caso se encarga de ejecutar la decisión final o de expresar opiniones personales.

Siguiendo con otras definiciones básicas no relacionados con los agentes del proceso, surge el concepto de *alternativa*, que no son más que las posibles acciones o soluciones a adoptar por el/los decisores. Dichas alternativas poseerán diversas características para la toma de decisión que podrán ser de carácter cualitativo o cuantitativo. A su vez, según la naturaleza de nuestro problema, podremos tener un número determinado o infinito de posibles alternativas. Las

características del conjunto de alternativas que debe elegir el decisor deben cumplir con los criterios de ser diferentes, excluyentes y exhaustivos:

Por otra parte, el concepto *atributo*, se refiere a cada una de las mencionadas características que marcan el comportamiento de una alternativa, y que a veces pueden medirse de manera independiente al criterio del decisor. Ejemplos de este último caso son conceptos como precio, peso o tamaño.

Otros conceptos asociados son los de *objetivo* que representan direcciones de mejora de los atributos. Los *criterios de decisión* que pueden definirse como las condiciones o parámetros que permiten discriminar alternativas y establecer preferencias del decisor, son elementos de referencia en base a los cuales se realiza la decisión; son las preferencias que el decisor tiene hacia un cierto atributo. Los *pesos o ponderaciones* son las medidas de la importancia relativa que los criterios tienen para el decisor. Y, por último, la *matriz de valoración o decisión* que se construye una vez establecidos los criterios y sus pesos asociados, donde el decisor es capaz de dar, para cada uno de los criterios considerados y para cada una de las alternativas del conjunto de elección, un valor numérico o simbólico a_{ij} que expresa una evaluación o juicio de la alternativa A_i respecto al criterio C_j .

Además, Fernández Barberis y Escribano Ródenas (2011) mencionan que en la vida corriente nos enfrentamos frecuentemente a decisiones difíciles debido a la necesidad de abarcar diversos aspectos simultáneamente. Así pues, los deseos suelen entrar en conflicto y es, en estos casos, donde la decisión a adoptar resultará de un compromiso. Las situaciones en las que un decisor (individual o colectivo) se ve confrontado con una elección en presencia de criterios múltiples son muy numerosas, por no decir universales.

En resumen, 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 de elección el decisor tiene diversos puntos de vista, denominados criterios. Estos criterios son, al menos, parcialmente contradictorios, en el sentido de que, si el decisor adopta uno de dichos puntos de vista, no escogerá la misma alternativa que si se basa en otro criterio.

Elementos teóricos para la modelización multicriterio

A pesar de la diversidad de enfoques, métodos y técnicas MADM, sus elementos teóricos se consideran. Para ello, Barba-Romero (1996) propone una serie de pasos a seguir:

Identificación de alternativas. En ciertos problemas de decisión las alternativas vienen claramente definidas. En otras ocasiones, la identificación de las alternativas puede ser la etapa más difícil y creativa de todo el proceso de toma de decisiones. Para esta situación suele ser útil seguir los siguientes pasos:

- Formular claramente los problemas a resolver
- Enumerar las causas que lo provocan
- Plantear posibles soluciones a estas causas

Estructuración de los criterios. Una adecuada selección y estructuración de los criterios relevantes del problema es esencial para que el análisis del mismo sea significativo y útil. A la hora de definir un conjunto de criterios convendrá asegurarse de que cumple las siguientes propiedades:

- Exhaustividad: no se ha olvidado ningún criterio que permita discriminar las alternativas. Debe cubrir todos los factores relevantes del problema.
- Coherencia: las preferencias globales del decisor son coherentes con las preferencias según cada criterio.
- No redundancia: un conjunto de criterios, verificando las propiedades anteriores, es no redundante si la superposición de uno de los mismos implica que el subconjunto de los restantes viola alguna de tales propiedades. (No deben existir reiteraciones pues, de otro modo abrían objetivos contabilizados varias veces y, en consecuencia, su impacto se ponderaría en exceso al tomar la decisión).
- Operatividad: debe ser útil para el propósito de ayudar al decisor a elegir la mejor alternativa. Deben ser términos comprensibles y significativos para el decisor.
- Minimalidad: debe mantener el tamaño del problema lo más reducido posible. Aunque el método lo permita no es aconsejable trabajar con más de veinte criterios a la vez, por dificultades de percibir las características más significativas del problema. Ante la existencia de un número extenso de criterios, puede recurrirse a estructurarlos en una jerarquía de criterios y subcriterios que permita aliviar los inconvenientes mencionados.

Cuantificación y normalización de evaluaciones

Cuantificación: denominamos evaluaciones a las distintas características que las alternativas presentan de acuerdo a cada criterio. Será necesario cuantificarlas de la manera más precisa posible, ya que de ello dependerá que al final del proceso el decisor no tenga la sensación de que las conclusiones no son realistas. Para cada criterio la escala de medida de las evaluaciones estará determinada por su naturaleza.

- Escala cuantitativa: son básicamente de dos tipos ordinales (establece una ordenación de las alternativas, “1, 2 significa primero, segundo...”) o cardinales (los valores de las evaluaciones admiten una interpretación de proporcionalidad, “1, 3 significa que el segundo vale el triple”). La escala ordinal es más completa en cuanto a sus posibilidades de uso, pero más exigentes desde el punto de vista teórico.
- Escala cualitativa: cuando las evaluaciones se caracterizan por calificaciones del tipo “bueno, regular, malo”. Este tipo de escala son útiles, a pesar de su imprecisión, ya que, al emplear el lenguaje natural, su comprensión es inmediata para el decisor.

Por otro lado, existen determinados procedimientos para la normalización de las evaluaciones tales como dividir por el máximo o por el rango entre el mínimo y el máximo, entre otras. Estos pueden afectar considerablemente el resultado final, por lo que no se debe tomar a la ligera su elección.

Preanálisis de dominación: se denomina así al análisis previo al intento de seleccionar la mejor alternativa, ayuda a simplificar el problema. Se eliminan las alternativas dominadas (la alternativa es dominada cuando sus evaluaciones son menores que las de otras alternativas. O sea, una alternativa A_i es dominada cuando $r_{ij} \leq r_{kj}$, para todo $k = 1, \dots, m$ y para todo $j = 1, \dots, n$).

Preanálisis de satisfacción: otro análisis previo que consiste en eliminar las alternativas no satisfactorias donde se eliminan aquellas que no superen los umbrales de satisfacción (niveles de aspiración) definidos con antelación por el decisor para cada criterio.

Asignación de pesos: en todo problema de decisión multicriterio es casi inevitable que unos criterios tengan para el decisor más relevancia que otros. Por circunstancias muy diversas, entre las que lógicamente están sus preferencias personales. Se denomina peso o ponderaciones a esta medida de importancia relativa que los criterios tienen para el decisor.

Métodos de ordenación agregada: se denominan así los diferentes métodos propuestos para el proceso de agregar toda la información contenida en la matriz de decisión y el vector de pesos, a fin de obtener una ordenación de las alternativas, de más o menos preferencias.

1.3 Métodos para la toma de decisiones multicriterio

Inicialmente, el concepto de toma de decisiones multicriterio (*MultiCriteria Decision-Making, MCDM*) se utilizaba para describir un conjunto de métodos que servían como herramienta para el proceso de toma de decisiones (Cinelli *et al.*, 2014). Pero, el desarrollo de este tipo de técnicas de forma exponencial generó la creación de nuevas subdivisiones para la clasificación de estos métodos.

Hwang y Yoon (1981) presentaron una primera clasificación de los métodos de toma de decisión multicriterio: Métodos para la Toma de Decisiones Multiatributo (*MultiAttribute Decision-Making, MADM*) y Métodos para la Toma de Decisiones Multiobjetivo (*MultiObjective Decision-Making, MODM*). Los métodos MADM se utilizan para resolver problemas discretos donde las diferentes alternativas están predeterminadas y la participación de los expertos es *a priori* valorando cada criterio e indicando la importancia de cada uno de ellos. Los métodos MODM se utilizan para resolver problemas continuos y las diferentes alternativas no están predeterminadas, se caracteriza por obtener un grupo de soluciones igualmente buenas bajo una serie de restricciones, y la participación de los expertos es *a posteriori*.

Los diferentes métodos MADM se pueden clasificar de diferentes formas, como por ejemplo en función del tipo de información inicial (determinista, estocástica o incierta), o dependiendo de los grupos de decisores (un único grupo o varios grupos), aunque la clasificación más usual es dependiendo de las características en comunes de estos métodos propuesta por de Brito y Evers (2016). Estos métodos se pueden agrupar en: métodos de puntuación directa, métodos basados en la distancia, métodos de comparación por pares, métodos de superación, y métodos basados en funciones de utilidad o valor.

Los **métodos de puntuación directa** (*scoring methods*) son los métodos de MADM más simples. Se basan en evaluar las diferentes alternativas mediante operaciones aritméticas básicas. Los métodos SAW (MacCrimmon, 1968) y COPRAS evalúan las alternativas realizando el sumatorio del valor normalizado de cada criterio por su peso correspondiente. SAW es el método más antiguo y permite realizar este proceso únicamente cuando se desea

maximizar un criterio. COPRAS es una evolución de SAW y puede ser aplicado tanto para criterios que se desean maximizar como minimizar.

Los *métodos basados en la distancia (distance-based methods)* tienen como principio básico calcular la distancia entre cada alternativa y un punto concreto. Dentro de los métodos basados en la distancia existen dos filosofías en función de cual es este punto. El método GP (Charnes *et al.*, 1955; Charnes y Cooper, 1957), cuyo objetivo es obtener la alternativa que satisfaga un conjunto de metas, es decir, el punto no es el óptimo, sino aquel que cumpla una serie de condiciones. El método CP tiene como objetivo obtener aquella alternativa más próxima a la mejor solución hipotética. Los métodos VIKOR (Opricovic, 1998) y TOPSIS (Hwang y Yoon, 1981) se basan en el método CP. La diferencia entre ambos de fundamenta en la manera de normalizar los criterios, además de que el método VIKOR solo tiene en cuenta la distancia a la solución ideal y el método TOPSIS tiene en cuenta tanto la distancia tanto a la solución ideal como a la solución no ideal.

Los *métodos de comparación por pares (pairwise comparison methods)* son muy útiles para obtener los pesos de los diferentes criterios y evaluar criterios subjetivos comparando las alternativas entre sí. El método AHP (Saaty, 1977) fue el primero en ser desarrollado y uno de los métodos más usados en los problemas de toma de decisiones. El método ANP es una evolución del método AHP que permite resolver el problema que tiene el AHP, el cual supone que los criterios son independientes. El método MACBETH es una alternativa muy similar al AHP en cuanto a forma, pero con algunas diferencias en cuanto a conceptos.

Los *métodos de superación (outranking methods)* consisten en establecer una relación de preferencia entre un conjunto de soluciones donde cada una de ellas muestra un grado de dominación sobre las otras respecto a un criterio. Estos métodos son capaces de tratar con información incompleta y difusa, y permite obtener una clasificación de las alternativas en función de la relación de preferencia existente entre ellas. Dentro de este grupo se encuentran los métodos de PROMETHEE (Brans y Vincke, 1985) y ELECTRE (Roy, 1968).

Los *métodos basados en funciones de utilidad o valor (utility/value methods)* como MAUT, y de valor como MAVT, son métodos que definen funciones que determinan el grado de satisfacción de una alternativa respecto a un criterio. Estas funciones convierten las valoraciones que definen el comportamiento de las alternativas en relación a un criterio en un grado de satisfacción. La expresión de dichas funciones puede tener diferentes formas en función de la

relación entre la valoración y el grado de satisfacción. El método MIVES es un derivado de los anteriores en el cual se proporciona las ecuaciones que definen las diferentes funciones de satisfacción.

Dichos métodos presentan sus ventajas y desventajas, aunque a los efectos de la toma de decisiones es preciso escoger el que sea factible y fácil de uso. Bajo este criterio el investigador reconoce que el método TOPSIS se adecua a las características del proceso de toma de decisiones en el proceso de distribución pues analiza no solo la distancia del valor numérico (de la alternativa en el criterio) hasta la solución ideal positiva, sino que tiene en cuenta cuán distante se encuentra de la solución ideal negativa. En este sentido TOPSIS permite al decisor, mediante un cálculo relativamente sencillo, encontrar en una población de alternativas que cumplen ciertos criterios el que se adecue a su sistema de preferencias.

Este análisis de métodos MADM establece que para cada tipo de problemas haya un método ideal/recomendado, aunque las situaciones de la realidad no se alinean puramente a la utilización de un solo método. La combinación de estos métodos da lugar a métodos híbridos o mixtos, donde frecuentemente se muestra ventajas y robustez, por ejemplo, AHP-ELECTRE (Žak y Kruszyński, 2015), AHP-TOPSIS (Marzouk y Sabbah, 2021). Y, por otro lado, aquellos métodos que involucran la lógica difusa en combinación como *Fuzzy* TOPSIS-AHP (Avikal *et al.*, 2021), *Fuzzy* AHP-ELECTRE (Kaya y Kahraman, 2011), y otros. Estos métodos y sus combinaciones implican realizar cálculos exhaustivos para cada una de las posibles soluciones y la selección, por el decisor, de una de ellas; consecuentemente, puede ser aplicado a conjuntos de alternativas pequeñas y finitas.

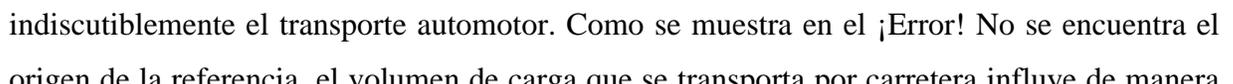
De forma general se puede decir que el método TOPSIS tiene los siguientes pasos:

- Paso 1. Obtener la matriz de decisión que contenga las m alternativas y los n criterios
- Paso 2. Construir la matriz de decisión normalizada
- Paso 3. Construir la matriz de decisión normalizada ponderada
- Paso 4. Determinar la solución ideal positiva y la solución ideal negativa
- Paso 5. Calcular las medidas de separación o distancia
- Paso 6. Calcular la cercanía relativa a la solución ideal positiva
- Paso 7. Ranquear el orden de preferencia

1.4. La gestión de la distribución en Cuba

Según Coloma Salazar (2021) el sector empresarial cubano viene desarrollando sus funciones logísticas a la par de la ciencia y el contexto económico y social. Así como se evidencian logros en el incremento de la eficiencia en este ámbito, se detectan dificultades para escalar a un estadio superior. Si se dirige el foco a los elementos que incrementan los costos logísticos totales, es evidente que el transporte resalta, pero se ha convertido en una función logística transparente tanto en la ciencia como en el desarrollo del sector empresarial.

De forma general en Cuba la transportación de cargas según el Ministerio del Transporte se desarrolla en tres rubros principales: 1) transporte de la canasta básica para el pueblo, 2) transporte de los productos de exportación, 3) transporte de productos importados y nacionales para su distribución. Dentro de este proceso intervienen diversos actores: Empresas Provinciales de Transporte, EMCARGA (empresa de transporte de carga en general), ETAG (empresa de transporte de carga a granel), Transcontenedores (transporte por contenedores), Empresa ferroviaria y AUSA (Almacenes Universales S.A. perteneciente a las Fuerzas Armadas Revolucionarias). El transporte de productos agrícolas básicamente es administrado por el Ministerio de Agricultura y el transporte de caña de azúcar lo ejecuta la Dirección de Transporte de AZUCUBA del Ministerio de Agricultura.

Las diferentes modalidades de transporte quedan a la sombra del transporte automotor. Si bien el marítimo y por ferrocarril son modalidades que se prestan para una transportación eficiente de grandes volúmenes de carga en la transportación de origen a destino, transportación interna, entre la cadena proveedor del proveedor – proveedor – empresa productora – cliente – cliente del cliente, desde las materias primas hasta los bienes terminados, tendrá que aparecer indiscutiblemente el transporte automotor. Como se muestra en el  Error! No se encuentra el origen de la referencia. el volumen de carga que se transporta por carretera influye de manera sustancial en el comportamiento de la transportación total. Asimismo, este sector participa en un 9.00% en el PIB del país y emplea al 7.02% (**Gráfico 3**) de los trabajadores del sector estatal (según datos estadísticos de la ONEI (2020)). Por este motivo y por otros asociados a este dato, como la diversidad y cantidad de medios y personas involucrados, el consumo de combustibles, es necesario buscar enfoques y herramientas para lograr su eficiencia.

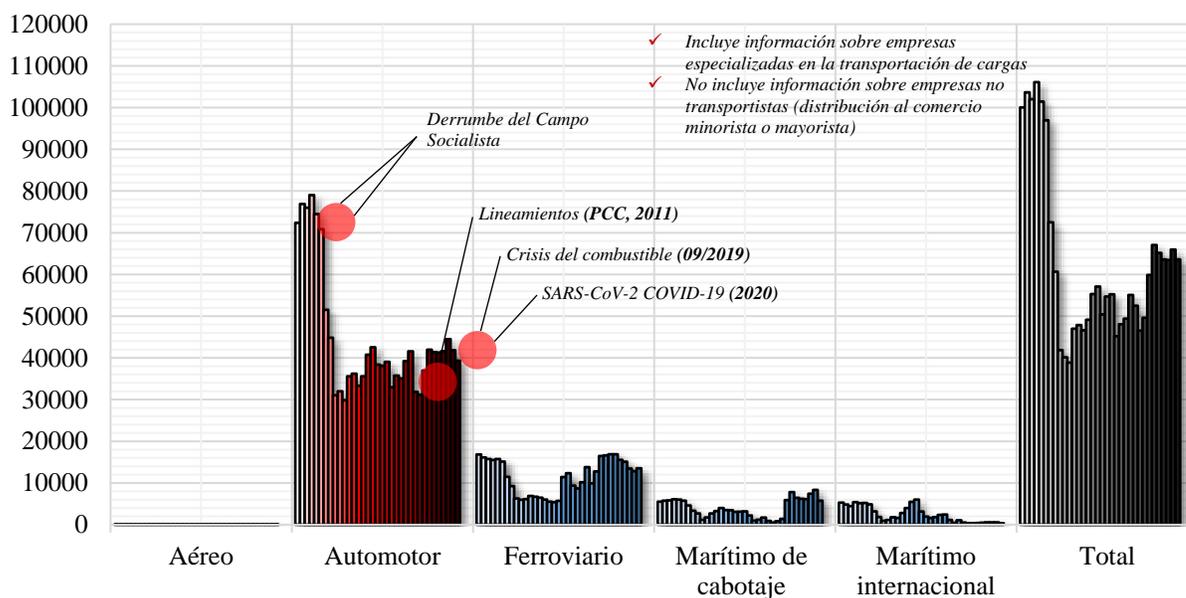


Gráfico 2. Carga transportada en Cuba 1985-2019 (miles de toneladas). Fuente: Coloma Salazar (2021)

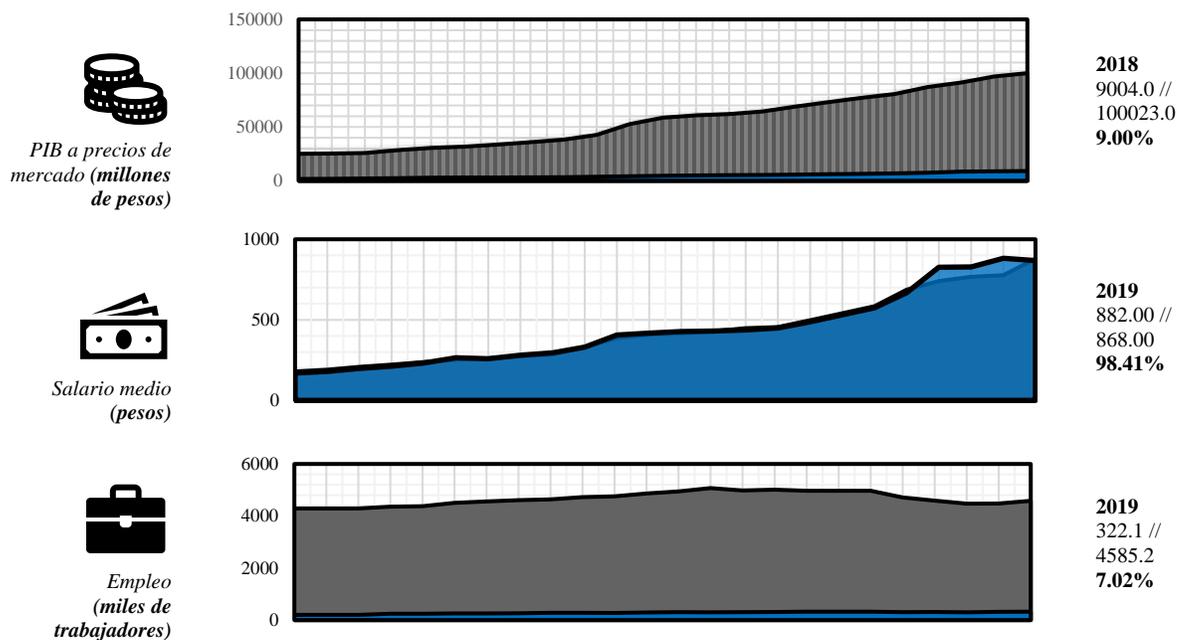


Gráfico 3. Transporte, almacenamiento y comunicaciones 1996-2019. Fuente: Coloma Salazar (2021)

En un estudio preliminar en una empresa líder del sector, que utiliza la transportación multimodal, se determinaron deficiencias que corroboran las detectadas en la teoría. En la Empresa Comercializadora CUPET Holguín, con sus UEB Holguín, Antilla, Felton y Moa,

aparecen dificultades en el proceso de planificación de rutas de distribución dado que se realiza de forma manual y bajo criterios subjetivos; se establecen prioridades a nivel operativo que incrementan los costos de transportación; los decisores no cuentan con la información para tomar decisiones operativas, tácticas y estratégicas; y, no se consideran aspectos ambientales de la transportación. Por otro lado, las condiciones bajo las que se realiza la distribución de combustibles limitan la toma de decisiones logísticas: cuentan con una flota heterogénea, deben cumplir con las demandas en cantidades y tiempo de los clientes, existen limitaciones dadas por la compatibilidad de la flota-clientes, la flota-productos y productos-productos, y otras.

Se evidencia que este sector requiere de soluciones plausibles dada la situación compleja y dinámica que presenta la economía cubana. Además, no es suficiente con una aproximación a la reproducción/abstracción de la situación de los sistemas de transportación en un modelo matemático sin concebir una estrategia para su solución. La eficiencia de este sector se logra con técnicas y herramientas precisas más que en tecnologías blandas para la gestión.

La toma de decisiones en el sector de transporte de mercancías cubano tradicionalmente se ha realizado de forma empírica, a partir de la experiencia de los directivos; en el mejor de los casos se han empleado técnicas clásicas de optimización, que poseen carencias en su modelación desde las perspectivas de los decisores, dadas por la imposibilidad de considerar todo tipo de restricciones de la vida real, lo que hace difícil la tarea de diseñar rutas de vehículos a empresas sin experiencia en esta tarea. Por esto se ha generado la modelización multicriterio, que puede considerar preferencias del centro decisor y logra una mejor solución que contribuye a la eficiencia de las organizaciones.

Todo lo planteado en este epígrafe evidencia la necesidad de desarrollar un procedimiento que ayude a la toma de decisiones en la distribución de mercancías apoyándose en las técnicas multicriterio en espacios discretos. Para la selección de las mejores rutas de distribución.

CAPÍTULO II.

**PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DECISIONES
MULTICRITERIO EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE
MERCANCÍAS**

CAPÍTULO II. PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE MERCANCÍAS

Para dar solución al problema profesional planteado en la investigación este epígrafe tiene como objetivo principal el desarrollo del procedimiento para la toma de decisiones multicriterio en la distribución de mercancías, que está basado el uso de métodos y herramientas MADM que sitúan al decisor como el elemento central para la construcción del modelo de decisión. El procedimiento fue elaborado a tomando como base procedimientos propuestos por autores como: Garza Ríos *et al.* (2007), (Baker *et al.*, 2001; Fülöp, 2005), Quintero *et al.* (2013), Delgado *et al.* (2001), Ríos y Sánchez (2002), Pacheco y Contreras (2008), Ríos y Sánchez (2013).

2.1 Procedimiento para la toma de decisiones multicriterio en el proceso de distribución de mercancías

El objetivo general del procedimiento es brindar un sistema de apoyo a la toma de decisiones multicriterio que satisfaga el sistema de preferencias de los decisores en el proceso de distribución de mercancías a través de la aplicación de métodos y herramientas MADM que permitan tomar decisiones en un contexto racional.

Para darle cumplimiento al objetivo general, el procedimiento contempla como objetivos específicos los siguientes:

1. Diagnosticar el proceso de toma de decisiones en la organización objeto de estudio.
2. Definir el escenario de decisión a partir de la delimitación del conjunto de alternativas factibles teniendo en cuenta las restricciones iniciales.
3. Identificar un sistema de preferencias para la toma de decisiones en el proceso de transportación de mercancías apoyándose en el método AHP.
4. Seleccionar la mejor alternativa para el proceso decisional dado a través de la aplicación del método TOPSIS.

En el **Anexo 6** se muestra el Procedimiento para la toma de decisiones multicriterio en proceso de distribución de mercancías.

A continuación, se describen cada una de sus etapas y pasos.

2.1.1 Etapa 1. Identificación del problema

Esta etapa es imprescindible tener una visión clara y objetiva, además de saber escuchar las opiniones de los demás para poder formular una definición del problema de decisión claramente

comprensible, se debe detectar que existe una diferencia entre el estado actual y el estado deseado a alcanzar. Incluye un conjunto de pasos vinculados a el análisis de la situación actual del objeto de estudio.

Paso 1. Conformar el equipo de trabajo.

Se designa quiénes serán los decisores, y el equipo de estudio (conjunto de expertos). El agente decisor es quien formula la iniciativa, evalúa las alternativas en base al modelo y elige la mejor alternativa para resolver el déficit identificado. El analista o equipo de estudio son los encargados de construir el modelo de decisión.

El método multicriterio requiere de la construcción de un modelo que sirva para la evaluación de las alternativas. Este modelo se realiza a partir del estudio de los objetivos relevantes. Por lo tanto, es necesario que seleccione a un grupo de expertos que sepan identificarlos para la construcción del modelo de decisión. Las personas que debe elegir para la construcción del modelo deben ser profesionales en el área donde se realizará la intervención, con sólidos conocimientos y experiencia en la misma.

Paso 2. Capacitar a los integrantes del equipo de trabajo.

La capacitación del personal involucrado juega un papel importante para un desarrollo adecuado del procedimiento; se debe adiestrar a todos e los implicados en las herramienta y técnicas que se vayan a implementar en el mismo para lograr una mejor comprensión entre los involucrados y evitar estancamientos en el proceso de toma de decisiones. Además, se debe orientar sobre el rol que tendrá cada participante en el procedimiento.

También es necesario organizar reuniones con los expertos en varias ocasiones, para que los resultados que se obtengan de ellos sean fruto del consenso. Sin embargo, es muy probable que se enfrente a dificultades para lograrlo, por lo tanto, planifique las reuniones y procure un mecanismo que le permita facilitar el proceso de diálogo y acuerdo entre los expertos.

Paso 3. Diagnosticar la empresa donde se realizará el estudio.

Este paso es importante, no sólo por revelar los problemas que afectan el proceso de toma de decisiones, sino también por brindar los datos necesarios sobre el proceso actual y sus componentes, que serán usados para el desarrollo del modelo decisional multicriterio. Se reconoce que es necesario tomar una decisión para dar solución a la situación actual de la empresa.

Para realizar el diagnóstico del proceso de toma de decisiones en una empresa comercializadora se debe comenzar del análisis de la misión, visión, objeto social, mapa de procesos, análisis estratégico, recursos humanos, materiales y tecnológicos, clientes y proveedores. Este análisis previo condiciona la ejecución del procedimiento. Los miembros del grupo conformado deben conocer al detalle todos los elementos que se consideran en este paso, pues los orienta en las bases de concepción de la organización, su proyección y rol en el contexto económico, social y ambiental.

- **Tarea 1.** Realizar un análisis DAFO. Con el objetivo de encontrar las fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades de la organización que puedan afectar el proceso de toma de decisión.
- **Tarea 2.** Definir los objetivos del estudio. A partir a el análisis de la situación actual del objeto de estudio se fijan los objetivos a cumplir con el estudio a realizar, encaminados a solucionar la situación problemática identificada en la investigación.

Paso 4. Establecer los compromisos de la organización.

En este paso se consigue el grado de entendimiento necesario entre el personal involucrado de la organización y el personal encargado de efectuar el estudio. Este paso es importante ya que generalmente los responsables de implementar la solución generada no son las mismas personas que las que efectuaron el estudio, y es necesario implicarlos con este, para que comprendan la decisión tomada y ofrezcan menor resistencia al cambio en la etapa de implementación. También se identifica si se le puede asignar prioridades a los objetivos planteados, haciendo uso de métodos de trabajo en grupo, métodos de expertos y métodos multicriterio.

2.1.2 Etapa 2. Definición y estructuración del problema

En esta etapa se recoge la información necesaria para analizar la situación, se define el escenario de evaluación, y se identifican el sistema de preferencias de los decisores, comprende los siguientes pasos:

Paso 5. Definir las alternativas de distribución.

En el caso analizado las alternativas vienen dadas por las posibles rutas de distribución; en base a que muchas de las empresas comercializadoras en nuestro país realizan de manera meramente intuitiva la planificación de las rutas de distribución, se propone que mediante el trabajo en grupo se formulen las alternativas que puedan considerando la demanda de los clientes, la

capacidad de los vehículos, prioridad de los clientes y de la empresa. Aunque existan muchas más restricciones, no se deben incluir muchas si no se cuenta con las herramientas adecuadas para generar las posibles rutas de distribución.

En la generación de las alternativas no se puede perder de vista los requisitos del problema que describen el conjunto de soluciones factibles del mismo para poder satisfacer los niveles de aspiración propuestos y obtener un conjunto de alternativas no dominadas y eficientes. Por motivos prácticos y de racionalidad, no se debe emplear un número elevado de alternativas a evaluar, es preferible no incluir más de diez.

Paso 6. Definir los criterios de evaluación de las alternativas.

El proceso de definición de los criterios es relevante para la evaluación, dependerá de cuáles objetivos se deben considerar, y requiere de una buena comunicación entre analista y decisor. Además, deben ser realistas y considerar los aspectos en los que tienen capacidad de actuación; contempla los siguientes pasos:

- **Tarea 1.** Establecer los criterios mediante técnicas de trabajo en grupo.

Mediante el trabajo en grupo se establecen los criterios a utilizar según las prioridades y necesidades de la organización (objetivos del estudio).

En esta investigación se exponen como guía, un sistema de preferencias de los decisores en el proceso de distribución de mercancías, recogida de la literatura especializada sobre los Problemas de Ruteo de Vehículos Multiobjetivo por una investigación de Coloma Salazar (2021). Según este autor el proceso de distribución de mercancías se descompone en cuatro dimensiones en estrecha relación (económica, espacial, temporal y ambiental).

La dimensión económica del proceso de distribución está asociada directamente a los costos fijos y variables de la transportación, los ingresos y los gastos; se mide en unidades monetarias.

- Min. Costos totales
- Min. Gastos totales
- Max. Ganancias recogidas
- Max. Ventas/ingresos
- Max. Ahorros totales
- Min. Costo del vehículo
- Min. Costo máximo de una ruta
- Min. Consumo de combustibles

- Min. Remuneración al conductor

La dimensión espacial del proceso de distribución está asociada principalmente a la distancia recorrida por los vehículos, la flota de vehículos, y otros

- Min. Distancia total recorrida
- Min. Número de vehículos
- Max. Balance de rutas (distancia)
- Max. Balance de rutas (tiempo)
- Max. Balance de rutas (carga)
- Min. Distancia de la ruta más larga
- Min. Recolección no realizada
- Max. Preferencia de servicio de los clientes
- Max. Número de clientes serviciados
- Min. Diferencia entre distancia de cada ruta y la distancia total
- Max. Utilización de la capacidad volumétrica del vehículo
- Min. Recogidas no realizadas
- Max. Consistencia de los choferes
- Max. Balance de carga entre conductores y vehículos
- Min. Demanda no satisfecha
- Max. Eficiencia en el trabajo
- Min. Número de vehículos rentados
- Max. Satisfacción media de los clientes
- Min. Riesgos de transportación
- Min. Redundancia media de los vehículos
- Min. Incertidumbre en los riesgos de transportación
- Min. Total de rutas

La dimensión temporal abarca los tiempos de servicio a los clientes de acuerdo a la demanda (ventanas de tiempo) de cada uno.

- Max. Satisfacción del cliente / Nivel de servicio
- Min. Tiempo total
- Min. Tiempo de espera de los clientes
- Min. Tiempo de espera de los vehículos

- Min. Número de ventanas de tiempo violadas
- Max. Consistencia del tiempo de llegada
- Min. Tiempo de recorrido de la ruta más larga
- Min. Tiempo total de espera
- Min. Tiempo total de retraso
- Min. Cambios en el calendario de visita
- Min. Tiempo de viaje entre clientes o entre un cliente y el depósito
- Max. Frecuencia de visita

La dimensión ambiental está estrechamente vinculada con las emisiones de CO₂ a la atmósfera, y otros gases, debido a la combustión de combustibles.

- Min. Emisiones totales
- **Tarea 2.** Seleccionar los criterios.

A partir de la lista anterior y otras propuestas que puede realizar el grupo de trabajo se realiza una selección de los criterios más relevantes, teniendo en cuenta que debe haber un balance entre la cantidad de cada una de las dimensiones y que no se debe exceder los 10 criterios, por dificultades de percibir las características más significativas del problema. Además, los criterios deben soportar los múltiples intereses de todos los actores claves, debe haber al menos un criterio para cada objetivo y deben estar acorde con las posibilidades de la organización, no se debe elegir un criterio que la organización no cuente con los recursos para optimizar y evaluar su desempeño.

Este proceso conlleva la eliminación de aquellos criterios que no cumplan con las propiedades definidas en el capítulo anterior (exhaustividad, coherencia, no redundancia, operatividad, minimalidad). Luego de seleccionar los criterios el grupo de trabajo debe definir cómo se van a medir esos criterios.

Paso 7. Ponderar los criterios con AHP.

Existen diversos métodos de asignación de pesos entre ellos podemos mencionar la ordenación simple, tasación simple, utilidades relativas, AHP de Saaty, Delphi, etc. En esta investigación se utiliza el AHP (*Analytic Hierarchy Process*)

- **Tarea 1.** Estructurar el modelo jerárquico.

Se tiene en cuenta los elementos principales que intervienen en el problema. El nivel más alto de jerarquía está el objetivo perseguido, los niveles siguientes o intermedios se componen de los criterios y subcriterios que ayudaran al cumplimiento del objetivo y por último en el nivel más bajo están las alternativas consideradas. **(Figura 7)**

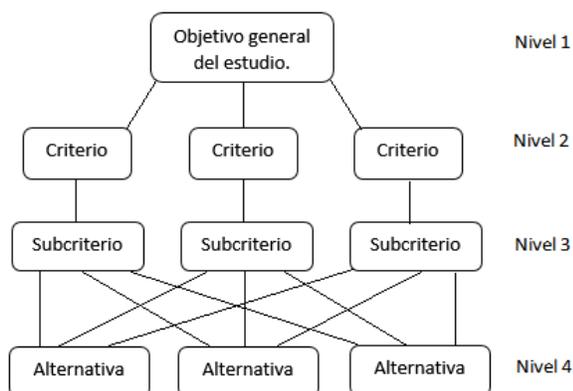


Figura 7. Estructura del modelo jerárquico del AHP

- **Tarea 2.** Elaborar la matriz de comparaciones pareadas.

Se recogen los juicios mediante comparaciones pareadas. Los juicios son recogidos en matrices de comparación por pares, para así obtener las prioridades de cada elemento de la jerarquía. Para la medición de estos juicios se emplea la escala de Saaty, la cual se presenta en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Escala de Saaty

Escala numérica	Escala verbal
1	Ambos elementos son de igual importancia
3	Moderada importancia de un elemento sobre otro
5	Fuerte importancia de un elemento sobre otro
7	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro
2,4,6,8	Valores intermedios entre juicios adyacentes

En otras palabras, se hace la pregunta ¿qué elemento es preferido con respecto a un atributo? Y en correspondencia con la escala de Saaty se otorga el juicio. Se debe tener en cuenta que, si un criterio “A” es preferido a uno “B” y el criterio “B” es preferido a un “C”, entonces “A” también tiene que ser preferido a “C”.

$$X_{n \times n} = \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_j \\ \vdots \\ c_n \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ 1/x_{12} & 1 & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/x_{1j} & 1/x_{2j} & \dots & 1 & \dots & x_{jn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/x_{1n} & 1/x_{2n} & \dots & 1/x_{jn} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

- **Tarea 3.** Construir la matriz de decisión normalizada.

Después de realizar las comparaciones de todos los factores, estas matrices son normalizadas con la ecuación (2.1), es decir, se divide cada término de la matriz sobre la suma de sus columnas, y en este caso se obtendría una matriz tal como se presenta a continuación. Con esta matriz, se obtiene el vector de prioridad del criterio al promediar los valores de las filas.

$$c_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}; i = 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

Matriz normalizada:

$$C_{n \times n} = \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_j \\ \vdots \\ c_n \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & c_{12} & \dots & c_{1j} & \dots & c_{1n} \\ 1/c_{12} & 1 & \dots & c_{2j} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/c_{1j} & 1/c_{2j} & \dots & 1 & \dots & c_{jn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/c_{1n} & 1/c_{2n} & \dots & 1/c_{jn} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

- **Tarea 4** Calcular el vector de prioridades de los criterios.

Para calcular el peso de cada criterio se promedia los valores normalizados de cada fila (2.2)

$$W_1 = \sum_{j=1}^n c_{ij}; j = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

Vector de prioridad:

$$W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_j \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix}$$

- **Tarea 5.** Calcular el índice de consistencia y radio de consistencia.

El índice de consistencia se calcula:

$$CI = \frac{n_{\text{máx}} - m}{m - 1} \quad (2.3)$$

Donde m es el número de alternativas y $n_{m\acute{a}x}$ se calcula multiplicando la matriz de juicios original multiplicada por el vector de prioridad W , y luego se suman los componentes del vector obtenido.

$$n_{m\acute{a}x} = \sum_{j=1}^n d_j \quad (2.4)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ 1/x_{12} & 1 & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/x_{1j} & 1/x_{2j} & \dots & 1 & \dots & x_{jn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/x_{1n} & 1/x_{2n} & \dots & 1/x_{jn} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_j \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_j \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix}$$

El radio de consistencia se calcula como:

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (2.5)$$

Donde RI es un índice aleatorio que depende de la cantidad de alternativas (dimensión de la matriz). (**Tabla 3**)

Tabla 3. Índices de consistencia aleatorios

Tamaño de la matriz (n)	3	4	5	6	7	8	9
Consistencia aleatoria (RI)	0.52	0.89	1.11	1.25	1.40	1.45	1.49

El nivel de inconsistencia es aceptable si es menor que 0.1. En caso de que sea mayor que 0.1 el decisor debe revisar las estimaciones dadas ya que podría presentar sesgos o inclinación en las decisiones.

- **Tarea 6.** Determinación del vector de prioridad del grupo

La agregación de prioridades individuales transforma los vectores de prioridad individuales de cada decisor en un vector de prioridad de grupo. Una vez que se haya comprobado que las matrices otorgadas por los decisores son consistentes se elabora una matriz promedio de los juicios de los decisores promediando sus juicios y se vuelve a calcular el vector de prioridad (esta vez es del grupo). Este arroja los pesos de cada criterio para el grupo.

2.1.3 Etapa 3. Selección de las alternativas

Seleccionar la mejor alternativa es determinar aquella que establece el mejor compromiso entre los criterios seleccionados según la opinión del grupo de expertos. Para ello se pueden utilizar

varios métodos de decisión multicriterio (vea el capítulo anterior) para esta investigación el autor selecciono el método TOPSIS; se debe tener en cuenta el las circunstancias del problema para elegir el método multicriterio que más se adecue a la situación. Ver **Anexo 4** y **Anexo 5**. A continuación, se describen los pasos a seguir para la selección de la mejor alternativa a partir de la aplicación del método TOPSIS.

Paso 8. Seleccionar la mejor alternativa mediante TOPSIS.

- **Tarea 1.** Construir la matriz de decisión.

Para obtener las matrices de evaluación de las alternativas para cada decisor k , es necesario que los expertos den sus valoraciones sobre las alternativas en dependencia de cada criterio. El método evalúa la siguiente matriz de decisión que se refiere a m alternativas $A_i, i = 1, 2, \dots, m$, las cuales son evaluadas en función de n criterios $C_j, j = 1, 2, \dots, n$, asociadas a un peso w_j a cada uno de ellos. Donde x_{ij} denota la valoración de la i -ésima alternativa en términos del j -ésimo criterio. Y donde $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ es el vector de pesos asociado con cada criterio C_j .

$$A^k = \begin{matrix} & \begin{matrix} w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ c_1 & c_2 & \dots & c_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

- **Tarea 2.** Elaborar la matriz global de consenso.

Se debe encontrar una matriz promedio A , que no es más que el promedio de todas las calificaciones otorgadas por los evaluadores.

$$\tilde{x}_{ji} = \sum_{k=1}^l \tilde{x}_{ij}^k \quad (2.6)$$

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ c_1 & c_2 & \dots & c_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

- **Tarea 3.** Normalizar la matriz de decisión.

El objetivo de esta tarea es convertir las dimensiones de los distintos criterios en criterios no dimensionales. Aunque en el método TOPSIS no se obligue a normalizar según un método concreto, el más habitual es el siguiente:

$$\bar{n}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij})^2}} \quad j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m \quad (2.7)$$

Por ejemplo, para la normalización de la evaluación de la alternativa 1 respecto al criterio 1 (x_{11}), sería:

$$\bar{n}_{11} = \frac{x_{11}}{\sqrt{(x_{11})^2 + (x_{11})^2 + \dots + (x_{m1})^2}}$$

Una vez repetido este paso para cada una de las evaluaciones se obtiene la matriz normalizada

$$N = \begin{matrix} & \begin{matrix} w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ c_1 & c_2 & \dots & c_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \bar{n}_{11} & \bar{n}_{12} & \dots & \bar{n}_{1n} \\ \bar{n}_{21} & \bar{n}_{22} & \dots & \bar{n}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{n}_{m1} & \bar{n}_{m2} & \dots & \bar{n}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

- **Tarea 4.** Construir la matriz de decisión normalizada ponderada.

El objetivo de este paso es insertar el peso de cada criterio en la matriz obtenida en el paso anterior, para ello se multiplica el peso de cada criterio w_j por cada n_j obtenido en la matriz anterior:

$$[\bar{v}_{ij}] = w_j * \bar{n}_{ij}; \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.8)$$

Por ejemplo, para la evaluación normalizada de la alternativa 1 respecto al criterio 1 (\bar{n}_{11}) sería:

$$[\bar{v}_{11}] = w_1 * \bar{n}_{11}$$

Una vez repetido este paso para cada una de las evaluaciones normalizadas se obtiene la matriz normalizada ponderada.

$$N = \begin{matrix} & \begin{matrix} w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ c_1 & c_2 & \dots & c_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \bar{v}_{11} & \bar{v}_{12} & \dots & \bar{v}_{1n} \\ \bar{v}_{21} & \bar{v}_{22} & \dots & \bar{v}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{v}_{m1} & \bar{v}_{m2} & \dots & \bar{v}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

- **Tarea 5.** Determinar la solución ideal positiva y la solución ideal negativa.

El conjunto de valores positivo \bar{A}^+ y el conjunto de valores ideal negativo \bar{A}^- se determina como:

$$\bar{A}^+ = \{\bar{v}^+_1, \bar{v}^+_2, \dots, \bar{v}^+_n\} = \{(\max \bar{v}_{ij}, j \in J)(\min \bar{v}_{ij}, j \in J')\} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.9)$$

$$\bar{A}^- = \{\bar{v}^-_1, \bar{v}^-_2, \dots, \bar{v}^-_n\} = \{(\min \bar{v}_{ij}, j \in J)(\max \bar{v}_{ij}, j \in J')\} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.10)$$

En otras palabras, se selecciona el mejor y peor valor de las evaluaciones normalizadas ponderadas para cada uno de los criterios, teniendo en cuenta el carácter del criterio analizado (si es un criterio deseable el mejor valor para \bar{A}^+ y el peor para \bar{A}^- ; en caso de que el criterio no sea deseable el peor valor para \bar{A}^+ , y el mejor para \bar{A}^-).

- **Tarea 6.** Calcular las medidas de distancia.

La separación de cada alternativa de la solución ideal \bar{A}^+ está dada como:

$$\bar{d}_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (\bar{v}_{ij} - \bar{v}_j^+)^2 \right\}^{1/2} \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (2.11)$$

Y la separación de cada alternativa de la solución ideal negativa \bar{A}^- es como sigue:

$$\bar{d}_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (\bar{v}_{ij} - \bar{v}_j^-)^2 \right\}^{1/2} \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (2.12)$$

En este caso se utiliza la distancia euclídea m -multidimensional.

Consiste en calcular la distancia de cada alternativa a la solución ideal positiva y a la solución ideal negativa.

Por ejemplo, para la alternativa 1 sería:

$$\begin{aligned} \bar{d}_1^+ &= \sqrt{(\bar{v}_{11} - \bar{v}_1^+)^2 + (\bar{v}_{12} - \bar{v}_2^+)^2 + \dots + (\bar{v}_{1n} - \bar{v}_n^+)^2} \\ \bar{d}_1^- &= \sqrt{(\bar{v}_{11} - \bar{v}_1^-)^2 + (\bar{v}_{12} - \bar{v}_2^-)^2 + \dots + (\bar{v}_{1n} - \bar{v}_n^-)^2} \end{aligned}$$

- **Tarea 7.** Calcular la proximidad relativa a la solución ideal.

La proximidad relativa \bar{R}_i a la solución ideal puede expresarse como sigue:

$$\bar{R}_i = \frac{\bar{d}_i^-}{\bar{d}_i^+ + \bar{d}_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.11)$$

Para la alternativa 1 sería:

$$\bar{R}_1 = \frac{\bar{d}_1^-}{\bar{d}_1^+ + \bar{d}_1^-}$$

Cuanto más próximo es el valor de R_i a 1, implica una mayor prioridad de la alternativa i -ésima.

$$\bar{R}_i = 1; \quad A_i = \bar{A}^+$$

$$\bar{R}_i = 0; A_i = \bar{A}^-$$

- **Tarea 8.** Ordenar las preferencias.

Se ordenan las mejores alternativas de acuerdo con R_i en orden descendente (la mejor alternativa es aquella que tenga un mayor valor).

Paso 9. Evaluar la alternativa según los objetivos trazados.

Las mejores alternativas identificadas por las herramientas de toma de decisiones aplicadas deben ser validadas contra los requisitos y objetivos del problema de decisión. En muchas ocasiones puede suceder que la herramienta de toma de decisiones haya sido mal aplicada.

Luego de ser seleccionada las mejores rutas, se procede a efectuar un análisis de la factibilidad de estas donde se deben destacar los elementos de la nueva ruta que demuestran una mejora con respecto al diseño anterior (indicadores). En caso contrario se vuelven a definir nuevas alternativas.

Paso 10. Desarrollar el sistema informativo.

Como último paso de la etapa se recomienda el desarrollo de un flujo informativo que contribuya a facilitar los procesos de captura de datos, procesamiento, análisis, presentación y conservación de la información, como elementos adecuados para el soporte a la toma de decisiones en torno al sistema de distribución. Para el desarrollo de este se deben identificar los sujetos, objetos y medios del sistema informativo.

Resulta necesario crear un sistema de información capaz de proporcionar un flujo continuo de información para la toma de decisiones. Este sistema estará formado por un conjunto de procedimientos y métodos que permitan recopilar y analizar de forma regular los datos obtenidos, y así proporcionar información de forma periódica que permitan gestionar las cadenas de transporte, corrigiendo posibles desviaciones para optimizar los recursos que se disponen.

2.1.4 Etapa 4. Implementación de la alternativa seleccionada

Paso 11. Preparar las condiciones para la implementación de las alternativas.

La puesta en marcha de la solución puede ser llevada a cabo por las mismas personas que han llegado a ella o, como en otros casos, ambas actividades son llevadas por grupos de personas distintos, ya que en muchas ocasiones las decisiones vienen de niveles superiores en la jerarquía de la organización. Sea de un modo u otro, siempre debe existir la comprensión total de la

decisión tomada, así como, las razones que han llevado a esa conclusión para que la implementación sea lo más exitosa posible. Por ello, siempre es recomendable que, aunque los responsables que toman la decisión sean distintos que los que la pongan en práctica, se impliquen a todos los integrantes desde el inicio del proceso para conseguir que estén comprometidos con este y no se resistan al cambio.

Paso 12. Elaborar el cronograma de implantación.

Se deben tener en cuenta los elementos organizativos para implementar el nuevo diseño, responsables del control, de su implementación, ejecutores, los recursos necesarios y la fecha de cumplimiento. En el progreso de este paso es fundamental que la dirección garantice las condiciones favorables para la aplicación oportuna, facilite los medios técnicos y organizativos necesarios para el desarrollo de estas.

2.1.5 Etapa 5. Control y evaluación

Esta etapa tiene como objetivo evaluar y controlar el proceso de distribución de la organización objeto de estudio, una vez aplicada la ruta seleccionada. Puede implicar el regreso a la etapa de identificación del problema para contribuir a la mejora continua del proceso de distribución física.

Paso 13. Medir y analizar la ejecución del procedimiento.

Se propone el seguimiento del nuevo sistema de transportación para evaluar los resultados de las rutas implementadas a partir de la medición y análisis de los indicadores presentes en los criterios propuestos, esta se realizará cada trimestre para las rutas establecidas o mensual la primera vez que se implemente una nueva ruta.

Los jefes de procesos, administrativos, de áreas y directivos en general: deben realizar un seguimiento al desarrollo del proceso de toma de decisiones, determinar las acciones correctivas/preventivas en caso que sea necesario.

Acciones preventivas: Se tomarán acciones para eliminar la causa de algún paso del procedimiento potencialmente incumplido o mal ejecutado.

Acciones correctivas: Se realizarán correcciones en caso de surgir variaciones en las condiciones iniciales del estudio. Lo que conllevará a volver a reiniciar desde la primera etapa.

2.2 Valoración del procedimiento por especialistas

Según Robledo *et al.* (2008) para validar una propuesta metodológica, incluyendo su modelo conceptual, la métrica para la evaluación de las capacidades y el instrumento de captura de

información, se contemplan tres etapas principales: verificación conceptual o validación por panel de expertos, validación experimental y validación final o aplicativa. Cada etapa concluye con la ejecución de ajustes a la propuesta según los resultados de la etapa de validación respectiva.

Validación conceptual

Cuando se valida un modelo se busca establecer si el mismo es una representación confiable del sistema real; en cambio, cuando se verifica, se busca determinar si la lógica del modelo es consistente con los referentes conceptuales y teóricos que fundamentan la propuesta. En este caso se someterán al criterio de los expertos el procedimiento diseñado.

Validación experimental del instrumento

A partir de la aplicación del instrumento y de su validación conceptual se realizarán los ajustes correspondientes, tanto al instrumento como a los aspectos a evaluar. Entre los principales señalamientos que se hacen, por los participantes en el grupo de trabajo se encuentran:

- Se considera pertinente el instrumento por los miembros del grupo de gestión
- El procedimiento permite obtener la información que se desea para el diagnóstico de la innovación.

No obstante, se debe:

- Contar con un tiempo mayor para la preparación del grupo de trabajo de manera que puedan incidir más eficientemente en la reducción del tiempo de respuesta del instrumento
- No siempre se logra una correcta empatía con los encuestados y existe en ellos cierta resistencia para ofrecer toda la información que poseen.

Para la validación por especialistas se usó la encuesta que se encuentra en el **Anexo 7**

CONCLUSIONES GENERALES

En este trabajo se ha realizado un procedimiento para la toma de decisiones multicriterio en el proceso de distribución de mercancías aplicando dos de los métodos de toma de decisión multiatributo (MADM) más importantes, AHP y TOPSIS. Para ello, primero se ha realizado un acercamiento a la logística, las cadenas de suministros y los componentes más significativos de la gestión de la distribución. Igualmente se analizan los principales elementos teóricos para la modelización multicriterio y se realiza una breve descripción de los distintos métodos MADM.

El procedimiento propuesto facilita:

1. El diagnóstico del proceso de toma de decisiones multicriterio en la organización objeto de estudio.
2. La definición del escenario de decisión a través de la delimitación del conjunto de alternativas factibles.
3. El análisis de un grupo importante de alternativas y la selección de la mejor, a partir de las preferencias de los decisores.
4. La integración adecuada de diferentes criterios de decisión para lograr una toma de decisiones más racional y eficiente, lo que permite a la empresa una elevación de su desempeño.

RECOMENDACIONES

1. Extender la aplicación del procedimiento desarrollado a las empresas comercializadoras del país y otras empresas que lo necesiten
2. Desarrollar un sistema informático que integre las herramientas desarrolladas en esta Tesis, con su correspondiente registro, de manera que permita agilizar el proceso de toma de decisiones logísticas con enfoque multicriterio
3. Continuar y enriquecer la presente investigación con el uso de la gama de métodos considerados, incluyendo a aquellos pertenecientes a la misma familia de los métodos ya seleccionados teniendo en cuenta las características de la situación a analizar para su correcta selección.
4. Insertar en las organizaciones comercializadoras el uso de procedimientos para la optimización multiobjetivo que permitan generar las rutas de distribución óptimas o por lo menos un conjunto de alternativas de ruteo cercanas a la óptima dependiendo de la complejidad del problema.
5. Realizar una continua evaluación y control del comportamiento de la organización objeto de estudio con la aplicación del procedimiento para poder realizar la previsión de problemas y lograr su oportuna corrección, para mantener un mejoramiento continuo del proceso de distribución de mercancías.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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" (CUJAE)]. La Habana, Cuba.
- Ahituv, N., Zif, J., & Machlin, I. (1998). Environmental scanning and information systems in relation to success in introducing new products. *Information & Management*, 33(4), 201-211. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-7206\(98\)00025-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-7206(98)00025-1)
- Avikal, S., Kumar Singh, A., Nithin Kumar, K. C., & Kumar Badhotiya, G. (2021). A fuzzy-AHP and TOPSIS based approach for selection of metal matrix composite used in design and structural applications [Article]. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.161>
- Baker, D., Bridges, D., Hunter, R., Johnson, G., Krupa, J., Murphy, J., & Sorenson, K. (2001). *Guidebook to decision-making methods*. Westinghouse Savannah River Company.
- Barba-Romero, S. (1996). Manual para la toma de decisiones multicriterio.
- Barba-Romero, S., & Pomerol, J.-C. (1997). *Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica*. Universidad de Alcalá, Servicio de Publicaciones.
- Bayos, M., & Benítez, M. (1994). Diccionario de términos económicos. *Manuel Bayos Sardiñas y Miguel A. Benítez Miranda.--La Habana: Editorial Félix Várela*.
- Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making) [Article]. *Management Science*, 31(6), 647-656. <http://www.jstor.org/stable/2631441>
- Cabanas Moreda, I. (2007). *Sistema de Ayuda a la Decisión basado en la Lógica Difusa Compensatoria. Aplicación en el Grupo Empresarial de la Industria Portuaria Jose antonio Echeverría*. La Habana.
- Cárdenas Aguirre, D. M., & Urquiaga Rodríguez, A. J. (2007). Logística de operaciones: integrando las decisiones estratégicas para la competitividad [Article]. *Revista Ingeniería Industrial*, XXVIII(1), 37-41.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Ferguson, R. O. (1955). Optimal Estimation of Executive Compensation by Linear Programming [Article]. *Management Science*, 1(2), 138-151. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1.2.138>
- Charnes, A., & Cooper, W. W. (1957). Management Models and Industrial Applications of Linear Programming. *Management Science*, 4(1), 38-91. <https://doi.org/10.1287/mnsc.4.1.38>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2003). *Supply Chain* (2nd ed.). NJ: Prentice-Hall, Inc.
- Chuu, S.-J. (2005). Fuzzy multi-attribute decision-making for evaluating manufacturing flexibility. *Production Planning & Control*, 16(3), 323-335.
- Cinelli, M., Coles, S. R., & Kirwan, K. (2014). Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecological indicators*, 46, 138-148.
- Coloma Salazar, M. E. (2021). *Tecnología para la optimización multiobjetivo de la transportación de cargas*.
- Costa Salas, Y. J., Abreu Ledón, R., Machado Osés, C., & Coello Machad, N. (2010). Asistencia decisional en el proceso de optimización para el enrutamiento de vehículos [Article]. *Revista Ingeniería Industrial*, XXXI(1), 1-7.

- Covas Varela, D., Martínez Curbelo, G., Delgado Álvarez, N., & Díaz Peña, M. (2017). Mejora de procesos logísticos en la comercializadora agropecuaria Cienfuegos [Article]. *Revista Ingeniería Industrial*, XXXVIII(2), 210-222.
- CSCMP. (2013). Supply Chain Management. Terms and Glossary. In (pp. 222).
- de Brito, M. M., & Evers, M. (2016). Multi-criteria decision-making for flood risk management: a survey of the current state of the art. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(4), 1019-1033.
- Delgado, F. M., García, J. A., Castro, R. C., Ledón, R. A., Sánchez, R. O., & Castillo, J. S. (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.
- 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 presentada en opción del título académico de Máster en Ingeniería Industrial. Mención Logística, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV)]. Santa Clara, Cuba.
- Eydi, A., & Ghasemi-Nezhad, S. A. (2021). A bi-objective vehicle routing problem with time windows and multiple demands. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(3), 2617-2630. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.02.028>
- Feitó Cespón, M. (2015). *Modelo multiobjetivo para el rediseño de cadenas de suministro sostenibles de reciclaje, bajo condiciones de incertidumbre. Aplicación a la recuperación de plásticos en Cuba* [Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV)]. Santa Clara, Cuba.
- Feng, C., Li, Z., Shahidehpour, M., Wen, F., & Li, Q. (2020). Stackelberg game based transactive pricing for optimal demand response in power distribution systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 118, 105764. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105764>
- Fernández Barberis, G., & Escribano Ródenas, M. d. C. (2011). La Ayuda a la Decisión Multicriterio: orígenes, evolución y situación actual. VI Congreso Internacional de Historia de la Estadística y de la Probabilidad,
- Fülöp, J. (2005). Introduction to decision making methods. BDEI-3 workshop, Washington,
- Ganeshan, R., & Harrison, T. P. (1995). An Introduction to Supply Chain Management. In.
- Garza Ríos, R., González Sánchez, C., & Salinas Gómez, E. (2007). Toma de decisiones empresariales: un enfoque multicriterio multiexperto. *Ingeniería Industrial*, 28(1), 29-36.
- Garza Ríos, R. C. (2001). *Procedimiento multicriterio para la planificación de rutas de distribución* [Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (CUJAE)]. La Habana, Cuba.
- Garza Ríos, R. C., & González Sánchez, C. (2002). Distribución de mercancías, una necesidad del comercio electrónico [Article]. *Revista Ingeniería Industrial*, XXIII(2), 34-38.
- Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2013). *Introduction to Logistics Systems Management* [Book]. John Wiley & Sons, Ltd.
- Gómez Acosta, M. I., & Acevedo Suárez, J. A. (2001). Logística moderna y la competitividad empresarial. *Centro de Estudio Tecnología de Avanzada (CETA) y Laboratorio de Logística y Gestión de la Producción (LOGESPRO). Ciudad de la Habana.*

- Gómez Acosta, M. I., Acevedo Suárez, J. A., Pardillo Baez, Y., López Joy, T., & Lopes Martínez, I. (2013). Caracterización de la Logística y las Redes de Valor en empresas cubanas en Perfeccionamiento Empresarial [Article]. *Revista Ingeniería Industrial*, XXXIV(2), 212-226.
- González González, R. (2002). *El modelo de plataforma logística de petróleo en Cuba* [Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (CUJAE)]. La Habana, Cuba.
- González González, R., Pons Salabarría, A. C., Gómez Acosta, M. I., & Acevedo Suárez, J. A. (2003). La eco-eficacia de la plataforma logística de petróleo en Cuba [Article]. *Revista Ingeniería Industrial*, XXIV(1), 14-20.
- Guo, Y., Chen, X., & Yang, Y. (2021). Multimodal transport distribution model for autonomous driving vehicles based on improved ALNS. *Alexandria Engineering Journal*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.08.029>
- Hevia Lanier, F. (2008). *Metodología de diseño de la cadena de suministro inversa. Una contribución a la logística reversa* [Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (CUJAE)]. La Habana, Cuba.
- Hugos, M. H. (2011). *Essentials of supply chain management* (3rd ed.) [Book]. John Wiley & Sons.
- Hussein, M., Eltokhy, A. E. E., Karam, A., Shaban, I. A., & Zayed, T. (2021). Modelling in off-site construction supply chain management: A review and future directions for sustainable modular integrated construction. *Journal of Cleaner Production*, 310, 127503. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127503>
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications A State-of-the-Art Survey* (1 ed.) [Book]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- Johnsen, T. E., Miemczyk, J., & Howard, M. (2017). A systematic literature review of sustainable purchasing and supply research: Theoretical perspectives and opportunities for IMP-based research. *Industrial Marketing Management*, 61, 130-143. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2016.03.003>
- Kalair, A. R., Abas, N., Seyedmahmoudian, M., Rauf, S., Stojcevski, A., & Khan, N. (2021). Duck curve leveling in renewable energy integrated grids using internet of relays. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126294. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126294>
- Kaya, T., & Kahraman, C. (2011). An integrated fuzzy AHP–ELECTRE methodology for environmental impact assessment. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8553-8562. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.057>
- Khajehaminian, M. R., Ardalan, A., Keshtkar, A., Hosseini Boroujeni, S. M., Nejati, A., Ebadati E, O. M. E., & Rahimi Foroushani, A. (2018). A systematic literature review of criteria and models for casualty distribution in trauma related mass casualty incidents. *Injury*, 49(11), 1959-1968. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.09.005>
- Koot, M., Mes, M. R. K., & Iacob, M. E. (2021). A systematic literature review of supply chain decision making supported by the Internet of Things and Big Data Analytics. *Computers & Industrial Engineering*, 154, 107076. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.107076>

- Lambert, D. M., Stock, J. R., & Ellram, L. M. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*. MA: Irwin/McGraw-Hill.
- Lao León, Y. O. (2017). *Procedimiento para la gestión integrada de las restricciones físicas en el sistema logístico de empresas comercializadoras* [Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya"]. Holguín, Cuba.
- Lao León, Y. O., Vega de la Cruz, L. O., Marrero Delgado, F., & Pérez Pravia, M. C. (2017). Procedimiento para modelar recursos restrictivos en el sistema logístico de empresas comercializadoras [Article]. *Revista Ingeniería Industrial*, XXXVIII(1), 43-55.
- Li, G. (2021). Development of cold chain logistics transportation system based on 5G network and Internet of things system. *Microprocessors and Microsystems*, 80, 103565. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103565>
- Liu, P., & Li, Y. (2021). An improved failure mode and effect analysis method for multi-criteria group decision-making in green logistics risk assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, 215, 107826. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107826>
- Lopes Martínez, I., & Gómez Acosta, M. I. (2013). Auditoría logística para evaluar el nivel de gestión de inventarios en empresas [Article]. *Revista Ingeniería Industrial*, XXXIV(1), 108-118.
- MacCrimmon, K. R. (1968). Decision Making Among Multiple-Attribute Alternatives: A Survey and Consolidated Approach. *RAND Memorandum*, Article RM-4823-ARPA.
- Mahfouz, M. M. A. (2020). A protection scheme for multi-distributed smart microgrid based on auto-cosine similarity of feeders current patterns. *Electric Power Systems Research*, 186, 106405. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106405>
- Mak, D., & Choi, D.-H. (2020). Optimization framework for coordinated operation of home energy management system and Volt-VAR optimization in unbalanced active distribution networks considering uncertainties. *Applied Energy*, 276, 115495. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115495>
- Marrero Delgado, F. (2001). *Procedimientos para la toma de decisiones logísticas con enfoque multicriterio en la cadena de corte, alza y transporte de la caña de azúcar. Aplicaciones en CAI de la provincia Villa Clara* [Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV)]. Santa Clara, Cuba.
- 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 [Article]. *Revista Ingeniería Industrial*, XXII(3), 21-25.
- Marzouk, M., & Sabbah, M. (2021). AHP-TOPSIS social sustainability approach for selecting supplier in construction supply chain [Article]. *Cleaner Environmental Systems*, 2, 100034. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100034>
- Meneses Marcel, J. C. (2009). *Perfeccionamiento de las rutas de distribución de la Empresa Suchel Trans para la provincia de Sancti Spíritus, utilizando el método de Optimización por Colonia de Hormigas* [Tesis presentada en opción del título académico de Máster en Ingeniería Industrial. Mención Logística, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV)]. Santa Clara, Cuba.

- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, 22(2).
- Miyashiro Pérez, L., & Delgado Fernández, M. (2009). Procedimiento para la mejora de los procesos que intervienen en el consumo de combustibles [Article]. *Revista Ingeniería Industrial*, XXX(3), 1-8.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & The-PRISMA-Group. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7). <https://doi.org/doi:10.1371/journal.pmed.1000097>
- ONEI. (2020). *Anuario Estadístico de Cuba 2019*.
- Opricovic, S. (1998). *Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems* [PhD Thesis, University of Belgrade]. Belgrade, Serbia.
- 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*, 2(39).
- Pacheco, J. F., & Contreras, E. (2008). Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos.
- Pardillo Baez, Y., & Gómez Acosta, M. I. (2013). Modelo de diseño de nodos de integración en las cadenas de suministro [Article]. *Revista Ingeniería Industrial*, XXXIV(1), 96-107.
- Paul, S. K., Chowdhury, P., Muktadir, M. A., & Lau, K. H. (2021). Supply chain recovery challenges in the wake of COVID-19 pandemic. *Journal of Business Research*, 136, 316-329. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.07.056>
- Pérez Campaña, M. (2005). *Contribución al control de gestión en elementos de la cadena de suministros. Modelo y procedimientos para organizaciones comercializadoras* [Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV)]. Santa Clara, Cuba.
- 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.
- Piqueras, V. Y., & Folgado, J. R. M. (2002). Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW. *Revista de la Universidad Politécnica de Valencia*.
- Qazi, A., Shamayleh, A., El-Sayegh, S., & Formanek, S. (2021). Prioritizing risks in sustainable construction projects using a risk matrix-based Monte Carlo Simulation approach. *Sustainable Cities and Society*, 65, 102576. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102576>
- Quintero, A. G., Serranomoya, E. D., & Von, C. M. H. (2013). Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación. *Revista Luna Azul (On Line)*(36), 285-306.
- Raiffa, H., & Luce, R. D. (1985). *Games and Decisions: Introduction and Critical Survey*. New York.
- Render, B., & Heizer, J. (1996). *Principles of operations management*.
- Ríos, R. G., & Sánchez, C. G. (2002). Distribución de mercancías, una necesidad del comercio electrónico. *Ingeniería Industrial*, 23(2), 5 pág-5 pág.
- Ríos, R. G., & Sánchez, C. G. (2013). DRSoft: un soporte computacional para el diseño de rutas de distribución. *Investigación Operacional*, 25(3), 260-269.

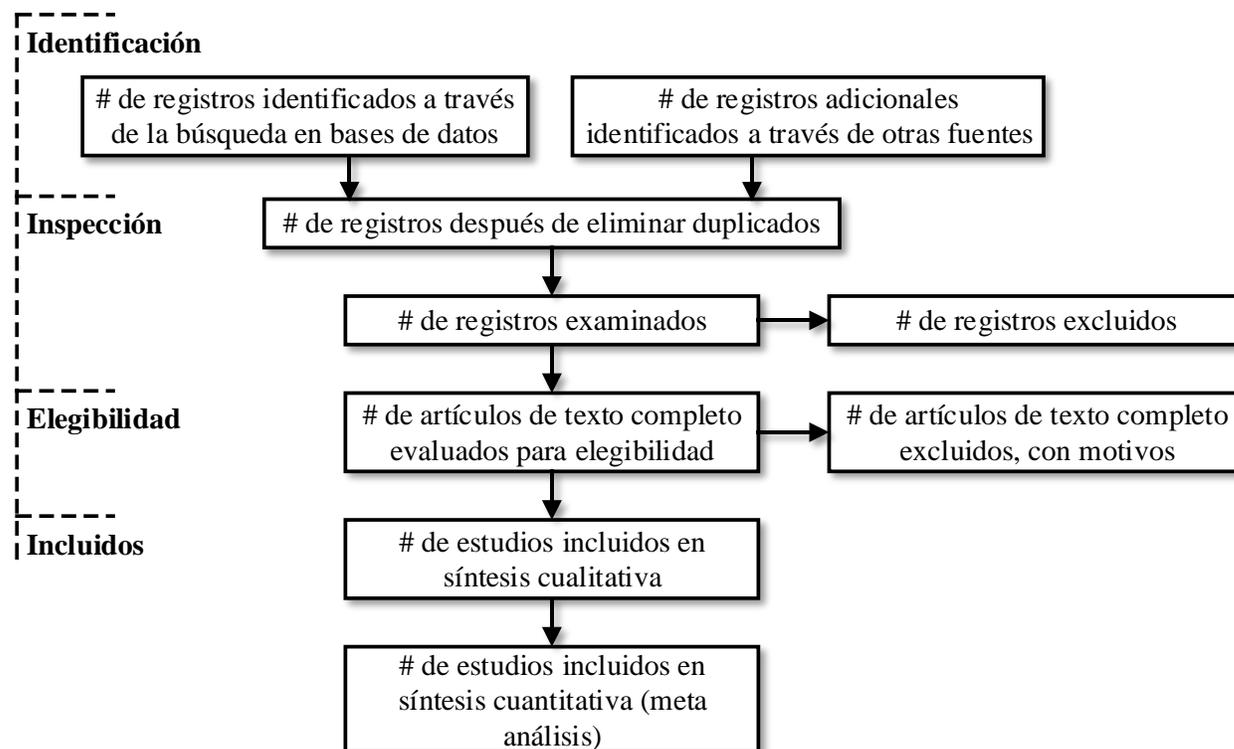
- Robledo, J., Gómez, F. A., & Restrepo, J. F. (2008). Relación entre Capacidades de Innovación Tecno-lógica y Desempeño Empresarial en Colombia. In *Memorias del Primer Congreso Internacional de Gestión Tecnológica e Innovación* (pp. 21). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Romero, C. (1993). *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*.
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *R.I.R.O.*, 2(8), 57-75. <https://doi.org/10.1051/ro/196802V100571>
- Ruiz, J. (2015). Métodos de decisión multicriterio ELECTRE y TOPSIS aplicados a la elección de un dispositivo móvil. *Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería*.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Sablón Cossío, N., Medina León, A., Acevedo Suárez, J. A., Acevedo Urquiaga, A. J., & López Joy, T. (2013). Caracterización de la Logística y las Redes de Valor en empresas cubanas en Perfeccionamiento Empresarial [Article]. *Revista Ingeniería Industrial*, XXXIV(3), 353-362.
- Sablón Cossío, N. (2014). *Modelo de Planificación Colaborativa Estratégico en Cadenas de Suministro* [Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"]. Matanzas, Cuba.
- Sablón Cossío, N., Hernández Nariño, A., Urquiaga Rodríguez, A. J., Acevedo Suárez, J. A., Bautista Santos, H., & Acevedo Urquiaga, A. J. (2017). Matriz de selección de estrategias de integración en las cadenas de suministro [Article]. *Revista Ingeniería Industrial*, XXXVIII(3), 333-344.
- Sáez Mosquera, I. (2008). *Procedimientos y arquitectura de apoyo para la asistencia decisional en procesos estratégicos de gestión logística* [Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV)]. Santa Clara, Cuba.
- Sharma, R., Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Kumar, V., & Kumar, A. (2020). A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance. *Computers & Operations Research*, 119, 104926. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104926>
- Suryawanshi, P., Dutta, P., L, V., & G, D. (2021). Sustainable and resilience planning for the supply chain of online hyperlocal grocery services. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 496-518. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.05.001>
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem* [Book]. Society for Industrial and Applied Mathematics. <https://doi.org/doi:10.1137/1.9780898718515>
- Triantaphyllou, E. (2000). Multi-criteria decision making methods. In *Multi-criteria decision making methods: A comparative study* (pp. 5-21). Springer.
- Tsai, F. M., Bui, T.-D., Tseng, M.-L., Ali, M. H., Lim, M. K., & Chiu, A. S. F. (2021). Sustainable supply chain management trends in world regions: A data-driven analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105421. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105421>
- Tsao, Y.-C., Thanh, V.-V., & Lu, J.-C. (2021). Sustainable advanced distribution management system design considering differential pricing schemes and carbon emissions. *Energy*, 219, 119596. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119596>

- Vladimirovich Fedosov, V., & Fedosova, A. (2017). Optimización de emisiones de la red de carreteras de infraestructura urbana [Article]. *Revista Ingeniería Industrial*, XXXVIII(2), 143-153.
- Youssef, K. H. (2021). Optimal routing of ring power distribution systems. *Electric Power Systems Research*, 199, 107392.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107392>
- Žak, J., & Kruszyński, M. (2015). Application of AHP and ELECTRE III/IV Methods to Multiple Level, Multiple Criteria Evaluation of Urban Transportation Projects [Article]. *Transportation Research Procedia*, 10, 820-830.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.035>
- Zamora Rodríguez, J. J. (2009). *Diseño de la cadena de suministro para los productos centralizados y distribuidos por la Empresa Provincial de Aseguramiento y Servicio a la Educación* [Tesis presentada en opción del título académico de Máster en Ingeniería Industrial. Mención Logística, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV)]. Santa Clara, Cuba.
- Zhou, L., Zhen, L., Baldacci, R., Boschetti, M., Dai, Y., & Lim, A. (2021). A Heuristic Algorithm for solving a large-scale real-world territory design problem. *Omega*, 103, 102442. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.omega.2021.102442>

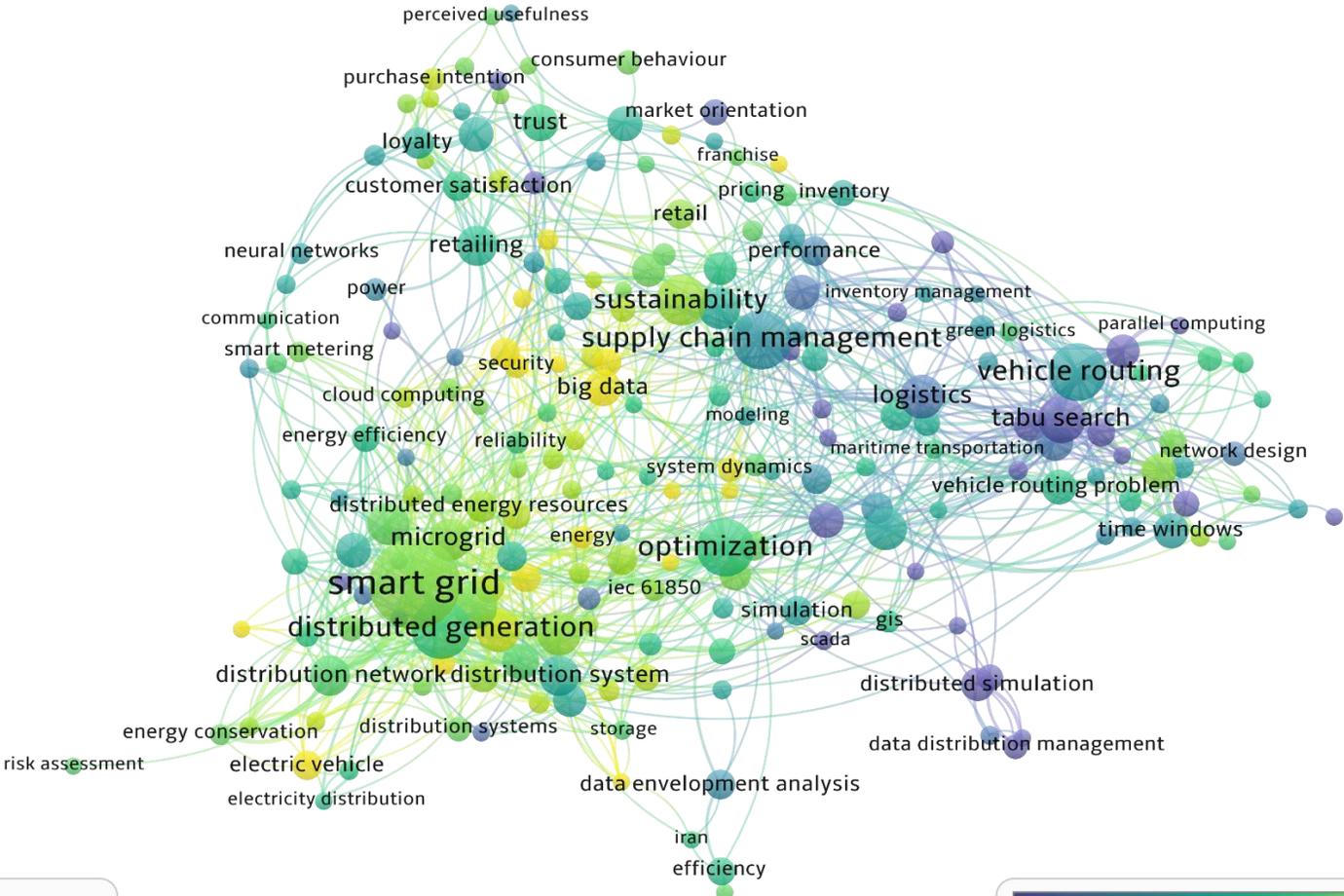
ANEXOS

Anexo 1. Metodología PRISMA para la sistematización de la literatura y meta-análisis.

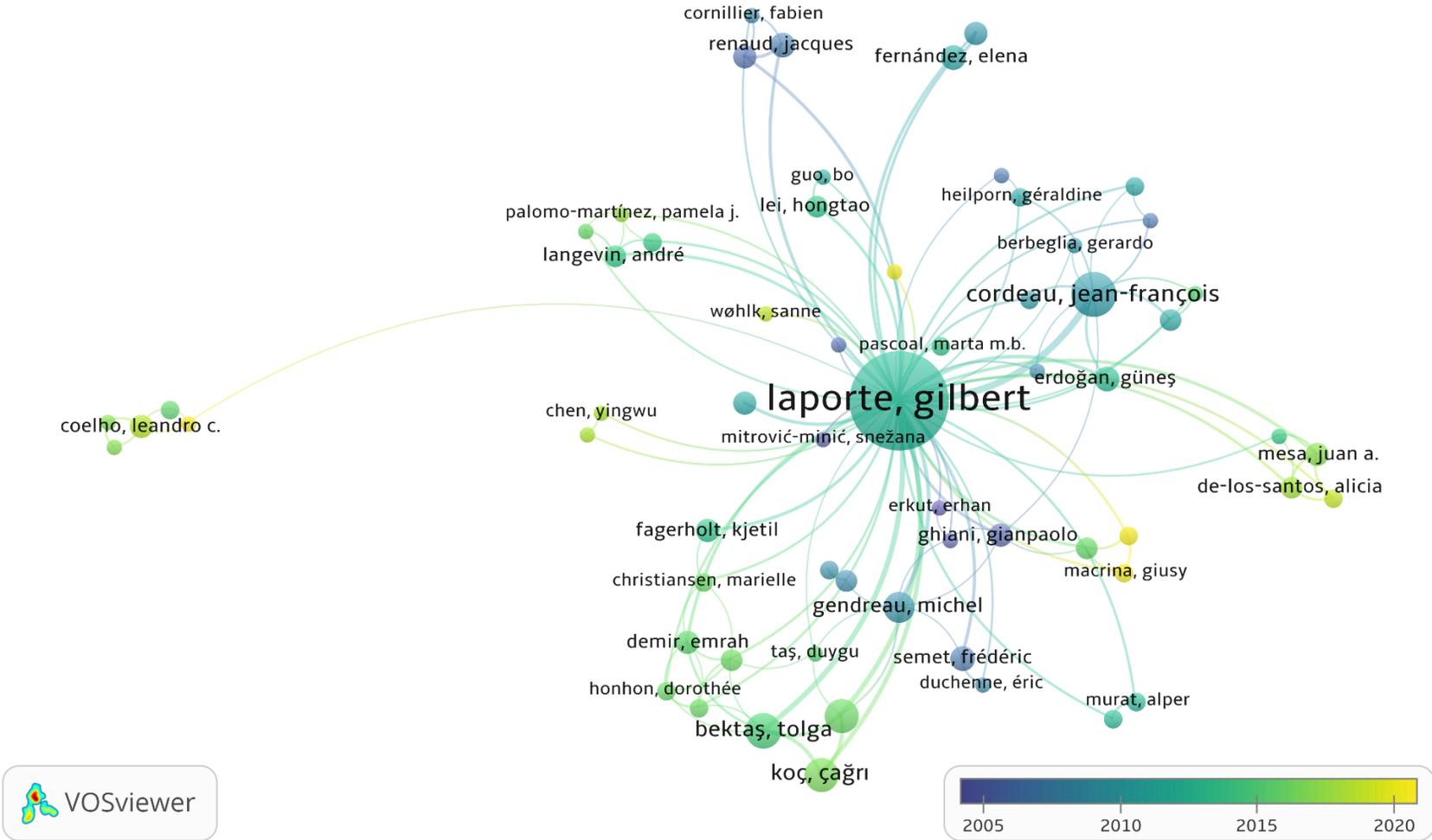
Fuente: Moher et al. (2009)



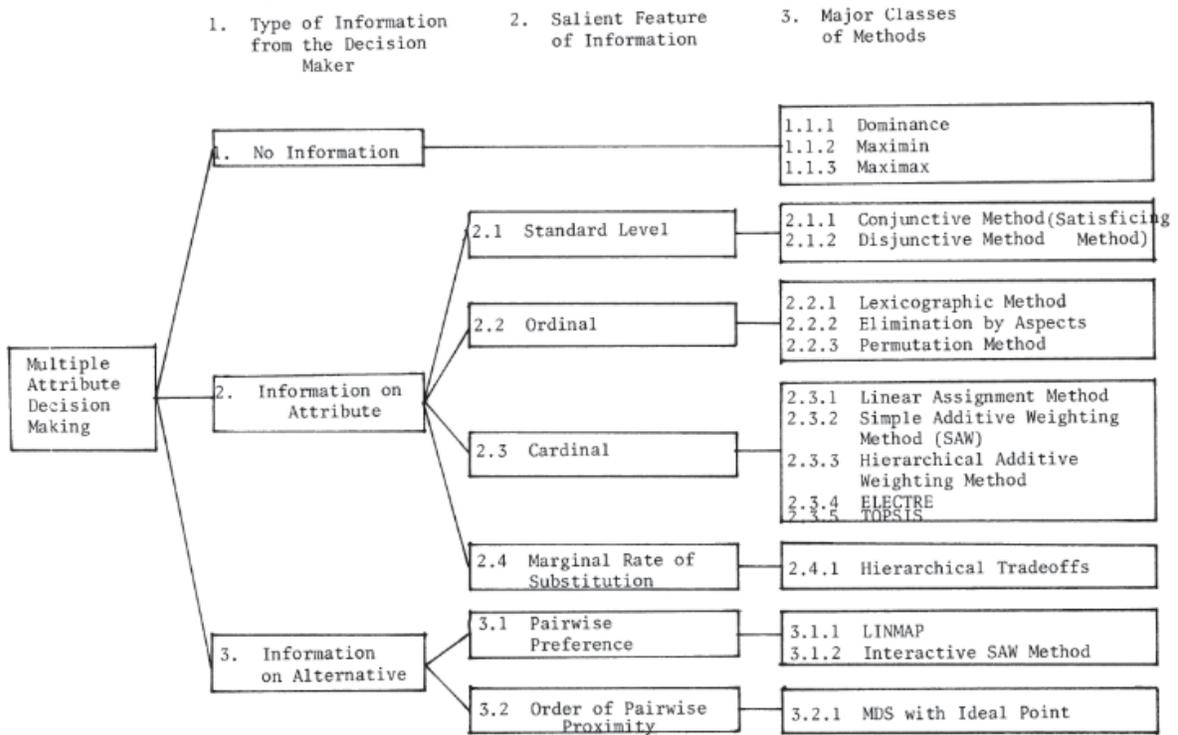
Anexo 2. Relación de palabras claves en VOSviewer 1.6.16 por años



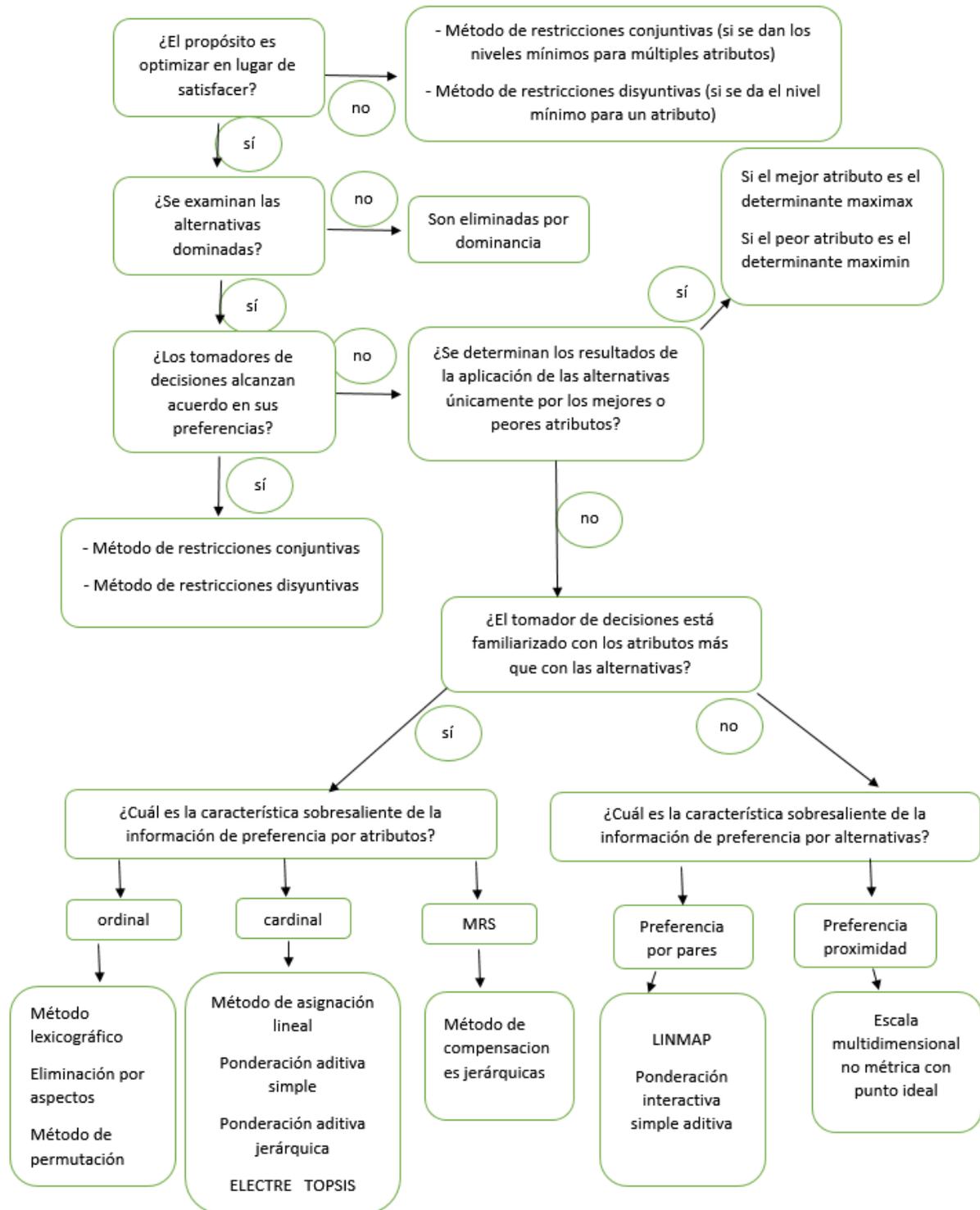
Anexo 3. Relación de autores en VOSviewer 1.6.16 por años



Anexo 4. Taxonomía de metodos para la toma de decisiones multiatributos (MADM).



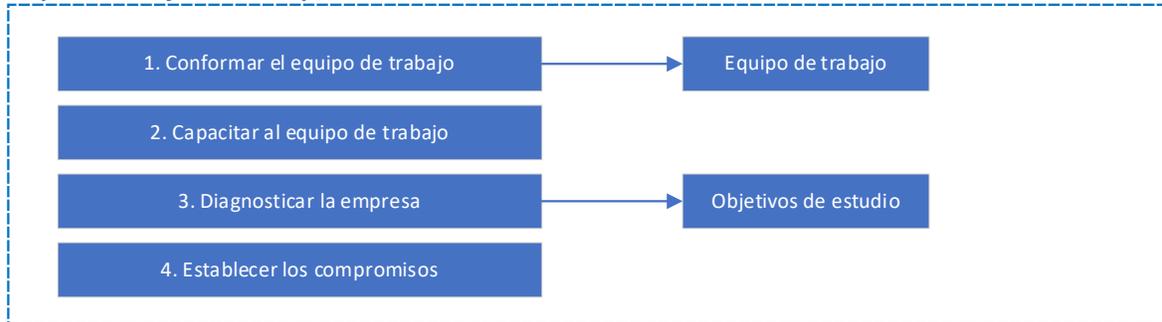
Anexo 5. Cuadro de especificaciones de los métodos para la toma de decisiones multiatributo (MADM). Fuente: (Hwang y Yoon, 1981)



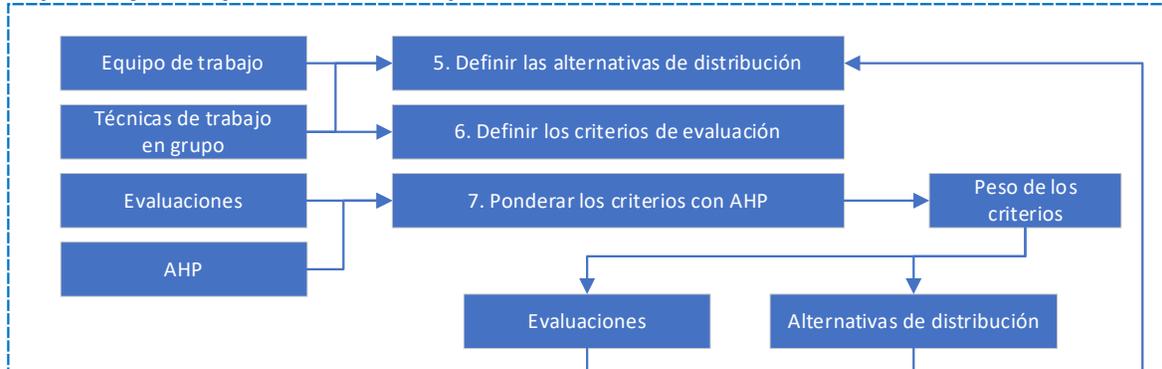
Anexo 6. Procedimiento para la toma de decisiones multicriterio en el proceso de distribución de mercancías

Fuente: Elaboración propia

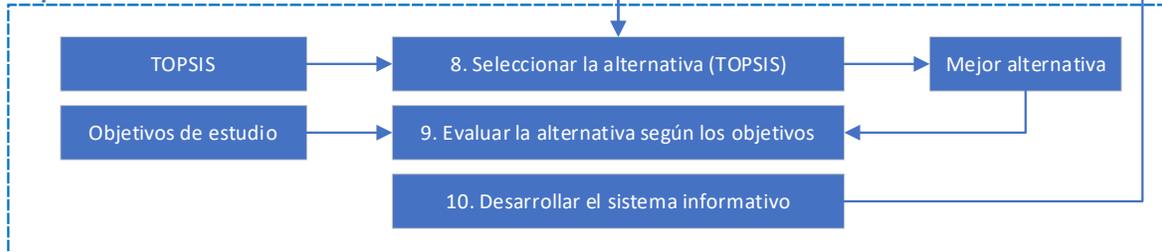
Etapa 1. Identificación del problema



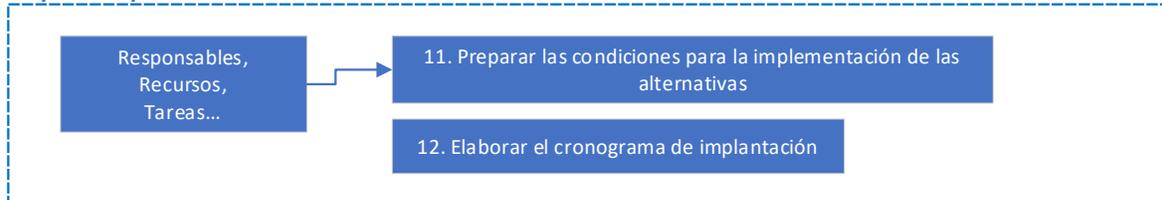
Etapa 2. Definición y estructuración del problema



Etapa 3. Selección de las alternativas



Etapa 4. Implementación de la alternativa seleccionada



Etapa 5. Control y evaluación



Anexo 7. Encuesta para validación por expertos del procedimiento

Estimado(a) profesor(a):

Como parte de la investigación que desarrollamos para la tesis de diploma en opción al título de Ingeniero Industrial, Usted ha sido seleccionado como experto por su alta preparación en el tema. Por tal motivo le solicitamos su ayuda y responda las preguntas siguientes en aras de obtener criterios de validez sobre el procedimiento que se propone como resultado de la tesis. Le agradecemos su bondad en colaborararnos y tenga por seguro que tendremos en cuenta todos sus valiosos criterios. Gracias.

I. Datos personales:

Nombres y apellidos (si lo desea): _____

Institución en la que trabaja: _____

Función que realiza: _____

Categoría científica y/o académica: _____

Categoría docente: _____

Años de experiencia en temas de logística: _____

II.- Proponemos a continuación los componentes fundamentales del procedimiento. Agradecemos lea con detenimiento estos componentes para que nos pueda ofrecer sus valiosos criterios.

“Procedimiento propuesto en epígrafe 2.1”

III.- Marque con una X en la casilla correspondiente la valoración que Ud. le concede a los componentes del procedimiento (Leyenda: **MA:** Muy adecuado; **BA:** Bastante adecuado; **A:** Adecuado; **PA:** Poco adecuado; **I:** Inadecuado)

ASPECTOS A EVALUAR	EVALUACIÓN				
	MA	BA	A	PA	I
I. Sobre el objetivo del procedimiento					
Calidad de la formulación					
Pertinencia					
II. Pertinencia de las etapas del procedimiento					
Etapa 1. Identificación del problema					
Etapa 2. Definición y estructuración del problema					
Etapa 3. Selección de las alternativas					
Etapa 4. Implementación de la alternativa seleccionada					
Etapa 5. Control y evaluación					
III. Validez de los pasos de la Etapa 1					
Pertinencia					
Suficiencia					
IV. Validez de los pasos de la Etapa 2					
Pertinencia					
Suficiencia					

