



Universidad de Valladolid



Escuela de Ingenierías Industriales



**TRABAJO FIN DE MASTER
MCDM Y LOGISTICA Y TRANSPORTE**

Autor:

Ibtissam Jabir

Tutor:

Angel Manuel Gento Municio

Valladolid, julio 2020





Resumen

El concepto de Gestión de la Cadena de Suministro Ecológica (GSCM) es la integración del pensamiento ambiental en la gestión de la cadena de suministro (SCM). Por lo tanto, la GSCM es esencial para utilizar el enfoque de toma de decisiones con criterios múltiples (MCDM) para influir en el impacto ambiental general de cualquier organización que participe en las actividades de la cadena de suministro. Más importante aún, la MCDM puede contribuir a mejorar los resultados del desarrollo sostenible, de modo que cuantificar las compensaciones entre los criterios económicos, sociales y ambientales, es decir, identificar las opciones de producción ecológica. El objetivo de este documento es definir los conceptos teóricos relacionados con el tema de la MDL y la logística, clasificar los métodos de análisis multicriterio en el ámbito de la logística y el transporte, realizar un examen de la bibliografía relacionada con la aplicación de estos métodos en la cadena de suministro ecológica, en particular la selección de proveedores ecológicos para analizar los resultados y sacar conclusiones.

Palabras clave: MCDM, proveedor verde, Logística, Transporte



Abstract

The concept of Green Supply Chain Management (GSCM) is the integration of environmental thinking into supply chain management (SCM). Therefore, GSCM is essential for using the multi-criteria decision-making approach (MCDM) to influence the overall environmental impact of any organisation involved in supply chain activities. Most importantly, MCDM can contribute to improving sustainable development outcomes by quantifying the trade-offs between economic, social and environmental criteria, i.e., identifying environmentally sound production options. The aim of this document is to define the theoretical concepts related to the topic of CDM and logistics, to classify multi-criteria analysis methods in the field of logistics and transport, to conduct a literature review related to the application of these methods in the organic supply chain, in particular the selection of organic suppliers to analyse the results and draw conclusions.

Keywords: MCDM, Green Supplier , Logistics , Transport



Agradecimientos

Dedico este proyecto a:

- *Mis queridos padres por su amor y esfuerzo a lo largo de mis años de estudio.*
- *Mis compañeros y amigos que me apoyaron durante mis estudios.*
- *Mis queridos profesores por su apoyo durante este relevante entrenamiento*

Gracias !



Índice:

Resumen.....	3
Abstract	4
Agradecimientos	5
Índice:.....	6
Índice de figuras	9
Índice de tablas	10
Abreviaturas.....	11
Capítulo I: Introducción.....	13
1. Antecedentes	14
2. Motivaciones.....	15
3. Objetivos y alcance.....	15
4. Estructura del documento.....	16
Capítulo II: La toma de decisiones y Clasificación de los métodos analíticos multicriterio (MCDM) para ayudar a la toma de decisiones.....	17
2.1 Apoyo a la decisión.....	19
2.1.1 Noción de la decisión	19
2.1.2 Apoyo a la decisión: definiciones, enfoques y procesos	20
2.1.3 Clasificación de los enfoques de apoyo a las decisiones.....	21
2.1.4 Proceso de toma de decisiones: conceptos, pasos y clasificación.....	22
2.4.1.1 Representación del problema:	23
2.4.1.2 Formulación del problema	23
2.4.1.3 Construyendo el modelo de evaluación:	23
2.4.1.4 Construcción de la recomendación final:	24
2.2 Métodos de toma de decisiones en empresas	27
2.2.1 Ámbitos de aplicación del apoyo a la decisión.....	28
2.3 Clasificación de los métodos de apoyo a la decisión	29
2.3.1 Estudio de los métodos de apoyo a la decisión multiobjetivo.....	29



2.3.2	Estudio de los métodos de ayuda a la decisión multi-atributo.....	30
2.4	Discusión de las ventajas y desventajas de los métodos de ayuda a la decisión multi-atributo.....	39
Capítulo III: Cadena de suministros.....		45
3.1	Definiciones de la cadena de suministros	46
3.1.1	Gestión de la cadena de suministro	47
3.1.2	Cadena de suministros verde	48
3.2	Decisiones estratégicas sobre productos ecológicos	50
3.2.1	Diseño de productos:	50
3.2.2	Diseño de envases	52
3.2.3	Diseño de fabricación	53
3.2.4	Recuperación de productos	53
3.3	Decisiones estratégicas de transporte ecológico.....	54
3.3.1	Selección del modo de transporte	55
3.3.2	Producción de combustibles ecológicos para el transporte	56
3.3.3	<i>Diseño de la velocidad de transporte</i>	56
3.4	Decisiones estratégicas del Fondo Verde.....	57
3.4.1	Ubicación de las instalaciones.....	57
3.4.2	Selección de los proveedores.....	59
3.4.3	Fuentes de suministro (sourcing).....	62
3.4.4	Diseño de la instalación.....	62
3.5	Decisiones tácticas de la gestión de la cadena de suministros (GSM).....	63
3.5.1	Adquisiciones	63
3.5.2	Planificación de la fabricación	64
3.5.3	Planificación del inventario	65
3.5.4	Precios de la gestión de ingresos	66
3.5.5	Planificación del transporte	67
3.5.6	Gestión de la flota	67
3.5.7	Planificación de las instalaciones	68
3.6	Decisiones operacionales del GSCM	68
3.6.1	Control de calidad del producto.....	69



3.6.2	Transporte	69
3.6.3	Instalaciones.....	71
Capítulo IV: Análisis bibliográfico MCDM –Evaluación proveedores verdes		75
4.1	Introducción	76
4.2	Metodología	76
4.3	Pregunta de investigación	77
4.4	Localizar la literatura.....	78
4.5	La selección y evaluación	79
4.6	Analizar y sintetizar	79
4.2	Aplicación de la metodología	80
4.2.1	Diagnóstico inicial.....	80
4.2.2	Identificación de la pregunta de investigación	80
4.2.3	Localizar la literatura	81
4.2.4	Criterios de la selección y la evaluación.....	84
4.2.5	Analizar y sintetizar	86
4.2.6	Presentar y Explotar	90
Capítulo V: Estudio Económico		99
5.1	Introducción	100
5.2	Personal Involucrado.....	100
5.3	Fases del proyecto.....	102
5.4	Estudio económico	103
5.4.1	Horas efectivas anuales y de las tasas por hora de los salarios.	104
5.4.2	Cálculo de amortizaciones.....	105
5.4.3	Coste de material Consumible	105
5.4.4	Costes Indirectos	106
5.4.5	Horas del personal en cada fase	107
5.5	Costes de cada fase del proyecto.....	107
5.6	Costo final.....	109
Capítulo VI Conclusiones, y futuros desarrollos.....		111
6.1	Conclusiones.....	112
6.2	Futuros desarrollos.....	113
Referencias bibliográficas		114



Índice de figuras

Ilustración 1 Proceso de decisión lineal (Fuente: Lavergne ,1983).....	25
Ilustración 2 Proceso de decisión cíclico (Fuente: Courbon ,1982).....	26
Ilustración 3 Proceso de decisión mixto (Fuente: Simon ,1977).....	26
Ilustración 4 Marco para la gestión cuantitativa de la cadena de suministro verde (Fuente: Dekker, Bloemhof y Mallidis, 2012).	50
Ilustración 5 Etapas empleadas en la metodología SLR (Fuente: Denyer and Tranfield 2009) .	77
Ilustración 6 La clasificación de los datos de la investigación.....	87
Ilustración 7 La evolución de los artículos según el periodo 2010 -2019	88
Ilustración 8 Los países que han tratado el problema de MCDM y la selección de los proveedores verdes.....	89
Ilustración 9 Porcentaje de los artículos que han tratado el tema MCDM y proveedor verde	89
Ilustración 10 Las universidades que han tratado el tema MCDM y proveedor verde	90
Ilustración 11 Porcentaje de la clasificación de los métodos multicriterios.....	91
Ilustración 12 Personal Involucrado en el proyecto	100
Ilustración 13 La duracion del proyecto.....	102



Índice de tablas

Tabla 1 La escala de Saaty para la comparación de pares (Fuente: Saaty, 2008)	31
Tabla 2 Comparación de pares de elementos en AHP	32
Tabla 3 Principales ventajas y desventajas de los métodos de apoyo a la adopción de decisiones: (Fuente Ayadi ,2010)	43
Tabla 4 Uso de energía y emisiones de los medios de transporte alternativos.....	55
Tabla 5 Criterios y subcriterios en la selección de proveedores socialmente responsables	62
Tabla 6 Resultados iniciales de artículos pertenecientes a cada motor de búsqueda	83
Tabla 7 Resumen de la metodología empleada	87
Tabla 8 Resumen de las ventajas y desventajas de los métodos utilizados en la selección de proveedores ecológicos	96
Tabla 9 Las fases del proyecto	102
Tabla 10 Dias efectivos laborales.....	104
Tabla 11 Semanas efectivas	104
Tabla 12 Costes del personal.....	105
Tabla 13 Amortizacion del equipo	105
Tabla 14 Cote de material consumible.....	106
Tabla 15 Costes indirectos	106
Tabla 16 Horas del personal en cada fase	107
Tabla 17 Coste total del fase de la panificación del proyecto	107
Tabla 18 Coste total del fase Busqueda de información	108
Tabla 19 Coste total del fase analisis bibliografico.....	108
Tabla 20 Costo total del fase Resultados /Conclusiones	109
Tabla 21 Costo total del fase presentación final.....	109
Tabla 22 Coste final del proyecto	109



Abreviaturas

<u>Acrónimos</u>	<u>Significados</u>
GSCM	Green supply chain management (cadena de suministro verde)
AHP	Proceso de Análisis Jerárquico
TOPSIS	La técnica de orden de preferencia por similitud con la solución ideal
ELECTRE	Elicitación y elección traduciendo la realidad
PROMETHEE	método de organización de clasificación de preferencias para las evaluaciones de enriquecimiento
DEA	Análisis por envoltura de datos
MILP	Programación lineal de enteros mixtos
TCDD	Los Ferrocarriles Estatales de la República de Turquía
L-P	Programación lineal
STEM	Linear Programming with Multiple Objective Functions
ANP	El proceso de la red analítica
GM	Green manufacturing (fabricación ecológica)
3PL	Third-party logistics





Capítulo I: Introducción



La vida de la empresa está marcada por muchas decisiones. Se toman todos los días, desde su creación hasta su muerte. No todos son de la misma naturaleza o importancia, esta toma de decisiones es el combustible para el proceso de gestión.

El proceso de toma de decisiones puede dividirse en tres fases: primero el estudio del entorno de la decisión y la identificación del problema, después la modelización que consiste en encontrar todos los modos de acción posibles y por último la elección, es decir que hay que seleccionar una decisión entre todas las alternativas y para llevar a cabo esta selección los responsables recurren a los métodos de ayuda a la decisión multicriterio que le corresponde de mi trabajo de fin de estudios.

La elección de este tema no es fortuita, es un tema bien escogido y de gran importancia que me permitirá hacer una búsqueda bibliográfica para comprender mejor la clasificación de los métodos de análisis multicriterio, sus aportaciones y limitaciones, la aplicación de estos enfoques en la gestión de la cadena de suministro, la selección de los proveedores verdes en particular.

1. Antecedentes

Cada empresa tiene su propio sistema de gestión y sus propias herramientas que utiliza para lograr sus objetivos principales. Sin embargo, al tomar una decisión, muchos directivos tienen dificultades para elegir la mejor alternativa, por ejemplo, una empresa que quiera seleccionar un proveedor entre otros, o un medio de transporte adecuado, o la elección de la ubicación de un almacén o un centro de distribución cuyo objetivo sea siempre optimizar los costos. Esto puede parecer simple, pero en realidad no es así en absoluto, ya que la mayoría de las empresas no dan importancia o no están muy interesadas en los enfoques de análisis multicriterio para el apoyo a la decisión. Las hipótesis que pueden existir, podemos citar:

La aplicación de estos métodos puede resultar costosa para la empresa, la empresa no tiene un cierto conocimiento sobre este tema especialmente si trabaja siempre con un sistema de gestión estándar que no corresponde a los cambios de los instrumentos de



gestión, o quizás simplemente estos métodos están excluidos de las preocupaciones de la empresa.

2. Motivaciones

Después de pasar las practicas el mes anterior en la consultoría 1A , llevando a cabo una revisión de la literatura sobre la aplicación de los métodos de análisis multicriterio en la gestión de la cadena de suministro verde, esto amplió mis motivaciones para trabajar en este tema que son : Con la pandemia del covid 19, la universidad nos facilitó el acceso a plataformas científicas, una fuente de motivación para llevar a cabo investigaciones bibliográficas que me permitieron realizar un análisis bibliográfico sobre la gestión de la cadena de suministro ecológica, leer artículos científicos y recopilar información pertinente que me sirvió para este período de investigación, otra motivación es la disponibilidad y la diversidad de los artículos que corresponden fuertemente a mi tema de trabajo y que me permitieron reunir muchas informaciones , también para profundizar mis conocimientos sobre este tema ya que me gustaría crear mi propia empresa de importación y exportación después de obtener este master y por qué no estos métodos pueden ayudarme en la elección de una alternativa durante la elaboración de mi plan de acción.

3. Objetivos y alcance

En esta labor se trata de reflexionar sobre la aplicación de los métodos de análisis multicriterio en la gestión de la cadena de suministro. Uno de mis objetivos en este trabajo es analizar los conceptos teóricos (Noción de toma de decisiones, el proceso de decisión, la gestión de la cadena de suministro verde). También pretendo descubrir los campos de aplicación de estos métodos, su clasificación, cuáles son las contribuciones de estos enfoques en términos de optimización de costes. Y es gracias a esta investigación que podré hacer un análisis bibliográfico de la aplicación de estos métodos en la cadena de suministro verde y finalmente un estudio económico.



4. Estructura del documento

Este trabajo está dividido en cinco capítulos, el primero de los cuales se ha mencionado la justificación de la elección del tema, nuestras motivaciones y los objetivos a alcanzar durante esta obra, el segundo capítulo está dedicado al estado del arte en materia de toma de decisiones, la clasificación de los métodos de análisis multicriterio de apoyo a la decisión hemos analizado los conceptos teóricos según los autores, Después de que el tercer capítulo esté dedicado a la gestión de la cadena de suministro, en particular la cadena de suministro verde, hemos definido la cadena de suministro verde y luego hemos examinado la bibliografía sobre la aplicación de enfoques multicriterio en la gestión de la cadena de suministro, ya sea a nivel de la función de logística o de transporte, a fin de ayudar a los encargados de adoptar decisiones a tomar la decisión correcta y elegir la mejor alternativa según el problema planteado. Luego el cuarto capítulo es un análisis bibliográfico de la aplicación de los métodos multicriterios en la cadena de suministro verde en particular para la selección de los proveedores.

El último capítulo será un estudio económico en el que simplemente explicaremos cuánto nos costó este proyecto.



Capítulo II: La toma de decisiones y Clasificación de los métodos analíticos multicriterio (MCDM) para ayudar a la toma de decisiones



Enfrentados a mercados inestables, cada vez más competitivos y globalizados, muchas empresas ven los límites de la optimización de sus sistemas de producción y buscan explorar nuevas fuentes de competitividad a través de la optimización de sus cadenas logísticas y de sus relaciones con sus socios (Grubbström y Wang, 2003).

Proporcionar al cliente el producto y / o servicio deseado, con condiciones de coste, calidad y plazos mejores que los ofrecidos por los competidores en el mercado es actualmente la principal preocupación de cada empresa existente en un mercado local y/o internacional. El mundo de ayer se caracterizaba por productos estándares, producciones de masa y demanda cliente generalmente predecible, hoy en día, la situación es casi lo contrario. En efecto, los clientes cada vez más exigentes imponen soluciones a medida (variedad elevada), demandas inciertas (difusas), en pequeñas cantidades y con un grado de incertidumbre (aleatorio) cada vez mayor. Un cliente puede, en cualquier momento, cambiar o cancelar su pedido, incluso si los productos están en curso de entrega.

Como atestigua Christopher (2005) *la competencia en un futuro próximo no será entre las empresas individuales sino entre cadenas logísticas o redes logísticas 'Cadena de suministro'*. El interés en el concepto de cadena de suministro es el resultado de una visión global de la empresa.

Los estudios muestran que los beneficios potenciales esperados por una empresa que se interesa únicamente por su gestión interna son muy limitados en comparación con beneficios potenciales en toda la cadena de suministro. De ahí el interés de ir más allá de las fronteras de la empresa individual y permitir una mejor coordinación de todos los socios/responsables (proveedores, centros de distribución, clientes, etc.) en la toma de decisiones con la calidad requerida aprovechando la sinergia de los socios a través de una gestión global de la cadena.

Según Arshinder (2011) hoy en día, los socios de una cadena logística (responsables de la toma de decisiones) utilizan flujos de información (sistemas de información) mutualizados cada vez más complejos y buscan una coordinación en la toma de decisiones. Esta dependencia en situaciones de toma de decisiones implica más riesgo e



incertidumbre en la gestión de las cadenas logísticas, donde los objetivos son a menudo conflictivos y los desacuerdos son bastante frecuentes. Por lo tanto, es necesario establecer un enfoque o modelo de apoyo a la decisión, en el que se tienen en cuenta las experiencias y los puntos de vista de los responsables de la adopción de métodos multicriterios. La parte siguiente presenta el conjunto de definiciones y conceptos básicos relacionados con la noción de la decisión, respectivamente. Además, la clasificación de los métodos de apoyo a la decisión, sus ventajas y desventajas.

2.1 Apoyo a la decisión

Los industriales e investigadores suelen solicitar apoyo para la toma de decisiones cuando se enfrentan a problemas complejos, podemos citar aquí el ejemplo de los directivos de una empresa que se enfrentan a un problema de selección de la ubicación de un nuevo centro de distribución entre un conjunto de posibles ubicaciones o la selección de los proveedores para la imagen verde de la empresa. Asumimos que para cada posible ubicación las consecuencias de la decisión se estudian con una precisión razonable, queda por elegir compensaciones entre los objetivos de la decisión. Este tipo de problemas induce, por lo tanto, una decisión (o conjunto de decisiones) con consecuencias de gran alcance.

2.1.1 Noción de la decisión

Mintzberg, (1979) considera que una decisión, ya sea individual o resultante de un grupo de trabajo, puede definirse como un compromiso de acción, es decir una intención explícita de actuar.

Pomerol, (1990) encuentra que la decisión es una medida adoptada para hacer frente a una dificultad o responder a un cambio de entorno, es decir, para resolver un problema individual o de organización.

Según Bouyssou, (1993) la decisión es el hecho de que los actores ejercen libremente una elección entre varias posibilidades de acción en un momento dado.



Incluso si la responsabilidad última de una decisión recae en una persona claramente identificada, suele ser el resultado de interacciones entre múltiples actores en un proceso de toma de decisiones como ha clarificado (Roy y Bouyssou, 1993):

- ✚ *Interesados:* son aquellos que, a través de sus intervenciones, condicionan directamente la decisión según el sistema de valores que poseen.
- ✚ Actores (ciudadanos, contribuyentes, etc.): son aquellos que, normalmente de forma pasiva, sufren las consecuencias de la decisión. Se supone que la decisión sólo debe tener en cuenta sus preferencias.

Simon (1977) divide las decisiones en una escala que va de la menos estandarizada a la más estandarizada:

- ✚ Una decisión sólo está bien normalizada cuando existe un proceso conocido y explicable para tratar la información que entra en el sistema de procesamiento de información.
- ✚ Una decisión es deficiente o no normalizada cuando se toma mediante un procedimiento no programado o mal programado, lo que no significa que no sea no es programable.

2.1.2 Apoyo a la decisión: definiciones, enfoques y procesos

Según Roy y Bouyssou, (1993), el apoyo a la decisión es la actividad del hombre de estudio, también llamado el analista (Tsoukiàs, 2008) que ayuda:

- ✚ Para obtener, por un lado, respuestas a las preguntas que un interesado también llamado el responsable de la toma de decisiones (Mammeri, 2013) en un proceso de decisión y por otra parte, elementos que ayudan a informar la decisión y normalmente a prescribirla.
- ✚ Fomentar un comportamiento que aumente la coherencia entre la evolución del proceso y los objetivos y el sistema de valores que se pone al servicio de un interesado.



En este sentido, Roy, (2013) apoya la idea de que el apoyo a la decisión es un proceso que utiliza un conjunto de información disponible, en un momento dado, con el fin de formular un problema y llegar a una decisión sobre un tema específico.

Roy y Bouyssou (1993) señalan que el apoyo a la decisión es sólo muy parcialmente una cuestión de encontrar la verdad. Las teorías o, más sencillamente, las metodologías, conceptos, modelos y técnicas en las que se basa la decisión tienen a menudo una ambición diferente: razonar el cambio que se está realizando, prepara un proceso de toma de decisiones para aumentar su coherencia con los objetivos y el sistema de valores de la persona para la cual, o en cuyo nombre, se está tomando la decisión la práctica.

Según Deparis, (2012), el propósito del apoyo a la decisión es formalizar un problema para aclarar cómo se harán las concesiones y ayudar a la persona que toma las decisiones, para estructurar sus preferencias.

Roy, (1989) señalan que las preferencias de la persona que toma las decisiones son esenciales en la vida de los individuos así como en la de las comunidades. Por ejemplo, señalan que sus modelos son un paso indispensable en varias disciplinas como la economía, la investigación de operaciones, la teoría de la decisión, etc.

Deparis, (2012) reconoce que el apoyo a la decisión permite asegurar, por un lado, que la acción elegida es óptima en vista de las preferencias de la persona que toma la decisión y, por otro lado, el procedimiento de toma de decisiones debe cumplir ciertas normas de racionalidad.

2.1.3 Clasificación de los enfoques de apoyo a las decisiones

Según Deparis, (2012), el apoyo a las decisiones es una actividad basada en modelos de evaluación representativos, explícita o formalmente, la realidad. En la literatura, hay varios enfoques basados en estos modelos, tres de los cuales se citan a continuación:



- ✚ Enfoque normativo: Dadas las preferencias del responsable de la toma de decisiones, ¿qué decisión es la óptima? ¿Qué reglas debe seguir un agente racional? ¿Qué modelos de decisión permiten seguir estas reglas?
- ✚ Enfoque descriptivo: ¿Cómo se comportan los verdaderos responsables de la toma de decisiones? ¿Cómo utilizan sus preferencias al tomar una decisión? ¿Cómo construyen un modelo que refleje estas observaciones?
- ✚ Enfoque de la perspectiva: ¿Cómo ayudar a un tomador de decisiones que aspira a hacer una elección racional a pesar de sus limitaciones cognitivas? ¿Cómo recoger sus preferencias? ¿Cómo construir recomendaciones para que pueda tomar una decisión de acuerdo con sus puntos de vista?

2.1.4 Proceso de toma de decisiones: conceptos, pasos y clasificación

Según Roy y Bouyssou, (1993), el concepto de decisión es difícil de separar del de proceso de toma de decisiones. En la literatura, se define como un espacio de interacción, que puede evolucionar en el espacio y en el tiempo, en el que todos los interesados comparten preocupaciones que a veces son contradictorias (Tsoukiàs 2008).

La existencia de ese espacio de interacción se justifica por la presencia de un objetivo final (preocupación). En este sentido, Mammeri, (2013) añade que el proceso de toma de decisiones es evolutivo. Esto implica que la preocupación última puede ser también.

Mammeri (2013), el proceso de apoyo a la decisión es desarrollado por el analista y por lo menos un interesado (responsable de la toma de decisiones) con el objetivo de abordar formalmente las preocupaciones sobre un problema a través de un modelo de decisión. Según Tsoukiàs, (2008), este modelo depende en parte del conocimiento del analista y el conocimiento y la información proporcionada por la persona que toma las decisiones.

El proceso de apoyo a la decisión generalmente consiste en los siguientes cuatro pasos (Mammeri 2013).



2.4.1.1 Representación del problema:

Los responsables de la toma de decisiones y los analistas que participan en la decisión,

- Sus papeles en el proceso,
- Las preocupaciones de cada uno de los responsables de la toma de decisiones en relación con el problema en cuestión,
- La importancia de cada preocupación, así como los posibles vínculos entre ellos.

2.4.1.2 Formulación del problema

En esta etapa, el responsable de la decisión identificará todas las acciones posibles (cuál será el objeto de la decisión). Según Collette y Siarry, (2011), una acción designa un objeto, una decisión, un candidato o algo así. Es sobre esta acción que se llevará a cabo un proceso de selección, clasificación o jerarquización.

Tsoukiàs, (2008) propone tres tipos de tratamiento que se pueden llevar a cabo en todas las a las alternativas:

- Sólo tratan de definir el conjunto de alternativas de manera formal sin evaluación (por ejemplo, el caso del problema de la satisfacción de las cláusulas lógicas),
- Construir un modelo para describir un subconjunto de alternativas desde una serie de perspectivas en el caso de un enfoque descriptivo (por ejemplo, el aprendizaje en estadística e inteligencia artificial).
- Repartir el conjunto de alternativas en función del problema a tratar (selección, clasificación, disposición o descripción).

2.4.1.3 Construyendo el modelo de evaluación:

En este tercer paso, el que toma las decisiones busca construir el modelo evaluación en la que basará su respuesta al problema identificado. Y construir su recomendación. Para ello, la construcción de las dimensiones (que permite caracterizar el conjunto de alternativas), criterios (que permiten evaluar todas las alternativas) y métodos o



procedimientos (permitiendo que el tratamiento deseado se lleve a cabo en todas las alternativas) es necesario, pero no necesariamente todo a la vez. Depende del tratamiento llevado a cabo en todas las alternativas. Por ejemplo, no es útil construir un modelo (o modelos) si el procesamiento sólo tiene por objeto definir el conjunto de alternativas.

2.4.1.4 Construcción de la recomendación final:

Aunque el método de valoración puede proporcionar un resultado coherente con la modelo de evaluación, esto no significa que sea con las preocupaciones los responsables de la toma de decisiones. Esto obliga, antes de dar tal recomendación, a llamar al analista para...:

- Garantizar, mediante un análisis de sensibilidad, que el resultado proporcionado no es demasiado sensible a las variaciones de los datos utilizados que no se consideran importantes para la construcción del modelo de evaluación.
- Interpretando el resultado teniendo en cuenta las suposiciones sobre la datos, el modelo de evaluación y la evolución del proceso de toma de decisiones.

Kamissoko, (2013) distingue tres categorías del proceso de apoyo a la decisión según la sucesión de fases de decisión, a saber, el proceso de apoyo a la decisión (ilustración 1), el proceso de apoyo a las decisiones cíclicas (ilustración 2) y el proceso de apoyo a las decisiones mixtas (ilustración 3).

Proceso de decisión lineal: este proceso se basa en pasos secuenciales. La ilustración 1 muestra este proceso descrito por (Lavergne1983).

Se adapta a los problemas de apoyo a la decisión con cuestiones menores y un contexto con cierta complejidad. La desventaja de este proceso es la falta de un bucle de retroalimentación.

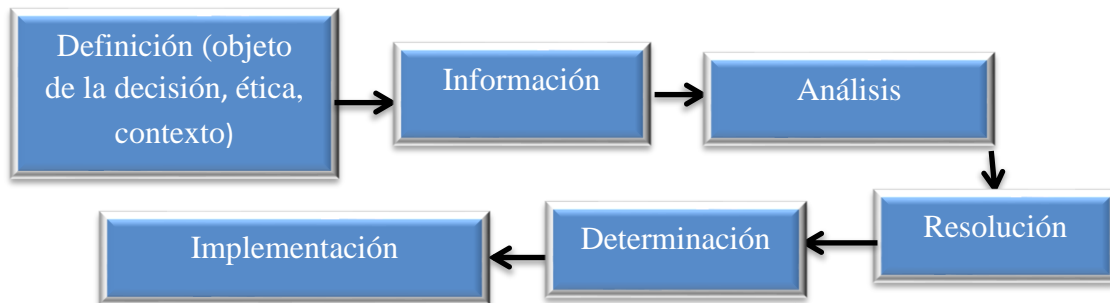


Ilustración 1 Proceso de decisión lineal (Fuente: Lavergne ,1983).

Proceso de toma de decisiones cíclico: este proceso se presenta en forma de ciclo. La ilustración 2 proporciona un ejemplo de este proceso. Es apropiado para tratar problemas de mediana complejidad. En este proceso, es posible volver a la fase de fuente de error después de un tiempo de ciclo, cuya duración varía según la situación . La principal dificultad para el analista es reducir este tiempo (Courbon, 1982)

Proceso de decisión mixto: este proceso es una combinación del proceso de decisión lineal y cíclica. La ilustración 3 muestra un ejemplo de este proceso (Simon ,1977)

Stal-Le Cardinal, (2000) apoya la idea de que la decisión es un proceso dentro de un marco de tiempo llamado marco de tiempo de decisión. Este tipo de proceso se adapta a muchos problemas de diferente complejidad.

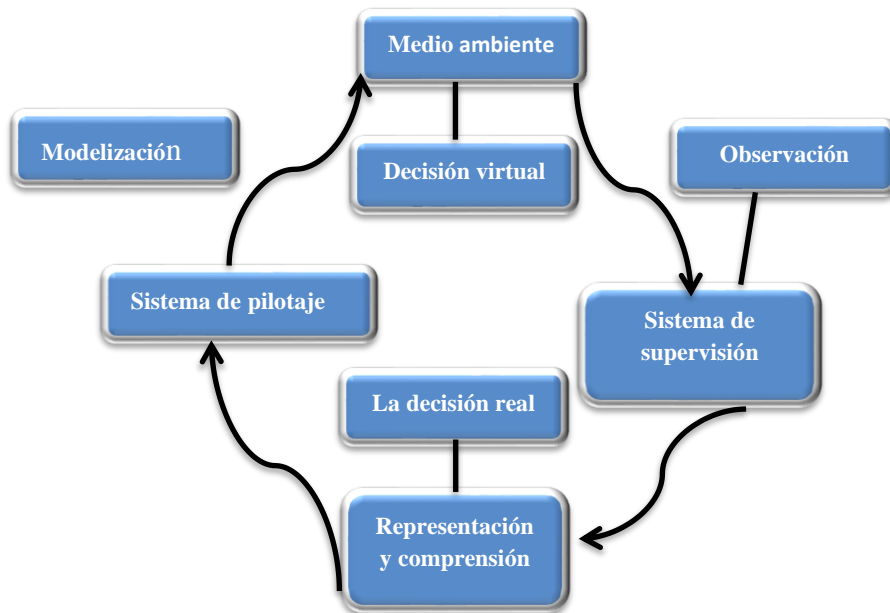


Ilustración 2 Proceso de decisión cíclico (Fuente: Courbon ,1982)

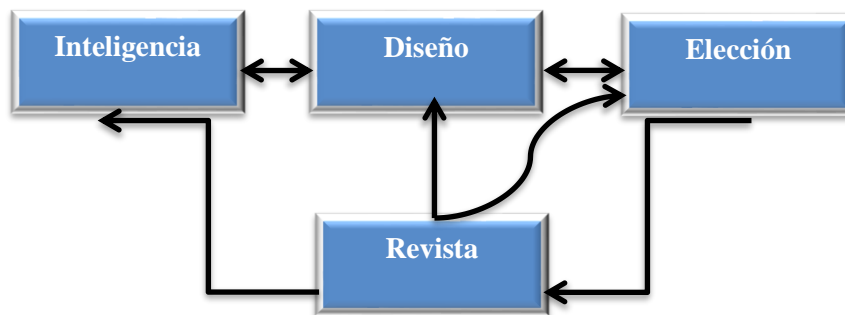


Ilustración 3 Proceso de decisión mixto (Fuente: Simon ,1977)



2.2 Métodos de toma de decisiones en empresas

La ayuda multicriterio a la decisión es un nuevo mundo de conceptos, enfoques, modelos y métodos destinados a ayudar al gestor (el responsable de la toma de decisiones) a describir, evaluar, ordenar, seleccionar o rechazar un conjunto de acciones que pueden ejercerse sobre los candidatos, productos o proyectos. Se basa en la evaluación utilizando notas (puntuaciones), valores, intensidad de preferencia, en función de un conjunto de criterios. Estos últimos pueden representar diversos aspectos como: los objetivos, las metas y los valores de preferencia, los grados de aspiración y las funciones de utilidad.

- Acción
- Clasificación
- Orden completa o parcial
- ✚ Una acción designa un objeto, una decisión, un candidato .Es en la entidad que vaya a ser seleccionada (u ordenada o clasificada).
- ✚ Un método de ayuda a la decisión permitirá pues elegir la mejor acción, o clasificar acciones en función de uno o varios criterios. En función del tipo de clasificación que se desee efectuar, podrán utilizarse diferentes tipos de reglas de clasificación o de elección.

El apoyo a la toma de decisiones es un enfoque científico de cuestiones relativas a la adopción de decisiones en cualquier contexto socioeconómico.

Dos actores principales:

- El responsable de la toma de decisiones cuyas preferencias se pretende determinar el proceso decisorio.
- El hombre de estudio que interviene en al menos uno de los 3 niveles siguientes.
 - Modelización del problema de decisión
 - Diseño o adaptación de un procedimiento de explotación del modelo solución



- Elaboración de una prescripción a partir de las soluciones

2.2.1 Ámbitos de aplicación del apoyo a la decisión

El análisis de decisiones de criterios múltiples se utiliza en diversos campos y disciplinas como la economía, los recursos gestión, producción, (Velasquez y Hester 2013).

- ✓ Organización de una gira de distribución
- ✓ Elaboración del plan de producción de una fábrica
- ✓ Creación de una cartera de acciones
- ✓ Evaluación de expedientes de crédito
- ✓ Selección de proyectos de I+D
- ✓ Importación y exportación

Generalmente, cualquier problema que presente tanto un reto como una dificultad.

- ✓ Las dificultades combinatorias: explosión combinatoria.
- ✓ Las dificultades relacionadas con la incertidumbre mala, intuición humana, límites de las aproximaciones probabilistas.
- ✓ Las dificultades multicriterias .Los criterios son : A menudo conflictivos: la noción de óptimo pierde aquí todo significado comprometido
- ✓ A menudo inconmensurables : a veces cualitativos (dictamen de experto)

Durante muchos años sus áreas de aplicación han sido números campos que abarca la logística y el transporte y un número significativo de documentos científicos confirman su utilidad en estos ámbitos de la toma de decisiones.

Żak y Węgliński (2014), los problemas de clase ampliamente discutidos constituyen aquí, por ejemplo, la evaluación de los sistemas logísticos en las ciudades sistemas, sistemas de transporte, sistemas de transporte dentro de la gestión de la cadena de suministro (SCM). La cuestión de SCM a su complejidad y la multitud de problemas en varios niveles de gestión es ampliamente discutida en la literatura científica con respecto al uso de métodos de métodos multicriterios atributos (MCDA) para resolver decisiones específicas problemas.



Según Mammeri (2013) la ayuda a la decisión es obtener, por un lado, elementos de respuesta a las preguntas que se plantea un participante llamado también el responsable de la toma de decisiones, es un proceso de toma de decisiones y por otra parte, elementos que contribuyen a la decisión y normalmente la prescriben, fomentar por una parte, un comportamiento que permita aumentar la coherencia entre la evolución del proceso y, por otra parte, los objetivos y el sistema de valores al servicio de los cuales se encuentre un participante al tiempo que se basan en modelos de evaluación claramente explícitos, pero no necesariamente completamente formalizados.

En este sentido, Roy, (2013) apoya la idea de que la ayuda a la toma de decisiones es un proceso que utiliza un conjunto de información disponible, en un momento dado, para formular un problema y llegar a una decisión sobre un objeto preciso.

En el proceso de decisión, la presencia de un conjunto de criterios a menudo conflictivos y contradictorios, aunque da al responsable de toma de decisiones la posibilidad de expresar sus preferencias, crea una fuente de conflicto. Por lo tanto, la toma de decisión en un contexto multi-criterio es complejo y difícil. Damos el ejemplo de un responsable que se enfrenta a un problema de selección de una localización para implantar un nuevo centro de distribución frente a diferentes criterios, incluyendo la conectividad de la ubicación con diferentes modos de transporte (a maximizar) y el coste del terreno (a minimizar). Satisfacer ambos criterios a la vez no siempre es evidente. Por lo tanto la solución es responder a cada objetivo a un nivel determinado.

2.3 Clasificación de los métodos de apoyo a la decisión

2.3.1 Estudio de los métodos de apoyo a la decisión multiobjetivo

Los métodos de ayuda a la decisión multiobjetivo tienen por objeto encontrar la mejor alternativa teniendo en cuenta las diferentes interacciones entre las limitaciones del problema planteado, esta alternativa es la que mejor satisface el conjunto de los objetivos. Los métodos pertenecientes a esta familia de apoyo a la decisión



multiobjetivo tienen varias características cuyas características comunes son las siguientes: un conjunto de objetivos cuantificables y un conjunto de limitaciones bien definidas. Los métodos propuestos para resolver los problemas de ayuda a la decisión multiobjetivo son numerosos en la literatura. Como ejemplo citamos el Goal programming, el método Lexicográfico, las métricas L-P, el método de Geoffrion, el Goal programming STEM y el método de investigación adaptativa...

2.3.2 Estudio de los métodos de ayuda a la decisión multi-atributo

En esta familia de métodos por lo general, el problema a tratar implica un número limitado de alternativas predeterminadas. Estas alternativas satisfacen cada objetivo a un nivel determinado. El responsable elige la o las mejores soluciones entre todas las alternativas en función de la prioridad de cada objetivo y la interacción entre ellas. Hay varios métodos para resolver los problemas de ayuda a la decisión multi-atributo, en esta sección nos centraremos más en los métodos más utilizados. Presentamos las particularidades de los métodos siguientes: el proceso de análisis Jerárquico (AHP), la técnica para la orden preferiblemente por similitud de solución ideal (TOPSIS) y los métodos de ascenso de categoría incluyendo el Preference Ranking Organisation Method (PROMETHEE) Evaluaciones y la Eliminación y elección traduciendo la realidad (ELECTRE), solución de compromiso y optimización multicriterio (VIKOR) y SP (suma ponderada). Así, abordamos en la continuación, las ventajas y los inconvenientes de esos métodos.

2.3.2.1 Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)

AHP es desarrollado por Saaty (1982, 1988, 1995). Pertenece a la teoría de múltiples atributos (MAUT) variantes, donde los criterios se agregan completamente en una sola función de utilidad que toma las preferencias del tomador de decisiones (Brucker y otros, 2004).

El método AHP se basa en tres principios:

- ✓ Construcción de una jerarquía
- ✓ Establecimiento de prioridades



- ✓ Coherencia lógica Macharis y otros, (2004).

En primer lugar, se utiliza una jerarquía para descomponer el sistema complejo en sus elementos constitutivos. Una jerarquía tiene al menos tres niveles: el objetivo general o el enfoque en la parte superior, los (sub- objetivos (criterios) en los niveles intermedios y las alternativas consideradas en la parte inferior (Macharis y otros, 2004) y (Dagdeviren, 2008).

En segundo lugar, las prioridades relativas de cada elemento de la jerarquía se determinan comparando todos los elementos del nivel inferior con los criterios, con los que un casual existe una relación. Las comparaciones de pares múltiples se basan en una escala de comparación estandarizada de 9 niveles, la Tabla 1 (Saaty, 2008).

El resultado de las comparaciones de pares se resume en la matriz de comparación de pares (Tabla 2), donde el elemento estándar $P_c(a_i, a_l)$ indica la intensidad de la preferencia del elemento de fila (a_i) sobre el elemento de columna (a_l) en términos de su contribución a un criterio específico C .

Por último, la coherencia de los responsables de la toma de decisiones, así como la jerarquía, pueden evaluarse mediante la relación de coherencia (Wang y Yang, 2007).

Intensidad de la importancia	Definición
1	Igual importancia
3	Importancia moderada
5	Mayor Importancia
7	Mucho más importante
9	Dominio total
2,4,6,8	Valores intermedios
1/2 , 1/3, 1/4 , ...1/9	Recíprocos

Tabla 1 La escala de Saaty para la comparación de pares (Fuente: Saaty, 2008)



C	a_1	...	a_i	...	a_n
a_1	1				
...		[1]			
a_i			$P_c(a_i, a_1)$		
...				[1]	
a_n					1

Tabla 2 Comparación de pares de elementos en AHP

AHP es probablemente el método multicriterio más ampliamente aplicado para la evaluación de diversos proyectos de transporte relacionados con temas de decisión organizativos, tecnológicos, medioambientales e infraestructurales como han clarificado (Ferreira, 2002); (Tudela y otros, 2006); (Sharifi y otros, 2006); (Janic, 2003); (Tzeng y otros, 2005), etc.

AHP es especialmente ventajoso con respecto a su capacidad de descomponer un problema complejo en sus partes constituyentes y su simplicidad en el uso; (Macharis y otros, 2004); (Dagdeviren, 2008); (Konidari y Mavrakakis, 2007).

Por otra parte, a menudo se critica al AHP con respecto a la agregación completa de los criterios, lo que podría dar lugar a importantes pérdidas de información (por ejemplo, en caso de que se produzcan compensaciones entre buenas y malas puntuaciones en los criterios). Además, la cantidad de comparaciones de pares para la evaluación de las alternativas en términos de su contribución a los criterios podría llegar a ser sustancialmente alta (Macharis y otros, 2004).

2.3.2.2 Solución de compromiso y optimización multicriterio (VIKOR)

VIKOR, que significa VlseKriterijumska Optimizacija Opricovic (1998), propuso la optimización multicriterio y soluciones eclécticas en "I Kompromisno Resenje" en serbio, el método VIKOR funciona estableciendo primero una lista de clasificación de compromiso, estabilidad de peso de las soluciones de compromiso y soluciones de compromiso de intervalo (Opricovic, 1998); (Opricovic y Tzeng, 2004).



Luego determinando las soluciones ideales positivas y negativas para facilitar la clasificación y la selección (Wu y Liu, 2011).

El principio básico del método VIKOR MCDM es prestar atención a la clasificación y selección de alternativas. Hay múltiples conflictos o normas incomparables (Chang, 2014).

Según Opricovic, (2011) , al igual que la mayoría de las tecnologías MCDM, el método VIKOR también se ha ampliado para tener en cuenta la subjetividad y los datos inexactos en entornos difusos. Desde entonces, el uso del método difuso VIKOR ha puesto en primer plano muchos requisitos de diferentes disciplinas.

Según Yücenur y Demirel (2012), el VIKOR difuso se utiliza para seleccionar seguros en el proceso de toma de decisiones de grupo.

Wang y Chang (2005) también adoptaron el VIKOR difuso para resolver problemas de MCDM.

Este método es utilizado por Sanayei y otros, (2010) para resolver problemas en la selección de proveedores. Para Shemshadi y otros (2011), el método se modificó usando métricas de entropía para la ponderación objetiva. Chen y Wang (2009) utilizan el difuminado VIKOR para optimizar los socios seleccionados en los proyectos de subcontratación.

2.3.2.3 Método de suma ponderada

El método de la suma ponderada es a la vez el más simple y el más conocido en el campo de la toma de decisiones con criterios múltiples. Como su nombre indica, el método de la suma ponderada consiste en ponderar los diferentes criterios del problema de decisión multicriterio con números reales llamados pesos, que representan la importancia de cada criterio en el proceso de decisión. Una vez que se cuantifica la importancia de los diferentes criterios, el método elige la acción que minimiza o maximiza la suma ponderada de los criterios.

Matemáticamente, la función de agregación V toma la siguiente forma:



$$g(a) = \sum_{i=1}^n W_i A_i$$

$$w_i \in [0, 1]$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1$$

2.3.2.4 Técnica para la Orden de Preferencia por similitud de solución ideal (TOPSIS)

La Técnica para la Preferencia de Pedido por Similitud a la Solución Ideal (TOPSIS) desarrollada por Hwang y Yoon es una técnica para evaluar el desempeño de alternativas a través de la similitud con la ideal solución. Según esta técnica, la mejor alternativa sería la más cercana a la solución positiva-ideal y la más alejada de la solución negativa-ideal. La solución positiva-ideal es aquella que maximiza los criterios de beneficio y minimiza los criterios de costo. La solución negativa-ideal maximiza los criterios de coste y minimiza los criterios de beneficio. En resumen, la solución positiva-ideal se compone de todos los mejores valores alcanzables de criterios, y la solución negativa-ideal consiste en todos los peores valores alcanzables de criterios.

TOPSIS también se ha ampliado para tratar, de forma directa, datos expresados como distribuciones de probabilidad mediante la distancia de Hellinger. Esto significa que el TOPSIS con distancia Hellinger ha abierto una nueva posibilidad para la clasificación de alternativas expresadas en términos de distribuciones de probabilidad en el contexto de problemas MCDM. Debido a la naturaleza estocástica de los algoritmos evolutivos, en muchos casos el rendimiento de algoritmos evolutivos se expresan en términos de media y desviación estándar. No es necesario conocer la distribución exacta de la solución de un algoritmo. Por el teorema del límite central, sabemos que $\bar{X} \rightarrow N(\mu, \sigma^2/r)$. Por lo tanto, si el algoritmo se realiza veces r con r suficientemente grande, podemos aproximar la distribución de la media de los resultados por la distribución gaussiana y aplicar el Hellinger-TOPSIS para proporcionar un orden de rango de los algoritmos de una manera directa. En el contexto de la comparación de algoritmos, las alternativas consisten en múltiples algoritmos y los criterios son los puntos de referencia.



Las escuelas francesas y belgas han introducido el concepto de agregación parcial, en el que solo se aprecian parcialmente las consecuencias de los diferentes juicios, este enfoque se denomina a veces enfoque de la superación de síntesis que acepta la incomparabilidad. En este enfoque se construyen relaciones de ascenso para representar las preferencias del responsable de tomar decisiones teniendo en cuenta la información disponible. Antes de construir estas relaciones de ascenso, se introducen umbrales de discriminación sobre la preferencia y la indiferencia y a veces incluso umbrales de veto para cada uno de los criterios, esto modela localmente preferencias del responsable. En el enfoque de la mejora de la clasificación, se comparan las acciones dos con dos para comprobar si una de las acciones supera la otra, a partir de estas comparaciones se realiza una síntesis. Los métodos se distinguen por la manera de realizar estas dos etapas. En principio, una acción a tiene una acción b si a es al menos tan buena como b en una mayoría de criterios (condición de concordancia) sin ser mucho peor en relación con los demás criterios (condición de no discordancia).

Además, los métodos de mejora de la clasificación aceptan criterios de carácter cualitativo e incommensurable. Se suele distinguir un índice de concordancia (a, b) local al criterio i o global $c(a, b)$, del mismo modo para el índice de discordancia. Según los métodos utilizados, el índice de concordancia puede ser binario o lineal por trozos. Una vez calculados todos los índices locales, la media ponderada de estos índices por el peso de los criterios da el índice de concordancia global. Esta relación de ascenso se explota con el fin de responder a las diferentes problemáticas, en particular la elección, la clasificación, el almacenamiento y la descripción. Desde el punto de vista práctico, la ventaja de estos métodos de clasificación es que requieren una información menos rica e hipótesis menos restrictivas (Mammeri, 2013):

- ✓ Los criterios no son totalmente compensatorios
- ✓ No se impone la transitividad de las preferencias
- ✓ La heterogeneidad de las escalas no es un problema (escalas ordinales, intervalos o proporciones) al agregar los criterios.
- ✓ la incomparabilidad, la vacilación y la indeterminación se tienen en cuenta. Esto permite tener en cuenta, además de las de preferencia e indiferencia, la situación de incomparabilidad $a \sim b$ y de preferencia baja $a \succ b$.



- ✓ El modelo de mejora de clasificación podrá basarse tanto en la información cualitativa como en la información cuantitativa.

Entre los métodos de mejora de la clasificación, presentamos a continuación dos grandes familias de métodos: la eliminación y elección traduciendo la realidad (ELECTRE) Y preference ranking organisation method for enrichment evaluations (PROMETHEE) con sus diferentes versiones.

2.3.2.5 *Métodos de Eliminación Y Elección Traduciendo la Realidad (ELECTRE)*

Para los métodos ELECTRE, la mejora de clasificación de a sobre b (asb) (a y b son dos alternativas) se basa en dos principios, en particular, la concordancia y la no discordancia (Bouyssou, 2000) (Bouyssou y otros, 2006)

- ❖ *La concordancia:* este principio asegura la obligación de que una mayoría suficiente de criterios, representados por su peso, estén a favor de la afirmación $a \geq b$. La importancia de la coalición de criterios que están a favor de la afirmación en cuestión está representada por un índice de concordancia.
- ❖ *La no discordancia:* después de la aplicación de la condición de concordancia, el principio de discordancia funciona como un veto en una selección. Este principio garantiza el respeto de las minorías, donde no debe haber un criterio que se oponga fuertemente al ascenso de a sobre b. Esto significa que no debe existir ningún criterio en el que la ventaja de b sobre a contradiga fuertemente la afirmación asb. En este principio existe un indicio de no discordancia. Este último indica la existencia de un criterio que emite un veto sobre la afirmación.

Discutimos, a continuación, la diferencia entre las diferentes versiones de la familia ELECTRE, en particular ELECTRE I, II, III, IV y TRI.

✚ *El método ELECTRE I:*

Roy, (1968) el método ELECTRE I se desarrolla para tratar el problema de elección ($P\alpha$). El objetivo es obtener como resultado una elección o un procedimiento de



selección según un grupo de criterios, precisamente los verdaderos criterios, cuyo poder discriminador se caracteriza por la relación de preferencia estricta o de indiferencia (sin umbral). Para alcanzar este objetivo, el método ELECTRE I tiene por objeto seleccionar un subconjunto de alternativas que contiene las alternativas adecuadas, incluido sin duda el mejor compromiso buscado que será elegido por el responsable.

El método ELECTRE IS:

Este método es propuesto por Roy y Skalka, (1987) e inspirado en el método ELECTRE I. La diferencia entre los dos métodos es que el método ELECTRE IS se adapta al caso en que los criterios son pseudocriterios, donde el poder discriminante está marcado por dos umbrales: un umbral de preferencia y un umbral de indiferencia.

El método ELECTRE II:

El método ELECTRE II Roy y Bertier, (1973) Roy, (1974) tiene por objeto abordar el problema del almacenamiento (Py). El objetivo es ordenar las alternativas potenciales de la mejor a la menos buena siguiendo un conjunto de verdaderos-criterios. La diferencia de este método con respecto al método ELECTRE I radica en la existencia de dos relaciones de ascenso: La alta clasificación y la baja.

El método ELECTRE III:

Del mismo modo, el método ELECTRE III Roy, (1978) es aplicable al caso resolución de la problemática de la ordenación P (Y), cuyo objeto es tener las alternativas potenciales ordenadas. Este método se considera una mejora del método ELECTRE II mediante la adición de pseudocriterios y la capacidad de acomodar datos imprecisos, inexactos e incluso poco fiables. Es mucho más sofisticada que ELECTRE II y se considera demasiado complicada y difícil de interpretar (Roy, 1989).

El método ELECTRE IV

El método ELECTRE IV Roy y Hugonnard, (1982) procede también de la problemática (Py). Se basa, como ELECTRE IS y ELECTRE III, en pseudocriterios. Aunque a menudo es difícil definir los coeficientes de importancia relativa de cada uno de los criterios, este método no introduce ponderaciones de los mismos. Esto no pasa por alto la importancia de cada criterio, pero implica que cada criterio no se pasa por alto en



comparación con otro (Roy,1989).

Las hipótesis de ascenso, la concordancia y la discordancia en este método se abandonan.

El método ELECTRE TRI:

ELECTRE TRI Roy y Boussou, (1993) tiene por objeto resolver la problemática de la clasificación $P(\beta)$. El objetivo es clasificar las alternativas potenciales y afectarlas en diferentes categorías. Estas últimas están separadas por alternativas de referencia.

Este método permite el tratamiento de un mayor número de alternativas, ya que la comparación se hace entre las alternativas potenciales y las alternativas de referencia.

Se destacan dos grandes dificultades para la aplicación de ELECTRE TRI. Por Collette y Siarry, (2011), en particular: la comparación de cada alternativa con las otras alternativas que limitan las diferentes categorías no siempre es posible y la definición de las categorías, a priori, ya que está vinculada a la elección de las alternativas de referencia.

2.3.2.6 Los métodos de Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations (POMETHEE) :

Presentamos en esta parte los diferentes métodos de la familia PROMETHEE: PROMETHEE I, II, III, VI (Mareschal y otros, 1984) (Brans y Vincke, 1985) (Brans y otros, 1986).

PROMETHEE I:

El método PROMETHEE I tiene por objeto utilizar una relación de ascenso valorada para construir un pre orden parcial de las alternativas. El objetivo es encontrar una solución al problema de la elección $P(\alpha)$. Este método no garantiza necesariamente la clasificación de todas las alternativas. Por lo tanto, algunas alternativas pueden seguir siendo incomparables. Esto puede ser muy útil para la toma de decisiones desde el punto de vista de pre orden parcial que puede contener más información.



PROMETHEE I se aplica cuando los criterios son pseudocriterios y se basa exclusivamente en un análisis de concordancia.

PROMETHEE II:

El método PROMETHEE II tiene como objetivo la resolución del problema de la elección $P(\alpha)$ y el problema de almacenamiento $P(\gamma)$. Contrariamente al método PROMETHEE I, consiste en construir un pre orden completo de las alternativas. En efecto, la utilización de este orden previo completo se considera más simple por el responsable solicitado para dar una respuesta al problema de decisión.

PROMETHEE III:

El método PROMETHEE III es una extensión de PROMETHEE II. Su objetivo es ampliar la noción de indiferencia, debida al orden previo completo de los alternativas, existentes en PROMETHEE II.

PROMETHEE IV:

Este método también amplió el método PROMETHEE II. Responde al problema de elección $P(\alpha)$ en el caso de un conjunto infinito de alternativas. Estas alternativas pueden ser, por ejemplo, dimensiones de un producto, las composiciones de una aleación y las inversiones, etc...)

2.4 Discusión de las ventajas y desventajas de los métodos de ayuda a la decisión multi-atributo.

Los métodos de ayuda a la decisión multi-atributo antes citados, permiten ayudar al responsable de tomar una decisión coherente. Sin embargo, esto no significa que esté preocupado por la problemática planteada. Ayadi, (2010) resume las ventajas y desventajas de cada método, como se muestra en la tabla 3.



<u>Métodos</u>	<u>Ventajas</u>	<u>Desventajas</u>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ AHP 	<p>La estructura jerárquica del problema de decisión.</p> <p>Escala semántica utilizada para expresa las preferencias del responsable.</p>	<p>La explosión del número de comparaciones por pares en caso de tratamiento de un gran número de elementos.</p> <p>El cambio de rango de las alternativas como consecuencia de la supresión/adición de una o varias alternativas.</p> <p>La combinación de una escala numérica a escala semántica es restrictiva.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Suma ponderada 	<p>La simplicidad y la facilidad de uso del método.</p> <p>Permite obtener un resultado numérico.</p> <p>Permite obtener una clasificación completa de las acciones.</p>	<p>La interpretación de los pesos no es muy clara porque incluyen ambos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - la noción de importancia relativa de los criterios. - un factor para estandarizar las escalas de los criterios. - la elección de los coeficientes de ponderación, que requiere un conocimiento previo del problema. <p>No hay una correspondencia intuitiva entre los valores de peso y la solución óptima propuesta por suma</p>



		ponderada
<ul style="list-style-type: none"> ▪ VIKOR 	<p>La técnica VIKOR ayuda a determinar la mejor alternativa en una serie de situaciones estándar. La mejor elección puede obtenerse analizando los pesos de las diversas áreas de aplicación y estándares.</p>	<p>El grado de complejidad para determinar la solución de compromiso mediante el cálculo de la utilidad y el arrepentimiento de cada alternativa es muy alto.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ TOPSIS 	<p>La introducción de nociones ideales y anti-ideales. Fácil de aplicar.</p>	<p>La obligación de que los atributos deben ser de carácter cardinal. En caso de que todas las alternativas sean malas, TOPSIS ofrece la mejor alternativa entre las malas. El carácter arbitrario de la elección de la distancia al punto ideal y al punto anti-ideal.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ EEELECTRE II 	<p>La clasificación de los nativos de los mejores a los menos buenos.</p>	<p>La exigencia de las evaluaciones cardinales y la articulación a priori de las preferencias.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ ELECTRE III 	<p>La clasificación de alternativas de las mejores a las peores. La aceptación de la noción difusa en las elecciones del</p>	<p>La necesidad de un gran número de parámetros técnicos. Demasiado complejo y a veces difícil de</p>



	responsable y la introducción del umbral veto.	interpretar.
▪ ELECTRE IV	La asociación a cada criterio de los umbrales de preferencias y la sobrepresión de la ponderación de los criterios.	La necesidad de un gran número de parámetros técnicos.
▪ ELECTRE TRI	La capacidad de tratamiento de un gran número de alternativas.	La necesidad de un gran número de parámetros técnicos. La imposibilidad en ciertos casos de comparar cada alternativa con las diferentes categorías. La definición de las categorías relacionadas con la elección de las alternativas de referencia.
▪ PROMETHEE I	La construcción de la relación de sobrevaloración valorada refleja una intensidad de preferencia.	En la práctica, la indiferencia es muy rara debido a los numerosos cálculos para obtener los flujos.
▪ PROMETHEE II	La construcción de un preorden total que excluye la incomparabilidad y reduce fuertemente la indiferencia.	Las comparaciones de dos a dos solo sirven para ocultar el cálculo de la puntuación final de cada alternativa.
▪ PROMETHEE III	La introducción de umbrales de indiferencia sobre los flujos, lo que minimiza los	Los umbrales de indiferencia no tienen una interpretación concreta



	numerosos cálculos para la obtención de estos flujos.	para el responsable de la toma de decisiones. Estos umbrales son objeto de cálculos estadísticos que hacen que POMETHEE III sea menos accesible
▪ PROMETHEE IV	El interés teórico aportado y el tratamiento de los conjuntos infinitos de alternativas.	La necesidad de calcular las integrales en lugar de las sumas.

Tabla 3 Principales ventajas y desventajas de los métodos de apoyo a la adopción de decisiones: (Fuente Ayadi, 2010)

Conclusión del capítulo II:

En este capítulo hemos visto la ayuda a la decisión multi-criterio. Primero abordamos los enfoques y las definiciones de la noción de decisión, proceso de decisión. En segundo lugar, nos interesamos en la clasificación de algunos de los métodos de ayuda a la decisión multi-atributo que constituyen la base de nuestras contribuciones en este trabajo. En consecuencia, hemos destacado las principales ventajas y desventajas de cada método.





Capítulo III: Cadena de suministros



3.1 Definiciones de la cadena de suministros

La literatura dedicada al estudio de las cadenas de suministro es muy rica. En esta sección, recordamos algunas definiciones del concepto de cadena de suministro. Aunque el concepto de cadena de suministro afecta a diferentes sectores de actividad (industria de servicios e industria manufacturera), la complejidad de la cadena varía de una industria a otra y de una empresa a otra. Las definiciones que se presentan a continuación son bastante generales y abarcan diferentes sectores de actividad.

Para Fox (2002) *la cadena de suministro es una red de proveedores, fábricas, almacenes, centros de distribución y minoristas a través de la cual las materias primas son adquiridas, transformadas y entregadas al cliente.*

Fénies y otros, (2004) *definen una cadena de suministro como una red global de organizaciones que cooperan para reducir los costos y aumentar la velocidad de los flujos de material e información entre proveedores y clientes.*

Conjunto de actividades y recursos dedicados a la circulación de productos y materias (Morana y Paché, 2003)

Método de análisis del entorno empresarial innovador (Roussat y Fabbe-Costes, 2008)

Conjunto de actividades y operaciones que apoyan diferentes funciones relacionadas con los productos (Paché, 2005)

En términos generales, una cadena de suministro incluye la transformación y el transporte de los productos, desde los componentes y las materias primas, pasando por las diferentes fases de producción, montaje, almacenamiento y distribución, hasta la obtención de los productos acabados. Además de los flujos de materiales, una cadena de suministro tiene otros dos flujos de información y financieros, respectivamente. Cada fase de transformación o distribución de los productos puede implicar entradas procedentes de varios proveedores y salidas destinadas a varios clientes intermediarios,



con también diferentes flujos de información. Una cadena de suministro se denomina global si sus sitios están localizados o pueden estar localizados en diferentes países en el momento de su diseño. En este caso, deben tenerse en cuenta aspectos relativos a la importación y la exportación como los tipos de cambio, los impuestos aduaneros, los seguros y las legislaciones.

3.1.1 Gestión de la cadena de suministro

Existen diversas definiciones del concepto de gestión de la cadena de suministro. Según Simchi-Levi y otros, (2003), La gestión de una cadena de suministro es un conjunto de enfoques utilizados para integrar eficazmente a los proveedores, productores y centros de distribución, de manera que la mercancía se produzca y distribuya con una buena cantidad, en el lugar y el momento adecuados para minimizar los costes de producción y garantizar el nivel de servicio requerido por el cliente.

Fox (2002) define la gestión de la cadena de suministro como la toma de decisiones a los niveles estratégico, táctico y operativo que optimizan el rendimiento de la cadena de suministro. Por lo tanto, lo más importante que hay que comprender es el contexto de la toma de decisiones de la cadena de suministro.

A fin de situar los distintos problemas de gestión de las cadenas de suministro, las decisiones correspondientes se agrupan generalmente en tres niveles jerárquicos estratégicos, tácticos y operacionales, respectivamente.

Decisiones estratégicas

Esta es la política a largo plazo de la empresa. Mira hacia delante de dos años, estas decisiones tienen repercusiones sobre el rendimiento y la sostenibilidad de la empresa.

La configuración de la cadena, en particular la ubicación de los diferentes emplazamientos (proveedores, fábricas, centros de almacenamiento y distribución) y la elección de los diferentes modos de transporte son decisiones estratégicas que las empresas buscan optimizar en primer lugar.



Decisiones tácticas

Las decisiones del nivel táctico permiten producir al menor coste para satisfacer las demandas previsibles, dentro del marco establecido por el plan estratégico de la empresa (es decir, con recursos materiales y humanos conocidos). Están previstas para un horizonte de menos de 18 meses, como por ejemplo la determinación de las cantidades a abastecer, la definición de un plan de distribución, etc.

Decisiones operacionales

El nivel operativo se ocupa de las decisiones cotidianas de la cadena de suministro a corto plazo para garantizar el funcionamiento cotidiano de la cadena. Ejemplos de esas decisiones son la planificación, la gestión de existencias, el encaminamiento y la carga de camiones. Además, las cuestiones del control físico de las operaciones de fabricación diarias, como el mecanizado, el envío, la transferencia, el mantenimiento y la manipulación, se tratan a nivel operacional (Ding, 2004); (Thierry y otros, 2008).

Estos tres niveles de decisiones de gestión de la cadena de suministro se diferencian en al menos tres elementos:

- Por el horizonte de tiempo considerado. Las decisiones operativas se toman diariamente. Las decisiones tácticas se refieren a la planificación a medio plazo. Las decisiones estratégicas se refieren a la planificación a largo plazo.
- Por el nivel de agregación. Las decisiones operativas se toman a nivel de taller, las decisiones tácticas a nivel de fábrica y las decisiones estratégicas a nivel de toda la empresa.
- Por el nivel de responsabilidad. Las decisiones operativas son tomadas por los agentes de control, las decisiones tácticas por los directivos y las decisiones estratégicas por la dirección general de la empresa.

3.1.2 Cadena de suministros verde

Los efectos ambientales y sociales del calentamiento de la tierra han alterado las percepciones de los consumidores sobre el comportamiento ambiental de las ofertas de las empresas y redes de cadenas globalizadas. A este respecto, las empresas no sólo se



preocupan por la rentabilidad de sus cadenas de suministro, sino también por sus repercusiones ambientales, ya que éstas pueden afectar a las preferencias de sus consumidores (Ministerio de Trabajo de Chipre, 2006). Los métodos cuantitativos se utilizan ampliamente para reducir los costos de logística y son eficaces para reducir el impacto ambiental de la cadena de suministro. Por esta razón, los interesados deben ser conscientes de la importancia de estos métodos de apoyo a las decisiones para:

- Proporcionan una visión general de las decisiones clave que pueden afectar el desempeño ambiental de los tres principales en una cadena de suministro : a saber
 - los productos
 - Instalaciones
 - El transporte, al tiempo que se identifican los modelos cuantitativos utilizados para cuantificar este rendimiento
- Reducir los impactos y los costos ambientales y
- Por consiguiente, la buena gestión de la cadena de suministro.

Brandenburg y otros (2014) proporcionan un examen reciente de los modelos verdes cuantitativos. Los autores presentan un amplio estudio sobre la gestión de la cadena de suministro sostenible una revisión de la literatura, centrándose en las políticas cuantitativas clasificadas por función objetiva, la metodología de investigación utilizada y el tipo de elemento de sostenibilidad de la cadena de suministro. En este capítulo diseñaremos la literatura que identifica todas las decisiones de gestión de la cadena de suministro asociadas a los productos, instalaciones y transporte. En capítulo anterior vimos los tres tipos de estrategias de decisión en la empresa pero de manera general. En la próxima sección desarrollaremos estrategias de gestión de la cadena de suministro. Las decisiones estratégicas de gestión de la cadena de suministro, las decisiones de diseño estratégico son decisiones a largo plazo, que suelen durar más de un año, e implican



decisiones como el diseño de productos ecológicos, el envasado, la fabricación y las instalaciones, la elección del modo de transporte, la ubicación de las instalaciones y la recuperación de los productos, como se muestra en la ilustración siguiente.

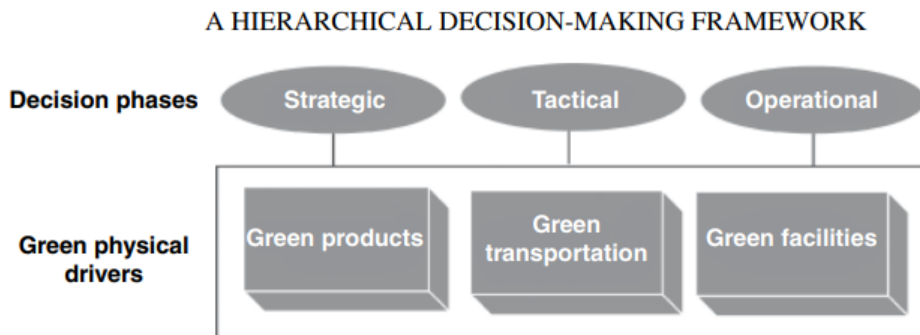


Ilustración 4 Marco para la gestión cuantitativa de la cadena de suministro verde (Fuente: Dekker, Bloemhof y Mallidis, 2012).

3.2 Decisiones estratégicas sobre productos ecológicos

Los productos son los principales componentes de una cadena de suministro, su impacto ambiental juega un papel muy interesante en el desempeño general de la cadena de suministro. Este impacto depende de cómo se diseñan, empaquetan, fabrican y, finalmente, de si pueden o no recuperar su valor.

3.2.1 Diseño de productos:

El diseño de productos respetuosos con el medio ambiente implica diseñar un producto de manera que sus sustancias tóxicas se reduzcan al mínimo durante el proceso de fabricación y su secuencia de desmontaje cumpla los requisitos de reciclaje y recuperación de manera rentable (Chu y otros, 2009).

Bovea y Belis (2012) presentan un examen actualizado de los métodos apropiados empleados para evaluar los aspectos ambientales del diseño de productos, junto con las herramientas de diseño ecológico empleadas para incorporar los aspectos ambientales en el diseño de los productos.



Estas herramientas de eco diseño se clasifican además según los siguientes seis criterios:

- El método aplicado para su evaluación ambiental
- Los requisitos del producto que deben integrarse además del ambiental (enfoque multicriterio)
- Si el instrumento tiene una perspectiva de ciclo de vida (es decir, considera todas las etapas del ciclo de vida de un producto)
- La naturaleza de los resultados (cualitativos o cuantitativos)
- Las etapas del proceso de diseño conceptual en las que puede aplicarse el instrumento
- La metodología aplicada como base para integrar los aspectos ambientales en el producto diseño

Chen y otros (2012) proponen una metodología novedosa para evaluar el grado en que se pueden combinar múltiples especificaciones y atributos del producto en el proceso de diseño. Esta metodología se denomina "eficiencia del diseño" y se basa en la aplicación del análisis de la envoltura de datos.

Yangjian y otros (2013) tratan el diseño modular ecológico como una práctica que mejora la eficiencia del ciclo de vida de los materiales a través de la reutilización de los materiales componentes. Los autores proponen un algoritmo genético restringido para decidir conjuntamente la modularidad del sistema técnico y la modularidad de la reutilización del material.

Moon y otros (2013) proponen directrices para el diseño y la producción de productos de moda sostenibles y de bajo consumo energético (ESFP).

Chen y Liu (2014) proponer un enfoque de modelización en dos etapas para evaluar las decisiones sobre precios y diseño de productos que contengan componentes de materiales vírgenes y reciclados en un mercado duopolístico.

En primer lugar, cada empresa define los materiales reciclados y vírgenes contenidos en su propio producto, y después de determinar la elección del diseño del producto de la



otra empresa, ambas fijan sus precios de acuerdo

con un tipo específico de liderazgo de precios. Por último, Russo y

Rizzi (2014) proponen una metodología de apoyo informático, denominada Eco-OptiCAD, que integra la optimización estructural y las metodologías de análisis del ciclo de vida. Su metodología mejora un conjunto de estrategias de optimización, como el mapeo del ciclo de vida (LCM), que permite a los diseñadores de productos elegir la mejor combinación de forma-material-producción, identificando el mínimo impacto ambiental y cumpliendo los requisitos estructurales y funcionales del producto.

3.2.2 Diseño de envases

Según Palanivelu y Dhawan (2011), los envases representan aproximadamente el 23% de todo el peso de los residuos de la oferta mundial operaciones en cadena. Específicamente en los estados unidos, se proyecta que esta demanda aumente en un 3,9% anual, alcanzando los 41.700 millones de dólares en 2014, y resultando en el consumo de 58.000 millones de libras de material Green Packaging, (2011). Los autores identifican el impacto negativo de los envases en el medio ambiente en lo que respecta a la contaminación de desechos, líquidos y gases, y luego analizan más a fondo el concepto de envases verdes y las estrategias de gestión de los envases verdes a nivel gubernamental y empresarial.

Barlo y Morgan (2013) estiman el impacto de las diferentes estrategias de envasado aplicadas en la industria de la carne y el queso en términos de desperdicio y consumo de energía. Aunque el envasado actual es algo derrochador, el impacto ambiental de las estrategias de envasado alternativas es aún menos deseable. Ilustran la aplicabilidad de su metodología en el caso de los envases de película de polímero en la industria de la carne y el queso.

Silva y otros (2013) realizan un análisis técnico y ambiental para comparar dos modelos de envases, los envases desechables y los retornables, utilizados para el transporte de las cabezas de motor de las máquinas. El objetivo es demostrar que la práctica de la logística inversa con envases retornables puede mejorar el rendimiento ambiental de una empresa. Los autores también examinan la utilidad de la metodología para una empresa que produce cabezas de máquinas.



Los autores investigan si la fabricación ecológica podría ser una ventaja competitiva en términos de fabricación y evalúan posibles formas de combinar la fabricación ecológica con la sostenibilidad. Los autores definen la fabricación ecológica como la integración de la protección del medio ambiente y las prácticas de conservación de la energía en las actividades de producción y servicios destinadas a reducir los desechos industriales, ahorrar energía y recursos escasos y reducir al mínimo la contaminación ambiental y los costos de fabricación.

Los autores proponen una metodología basada en la simulación para captar el comportamiento estocástico de los flujos de producción y distribución, combinando al mismo tiempo esta metodología con un robusto algoritmo de búsqueda para evaluar y seleccionar las estrategias óptimas de producción ecológica. Duflou y otros (2012) ofrecen un examen exhaustivo de la literatura sobre metodologías y tecnologías en la esfera de la fabricación de piezas de repuesto que reduzcan el impacto ambiental de las operaciones de fabricación.

Plehn y otros (2012) proponen una nueva metodología para el diseño de máquinas y la planificación de la producción que podría ayudar a los gestores a identificar el impacto ambiental de las operaciones de fabricación.

Govindan, Diabat y Shankar (2015) proponen un modelo difuso de toma de decisiones multicriterio, basado en el proceso de jerarquía analítica (AHP), que podría utilizarse como un motor eficaz para el desarrollo de un proceso de fabricación ecológico rápido y eficiente.

3.2.4 Recuperación de productos

Muchos productos tienen cierto valor al final de su ciclo de vida, y su recuperación puede ahorrar dinero y recursos. Sobre esta base, la práctica de la recuperación de productos ha atraído el interés de muchos investigadores y académicos de la cadena de suministro.

Ting, Feng y Bin (2014) proponen un marco metodológico para la recuperación de productos que incorpora un método para evaluar el estado del producto al final de su



ciclo de vida. El marco que proponen puede ser utilizado por los fabricantes de equipo para adoptar una política adecuada de recuperación de productos.

Johnson y McCarthy (2013) proponen un modelo de programación de números enteros para establecer un plan óptimo de recuperación de productos que reduzca al mínimo los costos de re envasado en el marco de la legislación sobre la responsabilidad ampliada del productor. Para examinar la aplicabilidad del modelo, éste se aplica a un fabricante de productos de telecomunicaciones situado en el este del Canadá y a una filial que lleva a cabo sus operaciones de recuperación y re fabricación de activos.

Ziout, Azab y Atwan (2014) desarrollan una metodología holística de toma de decisiones, basada en el AHP, para mencionar las opciones óptimas para la recuperación de productos, a la vez que consideran el enfoque PESTEL para identificar los factores que más influyen en la toma de decisiones de recuperación de productos. La utilidad del método propuesto queda ilustrada por el caso de General Motors y su pila de combustible comercial de automóvil a motor, que estará disponible para 2022.

Para Ondemir y Gupta (2014) proponen el modelo avanzado (ARTODTO) con múltiples objetivos de remodelación por encargo y de desmantelamiento por encargo. Este modelo se basa en la programación lineal mixta entera (MILP) y determina la recuperación de la opción de producto que optimiza los niveles de calidad del producto y los beneficios. Los autores ilustran la utilidad práctica del modelo mediante un dispositivo integrado (sensores y etiquetas de identificación por radiofrecuencia) sistema de secado ARTODTO.

3.3 Decisiones estratégicas de transporte ecológico

El transporte es el sector más contaminante de las redes mundiales de la cadena de suministro, y representa alrededor del 8% de las emisiones mundiales de CO₂ (Regmi y Hanaoka, 2009).

Las siguientes tres decisiones pueden ser las razones de estas emisiones:

- La selección de modos de transporte respetuosos con el medio ambiente
- El uso de combustibles respetuosos con el medio ambiente.



- La determinación de la velocidad del medio de transporte

3.3.1 Selección del modo de transporte

Las decisiones sobre la selección del modo de transporte dependen del tipo de producto que se transporta. Por lo tanto, para los productos que requieren tiempo, se suele utilizar el transporte rápido por camión y por aire, mientras que para los artículos de bajo volumen se utiliza el ferrocarril, el transporte terrestre y los oleoductos y gasoductos (para el gas y el petróleo). Sin embargo, en lo que respecta al medio ambiente, estos modos tienen características de rendimiento. El siguiente cuadro resume las características de rendimiento ambiental de los diferentes modos de transporte.

Energy use/ emissions (g/t/km)	Container vessel (11 000 TEU)	Container vessel (6600 TEU)	Rail electric	Rail-diesel	Heavy truck	Boeing 747-400
kWh/t/km	0.014	0.018	0.043	0.067	0.18	2.00
CO ₂	7.48	8.36	18	17	50	552
SOx	0.19	0.21	0.44	0.35	0.31	5.69
NOx	0.12	0.162	0.1	0.00005	0.00006	0.17
PM	0.008	0.009	n.a.	0.008	0.005	n/a

1

Tabla 4 Uso de energía y emisiones de los medios de transporte alternativos

Los autores proponen un modelo de MILP (Mixed-Integer Linear Programming) para el problema de la elección de los modos de transporte en el marco de una política de límites máximos e impuestos sobre el carbono. Evalúan la aplicabilidad de su metodología de modelización en toda la cadena de suministro de Wal-Mart.

Soysal, y Van (2014) desarrollan un modelo de programación lineal de objetivos múltiples (MOLP) para las decisiones de selección de modos de transporte, cuyo objetivo es minimizar los costos y las emisiones de gases de efecto invernadero. Para examinar la metodología propuesta se ilustra con una red logística de carne de vacuno refrigerada en condiciones reales, que opera en el Brasil y se exporta a la Unión Europea.

¹ n.a., no disponible; SOx, óxidos de azufre.

Adaptado de Dekker, Bloemhof y Mallidis, 2012. Reproducido con permiso de Elsevier



3.3.2 Producción de combustibles ecológicos para el transporte

La elección del combustible tiene un impacto ambiental significativo en las operaciones de transporte. Hoy en día, los tipos modernos de gasolina están siendo tratados para reducir sus aditivos de plomo. Además, las empresas multinacionales están reorganizando gradualmente los motores de sus flotas de transporte para adaptarse a los biocombustibles y al gas natural.

Tomando el ejemplo de la UPS, que ha ampliado su flota de camiones de gran tonelaje que utilizan gas natural licuado (GNL), de 112 a 800 en 2014, (Cardwell y Krauss, 2013).

En este ejemplo, Janic (2014) investiga el potencial del uso de hidrógeno líquido para hacer el transporte aéreo más respetuoso con el medio ambiente. En él se ofrece un análisis detallado de los tipos de emisiones de gases de efecto invernadero generados por el transporte aéreo, así como un examen de las medidas para reducirlos.

Yang y otros (2014) ofrecen un amplio examen de la bibliografía sobre los biocombustibles que podrían utilizarse como combustible para el transporte, así como un análisis de la forma de convertir esos biocombustibles en combustible para el transporte.

Raslavičius y otros (2014) examinan las posibilidades de transformar los biocombustibles de algas en combustible de transporte. Los autores ofrecen una revisión detallada de la literatura que analiza los atributos biológicos de las algas, así como una revisión de los esfuerzos de investigación sobre tecnologías para convertir los biocombustibles de algas en combustible para el transporte.

3.3.3 Diseño de la velocidad de transporte

La crisis económica de 2008 ha llevado al mundo a un exceso de capacidad de los buques portacontenedores, que ha seguido creciendo como antes, los pedidos de naves se están llenando y por lo tanto nuevas naves están entrando en el mercado.



Haralambides y Thanopoulou, (2014) han retenido que este exceso de capacidad ha generado una reducción de las tarifas de los fletes de los contenedores, por lo tanto, es necesario reducir los costos de explotación de los buques como condición previa para mantener la rentabilidad del armador y, por ende, su cuota de mercado. La reducción de los gastos de explotación de los buques puede suponer un ahorro importante para el transportista y una forma eficaz de hacerlo es reducir la velocidad de los buques, esta práctica se denomina "slow steaming" y ha sido aplicada por muchos transportistas, lo que ha permitido ahorrar combustible y reducir así las emisiones. Hay muchos estudios que analizan los costos y el impacto de las emisiones de CO₂ de la navegación a vapor lenta mediante el desarrollo de modelos de velocidad en el transporte marítimo.

Wang y Meng (2012) desarrollan un modelo de programación entera mixta no lineal para determinar la velocidad óptima, la velocidad del buque lo que minimiza sus costos de operación.

Maloni, Paul y Gligor (2013) evalúan las repercusiones financieras de la reducción óptima de la velocidad en los transportistas y proveedores mediante la simulación de una ruta de comercio de contenedores de gran volumen entre Asia y América del Norte.

Psaraftis y Kontovas (2013) ofrecen un examen exhaustivo de la literatura sobre modelos de optimización de la velocidad, identifican soluciones ajustadas para determinar la velocidad óptima de los buques y las decisiones de ruta que minimizan los costos y las emisiones de los buques, utilizando diversos escenarios de valor de la carga (Psaraftis y Kontovas 2014)

3.4 Decisiones estratégicas del Fondo Verde

Las instalaciones son el tercer motor de las cadenas de suministro. Las decisiones estratégicas relacionadas con las instalaciones implican decisiones sobre la selección de su ubicación y su diseño.

3.4.1 Ubicación de las instalaciones

Decisiones sobre el número de distribuciones operativas tienen un impacto significativo en la eficiencia del transporte de una red, ya que su aumento puede reducir



significativamente las distancias de transporte de salida, por esta razón, los investigadores están interesados en el impacto ambiental de las decisiones sobre la ubicación estratégica de las instalaciones (Dekker, Bloemhof y Mallidis, 2012) .

Sobre esta base, Harris y otros, (2011) consideran tanto los costos logísticos como las emisiones de CO₂ en la optimización de la cadena de suministro, evaluando el impacto de las decisiones estratégicas sobre la ubicación de los depósitos, y las decisiones operativas sobre las tasas de utilización de los camiones, centrándose en los costos de inventario y transporte en relación con los costos de transporte y de inventario de CO₂ en la UE. El cálculo del CO₂ del transporte implica diferentes tipos de vehículos y niveles de uso (de 90, 75 y 60%) y su enfoque se examina a través de un modelo de simulación para la industria automovilística europea.

Elhedhli y Merrick (2012) examinan un modelo de optimización de tres niveles de objetivos múltiples (coste y emisiones de CO₂) en el que las emisiones de CO₂ del transporte se ven afectadas por el peso del vehículo. El objetivo del modelo es minimizar los costos de logística y las emisiones de CO₂ colocando estratégicamente las instalaciones dentro de la red. El modelo se desarrolla como un modelo MILP y se desglosa por niveles y ubicación del almacén utilizando un enfoque de relajación lagrangiana (LR).

Mallidis, Dekker y Vlachos (2012) proponen una metodología MILP de objetivos múltiples para decidir:

- El número y la ubicación de los centros de distribución
- Los puertos de entrada
- La capacidad de los centros de distribución operacionales
- El tipo de modo de transporte utilizado
- Los flujos asociados entre los nodos de la red estudiada

Los autores aplican su modelo en una cadena de suministro específica para la distribución de electrodomésticos producidos en el Lejano Oriente y en la región emergente de Europa sudoriental. Los resultados mostraron que, en la mayoría de los casos, el uso de almacenes compartidos con terceros operadores logísticos mejora tanto el coste como el rendimiento medioambiental de una empresa. En



todos los casos, el uso compartido de las operaciones de transporte minimiza la cantidad de emisiones de CO₂ y partículas generadas, mientras que el uso específico minimiza los costos.

Pishvae, Razmi y Torabi (2014) determinan los flujos de material óptimos entre las instalaciones, su tecnología y capacidades de procesamiento y sus ubicaciones mediante el desarrollo de un algoritmo de descomposición de Benders. Su modelo está optimizado:

- Los costos logísticos totales de la red (las instalaciones fijas, el transporte y el pedido los costos de tratamiento).
- Su impacto ambiental (los daños a la salud humana, el ecosistema y los recursos)
- Su impacto social (la creación de empleo la reducción de los riesgos para los consumidores, los daños a la salud de los trabajadores y el valor del desarrollo local para las comunidades).

Harris, Mumford y Naim (2014) determinan el número óptimo de instalaciones en funcionamiento y la asignación óptima de clientes a aquellas instalaciones que minimicen los costes de transporte e instalación, así como las emisiones de CO₂. Los autores determinan estas decisiones utilizando un nuevo marco metodológico, basado en el Algoritmo Evolutivo Multi-Objetivo (MOEA) con un enfoque de LR.

3.4.2 Selección de los proveedores

En la gestión de la cadena de suministro, las cuestiones de evaluación y selección de proveedores son particularmente importantes y se han convertido en un centro de atención e investigación. Los investigadores y expertos han hecho numerosas contribuciones a la evaluación cualitativa y cuantitativa de la tecnología y a la selección de proveedores. Los métodos cualitativos incluyen principalmente la evaluación de la experiencia, la licitación, la selección de consultores y los métodos de referencia. Los métodos cuantitativos incluyen los métodos de información de costos, el análisis de envoltura de datos (DEA), la programación matemática y el análisis estadístico.



En los últimos tiempos, en el mundo académico, como se espera que el proceso de selección de proveedores incluya conocimientos especializados de disciplinas múltiples y dispersas, se ha prestado más atención a los métodos de adopción de decisiones en grupo (Banaeian y otros, 2018). La tecnología de ejecución de órdenes (TOPSIS) similar a la solución ideal. Debido a las limitaciones del determinismo básico único y de los métodos cuantitativos, los investigadores combinaron tecnologías y aplicaron el método híbrido a la evaluación y selección de proveedores. Combina AHP, ANP, optimización difusa multi objetivo, agrupación y algoritmos heurísticos genéticos para generar resultados fiables.

Kurt y Akay (2009) combinan la TOPSIS y los intuicionistas difusos para determinar el proveedor más apropiado.

Fallahpour, Olug, Musa, Khezrimotlagh y Wong (2016) propusieron un modelo híbrido que combinaba la DEA y la programación genética. Prasanna Venkatesan y Goh (2016) aplicaron el Proceso de Jerarquía Analítica Difusa (FAP), un método de clasificación de preferencias que puede enriquecer la evaluación y optimizar los enjambres de partículas multipropósito para seleccionar proveedores en caso de interrupción del suministro.

Cada vez más consumidores eligen productos ecológicos fabricados por fabricantes o proveedores socialmente responsables. No cabe duda de que estos consumidores han influido en la elección de los proveedores de la empresa sobre la base de normas sociales (normas de responsabilidad) (Lu, Lee y Cheng, 2012).

Las investigaciones existentes muestran que los compradores tienen muchos factores que considerar al elegir un proveedor socialmente responsable. Ageron, Gunasekaran y Spalanzani (2012) han confirmado que el precio, la calidad y la fiabilidad son los tres factores más importantes para el desempeño de SSCM. Desde la perspectiva de las operaciones de la cadena de suministro de referencia, los tres aspectos de los proveedores socialmente responsables son económicos, ambientales y sociales (Lee, Kim y Lee, 2016) y (Zailani, Jeyaraman, Vengadasan y Premkumar, 2012).



Criterios	Subcriterios	Fuente
Costo de compra	El precio de los bienes Costos de logística Condiciones de pago	Weber y otros (1991), Lee y Kim (2011), y Fallahpour y otros (2016)
Calidad	Identificación de calidad ISO Mantenimiento y tasa de rechazo Gestión de calidad total	Ronen y Trietsch (1988), Weber y otros (1991), Chen y otros (2016), y Fallahpour y otros (2016)
Entrega	Tasa de entrega a tiempo Precisión de la entrega Seguridad	Weber y otros (1991), Muralidharan, Anantharaman y Deshmukh (2001), y Govindan y Sivakumar (2016)
Tecnología	Nivel de educación de los técnicos Capacidad de I+D Cooperación con instituciones de investigación	Lee y otros (2009), Andersen y Skjoett-Larsen (2009), y Chen y otros (2016)
Imagen verde	Envasado de los productos Capacitación ambiental del personal Control de la contaminación La gestión ambiental	Humphreys y otros (2003), Lee y otros (2009), y Govindan y Sivakumar (2016)
Responsabilidad social	Bienestar de los empleados Imagen de marca Protección de los derechos laborales	Bohdanowicz y Zientara (2008), Cowpersmith y Grosbois (2011), y Govindan y otros (2015)



	La salud y la seguridad de los empleados	
--	--	--

Tabla 5 Criterios y subcriterios en la selección de proveedores socialmente responsables

3.4.3 Fuentes de suministro (sourcing)

Las decisiones sobre dónde suministrar los productos pueden tener un impacto significativo en las necesidades de transporte y, por lo tanto, en las emisiones. Las empresas que tratan de reducir sus costos de producción han trasladado sus actividades de producción a países asiáticos de bajos salarios, Turquía y México (Jensen, Larsen y Pedersen, 2013) y (Schmeisser, 2013). Sin embargo, hoy en día, con el aumento de los precios de los combustibles, la combinación de la subcontratación en el extranjero y en el país, o incluso sólo la subcontratación, se ha convertido en una nueva alternativa para el suministro, el transporte, el aumento de la flexibilidad y el mantenimiento de una población pequeña (Zhang y otros, 2013) y (Fratocchi y otros, 2014) y (Tate, 2014).

3.4.4 Diseño de la instalación

La eficiencia ambiental puede lograrse principalmente mediante el uso de sistemas de iluminación y equipo de manipulación de la carga que sean eficientes desde el punto de vista energético y medidas de mantenimiento de la temperatura (McKinnon y otros, 2010).

Por ejemplo, mediante la instalación de equipos de alta eficiencia energética, utilizando sistemas avanzados de iluminación y células solares, se han construido varios almacenes de emisión cero (Dekker, Bloemhof y Mallidis, 2012).

Zuo y Zhao (2014) realizaron un extenso examen de la literatura sobre diversos aspectos del diseño de instalaciones ecológicas. Los autores examinan diversos aspectos de los instrumentos de evaluación de edificios ecológicos y del diseño de edificios ecológicos. En ellos se identificaron tres elementos básicos para el diseño eficaz de instalaciones ecológicas, a saber:



- La utilización de innovaciones tecnológicas en materia de energías renovables, como el agua caliente solar, los sistemas fotovoltaicos, las pequeñas turbinas eólicas y las bombas de calor geotérmicas
- El control de los desechos durante el proceso de demolición o construcción
- La utilización del reciclado y la reutilización de los desechos de demolición
- La utilización de tecnologías de energía renovable, como las tecnologías de energía solar, los sistemas fotovoltaicos, las pequeñas turbinas eólicas y las bombas de calor geotérmicas.

3.5 Decisiones tácticas de la gestión de la cadena de suministros (GSM)

A nivel táctico, con intervalos de tiempo que van de un trimestre a un año, las principales decisiones del GSCM están relacionadas con las adquisiciones ecológicas, la fabricación, el inventario, la planificación de las instalaciones y el transporte, y la gestión de los ingresos, que implican adquisiciones ecológicas, fabricación y planificación de inventarios.

3.5.1 Adquisiciones

Kannana y otros, (2014): las decisiones de la contratación ecológica se refieren principalmente a los proveedores y a las decisiones de selección basadas en su rendimiento medioambiental

Correia y otros, (2013) examinaron la literatura sobre la investigación de la oferta de bajo carbono, identificando los desafíos de la oferta de bajo carbono y las oportunidades de investigación futuras. Kannana y otros. (2013) de conformidad con las normas económicas y ambientales y sobre la base de los siguientes aspectos, elaboró un método integral para la selección de proveedores ecológicos y la modelización del despacho de pedidos Teoría difusa de utilidad de atributos múltiples y método de programación de objetivos múltiples.



El estudio de un caso práctico de una empresa de fabricación de automóviles ilustra la aplicabilidad del método propuesto y puede ayudar a la empresa a resolver el problema de la selección de proveedores y la asignación de pedidos en la situación real.

Su y Lin (2014) propusieron la Programación Lineal Difusa Multi-Objetivo para resolver los problemas de planificación de la oferta e integración de la producción de los sistemas de fabricación recuperables. Juntos, sus modelos minimizan los costos de producción y los plazos de entrega de múltiples componentes, proveedores y máquinas. El sitio web del autor examina la aplicabilidad del método que proporcionan al producto Cartuchos de impresora regenerados por láser.

3.5.2 Planificación de la fabricación

Las decisiones de planificación de la producción indican el grado de organización de la producción. Además, también determinan el número óptimo de series de producción, el nivel medio de inventario y el mejor plan operativo para el equipo de fabricación. Todas las operaciones anteriores darán lugar a muchas emisiones y residuos, por lo que optimizarlas puede salvar mucho del medio ambiente. A este respecto, Mirzapour Al-e-hashem de Barpoli Et Sazvar (2013) han propuesto un modelo de planificación de la producción global que determina el número de productos producidos, el número de trabajadores contratados o despedidos, el nivel de existencias de productos, la producción asignada a cada planta y el número de productos en las emisiones de CO₂ autorizadas. Y la generación de residuos, los vehículos "g" para el transporte de un nodo a otro. Ohara, (2014) ha propuesto un método de planificación de la laminación en caliente que puede optimizar el consumo de energía del proceso de fabricación de la hoja, preservando al mismo tiempo las propiedades mecánicas de la misma. Liu y otros (2014) propusieron un plan de producción, es decir, un método de modelación de dos objetivos para un sistema de producción llamado "seru s". El modelo determina el tiempo de inicio de la producción del producto y la cantidad de producción en masa del mismo, minimizando así el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono de la Unión Europea.

Newman y otros (2012) examinaron la planificación de procesos asistida por computadora y los métodos de planificación con criterios múltiples y los ajustaron para



determinar con más detalle el plan de GM (Green manufacturing) inocuos para el medio ambiente. El proceso de corte del acabado del aluminio ilustra la aplicabilidad del método propuesto.

3.5.3 Planificación del inventario

Al igual que en la planificación de la producción, las decisiones de planificación de inventarios determinan la cantidad de existencias asignadas a las instalaciones de distribución y a los puntos de demanda, así como la cantidad de bienes de transporte entregados entre los nodos de la red, la optimización de estas decisiones ahorra mucha energía y por lo tanto mejora el medio ambiente , varios autores consideran las decisiones de planificación de las existencias dentro del marco reglamentario de los topes y transacciones de carbono. En este marco, las emisiones de una decisión de inventario único están restringidas, Sobre esta base, Hua y otros, (2011) propusieron un método para planificar una lista de cantidades de pedidos de economía ecológica (EOQ) para determinar la cantidad de pedidos óptima para la empresa en el marco del régimen de comercio de derechos de emisión.

Sazvar y otros, (2014) determinan que el inventario y la escasez, el número de pedidos, las ventas totales y el número de diferentes tipos de vehículos utilizados para el transporte de productos específicos se deterioran, lo que da lugar, por un lado, a los costos de pedido, tenencia, reciclaje y transporte y, por otro, a las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con el transporte, la producción y el reciclaje, su metodología es un modelo de MILP de dos objetivos y multi-escala.

Konur (2014) determinó la cantidad de pedido, la carga y el tipo de camión óptimos, minimizando así los costes de adquisición, los costes de instalación y los costes de almacenamiento y transporte, el método utilizado es un modelo de EOQ de un solo paso, que también puede ser resuelto bajo las restricciones de emisión de CO2 de inventario y transporte.

Konur y Schaefer (2014) determinan la cantidad óptima de pedidos basándose en la consideración del transporte de camiones de venta al por menor (LTL) y de carga



completa de vehículos (FTL), minimizando la espera, el pedido, los costes de transporte y las emisiones de CO₂ en políticas reguladoras ambientales alternativas.

Arikan y Jammernegg (2014) determinan el número óptimo de pedidos para los proveedores de noticias, lo que maximiza el beneficio de los proveedores de noticias bajo las restricciones de transporte, almacenamiento y otras emisiones generadas por los productos no vendidos. Los autores utilizan el modelo de planificación de inventarios del proveedor de periódicos de copia única y consideró el segundo canal de suministro de emergencia para ampliarlo.

3.5.4 Precios de la gestión de ingresos

La gestión de ingresos se desarrolló originalmente para las aerolíneas, con el objetivo de maximizar el rendimiento de los pasajeros ajustando los precios según la demanda. El aumento del uso del transporte significa una reducción del suministro de aire y, por lo tanto, de las emisiones, lo mismo se aplica a la carga. Lovrić y otros (2013) han propuesto un enfoque de modelización multi agente basado en la simulación, que implica un método para la gestión sostenible de los ingresos, incluidos los aspectos económicos, sociales y ambientales. El aspecto económico incluye el número de pasajeros, la distancia recorrida, los ingresos totales y el factor de carga media de los vehículos. El aspecto social implica la conveniencia y comodidad de los pasajeros durante el transporte. Por último, el aspecto medioambiental incluye una evaluación del impacto de los cambios en el uso del transporte público en el ahorro de CO₂.

Govindan y Popiuc (2014) gestionan una etapa de la cadena de suministro de circuito cerrado como parte de la distribución de los ingresos, desarrollan un método de modelización analítica que puede cuantificar el impacto de los descuentos de los minoristas en la demanda de los clientes para devolver productos obsoletos. Explicaron la aplicabilidad del método que proporcionaron a través del estudio de caso de Apple que recogía equipos usados de los clientes a cambio de cupones que podían utilizarse directamente para comprar otros productos de Apple. En la página web de Apple o en el Apple Store.



3.5.5 Planificación del transporte

La decisión de planificación del transporte ecológico tiene por objeto reducir al mínimo el impacto de las operaciones de transporte en el medio ambiente:

- Determinar el número y la capacidad óptimos de las instalaciones de transporte
- Coordinar otros transportes en la misma ruta.

Peidro y Mula (2014) examinaron la cadena de suministro de tres niveles de la industria automotriz, que incluye:

- Proveedores de segundo nivel
- Proveedores de primer nivel y ensambladores de automóviles. El suministro entre los diferentes niveles es por camión, el autor propone un modelo de FMOLP que minimiza el número total de camiones utilizados y el número total de existencias reservadas.

Tsai y otros (2012) propusieron un modelo de decisión basado en actividades de costos mixtos (MABCD) para la planificación de la flota de las aerolíneas ecológicas en el marco del régimen de comercio de derechos de emisión. El modelo maximiza el beneficio total de las operaciones de las aerolíneas, que comprende la suma de los ingresos menos el costo total de las operaciones, los alquileres y las emisiones de dióxido de carbono, la aplicabilidad del modelo se basa en los casos de vuelo de los aviones B747-400 y A380 entre los aeropuertos de Hong Kong y París.

Jeon, Amekudzi y Guensler (2013) realizaron un examen de la literatura sobre el modelo cuantitativo para poder evaluar la sostenibilidad de las operaciones de planificación del transporte, así como para analizar los indicadores de sostenibilidad ambiental, social y económica de los operadores de transporte.

3.5.6 Gestión de la flota

Harris y otros, (2011) las decisiones de gestión de flotas están estrechamente vinculadas a las decisiones de planificación del transporte, ya que implican principalmente decisiones relacionadas con el nivel de utilización de los medios de transporte y los



cambios en el número de flotas. Biellib y Rossic (2011) señalan la dificultad de resolver los problemas de gestión de la flota, ya que éstos requieren la aplicación conjunta de las decisiones de enrutamiento, programación, planificación y diseño de la red de vehículos. Identifican las cuestiones clave de la gestión de la flota para los diversos medios de transporte y examinan los métodos de modelización y los algoritmos utilizados para abordar esas cuestiones. Bae, Sarkis y Yoo (2011) han desarrollado un modelo de teoría de juegos en dos etapas que puede ayudar a los participantes en la cadena de suministro a evaluar el impacto de las flotas de transporte ecológico. En primer lugar, la empresa determina la proporción de flotas que deben ser verdes y, en segundo lugar, el precio óptimo de los servicios de transporte verde. Muchos parámetros afectan a estas decisiones, como los costos de combustible, los requisitos de cumplimiento de la reglamentación, los costos de adaptación y los ajustes de la política fiscal. Por último, Stasko y Gao (2012) propusieron un modelo aproximado de programación dinámica estocástica personalizada (ADP) para determinar las políticas de compra, reventa y adaptación de los vehículos, a fin de minimizar los costos netos descontados dentro de las limitaciones previstas, las regulaciones ambientales.

3.5.7 Planificación de las instalaciones

Las decisiones de planificación de instalaciones ecológicas implican la planificación de los recursos de las instalaciones para reducir al mínimo sus necesidades de energía. Muellera, Cannataa y Herrmann (2014) destacaron el potencial de recuperación de calor de los equipos esclavos, el tratamiento descentralizado de los desechos, la filtración y las operaciones de alta intensidad luminosa en condiciones naturales, propusieron un enfoque modular de planificación de plantas verdes para ayudar a los planificadores a mejorar el rendimiento ambiental de sus instalaciones.

3.6 Decisiones operacionales del GSCM

Aunque las opciones estratégicas parecen determinar la mayor parte del impacto ambiental de las operaciones logísticas, las operaciones diarias también ofrecen muchas oportunidades de mejora ambiental. Los siguientes puntos tratan de aspectos como el



control de calidad, los métodos de trabajo, el enrutamiento de los vehículos y el control de la velocidad.

3.6.1 Control de calidad del producto

Etaio y otros, (2011) manejan productos disponibles comercialmente con etiquetas de calidad. Proporcionan un método de autenticación sensorial que utiliza una tarjeta de puntuación universal para comprobar la calidad de estos productos. Evaluaron la aplicabilidad del método propuesto en el caso del vino Bizkaiko Txakolina. Sin embargo, el control de calidad también puede utilizarse para reducir los defectos de producción. Sobre esta base, Bettayeb, Bassetto y Sahnoun (2014) propusieron un proceso de control de calidad, que determinó el mejor plan de control de calidad para la máquina, y bajo las limitaciones de la capacidad de la máquina, redujo al mínimo el número total de inspecciones previstas. Objetivos de la máquina y exposición al riesgo. El proceso de control de calidad propuesto tiene por objeto evitar la generación excesiva de desechos.

3.6.2 Transporte

Las decisiones de control operacional para el transporte implican decisiones sobre el mantenimiento del equipo, el enrutamiento de los vehículos y el control de la velocidad.

✚ Mantenimiento del equipo

Vujanović y otros (2012) han documentado la importancia del mantenimiento de los vehículos para la eficiencia del combustible. Identificaron tres indicadores importantes de los procesos de mantenimiento eficaces. El primer indicador evalúa el proceso de fabricación, el segundo evalúa el proceso de transporte y, por último, el tercer indicador evalúa el impacto del proceso de mantenimiento en el rendimiento ambiental del vehículo. Los autores determinan la interdependencia y la importancia ponderada de cada indicador combinando el Laboratorio de Evaluación y Pruebas de Decisiones (DEMATEL) y la Metodología de Análisis de Procesos (ANP). En el caso de muchas empresas de transporte con su propia flota en Serbia, se ha aplicado la metodología propuesta. Finalmente, Go, Kim y Lee (2013) desarrollaron un modelo cerrado



de MILP para resolver el problema de la programación del mantenimiento preventivo de los buques portacontenedores. Su modelo determina la fecha de vencimiento y la hora de inicio real de cada actividad de mantenimiento, basándose en la mano de obra disponible, las horas de trabajo y el tiempo entre mantenimientos.

Rutas de vehículos

Las estrategias de encaminamiento de los vehículos pueden reducir la distancia total recorrida, con lo que se reduce el impacto en el medio ambiente. Como resultado, estudios recientemente publicados han evaluado el impacto ambiental de estas decisiones. Lin y otros (2014) realizaron un amplio examen de la literatura sobre la trayectoria ambiental de los vehículos.

Los autores identifican el eco-ruta de los vehículos como una práctica para optimizar el consumo de energía de los vehículos. Su análisis determinó las investigaciones actuales sobre las rutas de los vehículos ecológicos después 2007, al tiempo que proporcionó nuevas orientaciones de investigación para el futuro. Demir, Bektas y Laporte (2014) ofrecen un amplio examen de la literatura sobre el tema: modelos utilizados para calcular las emisiones de los vehículos; documentos de rutas de vehículos ecológicos, que integran estos modelos en el proceso de optimización.

Pamucar y Bozanic (2014) discuten el transporte de vehículos ligeros. Propusieron un modelo neuro difuso y un algoritmo Clarke-Wright (CW) mejorado para determinar la mejor ruta para los vehículos ligeros, minimizando así su coste, sus emisiones y su ruido. Bing y otros, (2014) Abordando el problema de la recogida de residuos plásticos. Este problema está modelado como un problema de enrutamiento de vehículos y resuelto por un algoritmo de búsqueda tabú. La ruta determinada por su modelo puede reducir al mínimo los costos de transporte y de mano de obra, así como los costos de las emisiones de gases de escape tanto de los vehículos que circulan como de los que están parados. Por último, Demir, Bektas y Laporte (2014) propusieron una metodología de optimización multiobjetivo para resolver el problema de la contaminación de las rutas. El modelo propuesto se basa en la búsqueda adaptativa mejorada de grandes vecindarios (ALNS) y en un algoritmo dedicado



a la optimización de la velocidad, y se utiliza para reducir conjuntamente el consumo de combustible y el tiempo de viaje.

✚ Control de velocidad

El control de la velocidad reduce el consumo de combustible y, por lo tanto, las emisiones, y puede lograrse manteniendo el frenado y la uniformidad de la velocidad. Sobre esta base, Yun y otros, (2011) estudiaron el efecto de la uniformidad de la velocidad en el medio ambiente en el transporte ferroviario. Los resultados muestran que manteniendo la uniformidad de la velocidad con un pequeño aumento en el tiempo de viaje del tren, se puede ahorrar hasta un 6,8% de energía. Además, las continuas mejoras tecnológicas han llevado al desarrollo de complejos sistemas de control de vehículos (como los sistemas de control de crucero adaptables), que han demostrado ser eficaces para controlar la uniformidad de la velocidad.

Liu, Han y Lu (2013) propusieron un sistema de control difuso para los trenes de alta velocidad que puede optimizar el consumo de energía, el confort, la velocidad y la seguridad de los trenes durante la conducción. El sistema ha sido evaluado a través de experimentos de simulación y los resultados muestran que el sistema de control difuso es eficiente y preciso para controlar los trenes de alta velocidad.

3.6.3 Instalaciones

Las decisiones relacionadas con el control del funcionamiento de los equipos implican el desarrollo de procesos de preparación de pedidos para reducir la distancia recorrida por la maquinaria y el equipo, y la capacitación de los empleados para garantizar la calidad de los productos durante su ciclo de producción.

✚ Control de la recogida de pedidos

El proceso de selección de pedidos para el uso eficiente del equipo es fundamental para su eficiencia ambiental, ya que puede reducir el tiempo de funcionamiento del equipo, con lo que se reducen las necesidades de energía.

Moellera (2011) ha propuesto un método para optimizar el orden de las líneas de producción. Este método implica una rutina de optimización que puede



determinar el orden de las líneas de producción de un lote determinado, minimizando así el tiempo de viaje. El autor ilustra la aplicabilidad de su método propuesto en el caso de los distribuidores de electricidad, y los resultados derivados muestran que el tiempo medio de recogida de pedidos puede reducirse en un 7,4%. Zheng, Mohr y Yoon (2014) desarrollan una metodología de planificación de la recogida de pedidos para un centro de distribución de alimentos. La metodología que proponen se basa en un modelo MILP y determina las mejores rutas de recolección y elegir las asignaciones de los camiones.

Métodos de trabajo

Los métodos de trabajo consisten en capacitar a los empleados para que se centren en el mantenimiento de la calidad del producto para evitar el desecho del mismo. Teixeira, Jabbour y de Sousa Jabbour (2012) examinaron las directrices brasileñas para la capacitación ambiental de los empleados sobre la base de las normas ISO 14001 e ISO 10015, algunas de las cuales entrañan la capacitación de agentes internos para identificar las causas ambientales, participar en exposiciones internacionales, aplicar prácticas ambientales sociales eficaces y organizar la capacitación ambiental como un acuerdo de certificación.

Conclusión del capítulo:

Sobre la base de los puntos tratados en el capítulo, podemos concluir que la gestión de la cadena de suministro ecológica mediante métodos de apoyo a las decisiones con criterios múltiples es un campo que evoluciona rápidamente, podemos resumir nuestro capítulo en los siguientes puntos:

- ✓ La adopción de decisiones estratégicas en la gestión de la cadena de suministro ha atraído el interés de la mayoría de los investigadores. Se esperan tales resultados porque estas decisiones tienen un impacto a largo plazo en el desempeño ambiental de la cadena de suministro.
- ✓ Desde una perspectiva de diseño estratégico, hay un vacío en la investigación académica centrada en el diseño de edificios ecológicos. Dado que el impacto ambiental del equipo se debe principalmente al



consumo de energía causado por sus necesidades de iluminación y calefacción, las mejoras en la eficiencia pueden lograrse principalmente mediante la intervención técnica, más que mediante el uso de modelos cuantitativos.

- ✓ Desde una perspectiva de planificación táctica, hay un vacío en la literatura sobre la planificación de instalaciones ecológicas. Dado que estas decisiones se refieren principalmente a la capacidad y el proceso de optimización del equipo, esto pone de relieve posibles esferas de investigación que pueden evaluarse mediante métodos de optimización cuantitativa.
- ✓ Desde la perspectiva del control de las operaciones, existen lagunas en la documentación del impacto ambiental del mantenimiento adecuado de los vehículos y el equipo. Sobre esta base, el mejor plan de mantenimiento preventivo para optimizar el rendimiento de las emisiones de los vehículos puede ser una forma muy interesante de resolver este problema.





Capítulo IV: Análisis bibliográfico MCDM – Evaluación proveedores verdes



4.1 Introducción

El examen sistemático de la literatura es una metodología estructurada que permite organizar los conocimientos existentes hasta ese momento sobre un tema de estudio concreto. Dedicamos este capítulo a mostrar el aspecto teórico que sustenta esta metodología en general, y a su aplicación al tema de la investigación en particular, es decir, los métodos de análisis multicriterio en la selección de proveedores ecológicos.

La metodología corresponde a un plan de investigación observacional y retrospectiva, que permite localizar y sintetizar los resultados encontrados en la literatura existente sobre un tema de investigación específico. Cabe señalar que el examen de la literatura es un paso crucial en cualquier proyecto de investigación, ya que proporciona una base sólida a partir de los hallazgos existentes hasta el momento en que se realiza el examen. Tras esta introducción, en la segunda sección se exponen los fundamentos teóricos en los que se basa la revisión sistemática de la literatura, y en la tercera sección se muestra cómo se aplicaron esos fundamentos teóricos en el caso concreto de esta investigación, que trata de la aplicación de métodos de análisis multicriterio en la selección de proveedores ecológicos.

4.2 Metodología

La introducción de la utilización de procesos de evaluación sistemática, en particular de la revisión sistemática de la literatura, ayudará a obtener un resumen objetivo de las pruebas de investigación relativas a este tema mediante la producción de revisiones y evaluaciones de mejor calidad.

En los exámenes sistemáticos se examinan los datos primarios, que pueden ser cuantitativos o cualitativos, y se sintetizan las conclusiones de investigaciones anteriores en las que se investigan las mismas o similares cuestiones. Los exámenes sistemáticos utilizan un enfoque sistemático para buscar, seleccionar y evaluar las



pruebas producidas, y emplean métodos rigurosos y responsables explícitos para informar las nuevas preguntas de investigación.

El método utilizado en este análisis es el "Systematic Literature Review" (SLR) . El SLR asegura una revisión de la literatura estructurada, rigurosa y reproducible, llenando así los vacíos de otros métodos tradicionales de análisis narrativo (Denyer y Tranfield, 2009). Más concretamente, los cinco pasos propuestos por Tranfield y otros (2003) desarrollados según este método (Figura 5)

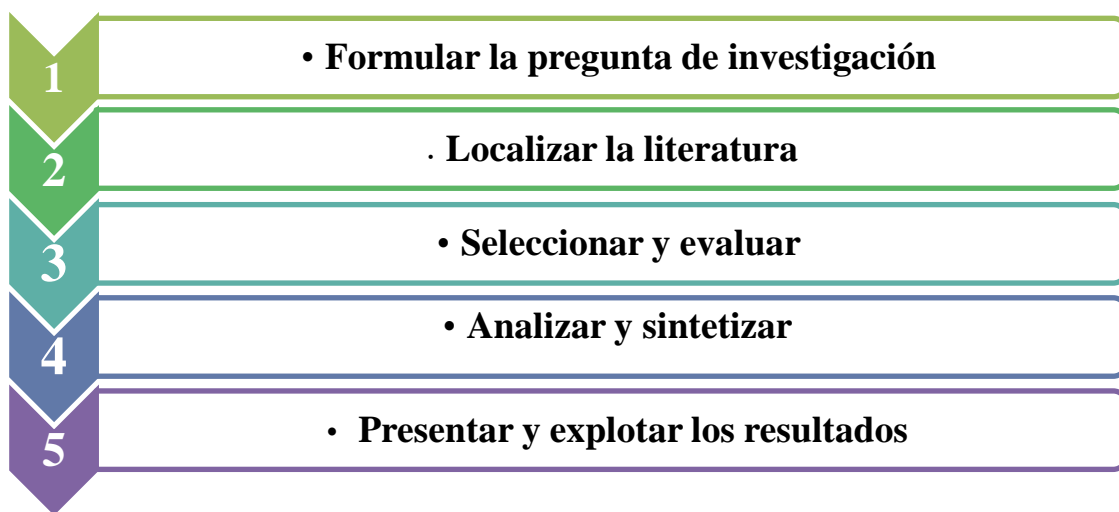


Ilustración 5 Etapas empleadas en la metodología SLR (Fuente: Denyer and Tranfield 2009)

4.3 Pregunta de investigación

En primera instancia, se debe realizar la formulación de la pregunta o preguntas de investigación, a partir de la(s) cual(es), los investigadores podrán evaluar las aportaciones existentes para desarrollar conocimiento adicional. La lógica Contexto, Intervención, Mecanismos y Resultados (Context, Intervention, Mechanism, Outcomes, CIMO). Por Tranfield y otros, (2003) proporciona una estructura para analizar y resolver problemas de una manera que sea sensible al contexto y fundamentada en teoría y evidencia. CIMO se sitúa en el contexto del problema (C), que usa una intervención específica (I) refiriéndose a la solución propuesta, a través de mecanismos generativos identificados (M) que son los procesos que deben ser activados y que



conlleven a resultados (O). Esta lógica ha sido empleada con éxito en las investigaciones realizadas por: Martínez-Jurado & Moyano-Fuentes (2014) en Producción Lean; Jurado (2014) en Gestión Lean de la cadena de suministro; Kjellsdotter & Jonsson (2014) en sistemas de programación en la planificación de ventas y operaciones.

Planteamiento de cuestiones de investigación: Cabe señalar que esta investigación es el resultado de la fase inicial de un proyecto más grande. La cuestión fundamental es *¿qué métodos analíticos multicriterio se están aplicando en la gestión de la cadena de suministro ecológica?* de modo que en esta primera fase nos centramos en dos preguntas específicas de la literatura:

- ✚ ¿Cuáles son las principales definiciones que se dan a los métodos de análisis multicriterio en el contexto de la gestión de la cadena de suministro ecológica?
- ✚ ¿Cuáles son las principales clasificaciones que se dan a los métodos de análisis multicriterio en la selección de proveedores ecológicos?

4.4 Localizar la literatura

La localización de la literatura: Esto implica encontrar la investigación más relevante relacionada con la cuestión de la investigación. Para ello, hay que tener en cuenta: los motores y las cadenas de búsqueda. En primer lugar, creemos que las siguientes bases de datos son las mejores para responder a las preguntas de búsqueda: Web of Science, Science Direct, Wiley y Emerald Insight; porque se verifica la calidad de la información que manejan.

Pensamos en palabras clave relacionadas con la cuestión de la investigación. Luego se usan otras palabras clave en la búsqueda como se encuentran en la literatura (efecto bola de nieve). Por consiguiente, las palabras clave establecidas se utilizan a menudo en la bibliografía para describir y definir el campo de investigación de los métodos de análisis multicriterio en la selección de proveedores ecológicos.



4.5 La selección y evaluación

Se ha definido el proceso de selección y evaluación de la literatura en el paso anterior. Con ese fin, en primer lugar, los criterios de inclusión y exclusión de artículos se diseñaron para garantizar que se identificara y evaluara la literatura más pertinente a la cuestión de la investigación. Cabe señalar que este proceso lo lleva a cabo cada autor de manera independiente, y luego los resultados se analizan conjuntamente para discutir y llegar a un consenso con ellos.

Los criterios de diseño incluyen los siguientes sub-pasos:

- ✚ Etapa 1: Las cadenas de búsqueda han sido diseñadas para que los artículos seleccionados contengan al menos dos palabras clave.
- ✚ Etapa 2: En esta fase se tienen en cuenta el criterio de limitación de la búsqueda para que sólo se conserven los artículos científicos.
- ✚ Etapa 3: El período de búsqueda se limita a un período de tiempo determinado.
- ✚ Etapa 4: Este paso es para eliminar los estudios duplicados.
- ✚ Etapa 5: Esta fase es un resumen de los criterios diseñados y descritos en detalle que dieron lugar a una fuerte alineación entre los objetivos de la investigación y los artículos finalmente seleccionados.

4.6 Analizar y sintetizar

La investigación seleccionada y evaluada en el paso anterior es analizada y sintetizada. Este paso es de naturaleza cualitativa y es completado por los autores. Dependiendo del tema, el método y el contenido descriptivo de la investigación, cada investigación es analizada y sintetizada. Se utiliza una base de datos diseñada para este propósito. Un análisis posterior identificó y clasificó los principales temas de investigación.



4.2 Aplicación de la metodología

4.2.1 Diagnóstico inicial

La principal contribución de este análisis es proporcionar un examen de la bibliografía sobre la aplicación de métodos multicriterio en la selección de proveedores ecológicos. Los proveedores siempre han sido parte integral de la política de gestión de una empresa; sin embargo, la relación entre una empresa y sus proveedores siempre ha sido distante. Cuando hay que tomar una decisión de selección de proveedores (SS), el comprador suele establecer un conjunto de criterios de evaluación que pueden utilizarse para comparar las posibles fuentes. Para ello se suelen utilizar los criterios básicos: estructura de precios, entrega (tiempo y fiabilidad), calidad del producto y servicio (es decir, personal, instalaciones, investigación y desarrollo, capacidad, etc.).

Varios documentos de la bibliografía de examen abordan el problema de la selección de proveedores, como (Tumlin 2012 y Henscher2005) (Seifi, M. y otros, 2013).

4.2.2 Identificación de la pregunta de investigación

Nuestra pregunta de investigación es el objetivo de nuestra revisión de literatura que es clasificar los métodos de análisis multicriterio que se aplican en la cadena de suministro verde. Esta encuesta tiene como objetivo mejorar nuestra capacidad para descubrir conocimientos importantes en este gran cuerpo de literatura. Dada la evolución de este campo de investigación, en el presente capítulo se analizan las investigaciones realizadas en las revistas científicas internacionales interesadas en este campo y se establece un marco pertinente para clasificar el mayor número de artículos e es nuestro objetivo de la revisión de la literatura, que consiste en clasificar los métodos de análisis multicriterio que se aplican en la cadena de suministro ecológico (la selección de proveedores ecológicos en particular).

Aplicando la lógica de la CIMO, formulamos la propuesta de diseño para identificar los cuatro elementos principales:



Si un comprador desea tomar una decisión sobre un problema de selección de proveedores caracterizado por criterios múltiples y múltiples proveedores (C), debe utilizar un método de decisión multicriterio y optimización matemática (I) basado en la opinión de uno o más responsables para clasificar a los proveedores según su importancia y la definición de los diferentes objetivos y limitaciones; tomar la decisión de asignación óptima de pedidos (M) para seleccionar los mejores proveedores y asignar la cantidad de pedidos entre ellos (O).

4.2.3 Localizar la literatura

La búsqueda en google de resultados sobre la clasificación de métodos de análisis multicriterio en la gestión de la cadena de suministro verde, nos permite tener unos 81 600 como resultados esta accesibilidad de la información y darla a todo el mundo pero el hecho de tener información útil, información relevante que se utilizará para hacer un análisis bibliográfico requiere de motores de búsqueda científica. Con la pandemia del covid 19, no podemos trasladarnos a la biblioteca de la universidad, gracias al cuerpo administrativo que nos dio fácil acceso a las plataformas científicas como: web of Science , Scopus, Science direct, wiley y muchas otras Los artículos pertinentes se han buscado utilizando bases de datos académicas electrónicas, entre ellas Scopus , wiley online library, Sciences direct Estos artículos se buscan en las bases de datos de búsqueda utilizando las siguientes palabras clave: "MCDM AND LOGISTICS AND TRANSPORT AND GREEN AND SUPPLIER "que abarcan las principales revistas en inglés en los ámbitos de "Journal of Cleaner Production", "Management Decision", "Management of Environmental Quality: An International Journal" y "Transport" de 2010 a 2019..

- ❖ Scopus: es una de las mayores bases de datos de documentos científicos. Permite una búsqueda en un mayor número de campos de modo individualizado (p. ej. búsqueda por título, resumen, o palabras clave) en comparación con la interfaz de WoS (p. ej. Tema que incluye la búsqueda por título, resumen, o palabras clave de modo simultáneo). Los artículos de Scopus se identifican por el índice de calidad Scimago Journal Rank (SJR), que es un indicador del impacto de la revista (Elsevier Science Publishers, 2015). Los investigadores han hecho uso



de esta base para sus trabajos tales como: (Ahi y Searcy ,2013) en gestión de la cadena de suministro sostenible; (García-Rascón, 2015) sobre técnicas de representación del flujo de valor (Value Stream Mapping, VSM) y simulación de eventos discretos;(Jurado-Jurado ,2016) en Gestión Lean de la cadena de suministro.

- ❖ ScienceDirect: es la base de datos que pertenece al grupo editorial Elsevier, y que contiene libros y revistas de literatura científica a nivel mundial. Además, cuenta con herramientas de búsqueda en título, resúmenes, y palabras claves. Sus textos son revisados por pares y ofrece la ventaja de ofrecer “contenidos de una gran variedad de fuentes externas en forma de audio, vídeo y conjuntos de datos” (Elsevier B.V, 2014). Esta base de datos ha sido utilizada por varios autores en revisiones sistemáticas de literatura en temas relacionados con: gestión sostenible de la cadena de suministro (Seuring y Müller, 2008); gestión y relaciones de la cadena de suministro (Gosling y Naim, 2009; Delbufalo, 2012); Lean y Green (Garza-Reyes, 2015); gestión de proyectos (Da Silva y otros, 2010).
- ❖ Wiley: Wiley Online Library es una base de datos multidisciplinaria del editor John Wiley y Sons, que proporciona acceso a artículos en texto completo en muchos campos: ciencias exactas y aplicadas, humanidades y ciencias sociales. Esta base de datos abarca muchas disciplinas, incluyendo la ciencia y la tecnología (química, física, ingeniería...) y contiene más de 8 millones de artículos de 1600 publicaciones periódicas (incluyendo los antiguos títulos de Blackwell). Ofrece una interfaz rica en funcionalidades (búsqueda avanzada, alertas, etc.) y permite realizar búsquedas en los índices de las publicaciones periódicas.



Para la cadena de búsqueda, se identificaron primero las palabras clave: mcdm AND logistics AND transport AND green AND supplier , cabe destacar que las palabras clave deben estar en sinergia con la pregunta de búsqueda. Las palabras clave, a través de cadenas de búsqueda, se utilizaron en las cuatro bases de datos mencionadas en la ilustración 6. Para la cadena de búsqueda, hay que tener en cuenta la combinación de operadores lógicos como "AND " u "OR".En cuanto a los tres motores de búsqueda, Scopus fue nuestra primera cadena de búsqueda, después Science Direct y finalmente Wiley, utilizamos las mismas palabras clave para las tres plataformas.

La tabla 6 muestra las cadenas de búsqueda utilizadas en sus respectivos motores de búsqueda y los primeros resultados obtenidos.

Motores de Búsqueda	Cadena de Búsqueda	Resultados iniciales
<i>SCOPUS</i>	« MCDM AND LOGISTICS AND TRANSPORT AND GREEN AND SUPPLIER »	835
<i>SCIENCE DIRECT</i>	« MCDM AND LOGISTICS AND TRANSPORT AND GREEN AND SUPPLIER »	223
<i>WILEY</i>	« MCDM AND LOGISTICS AND TRANSPORT AND GREEN AND SUPPLIER »	40

Tabla 6 Resultados iniciales de artículos pertenecientes a cada motor de búsqueda



4.2.4 Criterios de la selección y la evaluación

Esta encuesta se realizó para identificar los artículos que se han publicado en revistas de alto nivel a fin de aumentar la validez de esta revisión sistemática de la literatura. Los principales criterios de este estudio fueron cuatro, a saber:

- ✚ Palabras claves (MCDM AND LOGISTICS AND TRANSPORT AND GREEN AND SUPPLIER)
- ✚ Idioma : Ingles
- ✚ Articulos
- ✚ Rango del año

Para garantizar la pertinencia, sólo se consideran los artículos en inglés para un período de nueve años comprendido entre 2010 y 2019.

Los artículos se incluyen en este estudio si se basan en profundidad en los métodos de MCDM, que son métodos de atribución al problema de la selección de proveedores ecológicos en la gestión de la cadena de suministro. Como resultado, se revisan 70 artículos para que sean lo más completos posible. Además, hemos excluido los artículos que no se corresponden con el tema deseado. Los siguientes pasos explican en detalle el proceso de selección.



Criterio de Selección y evaluación			
Proceso de criterio de selección y evaluación	Scopus	Sciences direct	Wiley
Los artículos deben contener al menos dos palabras clave (mcdm , green supplier)	835	223	40
Después, la búsqueda está limitada por el idioma, así que hemos elegido sólo los artículos en inglés. Para Science direct hemos limitado la búsqueda por tipo de documento, sólo hemos dejado (artículos de revisión), así que para Wiley hemos elegido sólo las revistas.	830	28	28
hemos indicado el período de nuestra investigación de 2010 a 2019	659	22	22
En Scopus hemos elegido sólo artículos científicos y hemos excluido las revistas, libros y conferencias de papel.	543	22	22
Número de documentos después de la eliminación de duplicados de las bases de datos empleadas	543	18	12
Se leen los resúmenes de cada uno de los	483	18	12



artículos resultantes de las búsquedas, con el fin de excluir los artículos que no corresponden a nuestra búsqueda.			
Finalmente, en esta etapa solo se presentarán aquellos trabajos que se relacionen con la investigación	40	18	12
70 artículos			

Ilustración 6 Etapas del proceso de la selección en la investigación

4.2.5 Analizar y sintetizar

En esta sección se analizarán y sintetizarán trabajos previamente seleccionados y evaluados. En todo momento, el investigador debe ser crítico y el trabajo debe ser relevante para el tema de investigación. Además, el investigador debe ser selectivo en cuanto a la fuente que mejor pueda probar y respaldar la redacción de un argumento. Por este motivo, nuestra gestión bibliográfica, basada en la herramienta Excel, nos ha permitido recopilar información que será útil para explorar los resultados. La tabla que hemos creado en 'Excel' incluye los 70 artículos con la siguiente información: el nombre de la revista, el título del documento, el volumen de la revista, el año, el DOI, las palabras clave, los métodos utilizados y los países en los que se trataron los métodos. La ilustración 8 muestra la clasificación de los datos que nos ayudó a hacer la revisión de la literatura.



1	(Vol, Pagina Inic y Fi	DOI	Título	Autores	Palabras cla	Métodos	Pais
2	Journal of Cleaner Production Volume 241, 20 December 2019, Article number 118017	10.1016/j.jclepro.2019.118017	A novel hybrid MCDM framework for WEEE recycling partner evaluation on the basis of green competencies	Kumar, A. Dixit, G.	Fuzzy AHPGreen competenciesRecycling partnerVIKORWEEE	AHP/VIKOR	India
3	Online Information Review Volume 44, Issue 1, 18 December 2019, Pages 114-138	10.1108/OIR-08-2018-0249	framework to rank cloud-based e-learning providers using best-worst method (BWM): A multidimensional	Pour, M. J. Mesrabadi, J., Hosseinzadeh, M.	(BWM)Cloud computingCloud-based e-learningE-learningPedagogical principleVendor	AHP/BWM	Iran

Ilustración 6 La clasificación de los datos de la investigación

La tabla 7 muestra un resumen de la investigación que hicimos. Esta información es necesaria para que podamos hacer un análisis cuantitativo.

Preguntas de investigación	<p>¿Qué son los métodos multicriterios que se aplican en la cadena de suministro verde ?</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿ Cuáles son las principales definiciones que se dan a los métodos de análisis multicriterio en el contexto de la gestión de la cadena de suministro ecológica? ¿Cuáles son las principales clasificaciones que se dan a los métodos de análisis multicriterio en la selección de proveedores ecológicos? 			
Palabras clave empleadas en las búsqueda	MCDM	Logistics	Transport	Green Supplier
Período de selección	2010 – 2019			
Motores de búsqueda	Scopus	Science Direct	Wiley	
Cantidad de publicaciones seleccionadas finalmente	40	18	12	
Criterio de selección	<ul style="list-style-type: none"> Idioma : Ingles Articulos Rango del año Palabras claves 			
Análisis y síntesis	Cuantitativo y cualitativo			

Tabla 7 Resumen de la metodología empleada

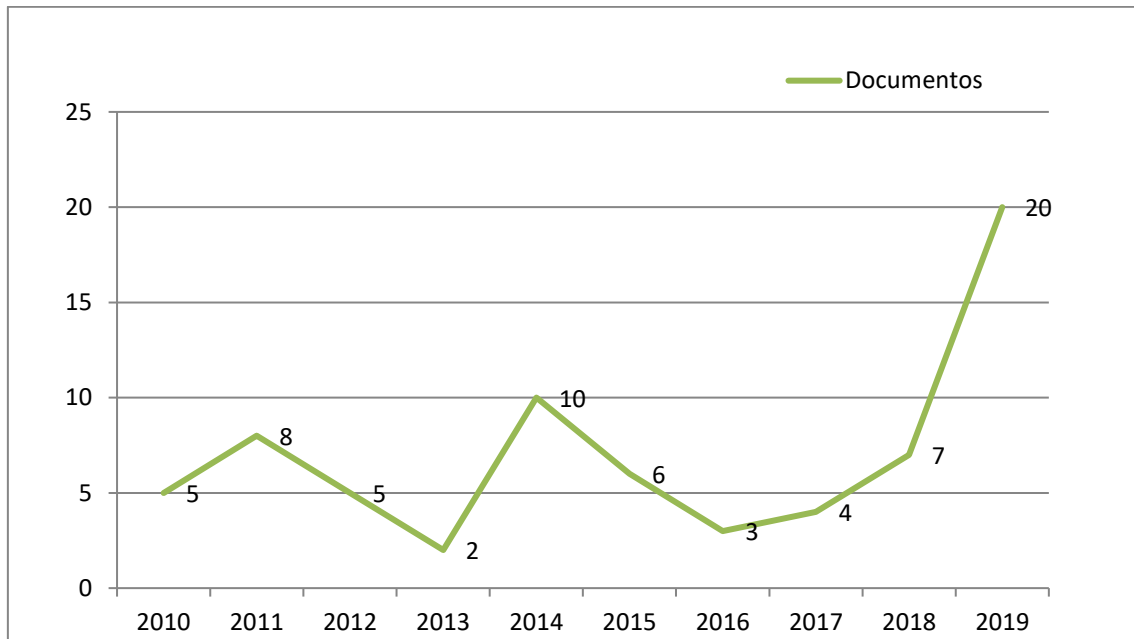


Ilustración 7 La evolución de los artículos según el periodo 2010 -2019

La Ilustración 7 muestra la fluctuación de la investigación durante el período 2010-2019, podemos notar que una variación significativa de los investigadores en el campo de la aplicación de MCDM en la selección de proveedores. Estos artículos se publicaron entre 2010 y 2019 con el fin de identificar las tendencias en la progresión cronológica de las investigaciones sobre el problema abordado. Desde 2016, el número de publicaciones en el ámbito de la selección de proveedores ecológicos en la logística y el transporte mediante métodos de apoyo a la toma de decisiones con criterios múltiples ha disminuido constantemente y aumentará en los años 2018 -2019.

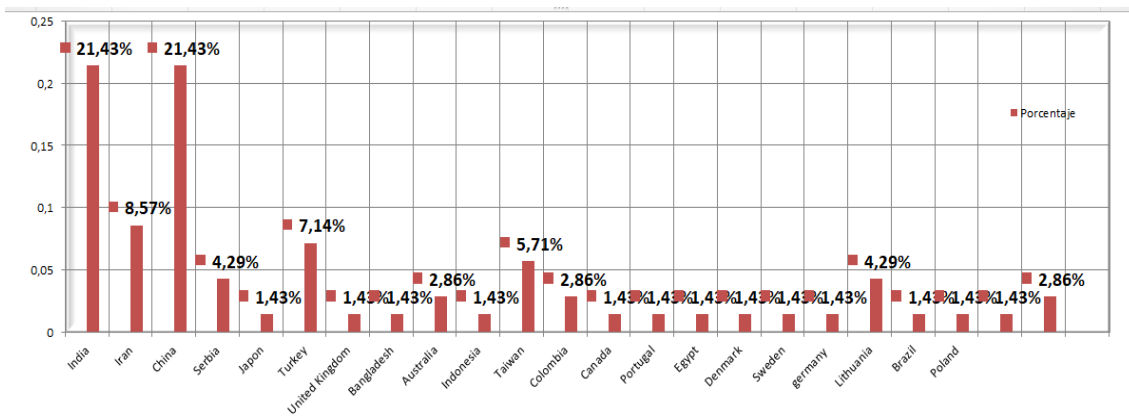


Ilustración 8 Los países que han tratado el problema de MCDM y la selección de los proveedores verdes

Entre los principales países que están abordando el problema de la selección de proveedores ecológicos mediante métodos de apoyo a las decisiones basados en criterios múltiples se encuentra en primer lugar la India, seguida de China y Iran.

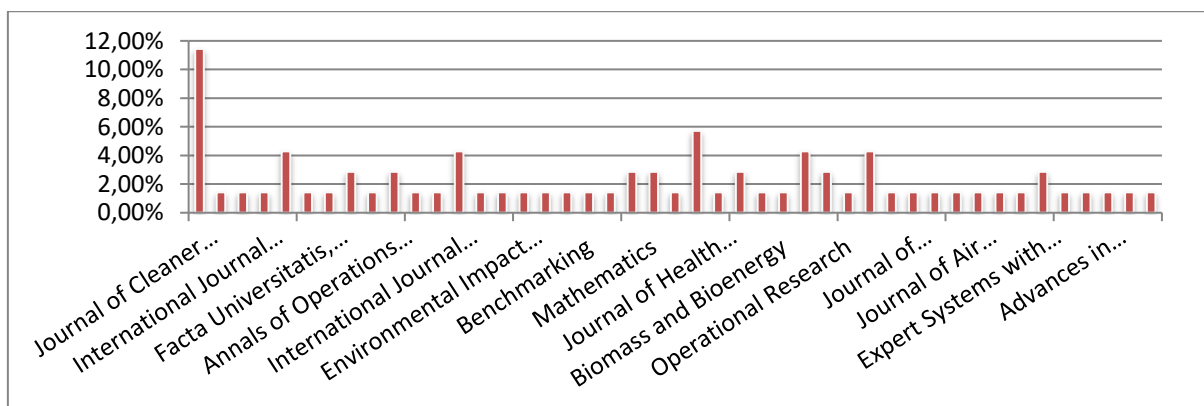


Ilustración 9 Porcentaje de los artículos que han tratado el tema MCDM y proveedor verde

Como se muestra en la ilustración 9, Journal of cleaner production, ocupa el mayor lugar en el tratamiento de nuestro tema de investigación con un porcentaje del 11%, Computers & Industrial Engineering y la segunda revista y Sustainability ocupa el tercer lugar.

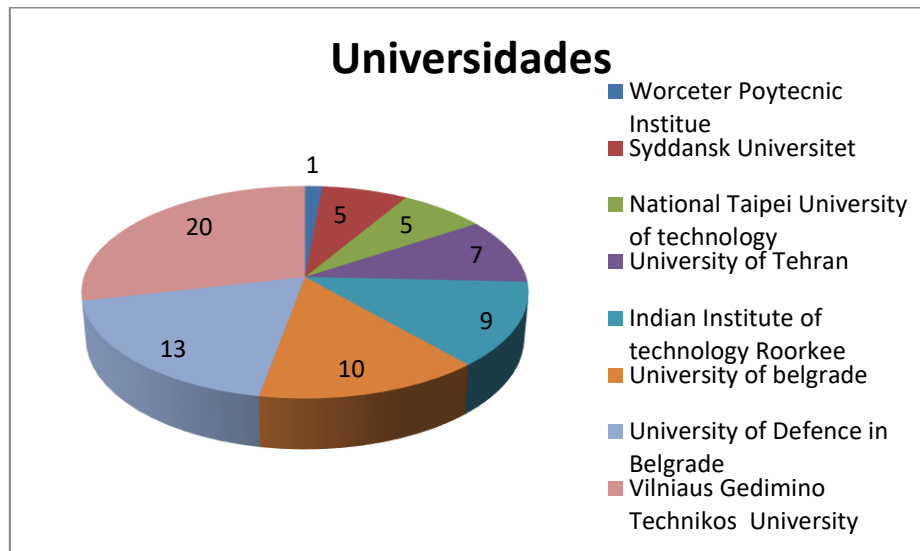


Ilustración 10 Las universidades que han tratado el tema MCDM y proveedor verde

La Universidad Vilniaus Gedimino Technikos de Lituania es líder en la investigación del problema de la selección de proveedores respetuosos con el medio ambiente en materia de logística y transporte, al tiempo que utiliza el MCDM en el período comprendido entre 2010 y 2019.

4.2.6 Presentar y Explotar

❖ *Clasificación del problema basada en el contexto:*

Es bien sabido que los principios y estrategias "verdes" se han vuelto vitales tanto para las empresas como para el público conciencia de sus impactos ambientales. El rendimiento medioambiental de una empresa es no sólo relacionados con los esfuerzos ambientales internos de la empresa, sino que también se ve afectada por la el rendimiento medioambiental y la imagen. Para las industrias, la fabricación respetuosa con el medio ambiente, y los procesos relacionados requieren una cadena de suministro verde (GSC) y el apoyo de los proveedores con habilidades ambientales/verdes. En los últimos años, la forma de identificar proveedores adecuados y respetuosos con el medio ambiente en la cadena de suministro se ha convertido en una consideración estratégica clave. Por esta razón, la naturaleza de la selección de proveedores es una cuestión compleja de múltiples criterios, que implica tantos factores cuantitativos y cualitativos que pueden ser contradictorios y también pueden ser inciertos.



Los factores identificados se integran en un nuevo modelo híbrido de toma de decisiones difusas y multicriterio (MCDM) combina el método de suma ponderada (SM), Análisis de procesos jerárquicos (AHP), y Técnica para la Ejecución de Órdenes por Similitud a la Solución Ideal (TOPSIS) en un contexto difuso. En la ilustración 12 se muestra el porcentaje de utilización de cada método en la selección de proveedores ecológicos.

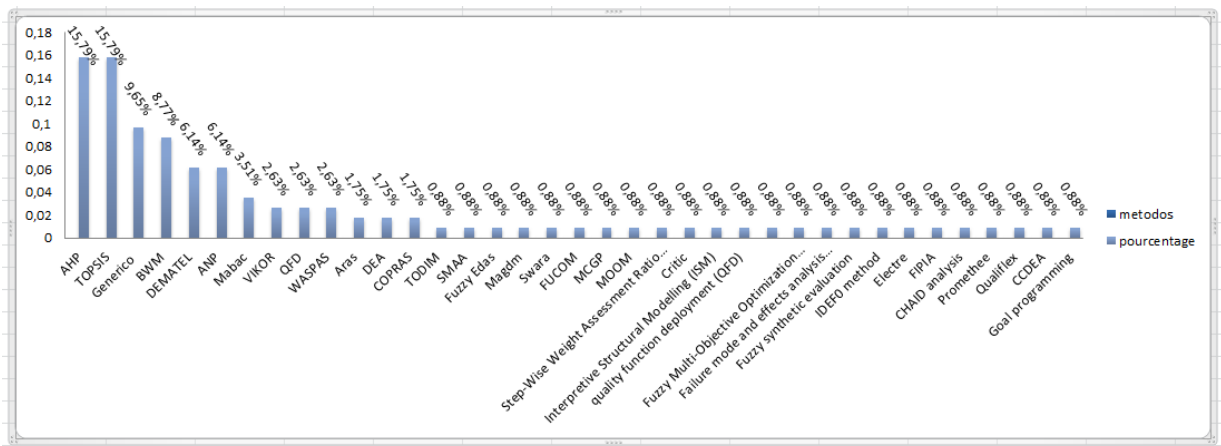


Ilustración 11 Porcentaje de la clasificación de los métodos multicriterios

Podemos deducir que AHP y TOPSIS se utilizan frecuentemente en la elección del proveedor ecológico para una gestión de la cadena de suministro ecológica con un porcentaje del 15%.

En un examen de la literatura se describen las numerosas posibilidades de aplicación de los métodos MCDM en el ámbito de la logística verde. Por ejemplo, Tuzkaya (2009) se realizó una evaluación de la influencia ambiental en el proceso de evaluación del transporte utilizando el método Fuzzy AHP. Además, se desarrolló el método Fuzzy AHP (2015), en el que los autores prepararon un modelo de desarrollo ecológico para los países en desarrollo. La logística de las grandes zonas industriales de Casablanca.

En Wang y Chan (2013), se aplicó el método TOPSIS para evaluar algunos elementos de la logística urbana verde. La cuestión de la evaluación de la eco innovación para la selección de los cooperantes se abordó en Lee y otros (2012), donde también se utilizó el método de la AHP difusa.



En Bottani y Rizzi (2006), los autores utilizaron el método difuso de TOPSIS para la selección y clasificación del proveedor de servicios de 3PL más apropiado. Por otra parte, en Vahabzadeh y otros (2015), los autores sugirieron un modelo difuso multicriterio utilizando el método VIKOR para apoyar las decisiones "verdes" en la logística inversa. En Bagheri Moghaddam y otros (2011) se analizó la energía limpia para las casas de bajo consumo energético. Los autores decidieron preparar su marco original para la evaluación de las variantes de selección utilizando varios métodos MCDM. En el documento de Ferrari (2003), se propuso la selección de un modelo para uno en un área metropolitana utilizando varios métodos de MCDM. Además, el método AHP se utilizó en Poh y Ang (1999), donde el problema se refería a la selección de combustible para el transporte terrestre. En el periódico Tzeng y otros (2005), utilizaron una combinación de AHP y TOPSIS para la selección de combustible para el transporte público.

La TOPSIS constituyó la base de la investigación de Awasthi y otros (2011), donde los autores la aplicaron a seleccionar las ubicaciones de los centros de distribución urbana.

En un estudio de la industria manufactura, Chan y Kumar (2007) utilizaron el método de AHP extendida difusa para seleccionar el mejor proveedor mundial que proporcionara los componentes clave utilizados en el proceso de montaje. Sobre la base de todos los criterios/subcriterios principales, se evaluaron los tres proveedores seleccionados de acuerdo con los criterios de selección predeterminados y al final del estudio se seleccionó el mejor proveedor.

Bottani y Rizzi (2008), utilizaron un análisis difuso de la AHP y la agrupación para seleccionar los proveedores que permiten la producción de máquinas de fabricación y envasado de bebidas en Italia. En su estudio, si bien se aplicó la técnica de AHP difusa para evaluar y organizar las alternativas de AHP, se aplicó el análisis de agrupación para clasificar las alternativas organizadas en grupos convenientes; estas aplicaciones redujeron el número de proveedores de 92 a 18.

Lee (2009), propuso un método analítico para seleccionar proveedores en un entorno difuso, y al final del estudio se utilizó el método de AHP difuso para organizar



proveedores alternativos para seleccionar proveedores para una empresa de producción de televisión en Taiwán.

Sen y otros (2010), utilizaron métodos de AHP difuso y max-min para seleccionar proveedores para la industria electrónica turca. Aunque el método de AHP difuso se utiliza para determinar el peso de las normas de costo, calidad, servicio y fiabilidad, el método de máximo-mínimo se utiliza para describir la categoría de proveedores eficientes sobre la base de criterios ponderados y de eficiencia. Pruebas estadísticas no paramétricas para maximizar y minimizar el rendimiento del proveedor. Al final del estudio se identificó un grupo de proveedores eficientes.

Kilincci y Onal (2011), aplicaron el método de AHP difuso para seleccionar el mejor proveedor entre las empresas turcas que producen muebles blancos. Utilizando los criterios obtenidos de la experiencia e investigación de los expertos del departamento de planificación de la producción, se evaluaron de esta manera otros tres proveedores en el sector de la salud en el Irán. En primer lugar, los criterios más importantes para seleccionar a los proveedores, como el precio, la calidad, el servicio, la organización y las cuestiones técnicas, se determinaron mediante una búsqueda bibliográfica. A continuación se seleccionó el mejor proveedor mediante el uso de AHP difuso, y se sugirió que este método se utilizara en combinación con el método generalista para estudios futuros.

Zeydan y otros (2011) utilizaron los métodos Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS y DEA para seleccionar y evaluar a los proveedores de la industria automotriz turca. Aplicaron un proceso de jerarquía analítica difusa para calcular el peso de los criterios de selección de proveedores determinados; transfieren el peso obtenido de allí al método TOPSIS difuso y utilizan los resultados del método DEA como resultado para seleccionar y evaluar al proveedor.

Punniyamooth y otros (2011) realizaron un estudio de campo sobre la selección de proveedores, y los resultados utilizados por los encuestados en la investigación en esta área utilizaron la modelización de ecuaciones estructurales y métodos de AHP difusos. El primer paso de la investigación es generar y formular hipótesis sobre los criterios de selección de los proveedores, y luego revelar la relación entre la modelización de la



ecuación estructural y las normas y los proveedores. Por último, utilizar un proceso de jerarquía analítica difusa para clasificar a los proveedores según sus prioridades.

Kannan y otros (2013) aplicaron la programación difusa de AHP, la programación difusa de TOPSIS para resolver el problema de la selección de proveedores y la asignación de pedidos para las empresas de automoción en Irán.

Chen y otros (2006) aplicaron el método de TOPSIS difuso a la selección de proveedores en empresas que producían tecnologías avanzadas. Basándose en cinco criterios predeterminados para los proveedores, tres encargados de la toma de decisiones evaluaron cinco proveedores alternativos. Al final del estudio, los proveedores alternativos se clasificaron según el coeficiente de proximidad.

Shahanaghi y Yazdian (2009) aplicaron el método de TOPSIS difusa para seleccionar el mejor proveedor según criterios predeterminados, en lo que respecta a la compra de los principales componentes a proveedores alternativos en una empresa de automoción; el mejor proveedor se seleccionó al final de los cálculos que se llevaron a cabo tras la evaluación de cuatro proveedores alternativos por tres responsables de la toma de decisiones, según los criterios predeterminados.

Buyukozkan y Ersoy (2009) utilizaron el método de TOPSIS difuso para seleccionar un proveedor externo para una empresa que opera en un departamento informático en Turquía. Boran y otros (2009) utilizaron el método TOPSIS combinado con un intuitivo conjunto difuso para seleccionar proveedores de piezas clave en el proceso de producción de las empresas automovilísticas.

En el estudio de Wang y otros (2009), utilizando el método de estratificación difusa TOPSIS, se evaluaron tres proveedores y se clasificaron según cuatro criterios de selección de proveedores. Al final del estudio, algunos individuos declararon que este método es más razonable que otros y que puede utilizarse para cálculos de peso en futuras investigaciones o en otras áreas de toma de decisiones.

Awasthi y otros (2010) utilizaron el método de TOPSIS difuso para la selección de proveedores; 12 criterios de selección, que se determinaron de conformidad con la opinión de expertos, fueron evaluados por tres expertos encargados de adoptar



decisiones para cuatro proveedores alternativos, y los proveedores se clasificaron luego según su índice de proximidad. Al final del estudio se realizó un análisis de sensibilidad.

Chen (2011) utilizó un método de dos pasos (incluyendo el método de TOPSIS difuso) para seleccionar los proveedores de la industria textil de Taiwán.

Jolie y otros, (2011) utilizaron los métodos TOPSIS y GP difusos para seleccionar el mejor proveedor y determinar la cantidad a pedir, tres responsables evaluaron entonces los seis proveedores seleccionados por la fábrica. Utilizaron el método TOPSIS difuso para seleccionar el mejor proveedor y el peso obtenido al combinar el método TOPSIS difuso y el método GP para determinar la cantidad pedida. Al final del estudio, el análisis de sensibilidad determinó que los resultados eran coherentes.

❖ *Síntesis de los resultados*

El análisis de 70 artículos publicados en el ámbito de la selección de proveedores ecológicos nos ha permitido identificar los diferentes métodos de análisis multicriterio para evaluar estos proveedores. También se utiliza para identificar la mejor alternativa considerando la distancia más corta a la solución ideal positiva o la distancia más larga a la solución ideal negativa.

En la tabla 8 a continuación se resumen las principales ventajas y desventajas de los métodos de selección de proveedores ecológicos.

Métodos	Ventajas	Desventajas
Ponderación	<ul style="list-style-type: none">✓ Rápido y fácil de usar✓ Tiene en cuenta criterios subjetivos✓ Aplicación económica	<ul style="list-style-type: none">✓ Depende del juicio humano✓ No hay posibilidad de introducir restricciones en el modelo



Programación matemática	Multi objetivo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los criterios no tienen necesariamente una dimensión común ✓ Ofrece varias soluciones ✓ Posibilidad de introducir o no introducir restricciones en el modelo 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiene en cuenta criterios subjetivos con dificultad ✓ No ofrece una solución óptima ✓ Es difícil analizar los resultados del método
	Objetivo único	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ofrece una solución óptima ✓ Posibilidad o no de introducir restricciones en el modelo 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No tiene en cuenta criterios subjetivos

Tabla 8 Resumen de las ventajas y desventajas de los métodos utilizados en la selección de proveedores ecológicos

Los estudios han demostrado que en el período de 2010 a 2019, la selección de proveedores ecológicos que utilizan MCDM se ha convertido en una decisión estratégica crucial que repercute en el rendimiento general de la empresa, decisión que tiene por objeto crear y mantener una red de proveedores fiables y eficientes necesarios para que el cliente pueda hacer frente por sí mismo a los desafíos competitivos. Esta



decisión multicriterio que implica la consideración simultánea de varios criterios como el precio, el plazo de entrega, que es extremadamente difícil encontrar un proveedor que sobresalga en todas partes, por ejemplo el proveedor que ofrece el precio más bajo no puede tener el mejor desempeño en términos de plazo de entrega y calidad del producto. En conclusión, aunque se han publicado varios métodos en la literatura para resolver el problema de la selección de proveedores, este proceso de decisión sigue siendo complejo dada la diversidad de criterios y, a veces, otros criterios son contradictorios y, obviamente, si la empresa quiere cumplir tanto el tríptico QCD (calidad, costo, tiempo) que hace más complejo el modelado del problema.





Capítulo V: Estudio Económico



5.1 Introducción

Básicamente, cada proyecto requiere un estudio económico para evaluar la ejecución del mismo y hacer proyecciones de costos con la máxima prudencia posible a fin de examinar la viabilidad del proyecto.

El objetivo de esta labor es clasificar los métodos analíticos multicriterio en la gestión de la cadena de suministro verde. Se ocupa de estos métodos en la selección de los proveedores ecológicos.

En este capítulo vamos a presentar las etapas del proyecto, el personal involucrado, evaluar los costos de cada fase del proyecto (no es esencial tener en cuenta los costos de los locales y el equipo, pero el cálculo de las horas, la depreciación del equipo y los costos de cada fase necesaria serán obviamente obligatorios para calcular el costo total del proyecto).

5.2 Personal Involucrado

Las partes interesadas en nuestro proyecto son:

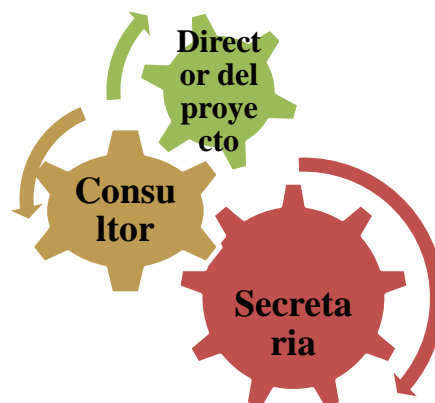


Ilustración 12 Personal Involucrado en el proyecto



Director del proyecto: La misión de esta persona es:

- ✓ Planificar los objetivos
- ✓ Para asegurar la dirección del proyecto
- ✓ Asignación de tareas de arbitraje
- ✓ Aconsejar y desplegar el enfoque del proyecto
- ✓ Gestionar el departamento de proyectos
- ✓ Supervisar el diseño y la ejecución de las tareas



Consultor: La misión de esta persona es:

- ✓ Evaluar las condiciones iniciales del proyecto
- ✓ Recomendaciones para mejorar
- ✓ Ampliar las fases del proyecto
- ✓ Explorar y sintetizar los resultados
- ✓ Generar la documentación del proyecto.



Secretaria: La misión de esta persona es:

- ✓ Oficina o asistente ejecutivo
- ✓ Recepción y clasificación del correo para presentar sólo la información esencial al departamento
- ✓ La recepción y el control de las llamadas telefónicas.
- ✓ Llevando a cabo el trabajo de campo



5.3 Fases del proyecto

Los pasos para la realización de nuestro proyecto se resumen en el siguiente cuadro:

Panificación del proyecto
<ul style="list-style-type: none">• Propuesta del tema• Definir los objetivos
Búsqueda bibliográfica
<ul style="list-style-type: none">• Explorar las bases de datos bibliográficas• Búsqueda de información• Definir los conceptos teóricos
Análisis bibliográfico
<ul style="list-style-type: none">• Hacer un inventario de los documentos de referencias existentes que pueden servir de base y fuente para a investigación• Identificar , clasificar y documentar la información• Explotación de la información para la investigación
Explotar resultados / Conclusiones
<ul style="list-style-type: none">• Deducir conclusiones y recomendaciones• Estudio económico
Presentación final

Tabla 9 Las fases del proyecto

Nuestro proyecto es la realización de un análisis bibliográfico para clasificar los MCDM para la selección de proveedores ecológicos. Duró 17 Semanas

Fecha inicial	Duracion	Fecha final
18/03/2020	31,00	17/04/2020
18/04/2020	61,00	17/06/2020
18/06/2020	20,00	07/07/2020
07/07/2020	7,00	14/07/2020
	119,00	
	17	Semanas

Ilustración 13 La duracion del proyecto



La fecha de inicio del proyecto: 18/03/2020

La fecha de finalización: 14/07/2020

Con una masa horaria de: 748 H (17 S *44h) (es decir 8H/DIA de 10H a 18H – Lunes a Sábado excepto que los sábados trabajamos de 8:00 a 12:00).

Lo que significa 44h /semana

El siguiente diagrama de Gant detalla las etapas del proyecto:

Nuestro proyecto durará 17 semanas, comenzó el 18 de marzo de 2020 y se supone que estará terminado el 14 de julio de 2020, por lo que según el siguiente diagrama, notamos que la fase de análisis bibliográfico toma más tiempo que las otras fases del proyecto, lo cual es normal ya que es el cuerpo del proyecto.

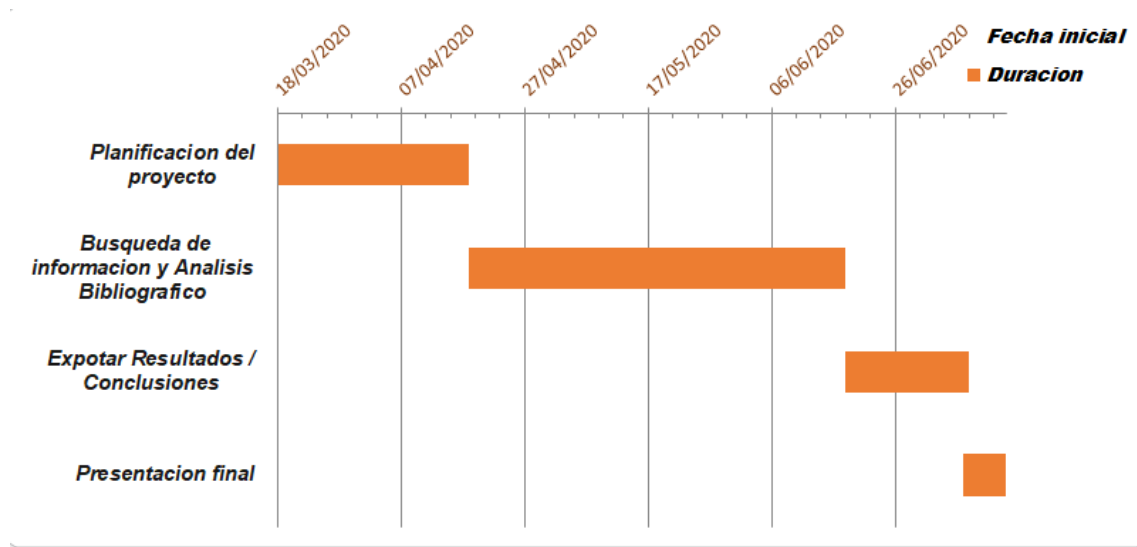


Ilustración 13 Diagrama de GANTT (elaboración propia)

5.4 Estudio económico

Para realizar un estudio económico de cada etapa del proyecto, tendremos que hacer una contabilidad de las actividades, para lo cual haremos un cálculo de los siguientes puntos:



- Las horas efectivas anuales y de las tasas por hora de los salarios.
- Cálculo de las amortizaciones del equipo.
- Coste por hora y por persona de los materiales calificados como consumibles.
- Coste por hora y por persona de los costes indirectos.
- Horas de personal dedicadas a cada una de las etapas.

5.4.1 Horas efectivas anuales y de las tasas por hora de los salarios.

Las dos tablas siguientes representan el cálculo de las horas, días y semanas efectivamente trabajadas durante el período del proyecto .

Concepto	Días
Año medio	365
Sabados y domingos ($365 \cdot (1,5/7)$)	78
Dia efectivos vacaciones	20
Dias festivos	12
media dias perdidos por enfermedad	15
formaciones	4
total dias efectivos	236
total horas 8h/Dia	1886

Tabla 10 Días efectivos laborales

Concepto	Semanas
Año medio	50
Vacaciones y festivos	4
Enfrmedad	1
Formaciones	1
Total semanas	44

Tabla 11 Semanas efectivas

La tabla 10 representa el costo por hora y por semana de los tres actores profesionales de este proyecto: director de proyecto, consultor y asistente administrativo. Para este cálculo, los sueldos medios están vinculados a las horas y semanas reales detalladas anteriormente.



	Director del proyecto	Consultor	Secretaria
Sueldo	50000,00	40000,00	10000,00
Seguridad social (32%)	17500,00	14000,00	3500,00
Coste/H	9,28	7,42	1,86
Coste/semana	397,73	318,18	79,55

Tabla 12 Costes del personal

5.4.2 Cálculo de amortizaciones

En esta sección se calcula el costo de todo el equipo informático utilizado para este proyecto, teniendo en cuenta un período de amortización de 5 años por la licencia de Software y impresora y 7 años por el portátil .

Los costos de depreciación del equipo informático utilizado se reflejan en el siguiente cuadro:

Concepto	Costo	Cantidad	Total	Numero de años de amortización
MacBook Pro de	1499	1	1499	7
Licencia de softwa	100	1	100	5
Impresora digital	300	2	600	5
			2199	
	Tipo	numero	Amortizacion	1886
	Diaria	6,024658	0,860665362	44
	Semanal	49,97727	9,995454545	365
	Horario	1,16596	0,233191941	

Tabla 13 Amortizacion del equipo

5.4.3 Coste de material Consumible

El costo de los bienes fungibles se refiere al equipo utilizado para imprimir el documento y los documentos necesarios y para almacenar la información. La tabla 12. muestra el coste de los consumibles por persona y por hora de trabajo.



	Concepto	Costo
	Papel de impresion	90
	USB	30
	Otros	50
	Total anual -persona	170
	Total hora persona	0,06

Tabla 14 Cote de material consumible

5.4.4 Costes Indirectos

Estos son los gastos de consumo de electricidad , alquileres y otros necesarios para la realización del proyecto. En la tabla 13 se reflejan los costes indirectos del proyecto por persona y por hora de trabajo.

Concepto	Costo	2920
Alquiler	250	
Electricidad	117	
Otros	300	
Total/anual persona	667	
Total/Hora Persona	0,228424658	

Tabla 15 Costes indirectos



5.4.5 Horas del personal en cada fase

En la tabla 14 se detalla las horas dedicadas por todo el equipo profesional en cada fase del proyecto.

	Director del proyecto	Consultor	Secretaria
Planificación del proyecto	10	60	4
Busqueda informacion	12	100	3
Analisis bibliografico	20	206	10
Explotar Resultados/Conclusiones	15	185	10
Presentacion final	10	100	3
Total horas	67	651	30
Total horas proyecto	748		

Tabla 16 Horas del personal en cada fase

5.5 Costes de cada fase del proyecto

En esta sección se reflejan todos los costos de cada fase del proyecto, en los que se tuvo en cuenta el costo de la depreciación del equipo utilizado, el costo de los bienes fungibles, los costos indirectos, la depreciación del equipo utilizado y el equipo profesional para las tarifas horarias.

Planificación del proyecto

En esta etapa se realizan estudios preliminares, se recoge información, se determina el alcance, se definen los objetivos y se explican los conceptos básicos. El cuadro que figura a continuación muestra la distribución de todos los costos en este paso

Concepto	Horas	Costo/hora	Costo Total	
Personal	Director del proyecto	10	9,28	92,8
	Consultor	60	7,42	445,2
	Secretaria	4	1,86	7,44
Amortizacion	100	0,23	23	
Material consumible	120	0,06	7,2	
Costes Indirectos	120	0,22	26,4	
Coste total			602,04 €	

Tabla 17 Coste total del fase de la panificación del proyecto



La búsqueda de información

En este paso, exploramos las bases de datos con las que trabajaremos y definimos los conceptos teóricos.

Concepto		Horas	Costo/hora	Costo Total
Personal	Director del proyecto	12	9,28	111,36
	Consultor	100	7,42	742
	Secretaria	3	1,86	5,58
Amortizacion		90	0,23	20,7
Material consumible		100	0,06	6
Costes Indirectos		100	0,22	22
Coste total				907,64 €

Tabla 18 Coste total del fase Busqueda de información

Análisis bibliográfico

En esta etapa se realiza el análisis bibliográfico, la explotación de la información pertinente que se utilizará para la investigación. En el siguiente cuadro se detallan los costos relacionados con este paso.

Concepto		Horas	Costo/hora	Costo Total
Personal	Director del proyecto	20	9,28	185,6
	Consultor	206	7,42	1528,52
	Secretaria	10	1,86	18,6
Amortizacion		250	0,23	57,5
Material consumible		300	0,06	18
Costes Indirectos		450	0,22	99
Coste total				1 907,22 €

Tabla 19 Coste total del fase analisis bibliografico

Explotar resultados / conclusiones

En esta etapa se analiza los resultados después del analisis bibliografico realiza el diagnostico final, el estudio económico. los costes asociados están detallados en la siguiente tabla.



Concepto		Horas	Costo/hora	Costo Total
Personal	Director del proyecto	15	9,28	139,2
	Consultor	185	7,42	1372,7
	Secretaria	10	1,86	18,6
Amortizacion		140	0,23	32,2
Material consumible		350	0,06	21
Costes Indirectos		350	0,22	77
Coste total				1 660,70 €

Tabla 20 Costo total del fase Resultados /Conclusiones

✚ Presentación final

Esta es la etapa final del proyecto donde se realiza la validación final donde participa el jefe de proyecto dando la retroalimentación correcta al consultor. En la tabla 18 se refleja los costos asociados a esta etapa.

Concepto		Horas	Costo/hora	Costo Total
Personal	Director de proyecto	10	9,28	92,8
	Consultor	100	7,42	742
Material consumible	Secretaria	3	1,86	5,58
Costes Indirectos		80	0,22	17,6
Coste total				857,98 €

Tabla 21 Costo total del fase presentación final

5.6 Costo final

El coste total del proyecto asociado a cada fase se refleja en la tabla 19. Esta muestra un coste total de 5935,58 € con un periodo de 17 semanas.

Fases	Costo
Planificacion del proyecto	602,04 €
Busqueda de informacion	907,64
Analisis bibliografico	1907,22
Explotar resultados /Conclusiones	1660,7
Presentacion final	857,98
5 935,58 €	

Tabla 22 Coste final del proyecto





Capítulo VI Conclusiones, y futuros desarrollos



6.1 Conclusiones

El primer objetivo de esta revisión de la literatura fue examinar sistemáticamente los estudios sobre la cuestión de la selección de proveedores mediante métodos de análisis multicriterio (MCDM) en el período comprendido entre 2010 y 2019. Basándonos en este estudio podemos concluir lo siguiente:

- ✓ El problema de la selección de proveedores ha atraído el interés de muchos investigadores, y el número de estudios de investigación sobre este tema ha aumentado en los últimos años.
- ✓ Varios modos de decisión multicriterio (MCDM) se han propuesto en la literatura para seleccionar proveedores que incluyan criterios tanto cualitativos como cuantitativos.
- ✓ Los autores prestaron atención a la MCDM y a los métodos integrados porque el problema de la selección de los proveedores es un problema de decisión con múltiples criterios que incluyen tanto criterios cualitativos como cuantitativos. Estos métodos son muy rápidos y fáciles de usar, pero dependen del juicio humano porque los diferentes pesos dados a los distintos atributos dependen del juicio subjetivo de los responsables de la toma de decisiones.
- ✓ El método AHP ha demostrado ser el más popular de los métodos MCDM utilizados en este campo y el segundo enfoque es TOPSIS. El método AHP tiene más críticas como la inversión del rango de las alternativas. En segundo lugar, encontramos que el MCDM aplicado en esta área tiene dos grandes deficiencias. La insignificancia de las clasificaciones resultantes en contextos de datos mixtos (es decir, las clasificaciones de las alternativas pueden cambiar debido a transformaciones permisibles de los valores de los atributos iniciales, tal como los define la teoría de la medición).

Las inversiones de rango que la clasificación de las alternativas puede cambiar si se añade una nueva alternativa o se suprime o sustituye una antigua en ella).



6.2 Futuros desarrollos

- ✓ En el examen de la bibliografía sobre este tema, encontramos que en los últimos 9 años, dadas las normas de sostenibilidad y gestión de riesgos para los proveedores, la importancia de la selección de proveedores ha aumentado, principalmente en la gestión de la cadena de suministro ecológica. Por lo tanto, al elaborar nuevos enfoques, se recomienda que estos tipos de normas se incluyan en los tres procesos de gestión de proveedores.
- ✓ Las investigaciones realizadas han creado nuevas cuestiones que pueden plantearse en futuros trabajos académicos. Basándose en los resultados del problema de toma de decisiones, ¿cómo se puede convertir el valor de prioridad global obtenido en el problema de toma de decisiones en un valor para poder evaluar la puntuación de cumplimiento del proveedor para cada criterio, proceso o nivel? ¿Cómo se puede derivar la prioridad general del problema de la decisión a partir de los indicadores del tablero reales y aplicables?



Referencias bibliográficas

- ❖ Ageron, Gunasekaran y Spalanzani (2012) *Sustainable supply management: An empirical study* *International Journal of Production Economics* 140(1) · November 2012 DOI: 10.1016/j.ijpe.2011.04.007
- ❖ Arıkan, E. and Jammernegg, W., (2014). *The single period inventory model under dual sourcing and product carbon footprint constraint*. *International Journal of Production Economics*, 62, 1–9.
- ❖ Awasthi, A., Chauhan, S.K. (2011) *Goyal A multi-criteria decision making approach for location planning for urban distribution centers under uncertainty* *Mathematical and Computer Modelling*, 53 (1-2), pp. 98-109
- ❖ Ayadi (2010), *Optimisation multicritère de la fiabilité : application du modèle de goal programming avec les fonctions de satisfactions dans l'industrie de traitement de gaz*. Thèse de doctorat, Université d'Angers.
- ❖ Brandenburg, M., Govindan, K., Sarkis, J., and Seuring, S., (2014). *Quantitative models for sustainable supply chain management: developments and directions*. *European Journal of Operational Research*, 233, 299–312.
- ❖ Bovea, M. and Belis, P., (2012). *A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process*. *Journal of Cleaner Production*, 20, 61–71.
- ❖ Bouyssou, D. (2000). *Evaluation and decision models : a critical perspective*, volume 32. Springer Science & Business Media.
- ❖ Bouyssou et al, (2006) Bouyssou, D., Marchant, T., Pirlot, M., Tsoukiàs, A. et Vincke, P. (2006). *Evaluation and decision models with multiple criteria : Stepping stones for the analyst*, volume 86. Springer Science & Business Media.
- ❖ Brans et al, (1986) Brans, J.-P., Vincke, P. et Mareschal, B. (1986). *How to select and how to rank projects : The PROMETHEE method*. *European journal of operational research*, 24(2):228–238.
- ❖ Barlo, C. and Morgan, D., (2013). *Polymer film packaging for food: an environmental assessment*. *Resources, Conservation and Recycling*, 78, 74–80.



- ❖ Bing, X., de Keizer, M., Bloemhof, J., and van der Vorst, J., (2014) . *Vehicle routing for the eco- efficient collection of household plastic waste. Waste Management, 34, 719–729*
- ❖ Banaeian N, Mobli H, Fahimnia B, Nielsen IE, Omid M (2018). *Green supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the Agri-food industry. Computers and Operations Research.:*
- ❖ Boran FE, Genç S, Kurt M, Akay D (2009). *A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. Expert Systems with Applications. 2009;36(8):11363-11368*
- ❖ Biellia, M., Biellib, A., and Rossic, R., (2011). *Trends in models and algorithms for fleet management. Procedia Social and Behavioral Sciences, 20, 4–18.*
- ❖ Bae, S., Sarkis, J., and Yoo, C.,(2011). *Greening transportation fleets: insights from a two-stage game theoretic model. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 47, 793–807.*
- ❖ Bagheri Moghaddam. N Nasiri.M Mousavi.SM (2011) *An appropriate multiple criteria decision making method for solving electricity planning problems, addressing sustainability issue International Journal of Environmental Science & Technology Vol 8 N° 3 P. 605-620*
- ❖ Bottani.E , Rizzi.A (2006) *A Fuzzy TOPSIS methodology to support outsourcing of logistics services Supply Chain Management 11(4):294-308 · July 2006*
- ❖ Bettayeb, B., Bassetto, S., and Sahnoun, M., (2014). *Quality control planning to prevent excessive scrap production. Journal of Manufacturing Systems, 33, 400–411.*
- ❖ Cyprus Ministry of Labour, (2006) .*A Guide to CSR. MLSI, Cyprus, <http://www.mlsi.gov.cy/mlsi.pdf> (accessed July 16, 2015).*
- ❖ Chu, C., Luh, Y., Li, T., and Chen, H., (2009). *Economical Green Product design based on simplified computer-aided product structure variation. Computers in Industry, 60, 485–500*
- ❖ Collette, Y. et Siarry, P. (2011). *Optimisation multiobjectif : Algorithmes. Editions Eyrolles.*
- ❖ Chan.S Kumar.N (2007) *Global supplier selection: A fuzzy-AHP approach International Journal of Production Research 46(14):3825-3857*
- ❖ Courbon, J. (1982). *Processus de décision et aide à la décision. Economies et sociétés, 16(12).*



- ❖ *Chen, C. and Liu, L., (2014). Pricing and quality decisions and financial incentives for sustainable product design with recycled material content under price leadership. International Journal of Production Economics, 147(Part C), 666–667.*
- ❖ *Cardwell, D. and Krauss, C., (2013). Trucking Industry Is Set to Expand Its Use of Natural Gas. The New York Times,
<http://www.nytimes.com/2013/04/23/business/energy-environment/natural-gas-use-in-long>*
- ❖ *Correia, F., Howard, M., Hawkins, B., Pye, A., and Lamming, R., (2013). Low carbon procurement: an emerging agenda. Journal of Purchasing & Supply Management, 19, 58–64.*
- ❖ *Cirovic, G., Pamucar, D., and Bozanic, D., (2014). Green logistic vehicle routing problem: routing light delivery vehicles in urban areas using a neuro-fuzzy model. Expert Systems with Applications, 41, 4245–4258.*
- ❖ *Ding, H. (2004). une approche d'optimisation basée sur la simulation pour la conception des chaînes logistiques : Applications dans les industries automobile et textile. Thèse de doctorat, Metz.*
- ❖ *Duflou, J., Sutherland, J., Dornfeld, D., Herrmann, C., Jeswiet, J., Kara, S., Hauschild, M., and Kellens, K., (2012). Towards energy and resource efficient manufacturing: a processes and systems approach. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 61, 587–60*
- ❖ *Dekker, R., Bloemhof, J., and Mallidis, I., (2012). Operations Research for Green Logistics – an overview of aspects issues and contributions. European Journal of Operational Research, 219, 671–679*
- ❖ *Díaz-Madroño, M., Peidro, D., and Mula, J., (2014). A fuzzy optimization approach for procurement transport operational planning in an automobile supply chain. Applied Mathematical Modelling, 38, 5705–5725.*
- ❖ *Deparis, S. (2012). Etude de l'effet du conflit multicritère sur l'expression des préférences : Une approche empirique. Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris.*
- ❖ *Doumpos M, Zopounidis C (2011) A multicriteria outranking modeling approach for credit rating. Decision Sciences 42: 721–742.*
- ❖ *Demir, A., Bektas, T., and Laporte, G., (2014). The bi-objective pollution-routing problem. European Journal of Operational Research, 232, 464–478.*



- ❖ Elhedhli, S. and Merrick, R., (2012). *Green supply chain network design to reduce carbon emissions. Transportation Research Part D*, 17, 370–379.
- ❖ Etaio, I., Gil, P., Ojeda, M., Albisu, M., Salmerón, J., and Elortondo, F., (2011). *Improvement of sensory quality control in PDO products: an example with txakoli white wine from Bizkaia. Food Quality and Preference*, 23, 138–147.
- ❖ Fox, M.S. (2002). *Integrated supply chain management. Technical report, Enterprise integration laboratory. Working Paper.*
- ❖ Fénies y al. (2004), « *La gestion dynamique des supply chains des entreprises virtuelles* », *Revue française de gestion*, 2005/3 no 156, p. 151-166
- ❖ Fratocchi, L., Di Mauro, C., Barbieri, P., Nassimbeni, G., and Zanoni, A., (2014). *When manufacturing moves back: concepts and questions. Journal of Purchasing & Supply Management*, 20, 54–59
- ❖ Go, H., Kim, J., and Lee, D., (2016). *Operation and preventive maintenance scheduling for containerships: mathematical model and solution algorithm. European Journal of Operational Research*, 229, 626–636.
- ❖ Grubbström, R.W. et Wang, Z. (2003). *A stochastic model of multi-level/multi-stage capacity-constrained production–inventory systems. International Journal of Production Economics*, 81–82(0), 483 – 494. *Proceedings of the Eleventh International Symposium on Inventories*
- ❖ Govindan, K., Diabat, A., and Shankar, M., (2015). *Analyzing the drivers of green manufacturing with fuzzy approach. Journal of Cleaner Production*, 96, 182–193.
- ❖ Govindan, K. and Popiuc, M., (2014). *Reverse supply chain coordination by revenue sharing contract: a case for the personal computers industry. European Journal of Operational Research*, 233, 326–336
- ❖ Harris, I., Naim, M., Palmer, A., Potter, A., and Mumford, C., (2011). *Assessing the impact of cost optimization based on infrastructure modelling on CO2 emissions. International Journal of Production Economics*, 131, 313–321.
- ❖ Harris, I., Mumford, C., and Naim, M., (2014). *A hybrid multi-objective approach to capacitated facility location with flexible store allocation for green logistics modeling. Transportation Research Part E*, 66, 1–22.
- ❖ Johnson, M. and McCarthy, I., (2013). *Product recovery decisions within the context of extended producer responsibility. Journal of Engineering and Technology Management*, 34, 9–28



- ❖ Janic, M., (2014). *Greening commercial air transportation by using liquid hydrogen (LH2) as a fuel. International Journal of Hydrogen Energy*, 39, 16426–16441.
- ❖ Jeon, C., Amekudzi, A., and Guensler, R., (2013). *Sustainability assessment at the transportation planning level: performance measures and indexes. Transport Policy*, 25, 10–21.
- ❖ Jacek Żak and Szymon Węgliński (2014) / *Transportation Research Procedia* 3 555 – 564 doi: 10.1016/j.trpro.2014.10.034
- ❖ Kannana, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., and Diabat, A., (2014). *Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. Journal of Cleaner Production*, 47, 355–367.
- ❖ Konur, D., (2014). *Carbon constrained integrated inventory control and truckload transportation with heterogeneous freight trucks. International Journal of Production Economics*, 153, 268–279.
- ❖ Konur, D. and Schaefer, B.,(2014). *Integrated inventory control and transportation decisions under carbon emissions regulations: LTL vs. TL carriers. Transportation Research Part E*, 68, 14–38.
- ❖ Kamissoko, D. (2013). *Aide à la décision pour l'analyse de la vulnérabilité des réseaux d'infrastructure face à une crise de catastrophe naturelle. Thèse de doctorat, École Doctorale Systèmes (Toulouse)*
- ❖ Lévine, P. et Pomerol, J.-C. (1990). *Systèmes interactifs d' aide à la décision et systèmes experts. Hermès.*
- ❖ Lavergne, J.-P. (1983). *La décision : psychologie et méthodologie : connaissance du problème, applications pratiques. ESF-Entreprise moderne d'édition : Librairies techniques.*
- ❖ Li, S., Yang, L., Li, K., and Gao, Z., (2014). *Robust sampled-data cruise control scheduling of high speed train. Transportation Research Part C*, 46, 274–283.
- ❖ Liu, C., Dang, F., Li, W., Lian, J., Evans, S., and Yin, Y., (2014). *Production planning of multi- stage multi-option seru production systems with sustainable measures. Journal of Cleaner Production. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.03.033.*
- ❖ Lovrić, M., Li, T., VervestLovrić, P., Li, T., and Vervest, P., (2013). *Sustainable revenue management: a smart card enabled agent-based modeling approach. Decision Support Systems*, 54, 1587–1601.



- ❖ Liu, W., Han, J., and Lu, X., (2013). A high speed railway control system based on the fuzzy control method. *Expert Systems with Applications*, 40, pp. 6115–6124.

- ❖ Lee AHI, Kang Y, Hsu HCF, Hung HC (2012) A green supplier selection model for high-tech industry. *Expert Syst Appl* 36:7917–7927
- ❖ Morana , J. et Paché, G., (2003), « Quels indicateurs de gestion pour le projet logistique ? », *Revue française de gestion*, 2003/6 no 147, p. 185-198
- ❖ Mintzberg, H. (1979). *The structuring of organization : A synthesis of the research*. Prentice-Hall.
- ❖ Mammeri, M. (2013). *Une approche d'aide multicritère à la décision pour l'évaluation du confort dans les trains : construction d'un modèle d'évaluation*. Thèse de doctorat, Université Paris Dauphine-Paris IX.
- ❖ Macharis, C. and Bontekoning, Y.M. (2004) *Opportunities for OR in Intermodal Freight Transport Research: A Review*. *European Journal of Operational Research*, 153, 400-416.
- ❖ Mareschal, B., Brans, J. P., Vincke, P. et al. (1984) *PROMETHEE : A new family of outranking methods in multicriteria analysis*. Rapport technique, ULB–Université Libre de Bruxelles.
- ❖ Mallidis, I., Dekker, R., and Vlachos, D., (2012). *The impact of greening on supply chain network design and cost: a case for a developing region*. *Journal of Transport Geography*, 22, 118–128.
- ❖ Moon, K., Youn, C., Chang, J., and Yeung, A., (2013). *Energy-saving fashion: products design scenarios*. *International Journal of Production Economics*, 146, 392–401.
- ❖ Maloni, M., Paul, J., and Gligor, D., (2013). *Slow steaming impacts on ocean carriers and shippers*. *Maritime Economics and Logistics*, 15, 151–171.
- ❖ Musa, Khezrimotlagh y Wong Solving (2016) *an aggregate production planning problem by using DEA approach*. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 4(1):1-12
- ❖ McKinnon, A., Cullinane, S., Browne, M., and Whiteing, A., (2010). *Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics*. London: Kogan.
- ❖ Mirzapour Al-e-hashem, S., Baboli, A., and Sazvar, Z., (2013). *A stochastic aggregate production planning model in a green supply chain: considering flexible lead times, nonlinear purchase and shortage cost functions*. *European Journal of Operational Research*, 230, 26–41.



- ❖ Muellera, F., Cannataa, A., and Herrmann, C., (2014). *Procedure of modular Green Factory Planning to enhance collaboration and decision making. Procedia CIRP*, 15, 331–336.

- ❖ Moellera, K., (2011). *Increasing warehouse order picking performance by sequence optimization. Procedia Social and Behavioral Sciences*, 20, 177–185.
- ❖ Ondemir, O. and Gupta, S., (2014) *Quality management in product recovery using the Internet of things: an optimization approach. Computers in Industry*, 65, 491–504
- ❖ Ohara, K., Tsugeno, M., Imanari, H., and Sakiyama, Y., (2014). *Process optimization for the manufacturing of sheets with estimated balance between product quality and energy consumption. CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 63, 257–260.
- ❖ Pache, G., (2005), «Initier une coopération logistique et mercatique. Entre industriels et distributeurs, ou la nécessaire politique des « petits pas » », *La Revue des Sciences de Gestion*, 2005/4-5 n°214-215, p. 177-188
- ❖ Poh, K. L., Ang, B. W. (1999), *Transportation fuels and policy for Singapore: an AHP planning approach Computers and Industrial Engineering* November 1999 [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(00\)00020-6](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(00)00020-6)
- ❖ Plehn, J., Zust, R., Kimura, F., Sproedt, A., and Schonsleben, P., (2012). *A method for determining a functional unit to measure environmental performance in manufacturing systems. CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61, 415–418.
- ❖ Psaraftis, H. and Kontovas, C., (2013). *Speed models for energy-efficient maritime transportation: a taxonomy and survey. Transportation Research Part C*, 26, 331–351.
- ❖ Psaraftis, H. and Kontovas, C., (2014). *Ship speed optimization: concepts, models and combined speed-routing scenarios. Transportation Research Part C*, 44, 52–69.
- ❖ Palanivelu, P. and Dhawan, M., (2011). *Green Logistics. White Paper Tata Consulting Systems*, http://www.tcs.com/resources/white_papers/Pages/Green_Logistics.aspx (accessed July 9, 2015)
- ❖ Pishvae, M., Razmi, J., and Torabi, S., (2014). *An accelerated Benders decomposition algorithm for sustainable supply chain network design under uncertainty: a case study of medical needle and syringe supply chain. Transportation Research Part E*, 67, 14–38
- ❖ Roussat, C., et Fabbe-Costes, N., (2008), « Une démarche d'exploration prospective : le processus d'intelligence logistique », *Management & Avenir*, 2008/3 n° 17, p. 185-204
- ❖ Russo, D. and Rizzi, C., (2014). *Structural optimization strategies to design green products. Computers in Industry*, 65, 470–479.



- ❖ Regmi, M. and Hanaoka, S., (2009). A Framework to Evaluate Carbon Emissions from Freight Transport and Policies to Reduce CO₂ Emissions through Mode Shift in Asia. Tokyo Institute of Technology, Tokyo, http://www.ide.titech.ac.jp/~hanaoka/Modal_Shift_Paper__T_LOG_Final.pdf (accessed June 22, 2015)
- ❖ Raslavičius, L., Semenov, V., Chernova, N., and Keršys, A., (2014). Producing transportation fuels from algae: in search of synergy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 133–142
- ❖ Silva, D., Renó, G., Sevegnani, G., Sevegnani, T., and Truzzi, O., (2013). Comparison of disposable and returnable packaging: a case study of reverse logistics in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 47, 377–387
- ❖ Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., et Simchi-Levi, E. (2003). *Designing and Managing the Supply Chain : Concepts, Strategies, and Case Studies*. Irwin/McGraw-Hill series in operations and decision sciences. McGraw-Hill/Irwin.
- ❖ Sazvar, Z., MirzapourAl-e-hashem, S., Baboli, A., and AkbariJokar, M., (2014). A bi-objective stochastic programming model for a centralized green supply chain with deteriorating products. *International Journal of Production Economics*, 150, 140–154
- ❖ Tsai, W., Lee, K., Liu, J., Lin, H., Chou, Y., and Lin, S., (2012). A mixed activity-based costing decision model for green airline fleet planning under the constraints of the European Union Emissions Trading Scheme. *Energy*, 39, 218–226.
- ❖ Tzeng, G., Lin, C. (2005) Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation, *Energy Policy* 33(11):1373-1383
- ❖ Velasquez and Hester (2013) : An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods *IJOR Vol. 10, No. 2, 56-66*
- ❖ Vujanović, D., Momčilović, V., Bojović, N., and Papić, V., (2012). Evaluation of vehicle fleet maintenance management indicators by application of DEMATEL and ANP. *Expert Systems with Applications*, 39, 10552–10563.
- ❖ Vahabzadeh, A., Arash, A., Suhaiza, Z. (2015) Green decision-making model in reverse logistics using FUZZY-VIKOR method *Resources Conservation and Recycling* 103:125-138 · October 2015
- ❖ Wang, Y.-J. et Lee, H.-S. (2007). Generalizing TOPSIS for fuzzy multiple-criteria group decision-making. *Computers & Mathematics with Applications*, 53(11):1762–1772.



- ❖ Wang X, Chan HK (2013): A hierarchical fuzzy TOPSIS approach to assess improvement area when implementing green supply chain initiatives. *Int. J. Prod. Res.* ,51(10):3117–3130. 10.1080/00207543.2012.754553
- ❖ Yun, B., Baohua, M., Fangming, Z., Yong, D., and Chengbing, D., (2011). Energy-efficient driving strategy for freight trains based on power consumption analysis. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 9, 43–50.

- ❖ Zheng, B., Mohr, C., and Yoon, S., (2014). A mixed-integer programming model for order picking schedule. In: Y. Guan and H. Liao, eds. *Proceedings of the 2014 Industrial and Systems Engineering Research Conference*, <http://www.xcdsystem.com/iie2014/abstract/finalpapers/I1212.pdf> (accessed June 22, 2015)