Sorting methodology using PROMETHEE method to consolidate, load and transport goods

Metodología para la clasificación, selección de la modalidad del transporte y la consolidación de carga usando PROMETHEE

Johanna Trujillo-Díaz
Facultad de Ingeniería Industrial
Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Avenida Carrera 45 (Autopista Norte) #205-59, Bogotá, Colombia
Johanna.trujillo@escuelaing.edu.co

Abstract
This article aims to show the second phase of a research about a methodology for decision making in contracting and supply and demand of transport in the Supply Chain (SC), using a consolidation strategy. Consolidation is used to solve producers' and transporters' needs to reduce cost, maximize service level between origin and destination and improve flexibility of multimodal transport. It is caused because of a) Equipment's Consolidation (EC) capacity, b) use of Chassis Truck (CT) for several transport methods, merchandise type and Cargo Unit's (CU) nature. The first objective of this article is to show the nomenclature for different kind of alternatives for transport consolidation, which is proposed based on a previous literature review, where were found Inventory Consolidation Models, Collaboration Strategies, Models for Terminal Optimization, among others; but no inventory and interaction of all possible alternatives of CU, EC, CT in multimodal features which allow a clear and easy identification in decision making. The second objective is the selection of EC using the nomenclature previously proposed with PROMETHEE I, II method and the use of GAIA Graphic (Geometrical Analysis for Interactive AID) under criteria described in Transport Multicriteria Decision Making (TMDM), therefore, a consolidation study case for SC of green coffee is proposed

Keywords: PROMETHEE, Multi Criteria Decision Network, Transportation, Consolidation.

Resumen
Este artículo es parte de la segunda fase de la investigación de una metodología para la toma de decisiones en contratación y oferta del transporte en la Cadena de Suministro (CS), utilizando la estrategia de consolidación. La consolidación nace de las necesidades intrínsecas de los productores o transportadores de minimizar el costo, maximizar el nivel de servicio entre un origen y un destino y la flexibilidad en la multimodalidad. La consolidación se da por la capacidad del Equipo de Consolidación (EC), el uso de la Unidad de Arrastre (UA) para varias modalidades, el tipo de mercancía y la naturaleza de la Unidad de Carga (UC). El primer aporte del artículo es la nomenclatura de las alternativas para consolidación de transporte, la cual es propuesta a partir de la revisión en la literatura, debido a que en ésta se encontraron modelos de consolidación del inventario, estrategias de colaboración, modelos para la optimización de terminales, entre otros; pero no se encontraron el inventario e interacciones del conjunto de alternativas de UC, EC y UA con su combinación de características multimodales, que permita identificarlas rápidamente en la toma de decisiones. El segundo aporte del artículo, es la selección de EC utilizando la nomenclatura propuesta con el método PROMETHEE I, II y el uso de la Gráfica GAIA (Geometrical Analisis for Interactive

AID) bajo los criterios descritos en la Red de Decisión Multi Criterio de Transporte (MCDN), a lo cual se propone un caso de estudio de consolidación para la CS de café verde.

Palabras clave: PROMETHEE, Red de Decisión Multi Criterio, Transporte, Consolidación.

1. Introducción

La Función Logística de Transporte (FLT) juega un rol en la reducción de costos a lo largo de la Cadena de Suministro (CS) [3, 4]. Los Costos Logísticos (CL) en la CS pueden representar entre un 10% a un 30% de las ventas [3] y son muy variables porque dependen del sector económico, el producto o servicio y la toma de decisiones tácticas y operativas [5, 6], pero no siempre están presentes en las decisiones estratégicas porque implican inversión en infraestructura [6]. En primer lugar, el costo de *movimiento* o *transporte* absorbe entre uno y dos tercios de los CL totales [7]. En segundo lugar, se encuentra el alto costo de *almacenamiento* de productos sobre un vehículo de transporte, que se pueden justificar únicamente cuando hay un punto de equilibrio entre costo de almacenar sobre un vehículo y el costo de cargue y descargue.

El tomador de decisiones en la FLT, llámese transportador, cliente o proveedor, debe tomar ocho decisiones básicas de selección de Modos de Transporte, de Selección de Transportadores y sus Tipos, Mezcla de Flota de Transporte, Grado de Consolidación, Asignación de Vehículos, Enrutamiento y Programación de Vehículos y Planes de Carga [8]. La toma de decisiones en términos de consolidación ayuda a la minimización de los CL, para lo cual se revisó hizo la revisión en la literatura de las metodologías asociadas para la selección y priorización de EC y UA para la CS, pero no se encontró ni el inventario de alternativas combinadas que permita identificar rápidamente el EC, la UA y las modalidades en origen y destino. Y tampoco hay en la literatura aplicaciones en la técnica de decisión multicriterio PROMETHEE.

Con lo anterior, éste artículo apoya a la toma de decisiones para el mejoramiento de la productividad y la eficiencia en: a) la selección del *modo de transporte*, bajo características de infraestructura [9], b) la selección del tipo de transportadores, en términos de la distancia; y c) determinación del grado de consolidación, bajo las características intrínsecas de la UC [10] y del EC.

Una decisión *estratégica* de integración de la CS y de minimización del CL, es la consolidación del inventario en el almacenamiento, las operaciones en las terminales [7] y el uso compartido de las UA y EC en el transporte [7, 11].

Los tomadores de decisiones buscan *tácticamente* con la consolidación cumplir unos requisitos en origen y en destino [1, 12] compartidos con las partes interesadas: información [1], algunas características físicas relacionadas directamente con la cantidad, el peso y volumen máximo, tipo de embalaje de la UC, el itinerario, el riesgo, el tipo y cantidad de transbordos, la calidad del servicio [2] de la empresa de consolidación. La consolidación busca: a) bajos costos de transporte [13]; b) tiempos de entrega más cortos y frecuentes [1, 11, 13] para mantener bajos niveles de inventario [13] en la CS; c) minimizar los costos de manejo [2, 7] de cargue y descargue [1] asociados a la complejidad en la operación [14]. Sin embargo, la consolidación genera otros costos fijos [13] y variables como p.e. utilización de las terminales de cargue y de descargue, el almacenamiento de contenedores y el traslado multimodal [12, 13, 15]. Con lo anterior, ésta investigación pretende solucionar las siguientes preguntas *¿Cuáles son las alternativas multimodales que se pueden experimentar en consolidación de carga en la CS?*

Las *terminales*, son los lugares donde se realiza la consolidación y hacen parte de la infraestructura del transporte con varios diseños y tamaños. Allí se hacen operaciones de: a) *clasificación* y *consolidación* de mercancías, b) control de cargue o descargue de vehículos, c) clasificación de vehículos, agrupación y transferencia de un modo a otro. Se pueden especializar en determinadas operaciones por tipo de producto o conjunto completo de servicios.

La eficiencia de las terminales se refleja en los ingresos por consolidación [12], así, las decisiones estratégicas para la operación cuando se utilizan terminales en una red de transportadores, son la cantidad de carga que se maneja, la ubicación, los límites de tiempo que un conductor puede operar un vehículo sin descanso, el mínimo de distancia de las terminales PUD (pickup and delivery) hasta la carga, el nivel de potencial, y de penetración en el mercado [13].

1.1 Nomenclatura para la Unidad de Carga (UC)

La *Unidad de Carga (UC)*, es un conjunto de mercancías que se agrupan por la naturaleza de la mercancía y el tipo de embalaje y consolidación. La decisión en términos de UC busca para minimizar el costo y maximizar el nivel de servicio. La UC se selecciona teniendo en cuenta los criterios de forma, tamaño y densidad de la *mercancía* y el manejo y la eficiencia en la *operación*. En la tabla 1, específicamente en la última columna se presenta la nomenclatura propuesta para la UC.

1.2 Nomenclatura para la combinación de Modos de Transporte

En los Canales de Provisión y Distribución, la selección de un MT se puede usar para crear una ventaja competitiva en el servicio [7]. el *modo*, identifica un método o forma básica de transporte [9, 11] según sus características físicas [16] y se clasifican en cinco modalidades básicas: *marítimo, ferroviario*, terrestre, aéreo y por ductos o conducto directo [1, 7, 11, 17]. La combinación de modos son de tres tipos: a) *intramodal*: cuando se utilizan varios EC en el mismo modo; b) *intermodal* en el cual se utilizan más de un MT utilizando la misma UC con diferentes contratos [1]; y c) *multimodal* más de un MT bajo un mismo contrato [9, 17, 18].

El transporte puede ser gestionado por el proveedor o el comprador [19] y los criterios de selección son parte fundamental de las estrategias y políticas de contratación [7], para éste artículo se tomarán en cuenta los criterios descritos en la Red de Decisión Multicriterio (MCDN) [10]

En la tabla 2 se resume la nomenclatura propuesta para la modalidad en la FLT, la cual fue construida para especificar el Modo de Transporte de Origen (MTO) y el Modo de Transporte de Destino (MTD), el uso de UA y de EC.

Equipo de Consolidación (EC), el cual es el que contiene y agrupa la *Unidad de Carga (UC)* de varios clientes, para hacer más eficiente y rentable las operaciones del transporte en lo posible usando una sola Unidad de Arrastre (UA) por cada modo o modalidad. Los EC más conocidos son: el Contenedor (C), el Remolque (R), el Semirremolque (SR) y el Vagón (V); éstos pueden ser transportados sobre cualquier modo bajo los principios de la multimodalidad e intermodalidad.

Tabla 1 Nomenclatura de la UC, por tipos de embalaje y naturaleza

C	Descripción	Subtipo	Descripción	Nom
Tipo de embalaje y consolidación	1. General: El embalaje determina el tipo de carga; abarca todos los productos que se transportan en cantidades pequeñas [1, 2] y puede ser consolidada con otras cargas de distinta naturaleza, puede ser fácilmente contadas y manipuladas como unidades [1].	2. Suelta (sin embalaje)	No necesitan embalaje debido a su resistencia y características [1]. P.e. Planchas de hierro, rieles, tubos, llantas, piezas, etc.	1-1-C
		3. Fraccionada (con embalaje)	Productos sueltos o individuales, manipulados y cargados como unidades separadas[2]. P.e. Fardo, sacos, cajas, barriles, atados, etc. [2], cilindros, cajas, botellas entro otros [1] Requiere una protección extra a causa de sus características, por lo cual debe poseer embalaje para poder ser estibada de manera segura sin que la misma sufra daños, para manejarla sin preocupaciones como una carga, permitiendo utilizar mejor el espacio de almacenaje y disminuir los tiempos de cargue [1]. P.e. Cajas de conservas alimenticias, cajones de repuesto para maquinaria, tambores con aceite comestible, bidones con químicos.	1-2-C
		4. Unitarizada: Artículos individuales [2], donde la carga general es embalada formando un solo bulto para ser manipulada de forma más fácil y agilizar la estiba [1]. Cajas, paquetes, otros elementos desunidos (carga suelta) agrupados en pallets o contenedores	1. Contenedorizada: Carga general de diverso embalaje que se introduce en el interior de una caja metálica o de fibra de vidrio, de un mismo tamaño, que me permite movilizar mayor cantidad de carga en el menor tiempo posible.	1-3-C
			2. Preeslingada: Hacen parte de un gran lote y la carga está lista para ser enganchada; cuenta con embalaje estandarizado [1]. P.e. Atados	
			3. Paletizada: Es aquella donde toda la mercancía colocada en un embalaje estandarizado es agrupada para luego ser puesta y asegurada sobre una paleta, para poder manipular grandes cantidades de embalajes simultáneamente con rapidez[1]. P.e. Cajas de productos	
	2. Granel: Es almacenada directamente sobre cualquier modo de transporte, sin el uso de embalaje. Por lo general, se es transportada en tanques o silos, por medio de ductos o tuberías por bombeo o succión, bandas transportadoras, cucharones u otros elementos mecánicos [1, 2]	1. Liquida	Transporte de líquidos, químicos, lubricantes [1, 2]. P.e. Aceite, petróleo, vino, cerveza [2] Petróleo, Lubricantes, Gasolina, Diesel, Sebo	2-1-C
		2. Sólida	Transporte de granos, minerales, etc.[1, 2]. P.e. Minerales, cereales (maíz, trigo, torta de soya, etc.), fertilizantes [2] Abonos, granos, comestibles, fertilizantes, minerales	2-2-C
		3. Gaseosa	Transporte de gases. P.e. Gas Propano, Butano y Otros	2-3-C
Naturaleza de la mercancía	3. Especial: Son cargas que requieren de un trato exclusivo debido a las características de la naturaleza [1].	1. Perecedera	Se denomina cuando la carga puede perder sus características físicas, químicas y microbiológicas como resultado de la exposición durante el tiempo de transporte a diversas condiciones climáticas, para lo cual puede necesitar refrigeración [2]. Alimentos: frutas y verduras; carne y sus derivados; pescado y mariscos; lácteos; flores frescas; peces tropicales, entre otros [2].	3-1-C
		2. Frágil	Requiere suficiente material amortiguador y un manejo especializado durante las operaciones de embalaje, almacenamiento, manipulación (cargue y descargue), y transporte [2]. P.e. Productos de vidrio, tecnología, etc.	3-2-C
		3. Peligrosa	Carga, sustancia química, mezcla o artículo que por sus características puede ocasionar daños a otros productos, al medio de transporte, a personas o al medio ambiente [2]. P.e. Sustancias químicas como ácidos y peróxidos	3-3-C
		4. Valiosa ó "Ad valorem"	La estiba le brinda la seguridad requerida [1]. P.e. Pieles que necesitan calefacción, Obras de Arte, Alhajas, Metales Preciosos, Licores de Gran calidad, Cigarrillos	3-4-C
		5. Sobredimensionada	De dimensiones y pesos especiales, cargas muy voluminosas o pesadas que requieren un manejo especial. En el transporte marítimo tiene una sobre tasa [2]. P.e. Maquinarias y vehículos	3-5-C
		6. Animales en Pie	Transporta animales vivos o en pie. P.e. Caballos, vacas, pollos, etc.	3-6-C

Fuente. Los autores con base en [1, 2]

Unidad de Arrastre o de Transporte: es la que hala o articula el EC; las UA están directamente relacionadas con la modalidad de transporte. En el modo de transporte terrestre teniendo en cuenta los criterios de distancia y capacidad necesaria, las UA más utilizadas son en el modo terrestre son el Articulado o tráiler y el Camión (T); en el modo aéreo está el Avión (A); en el modo marítimo está: el Buque (B) y por último en el modo férreo está la Locomotora (L). Sin embargo, las UA con ésta única función son en el modo terrestre y férreo son: el Articulado o tráiler (A) y la Locomotora (L) respectivamente, pero algunas UA sirven también como EC, debido a que no incurren en operaciones de desconsolidación intermedias, las cuales son: el Avión (A) y el Buque (B) y el Camión (T). Sin embargo, si un articulado o tráiler está cargado haría parte de estas excepciones.

Los *contenedores* como la UC y EC multimodal más flexible, estándar y universal para el modo marítimo, terrestre y férreo. Son fabricados para diferentes usos (ver tabla 3) en acero corrugado, aluminio, madera contrachapada, reforzados con fibra de vidrio con un recubrimiento interior antihumedad [1, 20]. La mayoría de los contenedores son de 8 pies de ancho, 8.6 pies de alto y de 20 ó 40 pies de largo, con una capacidad en peso máxima de 20.000 y 25.000 kg respectivamente. Sin embargo, existen algunos contenedores especializados de 45' o 48' [2], de acuerdo a la norma DIN/ISO 668 ó DIN 15190, Parte 1 [20].

Los criterios de selección de EC contenedor son de acuerdo al tipo de carga, al peso y al costo, por tanto un contenedor de 20 pies es recomendado para poco peso y alto costo de mercancías y un contenedor de 40 pies es para grandes volúmenes de peso y bajos costos de mercancía [2].

1.2.1 Modalidades terrestres

Dentro del modo terrestre, la capacidad de consolidación del EC complementario con la UA está asociada al tamaño, la cantidad de ejes y la regulación al respecto del peso máximo en vías. Los transportadores terrestres manejan la siguiente UC y EC (ver conglomerado "MTO terrestre" de la tabla 2):

a) Los *Remolques (R)* son EC eficientes para transporte de carga a largas distancias interurbanas y no urbanas, generalmente utilizados *para transporte de carretera* [13], construidos para circular arrastrados por vehículos de motor [13, 21].

b) El *Semirremolque (SR)*, es la EC que está diseñada para el modo terrestre en la cual parte su peso reposa parcialmente sobre un articulado y así consigue eliminar el eje delantero del remolque [21, 22];

c) Los *Camiones (T)*, son UA y EC, algunos denominados vehículos ligeros o no articulados, que combinan la cabeza tractora con la EC. Los camiones son usados en el transporte y consolidación *de carga especial y urbana* para distancias cortas.

d) Los *Articulados* son UA, llamadas también tráiler, *tractor* o cabeza tractora están diseñados para arrastrar remolques o semirremolques [21]. Los Articulados cuando están unidos a un Semirremolque son definidos por sus siglas en inglés como: *Headstock and Trailer-HT.*

e) Camión y Remolque (*Truck and Trailer-TT);* son una UA y una EC cuando un camión hala un remolque indiferente a la cantidad de ejes [13].

f) *Remolque Portacontenedor (RP) y/o Semirremolque Portacontenedor (SRP)*, que sirven únicamente como Equipo de Arrastre (EA), en el modo terrestre para el transporte de contenedores.

g) *Tren de carretera (Road Train-RT), están compuestos por una UA camión o articulado* con una UC semirremolque, unidos a uno o más UC remolques [21, 22].

1.2.2 Modalidades marítimas

Los buques son UA y EC de carga y/o pasajeros. En la revisión se encontraron que hay de tipo mixtos, de carga y tipo tanque para UC a granel (ver conglomerado "MTO marítimo" de la tabla 2).

El *Buque* es una UA que puede transportar grandes cantidades y tipos de EC sobre la Plataforma (P) como p.e. Contenedores apilados, Vagones, Remolques, Semirremolques o Camiones, denominado: *fishyback* que es la combinación de transporte multimodal camión-barco, especialmente para el movimiento internacional de bienes de alto valor.

1.2.3 Modalidades férreas

Las Locomotoras son UA de carga y/o pasajeros. En la revisión se encontró que existen de vapor, diésel y eléctricas y pueden (ver conglomerado "MTO férreo" de la tabla 2). Los *vagones* son los EC del modo férreo, los cuales tienen una gran capacidad para cargas de gran volumen, densidad y peso [13, 23]; 14 toneladas o más**,** el mínimo de peso transportado por un vagón es desde 40.000 a 60.000 libras [13] es recomendable cuando un embarque excede 100.000 libras [24], puede transportar grandes volúmenes de forma estable, cargas homogéneas, trayectos largos y evitar transbordos en envíos punto a punto siempre y cuando el lugar de origen cuente con un centro férreo, en caso contrario la necesidad de transbordos y conexiones con otros medios alargando el costo y tiempo de completo de transporte [1]. Existe una tendencia al aumento de la *capacidad* de carga de un vehículo nuevo o reconstruido que podría superar las 100 toneladas [25].

En el modo *férreo*, se encuentran tres modalidades:

a) *Contenedor sobre Vagón Plataforma (VP):* por sus siglas en inglés: Container On Flat a Car (COFC), intermodalidad camión-ferrocarril [7, 13] que indica que la UA Locomotora (L) está sobre un equipo de arrastre denominado VP que carga el EC contenedor. Donde es posible transportar el contenedor sobre una plataforma, ahorrando de esta forma el peso muerto de la estructura y las ruedas [7]; el contenedor es sellado en el origen y se envía directamente al destinatario [13]. Puede tener contenedores doblemente apilados [13]

b) *Remolque sobre Vagón Plataforma (VP)*: es un EA por sus siglas en inglés Trailer On Flat a Car-(TOCF) o piggyback; Es el servicio de transporte intermodal terrestre-férreo, que consiste en transportar UA trailers, camiones, EC Remolques o Semirremolques sobre el equipo de arrastre VP halado por la Locomotora (L). Generalmente ésta combinación multimodal, sirve para distancias más largas que las que recorren los camiones o articulados en vías terrestres, porque combina la *flexibilidad* y *accesibilidad* del transporte terrestre [10]; la economía y la seguridad de largos trayectos del férreo [7, 12, 13] debido a que se moviliza sobre rieles dedicados a diferencia del terrestre, debido a que en el terrestre se aumentan los costos de mantenimiento y de reparación de carreteras. p. e. el costo de transporte para un tren con 100 vagones, es menor respecto al uso de 200 camiones en carretera [13, 24].

c) *Roadrailer (RR)*, es un equipo de arrastre que se utiliza en el modo *férreo-terrestre*, que consiste es un chasís tipo riel que es adaptado al Remolque y/o, Semirremolque para la combinación multimodal de transporte denominada RTIM (Rail-Truck Inter Modal) [26].

Tabla 3 Nomenclatura para modalidad usada en la consolidación

0	1	2	3	4	5	6		Nomenclatura FLC
MTO	**UA**	**EA o Modalidad**	**EC**	**MTD**	**Unidad de Carga (UC)**			
Terrestre (I)	**Camión (T)** 2-4 ejes	N/A RT/TT N/A	Camión (T) Remolque (R) Semirremolque (SR)	**I. Terrestre**	1. General	1. Suelta (sin embalaje)		MTO-UA-EC-MTD-1-1-C
						2. Fraccionada (Con embalaje)		MTO-UA-EC-MTD-1-2-C
		RP	Contenedor (C)	V. Multimodal				
	Articulado (H) 2-4 ejes	N/A RT HT	Camión (T) Remolque (R) Semirremolque (SR)	**I. Terrestre**		3. Unitarizada	1. Contenedorizada	MTO-UA-EC-MTD-1-3-C
		RP ó SRP	Contenedor (C)	V. Multimodal				
Marítimo (II)	**Buque (B)** Mixto (pasajeros y carga) (MB) Carga (LB) Tanque (QB)	N/A	Buque (B)	**II. Marítimo**			2 Preslingada	
		P - Fishyback P P P P	Camión (T) Contenedor (C) Remolque (R) Semirremolque (SR) Vagón (V)	V. Multimodal			3. Paletizada	
						4. Todas las anteriores		MTO-UA-EC-MTD-1-4-C
Férreo (III)	**Locomotora (L)** Vapor (VL) Diesel (DL) Eléctrica (EL)	N/A	Vagón (V)	**III. Férreo**	2. Granel	1. Liquida		MTO-UA-EC-MTD-2-1-C
		VP (COFC) VP (TOCF) RR/VP (TOCF) RR/VP (TOCF)	Contenedor (C) Camión (T) Remolque (R) Semirremolque (SR)	V. Multimodal		2. Sólida		MTO-UA-EC-MTD-2-2-C
						3. Gaseosa		MTO-UA-EC-MTD-2-3-C
Aéreo (IV)	**Avión (P)** Mixto (pasajeros y carga) (MP) Carga (LP) Supertransportadores (SP)	N/A	Avión (A)	**IV. Aéreo**	3. Especial	1. Perecedera		MTO-UA-EC-MTD-3-1-C
		B B B B B	Camión (T) Contenedor (C) Remolque (R) Semirremolque (SR) Vagón (V)	V. Multimodal		2. Frágil		MTO-UA-EC-MTD-3-2-C
						3. Peligrosa		MTO-UA-EC-MTD-3-3-C
						4. Valiosa ó "Ad valorem"		MTO-UA-EC-MTD-3-4-C
						5. Sobredimensionada		MTO-UA-EC-MTD-3-5-C
						6. Animales en Pie		MTO-UA-EC-MTD-3-6-C
RT (Road Train - tren de carretera); TT (Truck and Trailer - Camion y remolque); RP (Remolque Portacontenedor); HT (Headstock and Trailer - Articulado y semirremolque); SRP (Semirremolque Portacontenedor); P (Sobre plataforma); RR (RoadRailer); B (Bodega); VP vagón plataforma								

Fuente. Los autores

1.2.4 Modalidades aéreas

Los aviones son UA y EC de carga y/o pasajeros. En la revisión de literatura se encontraron de tipo mixtos, de carga y supertransportadores. (ver conglomerado "MTO aéreo" de la tabla 2).

El transporte aéreo es recomendable para mercancías pequeñas, de alto valor comercial para despachos a largas distancias [21, 23], aproximadamente de 1,001 millas (1,611 km) [7]; no es aconsejable cuando se habla de envío de bienes de alto valor en distancias inferiores a 800 km, debido a que no se compensa el tiempo ahorrado con el transporte aéreo respecto al tiempo de espera en el cargue y descargue del avión. En ésta situación la competencia directa es el modo terrestre debido a su mayor accesibilidad a las terminales [13] para el servicio puerta a puerta en cortos periodos de tiempo.

La modalidad aéreo - terrestre [13], combina la accesibilidad y flexibilidad del modo terrestre y la velocidad del modo aéreo. Sin embargo, en el *transporte de carga* el modo aéreo es más costoso que los demás modos de transporte [1, 13, 23], excede al terrestre por más de 2 a 3 veces y al férreo por más de 10-16 veces [7, 13].

Los *aviones* pueden transportar al interior de su Bodega (B) diferentes tipos de mercancías dependiendo de su capacidad. Como EC y UA se subdividen en a) aviones de carga; b) mixtos que además de carga transportan pasajeros y c) supertransportadores. El tipo de contenedor aéreo tiene menor capacidad que los contenedores universales; son diseñados específicamente con el fin de ocupar menor espacio en la bodega en aviones de fuselaje ancho (wide body) [21]. Como excepción, los aviones supertransportadores podrían por su capacidad transportar UC de tipo contenedor universal.

1.3 Alternativas para el intercambio modal

Todo el conjunto de usos e interacciones para el intercambio de las UC y UA intermodales y multimodales descritas en los cuatro apartes anteriores se resumen en la tabla 3. Se encontraron en la literatura 43 alternativas (filas) de transporte; cada intersección de la matriz indica que la fila es alternativa EC y la columna la UA, por tanto cuando en la celda se indica L, indica que "se carga sobre plataforma", C es indica que "se carga en el EC en contenedor" y A, "cuando articula la UA ó el EC".

Un ejemplo del uso de la tabla 3, para las UA terrestres son cargadas sobre plataforma con un EC tipo vagón plataforma, por tanto la letra de la intersección es “L”. Cuando éstas UA cargan los contenedores, la letra de intersección es “C” y finalmente cuando éstas mismas UA cargan o articulan el EC terrestre, se designa como “C/A”.

Tabla 4 Nomenclatura EC vs EA y UA

				Interacción EA y UA												
MT	**EC ó EA**	**MT**		**I. Terrestre**				**II. Marítimo**			**III. Férreo**			**IV. Aéreo**		
		Nomenclatura	**Alternativas EC**	**HT**	**T**	**TT**	**RT**	**MB**	**LB**	**QB**	**VL**	**DL**	**EL**	**MP**	**LP**	**SP**
		A: Articula ó arrastrar ; C: Consolida; P: carga sobre plataforma		Articulado, cabezote más semiremolque/ remolque (Headstock and tráiler)	Camión (Truck)	Camion y remolque (Truck and Trailer)	Tren de carretera (Road Train)	Mixto (pasajeros y carga)	Carga	Tanque	Carga (Vapor)	Carga (Diesel)	Carga (Eléctrica)	Mixto (pasajeros y carga)	Carga	Super transportadores
I. Terrestre/ II. Marítimo/ III. Férreo	**Contenedores**	I/II-1-4-01	Convencional (Dryvan)	C	-	C	C	C	C	-	L	L	L	C	C	C
		I/II-2-1-02	Cisterna (Tankaings)	C	-	C	C	C	C	-	L	L	L	C	C	C
		I/II-2-2-03	Granelero (Dry bulk)	C	-	C	C	C	C	-	L	L	L	C	C	C
		I/II-3-1-04	Ventilado	C	-	C	C	C	C	-	L	L	L	C	C	C
		I/II-3-1-05	Refrigerado	C	-	C	C	C	C	-	L	L	L	C	C	C
		I/II-3-5-06	High cube (HC)	C	-	C	C	C	C	-	L	L	L	C	C	C
		I/II-3-5-07	Techo abierto (Open Top)	C	-	C	C	C	C	-	L	L	L	C	C	C
		I/II-3-5-08	Costados abiertos (Open side)	C	-	C	C	C	C	-	L	L	L	C	C	C
		I/II-3-5-09	Plataforma (Flat-bed)	C	-	C	C	C	C	-	L	L	L	C	C	C
		I/II-3-5-10	Plataforma (Flat-rack)	C	-	C	C				L				C	C
I. Terrestre/III. Férreo	**Remolque-R / Semirremolque- SR**	I/III-1-1/2-01	Caja cerrada	C/A	A	C/A	C/A				L/A				C	C
		I/III-1-2-02	Costados abiertos (Open side)	C/A	A	C/A	C/A				L/A				C	C
		I/III-1-4-03	Portacontenedores	A	-	A	A				L/A				C	C
		I/III-2-1-04	Cisterna	C/A	A	C/A	C/A				L/A				C	C
		I/III-2-2-05	Portasilos	C/A	A	C/A	C/A				L/A				C	C
		I/III-2-2-06	Caja abierta	C/A	A	C/A	C/A				L/A				C	C
		I/III-3-1-07	Refrigerado	C/A	A	C/A	C/A				L/A				C	C
		I/III-3-1-08	Camión tipo furgón	C/A	A	C/A	C/A				L/A				C	C
		I/III-3-1-09	Isotermo	C/A	A	C/A	C/A				L/A				C	C
		I/III-3-5-10	Plataforma	C/A	A	C/A	C/A				L/A				C	C
		I/III-3-5-11	Góndola	C/A	A	C/A	C/A				L/A				C	C
		I/III-3-6-12	Transporte de animales	C/A	A	C/A	C/A				L/A				C	C
II. Marítimo	**Buques-B**	II-1-3-01	Container ship / buque de contenedores	-	-	-	-				-				-	-
		II-1-1/2-02	General cargo	-	-	-	-				-				-	-
		II-2-1-03	Tanker / buque cisterna	-	-	-	-				-				-	-
		II-2-2-04	Bulk carrier / buque de carga a granel	-	-	-	-				-				-	-
		II-3-1-05	Refrigerated cargo	-	-	-	-				-				-	-
		II-3-1-06	Fisher / pescador	-	-	-	-				-				-	-
		II-3-5-07	RO-RO cargo /Cargue de vehículos	-	-	-	-				-				-	-
III. Férreo	**Vagones-V**	III-1-4-01	Carro caja/ trailer	-	-	-	-				C/A				-	-
		III-2-1-02	Tanques o Cisternas	-	-	-	-	C			C/A	C/A			-	-
		III-2-2-03	Góndola (Open top)	-	-	-	-	C			C/A	C/A			-	-
		III-2-2-04	Tolva granelera	-	-	-	-	C	C		C/A	C/A		-	-	-
		III-3-1-05	Refrigerado (Flat-Car)	-	-	-	-	C	C		C/A	C/A		-	-	-
		III-3-2-06	Furgón Frágil	-	-	-	-	C	C		C/A	C/A		-	-	-
		III-3-5-07	Plataforma intermodal TOFC	L	L	L	L	C	C		C/A	C/A		-	-	-
		III-3-6-08	Transporte de animales	-	-	-	-	C	C	-	C/A	C/A	C/A	-	-	-
IV. Aéreo	**Contenedor Aéreo-A**	IV-1-1-01	Contenedor carga suelta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C	C	C
		IV-1-4-02	Tipo pallet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C	C	C
		IV-3-1-03	Contenedor refrigerado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C	C	C
		IV-3-4-04	Contenedor de seguridad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C	C	C
		IV-3-5-05	Contenedor de niveles	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C	C	C
		IV-3-6-06	Contenedor para animales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C	C	C

Fuente. Los autores

Las alternativas de consolidación, dependen del *empaque* y el *embalaje* [2] es decir de la UC, de las terminales, del modo de transporte, del EC, del EA y auxiliar [20]. Con lo anterior, el Grado de Consolidación (GC), está contenida dentro del Modo de Transporte [10].

1.4 Revisión de la literatura Multi Criteria Decision Aid (MCDA) PROMETHEE

Es una de las técnicas más desarrolladas de evaluación multicriterio que sirve para la *selección, clasificación y ordenamiento* de alternativas [27] donde los criterios se encuentran generalmente comparados entre sí. [28]. Al respecto, existen el PROMETHEE I [29] que da un preorden parcial [30] y el PROMETHEE II [29] que da un preorden completo [29, 31]; éstos se complementan con la técnica de modelización visual GAIA (1988) (Geometrical Analisis for Interactive Aid) [32, 33], herramienta de decisión cualitativa, que ayuda a la comprensión de los aspectos conflictivos entre los criterios y a la determinación de las ponderaciones asociadas a los mismos [31, 32, 34, 35]. Además, es utilizado para mostrar gráficamente la mejor solución cuando se modifican los pesos de los criterios [36].

El uso del PROMETHEE está diversificado en la literatura y se usa especialmente en toma de decisiones estratégicas en las cuales se necesite inversión e infraestructura. Además se ha combinado con otras técnicas, en modelos métodos híbridos y heurísticos para dar robustez científica a las decisiones como p.e. ELECTRE III [27, 37], programación dinámica [31, 38], sistemas difusos[39], clustering[36], DOFA, Delphi[40], AHP[41]. Estratégicamente se enfoca en la selección de proyectos [42], planes de inversión financiera y banca [43] portafolios[43], con aplicaciones en industrias de producción de concreto u hormigón premezclado [44], de la construcción [45].

La mayor parte de autores están orientados a la *localización* de instalaciones [31, 37, 41, 46, 47] de centros de distribución empresariales [48, 49], empresas de manufactura [50], viviendas de uso residencial [51], plantas de energía eléctrica [52], centrales hidroeléctricas [53]. Hay otro enfoque en problemas *organizacionales* que incluyen la toma de decisiones en planeación estratégica [38]; la selección de Sistemas de Información de planificación de recursos empresariales, por sus siglas en inglés: *Enterprise Resource Planning (*ERP) [54]y su externalización [55]; la selección de socios estratégicos fabricantes en outsoursing para una CS textil [56], la selección de proveedores [39, 57], el desarrollo de productos [46], planificación de recursos humanos [54] y ética organizacional [31].

Hay otras aplicaciones en sostenibilidad ambiental en el uso del agua[58], los recursos hídricos [31], en energías renovables[39]. Sociales y científicos en medicina, química, cuidado [31] y atención en salud [31] en hospitales [59]. Urbanos, para la comparación del desempeño de varias ciudades [60] a fin de establecer estrategias de intervención y evaluaciones en turismo [31] y en política prospectiva para formular rutas de exploración para las reservas estratégicas de petróleo en China antes del 2020 [38]

A nivel macroeconómico hay aplicaciones PROMETHEE en *transporte* para la construcción de vías terrestres [61]; selección de rutas alternativas - caso Belgrado-Birmingham [62]; selección de transporte público ferroviario - caso Italia [34]; selección de rutas de transporte de fluidos en oleoductos [38] y en vehículos [40]. Sin embargo, en la revisión de literatura realizada no se encuentra evidencia de la aplicación de la técnica PROMETHEE en la de la selección de los transportadores y su grado de consolidación para la Función Logística de Transporte, objeto de este trabajo.

1.5 Método PROMETHEE para la selección de la alternativa de consolidación

Como estudio de caso se toma un envío internacional de 275 sacos de 70 kg de Café Verde, para lo cual debe seleccionar el mejor EC en la CS. Las posibles alternativas han sido extraídas de la tabla 3, como se describen en la tabla 4. El modo férreo se tiene en cuenta a fin de contrastar todos los modos de transporte. Sin embargo, realmente se debería omitir por la obsolescencia en infraestructura en algunos países.

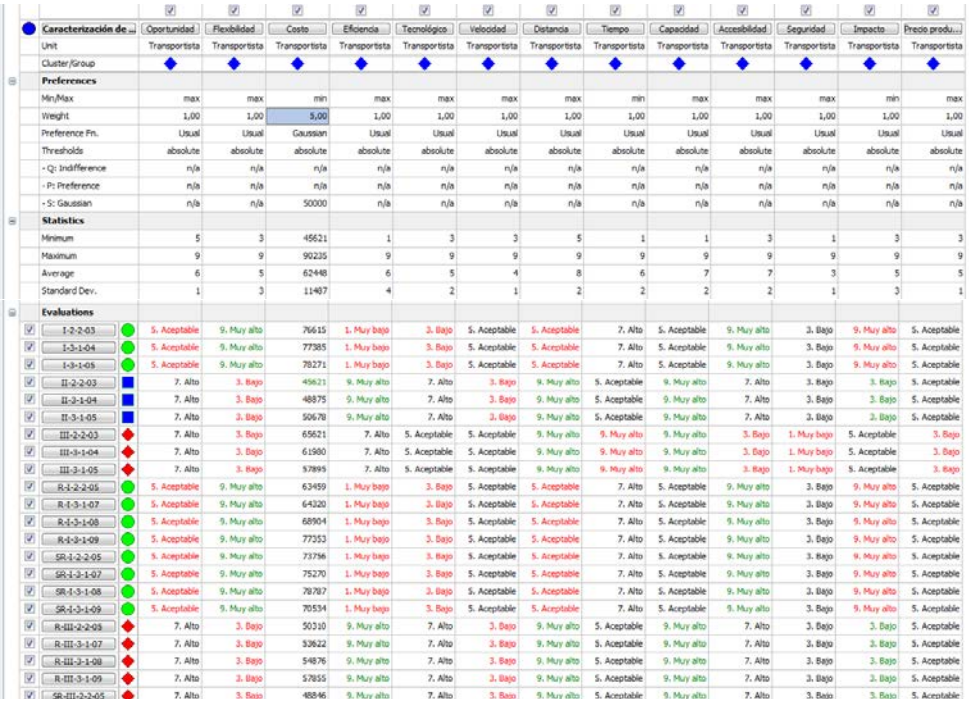
La metodología utilizada es: a) construcción de la matriz de evaluación multicriterio (alternativas, criterio y pesos); b) Clasificación parcial utilizando el análisis multicriterio PROMETHEE I; c) Clasificación total por PROMETHEE II; y d) perfilización de la decisión usando GAIA.

Los criterios utilizados para la selección del EC son los utilizados en la MCDN [10], los criterios evaluados son cualitativos con excepción del *costo* analizado bajo la metodología de análisis estadístico [6] el cual genera una Función de Preferencia tipo VI con desviación de 50000USD que se presenta en la figura 2, donde el peso asociado a los criterios es de 5 veces por encima de los otros.

Tabla 5 Alternativas para transporte de Café Verde en la CA

MT	EC ó EA	Nomenclatura	Alternativas de transporte
I. Terrestre	Contenedores	I-2-2-03	Granelero (Dry bulk)
		I-3-1-04	Ventilado
		I-3-1-05	Refrigerado
II. Marítimo		II-2-2-03	Granelero (Dry bulk)
		II-3-1-04	Ventilado
		II-3-1-05	Refrigerado
III. Férreo		III-2-2-03	Granelero (Dry bulk)
		III-3-1-04	Ventilado
		III-3-1-05	Refrigerado
I. Terrestre	Remolque-R / Semirremolque- SR	I-2-2-05	Portasilos
		I-3-1-07	Refrigerado
		I-3-1-08	Camión tipo furgón
		I-3-1-09	Isotermo
III. Férreo	Remolque-R / Semirremolque- SR	III-2-2-05	Portasilos
		III-3-1-07	Refrigerado
		III-3-1-08	Camión tipo furgón
		III-3-1-09	Isotermo
III. Férreo	Vagones-V	III-2-2-04	Tolva granelera
		III-3-1-05	Refrigerado (Flat-Car)
		III-3-2-06	Furgón Frágil
		III-3-5-07	Plataforma intermodal (COFC ó TOFC)
IV. Aéreo	Contenedor	IV-3-1-03	Contenedor refrigerado

Fuente. Los autores



Caracterización de ...	Oportunidad	Flexibilidad	Costo	Eficiencia	Tecnológico	Velocidad	Distancia	Tiempo	Capacidad	Accesibilidad	Seguridad	Impacto	Precio produ...
Unit	Transportista	Transportista	Transportista	Transportista	Transportista	Transportista	Transportista	Transportista	Transportista	Transportista	Transportista	Transportista	Transportista
Cluster/Group													
Preferences													
Min/Max	max	max	min	max	max	max	max	min	max	max	max	min	max
Weight	1,00	1,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Preference Fn.	Usual	Usual	Gaussian	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	50000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics													
Minimum	5	3	45621	1	3	3	5	1	1	3	1	3	3
Maximum	9	9	90235	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Average	6	5	62448	6	5	4	8	6	7	7	3	5	5
Standard Dev.	1	3	11407	4	2	1	2	2	2	2	1	3	1
Evaluations													
I-2-2-03	5. Aceptable	9. Muy alto	76615	1. Muy bajo	3. Bajo	5. Aceptable	5. Aceptable	7. Alto	5. Aceptable	9. Muy alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable
I-3-1-04	5. Aceptable	9. Muy alto	77385	1. Muy bajo	3. Bajo	5. Aceptable	5. Aceptable	7. Alto	5. Aceptable	9. Muy alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable
I-3-1-05	5. Aceptable	9. Muy alto	78271	1. Muy bajo	3. Bajo	5. Aceptable	5. Aceptable	7. Alto	5. Aceptable	9. Muy alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable
II-2-2-03	7. Alto	3. Bajo	45621	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	3. Bajo	5. Aceptable
II-3-1-04	7. Alto	3. Bajo	48875	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	3. Bajo	5. Aceptable
II-3-1-05	7. Alto	3. Bajo	50678	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	3. Bajo	5. Aceptable
III-2-2-03	7. Alto	3. Bajo	65621	7. Alto	5. Aceptable	5. Aceptable	9. Muy alto	9. Muy alto	9. Muy alto	3. Bajo	1. Muy bajo	5. Aceptable	3. Bajo
III-3-1-04	7. Alto	3. Bajo	61980	7. Alto	5. Aceptable	5. Aceptable	9. Muy alto	9. Muy alto	9. Muy alto	3. Bajo	1. Muy bajo	5. Aceptable	3. Bajo
III-3-1-05	7. Alto	3. Bajo	57895	7. Alto	5. Aceptable	5. Aceptable	9. Muy alto	9. Muy alto	9. Muy alto	3. Bajo	1. Muy bajo	5. Aceptable	3. Bajo
R-I-2-2-05	5. Aceptable	9. Muy alto	63459	1. Muy bajo	3. Bajo	5. Aceptable	5. Aceptable	7. Alto	5. Aceptable	9. Muy alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable
R-I-3-1-07	5. Aceptable	9. Muy alto	64320	1. Muy bajo	3. Bajo	5. Aceptable	5. Aceptable	7. Alto	5. Aceptable	9. Muy alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable
R-I-3-1-08	5. Aceptable	9. Muy alto	68904	1. Muy bajo	3. Bajo	5. Aceptable	5. Aceptable	7. Alto	5. Aceptable	9. Muy alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable
R-I-3-1-09	5. Aceptable	9. Muy alto	77353	1. Muy bajo	3. Bajo	5. Aceptable	5. Aceptable	7. Alto	5. Aceptable	9. Muy alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable
SR-I-2-2-05	5. Aceptable	9. Muy alto	73756	1. Muy bajo	3. Bajo	5. Aceptable	5. Aceptable	7. Alto	5. Aceptable	9. Muy alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable
SR-I-3-1-07	5. Aceptable	9. Muy alto	75270	1. Muy bajo	3. Bajo	5. Aceptable	5. Aceptable	7. Alto	5. Aceptable	9. Muy alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable
SR-I-3-1-08	5. Aceptable	9. Muy alto	78787	1. Muy bajo	3. Bajo	5. Aceptable	5. Aceptable	7. Alto	5. Aceptable	9. Muy alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable
SR-I-3-1-09	5. Aceptable	9. Muy alto	70534	1. Muy bajo	3. Bajo	5. Aceptable	5. Aceptable	7. Alto	5. Aceptable	9. Muy alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable
R-III-2-2-03	7. Alto	3. Bajo	50310	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	3. Bajo	5. Aceptable
R-III-3-1-07	7. Alto	3. Bajo	53622	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	3. Bajo	5. Aceptable
R-III-3-1-08	7. Alto	3. Bajo	54876	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	3. Bajo	5. Aceptable
R-III-3-1-09	7. Alto	3. Bajo	57855	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	3. Bajo	5. Aceptable
SR-III-2-2-05	7. Alto	3. Bajo	48846	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	9. Muy alto	5. Aceptable	9. Muy alto	7. Alto	3. Bajo	3. Bajo	5. Aceptable

Figura 2 Figura 1 Matriz Multi Criterio en la interfaz Visual PROMETHEE

Fuente. Los autores en Visual PROMETHEE

En la figura 1 se presenta la Matriz de Evaluación Multi Criterio en Visual PROMETHEE con los pesos y las funciones de preferencia analizadas para el conjunto de criterios de la MCDN [10] utilizada para la CS de Café Verde. Sin embargo, el tomador de decisiones podría a su criterio seleccionar uno diferente.

En la figura 2, se muestra el PROMETHEE I y II para clasificación parcial y completa de las alternativas con los parámetros presentados en la matriz de evaluación anterior.

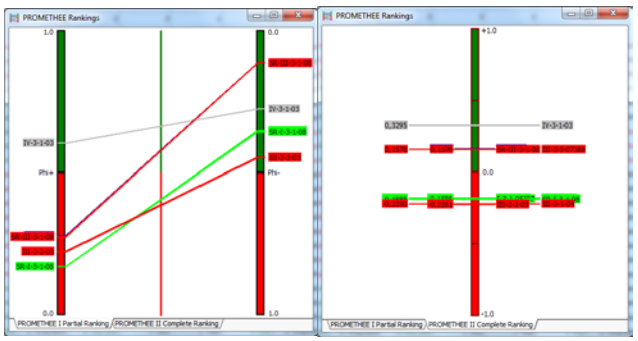


Figura 3 PROMETHEE I y II
Fuente. Los autores en Visual PROMETHEE

Con lo anterior, el tomador de decisiones usa el modo aéreo para enviar los 275 sacos de 70 kg en un EC: IV-3-1-03, el cual es incomparable con el modo multimodal de Semirremolque sobre plataforma férrea SR-III-3-108; sin embargo éstos son mejores que utilizar el EC semirremolque en modo terrestre SR-3-1-08 y el vagón en modo férreo III-2-2-03 incomparables entre sí mismos también.

El orden quedaría que en primer está lugar está el contenedor aéreo IV-3-1-03, luego los EC férreos, marítimos y terrestres en su orden. Para perfilar ésta decisión y establecer una política se presenta la gráfica GAIA en la figura 3.

Figura 4 GAIA para la selección del EC
Fuente. Los autores en Visual PROMETHEE

La gráfica GAIA, como soporte a la política de selección de EC, indica que la calidad de la información es del 92,5% por tanto el modelo es aceptado. El perfil de las alternativas de acuerdo a los criterios de la MCDN presentada, especialmente cuando el costo tiene una ponderación más alta son IV-3-1-03; SR-I-3-1-09, III-3-5-07/09 y III-3-1-05. En el estudio de caso se selecciona el EC: IV-3-1-03 debido a que bajo los criterios de eficiencia en términos de tiempo, impacto, a nivel tecnológico y por el precio del producto.

Agradecimientos

Agradecemos a la Fundación Universitaria Cafam por el financiamiento de éste proyecto de investigación y al programa de Doctorado en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla por los aportes científicos al mismo.

Conclusiones

- La nomenclatura sirve como un método de estandarización de alternativas en las metodologías de MCDA para diferenciar la selección de modos de transporte y la de tipos de transportadores.
- La nomenclatura permite combinar los modos de transporte desde un origen y destino.
- El aporte a la literatura de ésta investigación es el inventario de EC, UA y EA, bajo una misma nomenclatura.
- El uso del PROMETHEE I y II, para seleccionar el EC permite tomar decisiones sustentadas científicamente.
- La necesidad de los tomadores de decisiones en las CS de elegir rápidamente los transportadores, hace que la gráfica GAIA brinde los perfiles de los transportadores para la toma de decisiones dependiendo el tipo de UC y las necesidades de los clientes.

Perspectivas

- Proponer nuevas nomenclaturas de alternativas en otras funciones logísticas y validarlas con otras técnicas de toma de decisiones más avanzadas.
- Utilizar las nomenclaturas propuestas en ésta investigación para otros contextos empresariales, logísticos de forma agregada y desagregada con el fin de utilizarlas en la jerarquización, selección y caracterización de los modos de transporte y grados de consolidación.
    - Estandarizar el uso de la nomenclatura y la metodología

Referencias

[1] L. A. Mora García, *Gestión logística integral las mejores prácticas en la cadena de abastecimientos*. Bogotá D.C.: Ecoe, 2008.
[2] A. Castellanos R., *Manual de la gestión logistica del transporte y la distribución de mercancías*. Barranquilla (Colombia): Ediciones Uninorte, 2009.
[3] F. Astals Coma, *Almacenaje, manutención y trasporte interno en la industria*: Ediciones de la Universitat Politecnica de Catalunya, 2009.
[4] A. M. Bewer, K. o. Button, and D. A. Hensher, "Handbook of Logistics and Supply-Chain Management," *Handbook in Transport PERGAMON*, vol. 2, p. 218, 2001.
[5] J. Trujillo, A. Velasquez, R. Martínez, H. Bolivar, J. Vallejo, and J. Perez, "Methodology for decisions making in transportation logistics function, for Supply Chain (SC) colombian green coffee study," in *International* Dubai, United Arab Emirates, 2015.
[6] J. Trujillo, E. Gonzalez, and A. Velasquez, "Hybrid model for making Tactical and Operational decisions in land transportation for the case of a perishable Supply Chain," in *2nd International Symposium (1963-2013 - 50th Anniversary) - 24th National Conference on Operational Research; Hellenic Operational Research Society (HELORS)*, Athens, Greece, 2013, pp. 66-80.
[7] R. H. Ballou, *Logistica Administración de la Cadena de Suministro* vol. 5ta Edición. Mexico, 2004.
[8] D. Riopel, A. Langevin, and J. F. Campbell, "The network of logistics decisions," in *Logistics Systems: Desing and Optimization*, A. Langevin and D. Riopel, Eds., ed United States of America: Springer Science+Business Media, Inc, 2005.
[9] T. G. Crainic and G. Laporte, "Planning models for freight transportation," *European Journal of Operational Research*, vol. 97, pp. 409-438, 1997.
[10] J. Trujillo, A. Velasquez, M. Martinez, H. Bolivar, C. Franco, and J. Perez, "Criteria for decision-making in transportation logistics function," in *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM) 2015*, Dubai, United Arab Emirates, 2015, pp. 1-6.
[11] D. J. Bowersox, D. J. Closs, and M. B. Cooper, *Administración y Logística en la Cadena de Suministros*: McGraw Hill, 2007.
[12] T. Crainic, "Long-Haul Freight Transportation," in *Handbook of Transportation Science*. vol. 56, R. W. Hall, Ed., ed: Springer US, 2003, pp. 451-516.
[13] E. J. Bardi, J. J. Coyle, and R. A. Novack, *Management of transportation* Thomson/South-Western, 2006.
[14] A. Velasquez, J. Trujillo, C. Franco, and H. Bolivar, "Measure Characterization of a Complex System Logistics," in *International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS)*, Salerno (Italy), 2014, pp. 504-508.
[15] J. F. Campbell, "Strategic Network Design for Motor Carriers," ed, 2005.
[16] J. H. Banks, *Transportation Planning*, 2 ed. USA: Mc Graw Hill, 2002.
[17] J. Khisty C. and L. Kent B., *Transportation Engineering: an introduction*, 2nd ed. New Yersey: Prentice Hall, 1998.
[18] D. Blanchard, "Transportation: Logistics a la Mode," in *Supply Chain Management Best Practices*, ed USA: John Wiley & Sons, Inc., 2007, pp. 103-119.
[19] J. Pau i Cos, R. De Navascues, and Gasca, *Manual de Logística Integral*. Madrid (España): Ediciones Díaz de Santos S.A., 2001.
[20] T. I. S. TIS, *Container Handbook: Cargo loss prevention information from German marine insurers* vol. 1: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV, German Insurance Association) 2012.
[21] R. López Fernandez, *Logística Comercial*, 1st ed. Madrid: Tomson, 2004.
[22] J. Baena. (2002). *Transporte internacional*. Available: http://books.google.com.co/books?id=kT9qmN8D7REC&printsec=frontcover&hl=es
[23] S. Chopra and P. Meindl, *Supply Chain Management Strategy, Planning and Operation*, 3ra Edición ed., 2010.
[24] D. M. Lambert, J. R. Stock, and L. M. Ellram, *Fundamentals of Logistics Management*: Mc Graw Hill Higher Education, 1998.
[25] J. J. C. Edward J. Bardi, Robert A. Novack, *Management Of Transportation*: Thomson/South-Western, 2006.
[26] M. Verma and V. Verter, "A lead-time based approach for planning rail–truck intermodal transportation of dangerous goods," *European Journal of Operational Research*, vol. 202, pp. 696-706, 2010.
[27] S. Corrent, S. Greco, and R. Sowinski. (2012) Multiple Criteria Hierarchy Process with ELECTRE and PROMETHEE. *ScienceDirect*.
[28] X. Yu, Z. Xu, and Y. Ma. (2013) Prioritized Multi-Criteria Decision Making. *ScienceDirect*.
[29] J. P. Brans, "L'ingénierie de la décision. Elaboration d'instruments d'aide à la décision. Méthode PROMETHEE," in *L'aide a la Décision: Nature, Instruments et Perspectives d'avenir*, R. Nadeau, Landry, M, Ed., ed. Québec, Canada: Presses de l'Université Laval, 1982, pp. 183-214.
[30] Y.-C. Hu and C.-J. Chen. (2011) A PROMETHEE-based classification method using concordance. *ScienceDirect*.
[31] J.-P. Brans and B. Mareschal, "Promethee Methods," in *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. vol. 78, J. Figueira, S. Greco, and M. Ehrgott, Eds., ed New York, United States of America: Springer Science+Business Media, 2005, pp. 163-186.
[32] B. Mareschal and J.-P. Brans, "Geometrical representations for MCDA," *European Journal of Operational Research*, vol. 34, pp. 69-77, 1988.
[33] J. P. Brans and B. Mareschal, "The PROMCALC & GAIA decision support system for multicriteria decision aid," *Decision Support Systems*, vol. 12, pp. 297-310, 1994.
[34] R. Dulmin and V. Mininno, "Supplier selection using a multi-criteria decision aid method," *Journal of Purchasing and Supply Management*, vol. 9, pp. 177-187, 2003.
[35] K. Lidouh, Y. De Smet, and E. Zimányi, "GAIA Map: A tool for visual ranking analysis in spatial multicriteria problems," in *Information Visualisation, 2009 13th International Conference*, 2009, pp. 393-402.
[36] Y. Peng, Y. Zhang, G. Kou, J. Li, and Y. Shi. (2012) Multicriteria decision making approach for cluster validation. *ScienceDirect*.
[37] A. Raveh, "Co-plot: A graphic display method for geometrical representations of MCDM," *European Journal of Operational Research*, vol. 125, pp. 670-678, 2000.
[38] Y. Bai, D. Zhou, P. Zhou, and L. Zhang. (2012) Optimal path for China's strategic petroleum. *ScienceDirect*.
[39] Y.-H. Chen, T.-C. Wang, and C.-Y. Wu. (2011) Strategic decisions using the fuzzy PROMETHEE for IS outsourcing. *ScienceDirect*. 2.
[40] M. Tavana, M. Behzadian, M. Pirdashti, and H. Pirdashti. (2012) A PROMETHEE-GDSS for oil and gas pipeline planning in the Caspian Sea basin. *ScienceDirect*.
[41] G. Kabir and R. Sultana. (2014) Power substation location selection using fuzzy analytic hierarchy process and PROMETHEE: Acase study from Bangladesh. *ScienceDirect*.
[42] J. P. Brans, P. Vincke, and B. Mareschal, "How to select and how to rank projects: The Promethee method," *European Journal of Operational Research*, vol. 24, pp. 228-238, 1986.
[43] R. Vetschera and A. Teixeira. (2011) A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. *ScienceDirect*.
[44] Z. Ribarović and N. Mladineo, "Application of multicriterional analysis to the ranking and evaluation of the investment programmes in the ready mixed concrete industry," *Engineering Costs and Production Economics*, vol. 12, pp. 367-374, 1987.
[45] R. Maciel, D. Dumke, and A. Teixeira. (2015) A multicriteria model for ranking of improvement approaches in construction companies based on the PROMETHÉE II method. *ScienceDirect*.
[46] M. Behzadian, R. B. Kazemzadeh, A. Albadvi, and M. Aghdasi, "PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications," *European Journal of Operational Research*, vol. 200, pp. 198-215, 2010.

[47] J. Karkazis, "Facilities location in a competitive environment: A promethee based multiple criteria analysis," *European Journal of Operational Research*, vol. 42, pp. 294-304, 1989.
[48] B. Mareschal and J. P. Brans, "PROMETHEE V: MCDM problems with segmentation constraints," *INFOR Journal*, vol. 30, pp. 85-96, 1992.
[49] A. S. Fernández Castro and M. Jiménez, "PROMETHEE: an extension through fuzzy mathematical programming," *Journal of the Operational Research Society* vol. 56, pp. 119-122, 2004.
[50] I. Pavić and Z. Babić, "The use of the PROMETHEE method in the location choice of a production system," *International Journal of Production Economics*, vol. 23, pp. 165-174, 1991.
[51] O. Marinoni, "A stochastic spatial decision support system based on PROMETHEE," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 19, pp. 51-68, 2005.
[52] J. C. Leyva López and E. Fernández González, "Un nuevo método para el apoyo de decisiones en grupo basado en la metodología ELECTRE III " *European Journal of Operational Research (EJOR)*, vol. 148, pp. 14-27, 2003.
[53] N. Mladineo, J. Margeta, J. P. Brans, and B. Mareschal, "Multicriteria ranking of alternative locations for small scale hydro plants," *European Journal of Operational Research*, vol. 31, pp. 215-222, 1987.
[54] H. Selcuk, S. Zaim, and D. Denle. (2014) Selecting ‘‘The Best’’ ERP system for SMEs using a combination of ANP and PROMETHEE methods. *ScienceDirect*.
[55] J.-J. Wang and D.-L. Yang, "Using a hybrid multi-criteria decision aid method for information systems outsourcing," *Computers & Operations Research*, vol. 34, pp. 3691-3700, 2007.
[56] C. Araz, P. Mizrak Ozfirat, and I. Ozkarahan, "An integrated multicriteria decision-making methodology for outsourcing management," *Computers & Operations Research*, vol. 34, pp. 3738-3756, 2007.
[57] I. Veza, S. Celar, and I. Peronia. (2014) Competences-based Comparison and Ranking of Industrial Enterprises using PROMETHEE Method. *ScienceDirect*.
[58] H. Kuang, M. Kilgour, and K. Hipel. (2014) Grey-based PROMETHEE II with application to evaluation of source water protection strategies. *ScienceDirect*.
[59] T. Amaral and A. Costa. (2013) Improving decision-making and management of hospital resources:An application of the PROMETHEE II method in an Emergency Department. *ScienceDirect*.
[60] K. Kourtit, C. Macharis, and P. Nijkamp. (2013) A multi-actor multi-criteria analysis of the performance of global. *ScienceDirect*.
[61] N. Mladineo, I. Lozić, S. Stošić, D. Mlinarić, and T. Radica, "An evaluation of multicriteria analysis for DSS in public policy decision," *European Journal of Operational Research*, vol. 61, pp. 219-229, 1992.
[62] D. Radojevic and S. Petrovic, "A fuzzy approach to preference structure in multicriteria ranking," *International Transactions in Operational Research*, vol. 4, pp. 419-430, 1997.

Biografía

J. Trujillo-Díaz, Docente e Investigador de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Magistra en Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana. Estudiante de doctorado en de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP).
ORCID: 0000-0001-6243-6393; ReseacherID Thomson Reuters: M-9683-2013