

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO



Desarrollo de modelos teórico-matemáticos para incluir factores ambientales en cadenas de suministro aplicadas al Inventory Routing Problem

Artículo de revisión de la literatura (Seminario virtual de profundización)

Hugo Alejandro Castelblanco Vélez

Bogotá, Colombia.

2017

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO



Desarrollo de modelos teórico-matemáticos para incluir factores ambientales en cadenas de suministro aplicadas al Inventory Routing Problem

Artículo de revisión de la literatura (Seminario virtual de profundización)

Hugo Alejandro Castelblanco Vélez

Carlos Alberto Franco Franco

Administración de Negocios Internacionales

Bogotá, Colombia.

2017

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	6
PALABRAS CLAVES	6
ABSTRACT	7
KEYWORDS.....	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. METODOLOGÍA	10
3. RESULTADOS	11
4. DISCUSIÓN.....	24
4.1. Problema y característica	24
4.2. Emplazamiento de la solución	28
4.3. Modelo empleado.....	299
4.4. Método de optimización	29
5. CONCLUSIONES	30
6. REFERENCIAS	31

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología desarrollada durante la investigación.....	10
Figura 2. Numero de documentos por año	122
Figura 3. Numero de documentos por base de datos	133
Figura 4. Participación por continente en la investigación.....	144
Figura 5. Distribución de las fuentes de emisión.....	155
Figura 6. Distribución de los problemas encontrados	26
Figura 7. Características del VRP.....	27
Figura 8. Características del IRP	28
Figura 9. Aproximación a la solución por fuente de emisión.....	28
Figura 10. Enfoques en los modelos propuestos por los artículos.....	29
Figura 11. Métodos de optimización	30

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los trabajos revisados - CO2	16
Tabla 1. Clasificación de los trabajos revisados - CO2 (Continuación).....	17
Tabla 1. Clasificación de los trabajos revisados - CO2 (Continuación).....	18
Tabla 2. Clasificación de los trabajos revisados – Vehículos eléctricos	19
Tabla 3. Clasificación de los trabajos revisados - Inventario	20
Tabla 3. Clasificación de los trabajos revisados – Inventario (Continuación)	21
Tabla 4. Clasificación de los trabajos revisados - Transporte	22
Tabla 4. Clasificación de los trabajos revisados – Transporte (Continuación)	23

DESARROLLO DE MODELOS TEÓRICO-MATEMÁTICOS PARA INCLUIR FACTORES AMBIENTALES EN CADENAS DE SUMINISTRO APLICADAS AL INVENTORY ROUTING PROBLEM

RESUMEN

Se estudia el desarrollo de modelos teórico-matemáticos como una gran variedad de estrategias para la conducción y coordinación de problemas en la Administración de la Cadena de Suministro de las organizaciones, tomando como referencia al problema logístico conocido como Inventory Routing Problem (IRP), con el objetivo de buscar con su funcionamiento, soluciones integrales que añadan valor al aprovisionamiento de un producto o a la prestación de un servicio determinado no solo en pro de buscar beneficios económicos sino también pensando en reducir el impacto adverso ocasionado al medio ambiente. Se consideran aproximaciones algorítmicas para la solución de problemas tanto determinísticos como estocásticos, una serie de modelos de la investigación de operaciones tanto simples como compuestos basados en métodos exactos, heurísticos y metaheurísticos que busquen minimizar objetivos como lo son el uso de combustibles fósiles y la emisión de gases de efecto invernadero, los cuales suelen estar sujetos a restricciones dadas por estudios de campo reales en la gestión ineficiente de los recursos necesarios para distribución, transporte, inventario y almacenamiento de bienes y servicios. Se trabaja en una revisión al estado del arte de la literatura, clasificando, agrupando y analizando información expuesta en artículos científicos con el objetivo de estructurar un artículo de revisión bibliográfica basado en un análisis y taxonomía que arroje una serie de hallazgos interesantes.

PALABRAS CLAVES

Metaheurísticas, Heurísticas, Problema de Ruteo de Vehículos (VRP), Problema de Ruteo de Vehículos con Inventario (IRP), Cadena de Suministros, Problemas de Optimización, Investigación de Operaciones.

ABSTRACT

There is studied the development of theoretical-mathematical models as a big variety of strategies for the conduction and coordination of problems in the Administration of the Chain of Supply of the organizations, taking as reference the logistic problem known as the Inventory Routing Problem (IRP), with the target to look with its functioning integral solutions that add value to the provisioning of a product or the provision of a specific service not only to seek economic benefits but also thinking of reducing the adverse impact caused to the environment. Algorithmic approaches for solving both deterministic and stochastic problems are considered, a series of investigation models of both simple and compound operations based on heuristic and metaheuristic methods that seek to minimize objectives such as the use of fossil fuels and the emission of greenhouse gases, which are often subject to constraints given by real field studies in the inefficient management of resources needed for distribution, transportation, inventory and storage of goods and services. We work on a review of the state of the art of literature, classifying, grouping and analyzing information presented in scientific articles with the objective of structuring an article of bibliographic review based on an analysis and taxonomy that yields a series of interesting findings.

KEYWORDS

Metaheuristics, Heuristics, Vehicle Routing Problem (VRP), Vehicle Routing Problem with Inventory (IRP), Supply Chain, Optimization Problems, Operations Research.

1. INTRODUCCIÓN

La globalización ha traído consigo que las organizaciones se enfrenten cada vez a mayores retos en la búsqueda de una adecuada toma de decisiones para la solución de problemas que surgen día a día en sus procesos. Optimizar el flujo de materiales e información, aumentar la eficacia productiva, incrementar la competitividad, y maximizar la rentabilidad, no han dejado de ser objetivos que toda planificación estratégica busca alcanzar; pero ya no es lo único, ahora tal y como lo dice Brian Tracy en “El camino hacia la riqueza: Estrategias de éxito”, el verdadero propósito de cualquier empresa exitosa debe ser el de crear clientes y mantenerlos, satisfaciendo sus necesidades, generando un valor agregado, cumpliendo con promesas y expectativas, pero sin perder de vista todo lo que los avances en la tecnología, formas de trabajo, efectos del cambio climático y globalización, están convirtiendo en tendencias (Tracy, 2015). Hoy en día, la tendencia es la de defender al medio ambiente, fomentar la cooperación de todos como agente dinámico para garantizar un mejor futuro.

Es por esto, que en el presente trabajo se describirán diferentes modelos teórico-matemáticos configurados en cadenas de suministro que no solo ayuden a la adecuada toma de decisiones para lograr objetivos organizacionales como los anteriormente mencionados, sino que también incluyan en ellos un aporte fundamental en la búsqueda de soluciones sostenibles integrales que generen un mayor valor agregado para todos. A lo largo del periodo de revisión se presentan trabajos que explican diferentes aproximaciones algorítmicas, siendo el Vehicle Routing Problem (VRP) de los años 50, el problema de optimización combinatoria desde el cual se ha venido dinamizando todo el campo de investigación y base para lo que se conoce desde los años 80 como el Inventory Routing Problem (IRP) (Baita, Ukovich, Pesenti, & Favaretto, 1998), una extensión al problema, en el que optimizar la utilización de recursos de transporte ya no es lo único; la asignación del inventario para reducir los costos de mantener mercancía, empieza a jugar un rol importante en la solución óptima de problemas (Arango-Serna, Romano, & Zapata-Cortés., 2016).

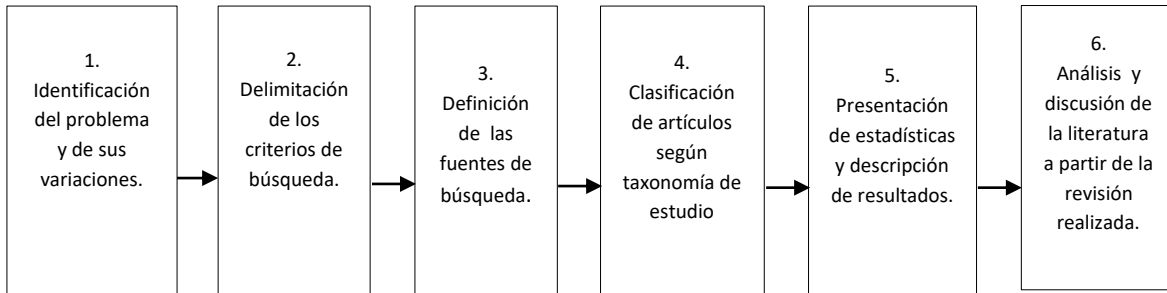
A la par de lo que significa el alcance de este problema en lo que se conoce en la literatura como Supply Chain Management (SCM) y al alto valor que constituyen estos procesos en su conjunto para cualquier empresa, han venido surgiendo diferentes estudios en los que se ha determinado que alrededor del 60% de los gases efecto invernadero que se producen, provienen de las actividades industriales y que alrededor del 75% de éstos, provienen de sus cadenas de suministro (Huang, Weber & Matthews, 2009); es por esta razón que acto seguido, ha venido tomando cada vez más fuerza la idea de que al reducirse las emisiones en lo que son las actividades logísticas en las organizaciones se pueda obtener una mejor relación costo/beneficio a lo que es realizar una disminución en el impacto al medio ambiente de una manera directa (Montoya-Torres, Gutierrez-Franco, & Blanco, 2015). He aquí que, el presente documento, pretenda sintetizar, presentar y discutir la producción bibliográfica más reciente y relevante sobre lo que es el desarrollo de modelos teórico matemáticos para incluir factores ambientales en cadenas de suministro y su adopción al funcionamiento de estas en las organizaciones.

Este artículo está organizado de la siguiente manera. En primer lugar, se explica la metodología que guio la estructura del estudio, en donde se expone la taxonomía empleada para su desarrollo, las elecciones metodológicas que guiaron la revisión de la literatura. Posteriormente, se presenta la revisión de la literatura propiamente dicha, se exponen los resultados, un panorama de la literatura señalando las principales corrientes, tendencias y aproximaciones sobre el tema, así como las clasificaciones de la información en función de los criterios establecidos. Y finalmente, se presentará un análisis de la literatura a partir de la revisión realizada, en la cual se incluyen reflexiones sobre los principales avances, hallazgos y limitaciones documentadas en dicha literatura con el fin de dar cuenta de las principales tendencias y desarrollos futuros del tema de investigación.

2. METODOLOGÍA

En este trabajo se aplicó el procedimiento que se muestra en la figura 1:

Figura 1. Metodología desarrollada durante la investigación



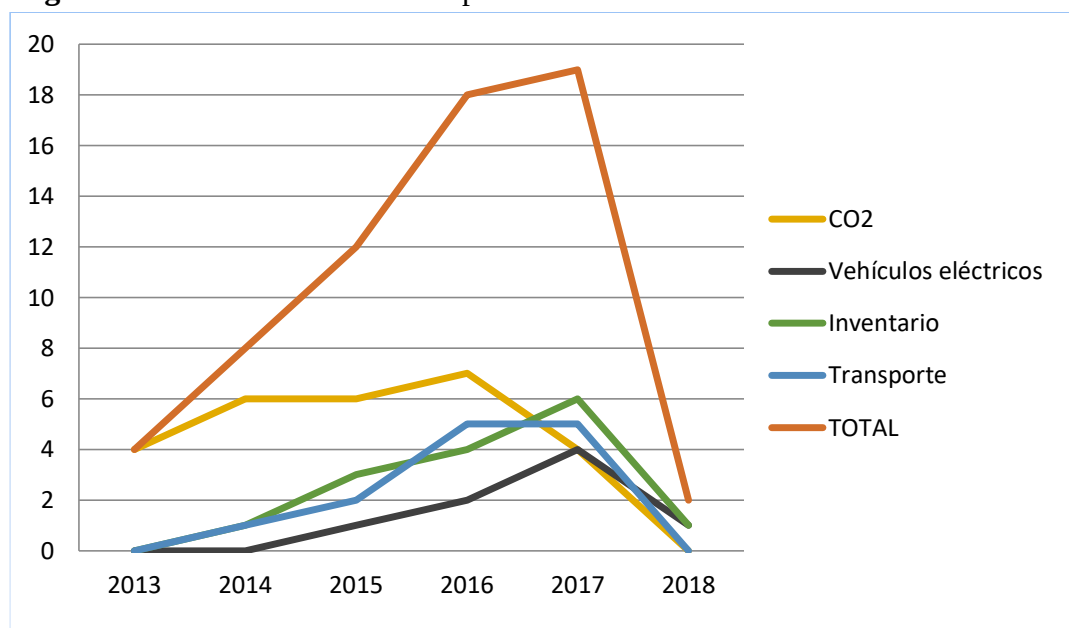
Fuente: Elaboración propia.

Se consideró una muestra de 63 artículos publicados entre el año 2012 y el año 2017. Para el paso 1 y 2 se identificó al Inventory Routing Problem (IRP) como el problema de optimización combinatoria sobre el cual se desarrollará toda la dinámica de la investigación, considerando como fundamento el Vehicle Routing Problem (VRP) y como requisito y criterio de búsqueda principal su impacto medioambiental. Para el paso 3 se establecieron como fuentes de búsqueda de información, artículos científicos de las siguientes bases de datos de revistas del campo de la Ciencia e ingeniería: Science direct, Springer Link, Taylor & Francis, Emerald, IEEE Xplore, Informa Journals, Scopus y Wiley. Para el paso 4 fue importante clasificar los artículos encontrados de acuerdo a cuatro tipos de fuentes de emisión: Dióxido de carbono, Vehículos eléctricos, Inventario y Transporte. Los pasos 5 y 6 se presentan a continuación.

3. RESULTADOS

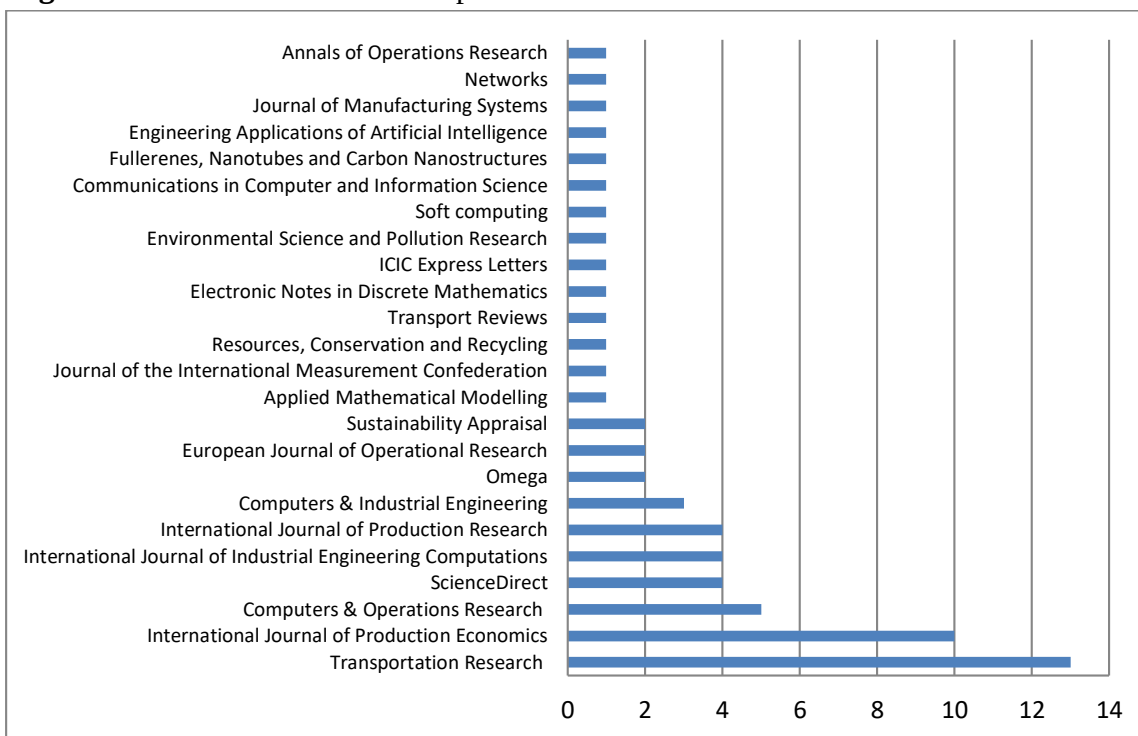
En el sistema convencional de la cadena de suministro, a lo largo del tiempo no solo las organizaciones sino también los investigadores se han preocupado por estudiar la administración de los procesos logísticos para dar respuesta a objetivos netamente económicos, o en su defecto mejorar los niveles de servicio ante el cliente. Sin embargo, como consecuencia de una creciente tendencia que ha convertido a la acción de preservar el medio ambiente en una presión con la cual han tenido que trabajar los administradores, muchos investigadores se han puesto a la tarea de comenzar a considerar los problemas generados al entorno en los diferentes modelos de la Administración de la Cadena de Suministro. (Letmathe & Balakrishnan, 2005) propusieron dos modelos para que las empresas determinaran una combinación óptima de productos y cantidades de producción en presencia de diferentes tipos de restricciones medioambientales, pero solo hasta el año 2012, Samir Elhedhli y Ryan Merrick, consideraron un problema de diseño en la red de la cadena de suministro al momento de tener en cuenta las emisiones de CO₂, descubrieron que la configuración óptima de la cadena de suministro se modificaría si se incluían los costos de contaminación ambiental (Elhedhli & Merrick, 2012). Es por este motivo, que el año 2012 es elegido como el punto de partida del presente trabajo, una investigación observacional y retrospectiva que sigue los principios de una revisión sistemática de literatura, sintetizando los resultados de múltiples investigaciones primarias, siendo explícita en la selección de los estudios y empleando rigurosos y reproducibles métodos de evaluación. (Delbufalo, 2012; Thomé et al., 2016).

Las figuras 2, 3 y 4 nos muestran la evolución del número de documentos publicados revisados, el número de artículos encontrados por base de datos consultada y el porcentaje de participación por país en la investigación, respectivamente.

Figura 2. Numero de documentos por año

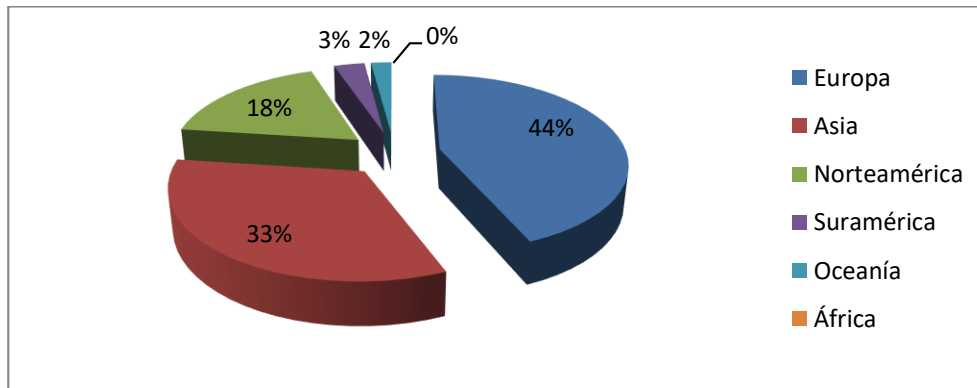
Fuente: Elaboración propia.

La figura 2 nos muestra la evolución del número de documentos publicados revisados. Se encontraron 4 artículos del año 2013, todos relacionados a la fuente de emisión CO2. Del año 2014 se encontraron un total de 8 artículos, de los cuales 6 hablan de CO2, 1 de inventario y 1 de transporte. En el 2015 se publicaron doce 12 artículos, 6 de CO2, 1 de vehículos eléctricos, 3 de inventario y 2 de transporte. El 2016 dió como resultado un total de 18 artículos, 7 de CO2, 2 de vehículos eléctricos, 4 de inventario y 5 de transporte. En el año 2017 se encontraron un total de 19 artículos, 4 de ellos de CO2, 4 de vehpiculos eléctricos, 6 de inventario y 5 de transporte. Finalmente, del presente año, se encontrearon 2 artículos, uno de ellos de vehículos eléctricos y uno de inventario.

Figura 3. Numero de documentos por base de datos

Fuente: Elaboración propia.

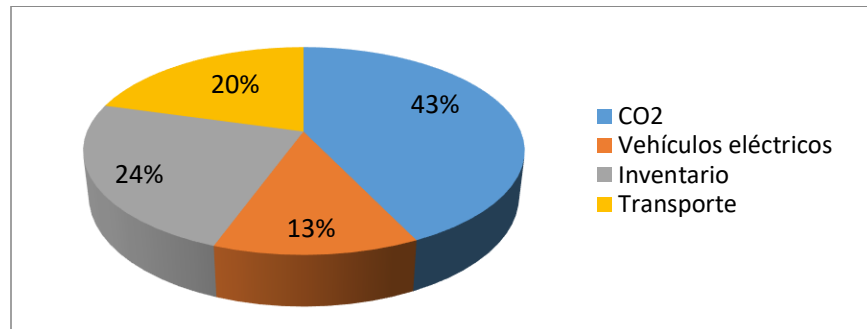
La figura 3 nos muestra el número de artículos encontrados por base de datos consultada. Podemos ver que el 36,5% de los artículos revisados se concentraron en dos bases de datos únicamente. Las bases de datos más consultadas fueron Transportation Research con 13 artículos revisados e International Journal of Production Economics con 10 artículos. La tercera base de datos más consultada fue Computers & Operations Researchs con 5 artículos encontrados. Otras bases de datos recurrentes fueron Science Direct, International Journal of Industrial Engineering Computations e International Journal of Production Research con 4 artículos revisados en cada una de ellas.

Figura 4. Participación por continente en la investigación

Fuente: Elaboración propia.

La figura 4 nos muestra el continente de cada una de las universidades afiliadas a la investigación. Los autores provenientes de las universidades europeas y asiáticas han sido los más participativos en el estudio con un 44% y un 33%, respectivamente. Por su parte le siguen las universidades americanas con un 18%. Suramerica repercutió en un 3% de la revisión de la literatura. Los países que más participaron en el estudio fueron Estados Unidos con un 12,5% y China e Irán con un 9,4% cada uno. Del 3% propio de las universidades suremaricanas Colombia participó un 2%, el otro país participante fue Brasil con un 1%.

La figura 5 nos muestra la distribución de las fuentes de emisión en el estudio. CO2 con 27 artículos y un 43% de los documentos encontrados fue la fuente de emisión más frecuente en el estudio. Le siguen inventario y transporte con 15 y 13 artículos, respectivamente. Vehículos eléctricos fue la fuente de emisión menos recurrente con un 20% de los 63 artículos revisados.

Figura 5. Distribución de las fuentes de emisión

Fuente: Elaboración propia.

La lista de documentos revisados se muestra a continuación. Se presenta en cuatro tablas igualmente estructuradas, tal y como esta propuesto en el paso 4 de la metodología de la investigación. La primera columna de cada tabla indica la referencia bibliográfica (incluido el año de publicación). La segunda columna expone la tipología del problema abordado. Dado que la estructura del IRP se basa en la del VRP, también se considera la revisión de variaciones dinámicas del VRP (Candia, 2017). La tercera explica brevemente la característica principal con la que se maneja el problema. La cuarta columna muestra la aproximación a la solución, nos da a saber si el problema que enmarca nuestra investigación está resuelto en la función objetivo o en alguna restricción. La quinta señala el tipo de modelo aplicado al problema, aquí podemos ver si es determinístico (las mismas entradas producen invariablemente las mismas salidas), estocástico (tratan con magnitudes aleatorias que varían con el tiempo) o difuso (procesa información imprecisa para obtener resultados). Por último, la sexta columna nos indica el tipo de método de solución utilizado, aquí miraremos si es una herramienta exacta, heurística o metaheurística. Entiéndase por algoritmos exactos a aquellos que intentan encontrar una solución óptimo y demostrar que la solución obtenida es de hecho la óptima global (Sanchez, 2009); por métodos heurísticos a aquellos que son aproximados y permiten obtener una solución de calidad en un tiempo razonable a problemas para los cuales no se conoce un algoritmo exacto complejo o tienen limitación para escapar de óptimos locales; y por métodos metaheurísticos a aquellos que permiten proseguir en la búsqueda del óptimo en el caso de quedar atrapados en un óptimo local, utilizando procedimientos de alto nivel que guían a métodos heurísticos conocidos (Muñoz, 2007).

Tabla 1. Clasificación de los trabajos revisados - CO2

Referencia	Problema			Característica	Solución		Modelo			Descripción	Método		
	VRP	IRP	Otro. ¿Cuál?		Función Objetivo	Restricción	Determinístico	Estocástico	Difuso		Exacto	Heurístico	Metaheurístico
Anurag Tiwari, Pei-Chann Chang. (2015)	x			GVRP considering the minimum distance travelled by each vehicle from depot to distribution center as well as the total emitted carbon dioxide by the vehicle.	x				x	A block recombination approach to solve the green vehicle routing problem. The objectives are to minimize the emitted carbon dioxide by vehicle and minimize the total distance travelled by the vehicle.			x
Yuzhuo Qiu, Jun Qiao, Panos M. Pardalos. (2017)			PPRP (Pollution production routing problem)	Incorporate carbon emissions into production inventory and routing decisions.	x			x		Introduced, modeled and analyze the production inventory routing problem, which generalizes the pollution - routing problem and pollution - inventory routing problem.		x	
Tsai Chi Kuo, Gary Yu-Hsin Chen, Miao Ling Wang, Ming WayHo. (2014)		x		Carbon footprint inventory routing problem		x	x			The study solves the inventory compilation route problem modeled after VRP through dynamic and integer programming. The research also presented a case study to eliminate the uncertainty of the traditional inventory.	x		
Jabir Ea, Vinay V, Panickera and R. Sridharan. (2015)	x			Canonical capacitated vehicle routing problem.	x			x		The paper presented a multi objective green multi depot capacitated vehicle routing optimization problem. A mathematical model has been formulated for the problem. The economic and environmental factors are considered. A hybrid meta - heuristic algorithm combining ACO - VNS			x
Hongqi Li, Tan Lv, Yanran Li. (2015)			TSRP-MMD (tractor and semitrailer routing problem with many-to-many demand)	The TSRP-MMD extends the existing studies on the rollon–rolloff vehicle routing problem (RRVRP) to a many-to-many problem with an intercity line-haul network background.	x			x		Followed by an improvement phase and a local search phase is developed to solve the TSRP-MMD.		x	
M. Afshar-Bakeshloo, A. Mehrabi, H. Safari, M. Maleki, F. Jolai. (2016)	x			Satisfactory-Green Vehicle Routing Problem S-GVRP	x			x		The authors introduced a new mathematical model that three objectives of cost, pollution and customer satisfaction. The model is addressed by mixed integer linear programming and solve to optimality.		x	
Miłosz Kadziński, Tommi Tervonen, Michał K. Tomczyk, Rommert Dekker. (2017)			GSCM (Green supply chain management)	The authors analyze a case study with three objectives, costs, CO2 and fine dust (also known as PM – Particulate Matters) emissions.	x		x			The interactive method successfully performed their a posteriori counter parts, and could discover solutions corresponding better to the DM preferences.			x
Lhoussaine Ameknassi, Daoud Aït-Kadi, Nidhal Rezg (2016)			GSCM (Green supply chain management)	Combine logistics outsourcing decisions with some strategic Supply Chains' planning issues, such as the Security of supplies, the customer Segmentation and the Extended Producer Responsibility.	x			x		The purpose is to minimize both the expected logistics cost and the Green House Gas (GHG) emissions of the Supply Chain (SC) network, in the context of business environment uncertainty.			x

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Clasificación de los trabajos revisados - CO2 (Continuación)

Referencia	Problema			Característica	Solución		Modelo			Descripción	Método		
	VRP	IRP	Otro. ¿Cuál?		Función Objetivo	Restricción	Determinístico	Estocástico	Difuso		Exacto	Heurístico	Metaheurístico
Zhalechian. M, Tavakkoli-Moghaddam. R, Zahiri. B, Mohammadi. M (2016)			CLSCs (Designing closed-loop supply chains)	Economic, social and enviromental impacts	x			x		The environmental impacts of CO2 emissions, fuel consumption, wasted energy and the social impacts of created job opportunities and economic development			x
Peng-Yeng Yin, Ya-Lan Chuang. (2016)	x			General Pickup and Delivery Problem (GPDP) transportation via a cross-dock	x			x		They proposed an adaptive memory - based artificial bee colony optimization algorithm. The algorithm is compared to existing methods on both of the previous problem and the new problem.			x
Mansoureh Naderipour, Mahdi Alinaghian. (2016)	x			Open time dependent vehicle routing problem (OTDVRP)		x	x			To solve the problem the proposed problem, an improved Particle Swarm Optimization algorithm is developed.		x	
Bandeira. J.M, Fontes. T.a, Pereira, S.R.a, Fernandes, P.a, Khattak, A.b, Coelho, M.C (2014)			GSCM (Green supply chain management)	Minimize air pollutant emissions and fuel consumption	x			x		The use of intelligent road pricing systems and the use of variable message signs can change the route choice process of drivers , by varying the perceived attributes of competing routes		x	
Johannes Fichtinger, JörgM.Ries, EricH Grosse, PeterBaker. (2015)			Warehouse operations	Warehouse emission semanate from heating, cooling, air conditioning and lighting.		x		x		An integrated simulation model has been built to examine this interaction and the results high light the key effects of inventory management on warehouse-related green house gas emissions.	x		
Ioannis Mallidis, Dimitrios Vlachos, Eleftherios Iakovou, Rommert Dekker. (2014)			GSCM (Green supply chain management)	The obtained insights indicate that longer optimized replenishment cycles reduce a node’s transportation cost and CO2 emissions but increase its inventory costs.	x			x		Determining the optimal number of operating facilities and the optimal allocation of customers to these facilities, while jointly minimizing transportation and facility costs as well as transportation and facility CO2 emissions.			X
S. Srivatsa Srinivas & M.S Gajanand. (2017)	X			Review of existing models of VRP, planner behaviour models and driver behaviour models		X	X			The relevance of behavioural issues in logistics and highlights the modelling implications of incorporating planner and driver behaviour in the framework of routing problems	X		
Xiao, Yiyong. Konak, Abdullah. (2016)	X			The green vehicle routing and scheduling problem (GVRSP)		x			x	Define a new mixed integer liner programming (MIP) model which considers heterogeneous vehicles, time-varying traffic congestion, customer/vehicle time window constraints, the impact of vehicle loads on emissions, and vehicle capacity/range constraints in the GVRSP.			x
Jianghua, Zhang. Yingxue, Zhao. Weili, Xue. JinLid. (2015)			LCRP (Low carbon routing problem)	Incorporation of fuel cost, carbon emission cost, and vehicle usage cost into the traditional VRP problem and establishment of a low-carbon routing problem model.		x	x			A distribution center which provides services to the clients with one group of vehicles, which have load capacity and will bear fuel consumption cost, carbon emission cost, and usage cost during the tasks.		x	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Clasificación de los trabajos revisados - CO2 (Continuación)

Referencia	Problema			Característica	Solución		Modelo			Descripción	Método		
	VRP	IRP	Otro. ¿Cuál?		Función Objetivo	Restricción	Determinístico	Estocástico	Difuso		Exacto	Heurístico	Metaheurístico
M Szala. (2013)	x			A study of the synthesis of hollow carbon fibers by combustion route		x	x			The developed route is simple and fast. It uses low-cost starting materials and does not require sophisticated equipment.		x	
Toptal, A., Özlü, H., & Konur, D. (2014)	x			Economic order quantity model considering carbon emissions reduction investment availability		x		x		On inventory replenishment and carbon emission reduction investment under three carbon emission regulation policies.	x		
Fukasawa, R., He, Q., & Song, Y. (2016).			PRP (Pollution routing problem)	Determine a set of routes and speed over each leg of the routes simultaneously to minimize the total operational and environmental costs	x			X		A common approach to solve the PRP exactly is through speed discretization, i.e., assuming that speed over each arc is chosen from a prescribed set of values	x		
Wy, J., & Kim, B. (2013).	x			Discusses the rollon–rolloff vehicle routing problem, a sanitation routing problem	x			X		The rollon–rolloff vehicle routing problem, a sanitation routing problem in which large containers are left at customer locations such as construction sites and shopping centers. Customers dump their garbage into large waste containers and request for waste treatment services			x
Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2014).			PRP (Pollution Routing Problem)	Extension of the Pollution-Routing Problem (PRP)	x			X		combined with a speed optimization procedure, to solve the bi-objective PRP.		X	
Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R., & Devika, K. (2014).			LRP (Location routing problem)	Introduces a two-echel on location–routing problem with time-windows (2E-LRPTW)	x			X		The proposed method includes an overmulti-objective hybrid approach called MHPV, a hybrid of two now multi-objective algorithms			x
Eguia I., Racero J., Molina J.C., Guerrero F. (2013)	X			VRP with heterogeneous vehicle fleets	x			X		The algorithm is validated with benchmarking problems		x	
Mangla, S. K., Kumar, P., & Barua, M. K. (2015).			GSCM (Green supply chain management)	Due to increase in customer environmental awareness, competitiveness and strict governmental policies, the approach of incorporating green supply chain management (GSCM)	x			X		In the first phase, six categories of risks and twenty-five specific risks, associated with the GSC, were identified. In the second phase, the fuzzy analytic hierarchy process (fuzzy AHP), a qualitative and quantitative analysis was used to analyze the identified risks for determining of their priority of concern.		x	
Zhou, Y., & Lee, G. M. (2017).	x			GVRP with the objective of minimizing GHG emissions	x		x			In contrast to traditional vehicle routing problems, the vehicle speed, vehicle weight, and road grade between two customer locations are also determined along with vehicle routes	x		
Shukla, Nagesh., Tiwari, M.K. & Ceglarek, Darek. (2013).		X		Inventory routing problem (IRP) with stochastic demands		X	X			A generic method for algorithm portfolios design, evaluation, and analysis is discussed in detail		x	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Clasificación de los trabajos revisados – Vehículos eléctricos

Referencia	Problema			Característica	Solución		Modelo			Descripción	Método		
	VRP	IRP	Otro. ¿Cuál?		Función Objetivo	Restricción	Determinístico	Estocástico	Difuso		Exacto	Heurístico	Metaheurístico
Madankumar, S., & Rajendran, C. (2018).	X			Green Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries in a Semiconductor Supply Chain (G-VRPPD-SSC).	X		X			It is considered the Green Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries in a Semiconductor Supply Chain (G-VRPPD-SSC) which is an extension of the PDP-SSC, in which a fleet of AFVs is operated to serve the requests instead of regular fuel vehicles.	X		
Vaz Penna, Puca Huachi., Afsar, H. Murat., Prins, Christian. & Prodhon, Caroline. (2016).	X			Electric Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows and Recharging Stations (E-FSMFTW).	X		X			It combines and subsumes the well known Fleet Size Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows (FSMFTW) and the recently defined Electric Vehicle Routing Problem with Time Windows and Recharging Stations (E-VRPTW).			X
Yang, J., & Sun, H. (2015).			LRP (Location routing problem)	Electric vehicles battery swap stations location routing problem (BSS-EV-LRP)	X		X			Determine the location strategy of battery swap stations (BSSs) and the routing plan of a fleet of electric vehicles (EVs) simultaneously under battery driving range limitation.		X	
Muñoz-Villamizar, A., Montoya-Torres, J. R., & Faulin, J. (2017).	X			Multi-depot capacitated vehicle routing problem(MDCVRP)	X		X			An approach using mathematical modeling with multiple objectives, for tactical and operational decision-making, is proposed to explore the relationship between the delivery cost and the sustainability impact	X		
Keskin, M., & Çatay, B. (2016).	X			The Electric Vehicle Routing Problem with Time Windows (EVRPTW)	X		X			The Electric Vehicle Routing Problem with Time Windows (EVRPTW) is an extension to the well-known Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) where the fleet consists of electric vehicles (EVs).		X	
Yavuz, M. (2017).	x			Green vehicle routing problem of homogeneous service fleets with stated challenges	x		x			Green, or, alternative-fuel vehicles provide opportunities to improve fleet operators' financial and environmental bottom lines. They also present challenges due to limited driving ranges, limited refueling infrastructure, and lengthy refueling times.			x
Zhang, S., Gajpal, Y., & Appadoo, S. (2017).	x			The capacitated green vehicle routing problem	x		x			AFVs are assumed to have low fuel tank capacity. During their distribution process, AFVs are required to visit alternative fuel stations (AFSSs) for refueling. The design of the vehicle routes for AFVs becomes difficult due to the limited loading capacity, the low fuel tank capacity and the scarce availability of AFSSs.			x
Leggieri, V., & Haouari, M. (2017).	X			Green vehicle routing (GVRP) designing a set of routes for a homogeneous fleet of environment-friendly vehicles		X	X			The newly formulation offers two significant advantages: compactness and flexibility. We provide empirical evidence that the formulation and the reduction procedure enable to derive optimal solutions for medium-sized instances using a general-purpose solver.	X		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Clasificación de los trabajos revisados - Inventario

Referencia	Problema			Característica	Solución		Modelo			Descripción	Método		
	VRP	IRP	Otro. ¿Cuál?		Función Objetivo	Restricción	Determinístico	Estocástico	Difuso		Exacto	Heurístico	Metaheurístico
Mirzaei, S., & Seifi, A. (2015).		X		IRP for allocating the stock of perishable goods	X			X		The proposed model balances the transportation cost, the cost of inventory holding and lost sale. In addition to the usual inventory routing constraints, we consider the cost of lost sale as a linear or an exponential function of the inventory age.			X
Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., & van der Vorst, J. G. (2015).		X		Multi-period IRP model that includes truck load dependent distribution costs	X			X		The proposed model allows to analyse the benefits of horizontal collaboration in the IRP with respect to several Key Performance Indicators, i.e., emissions, driving time, total cost comprised of routing (fuel and wage cost), inventory and waste cost given an uncertain demand.		X	
Cheng, C., Qi, M., Wang, X., & Zhang, Y. (2016).		X		The effects of carbon emission regulations on a multi-period inventory routing problem (MIRP)	X		X			Based on allocation first and routing second is proposed to find near-optimal solutions for these problems.			X
Mirzapour Al-e-hashem, S., & Rekik, Y. (2014).		X		A multi-product multi-period Inventory Routing Problem (IRP)	X		X			Multiple capacitated vehicles distribute products from multiple suppliers to a single plant to meet the given demand of each product over a finite planning horizon	X		
Rahimi, M., Baboli, A., & Rekik, Y. (2016).		X		Sustainable Inventory Routing Problem for Perishable Products by Considering Reverse Logistic		X		X		Sensitivity analysis is preformed to investigate effects of variation of social issues in economic side of proposed problem		X	
Bouma, H. W., & Teunter, R. H. (2016).		X		The routed inventory pooling problem with multiple lateral transshipments	X		X			Is considered a single item, single-period inventory problem with two identical retailers who can pool stocks at multiple predetermined points in time	X		
He, Dongdong., Zhong, Qiuyan., Qu, Yi., Du, Peng. & Lin, Zhengkui. (2016).		X		A green approach for a bi-objective programming inventory routing problem	X		X			The bi-objective optimization model pertaining to minimize transportation cost and the greenhouse gas emission is considered as a possible solution to achieve a balance of economic and environment.	X		
Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., & van der Vorst, J. G. (2018).		X		Green inventory routing problem for perishable products with horizontal collaboration		X	X			Analyse the benefits of horizontal collaboration in the IRP with multiple suppliers and customers by developing a decision support model that can address the concerns for perishability of goods, explicit energy use from transportation operations, logistics cost and demand uncertainty	X		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Clasificación de los trabajos revisados – Inventario (Continuación)

Referencia	Problema			Característica	Solución		Modelo			Descripción	Método		
	VRP	IRP	Otro. ¿Cuál?		Función Objetivo	Restricción	Determinístico	Estocástico	Difuso		Exacto	Heurístico	Metaheurístico
Cheng, C., Yang, P., Qi, M., & Rousseau, L. (2017).		X		Green inventory routing problem with a heterogeneous fleet (GIRP-H)		X	X			A comprehensive objective is proposed, which minimizes the sum of inventory cost and routing cost, where the latter includes driver wage, vehicle fixed cost, fuel and emission costs, in which fuel consumption and emissions are determined by load, distance, speed and vehicle characteristics.	X		
Alinaghian, M. & Zamani, M. (2017).		X		Green inventory routing problem with the heterogeneous fleet.		X	X			The objective is reduce the emissions and to minimize the fleet size, vehicle type, routing and inventory cost			X
He Y., Briand C., Jozefowicz N. (2017)		X		Multi-period single-vehicle IRP with one depot and several customers		X	X			Minimizing the distance or inventory cost, energy minimization.	X		
Rahimi, M., Baboli, A., & Rekik, Y. (2017).		X		IRP for allocating the stock of perishable goods		X			X	It is consider a service level measuring both the inventory control and the transportation performances. Therefore, we measure the service level with the joint rate of delays, the rate of backorder as well as the rate of backorder frequency.			X
Sara, N., & Farimah Mokhtab, R. (2017).		x		location-inventory-routing problem	x			x		In this study a multilevel mathematical model including supply, production, distribution and customer levels has been presented for routing–location–inventory in green supply chain.			x
De, A., Kumar, S. K., Gunasekaran, A., & Tiwari, M. K. (2017).		x		Sustainable maritime inventory routing problem with time window constraints		X	X			It explores the possibilities of integrating slow steaming policy within ship routing.		X	
Farahani, R. Z., Rashidi Bajgan, H., Fahimnia, B., & Kaviani, M. (2015)			LIP (Location inventory problem)	A mathematical model is presented for a basic LIP, which can be further developed to incorporate additional features for use in real-world scenarios.		x	X			The evolution of LIP modelling literature over the past three decades and provide summary tables outlining characteristics of the published works including key modelling attributes and objective function cost components			X

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Clasificación de los trabajos revisados - Transporte

Referencia	Problema			Característica	Solución	Modelo					Descripción	Método		
	VRP	IRP	Otro, ¿Cuál?			Función Objetivo	Restricción	Determinístico	Estocástico	Difuso		Exacto	Heurístico	Metaheurístico
Molina, J. C., Eguia, I., Racero, J., & Guerrero, F. (2014)	X			Multi-objective vehicle routing problem with cost and emission functions	X		X				To solve the model when time windows are not considered. Finally, a real case application is analyzed to confirm the practicality of the model and the algorithm.		X	
52. Demir, E., Burgholzer, W., Hrušovský, M., Arkan, E., Jammerneegg, W., & Woensel, T. V. (2016).			GISND-TTU (Green Intermodal Service Network Design Problem with Travel Time Uncertainty)	A raising awareness of the need for environmentally friendly solutions increases the importance of transportation modes other than road.	X			X			The proposed methodology is applied to a real-world network, which shows the advantages of stochasticity in achieving robust transportation plans.		X	
Nurjanni, K. P., Carvalho, M. S., & Costa, L. (2017).			CLSCs (Designing closed-loop supply chains)	The main focus of SCM has been on efficient wayso fmanaging the flow sthrough complex networks of supplier,producers and customers.	X		X				Combined total cost and environmental effect components in a multi-objective approach		X	
Guo, Z., Zhang, D., Liu, H., He, Z., & Shi, L. (2016).			Green transportation scheduling with pickup time and mode selections	Evolution-strategy-based memetic Pareto optimization (ESMPO)	X		X				Evolution-strategy-based memetic Pareto optimization (ESMPO) approach is then developed to handle this new program, in which a multi-objective local search process is proposed to seek promising neighboring individuals and the faster nondominated sorting procedure is introduced into the memetic algorithm to perform multi-objective sorting		X	
Kumar, R. S., Kondapaneni, K., Dixit, V., Goswami, A., Thakur, L., & Tiwari, M. (2016).			PPRP-TW (Production and pollution routing problem)	PPRP-TW (Production and pollution routing problems with time window)is proposed, is a NP-hard problem concentrating to optimize the routing problem over the periods.	X			X			In multi-objective framework is proposed to solve the MMPPRP-TW.		X	
Sun, J.), & Liu, H.). (2015).			Eco-routing problem	The proposed method incorporates a microscopic vehicle emission model into a Markov decision process (MDP).	X			X			The proposed method can work with any microscopic vehicle model that uses vehicle trajectories as inputs and gives related emission rates as outputs.			X
Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & Bektaş, T. (2015).	X			Time-dependent two-echelon capacitated vehicle routing problem (2E-CVRP)			X	X			Determine the first and second echelon routes for all vehicles to minimize the total cost of travel and handling. Travel cost includes that of driver and fuel consumption.	X		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Clasificación de los trabajos revisados – Transporte (Continuación)

Referencia	Problema			Característica	Solución		Modelo			Descripción	Método		
	VRP	IRP	Otro. ¿Cuál?		Función Objetivo	Restricción	Determinístico	Estocástico	Difuso		Exacto	Heurístico	Metaheurístico
Bruglieri, M.), Mancini, S.), Pezzella, F.), & Pisacane, O.). (2016).	X			The Green VRP consists in serving a set of customers with a fleet of x AFVs (Alternative Fuel Vehicles) that leave fully refueled from a single depot and can be refueled at AFSS (Alternative Fuel Stations), along their routes. (GVRP-AF)		X	X			A new MILP formulation for the Green Vehicle Routing Problem is introduced where the visits to the Alternative Fuel Stations (AFSS) are only implicitly considered	X		
Abdoli, B., MirHassani, S., & Hooshmand, F. (2017).	X			Extension of GVRP-AF by considering bi-fuel vehicle fleets (GVRP - BF)		X		X		A bi-fuel vehicle has two separate fueling systems: the first works with a petroleum-based fuel such as gasoline or diesel, and the second uses an alternative fuel such as CNG.			X
Mokhtari, H., & Hasani, A. (2017).			CPTP (Cleaner production-transportation planning)	Multi-objective optimization model for a Cleaner production-transportation planning (CPTP)	x				x	When a manufacturer is planning for production-transportation of mid-term future, the aim is to determine optimal production level, inventory level, back order level, workforce level, transportation mode, overtime, and subcontracted products, while attempting to minimize production and transportation costs as well as environmental effects		x	
Mannoubia, A., Houda, D., & Bassem, J. (2017).	x			GVRP with the refueling stations and the limit of fuel tank capacity	x			x		In this problem, the refueling stations and the limit of fuel tank capacity are considered for the construction of a tour.			x
62. Farrokhi-Asl, Hamed., Tavakkoli-Moghaddam, Reza., Asgarian, Bahare., Sangari, Esmat,. (2016).			LRP (Location routing problem)	Bi-objective location-routing problem	x		x			Vehicles start their route from depots, collect wastes from customers' location, and move to disposal centers to unload waste in the related disposal facility, and then return to depots.			X
Toro, E. M., Franco, J. F., Echeverri, M. G., & Guimarães, F. G. (2017)			LRP (Location routing problem)	The Green Capacitated Location-Routing Problem (G-CLRP) considering fuel consumption minimization	x			x		Strategic-level problem involving the selection of one or many depots from a set of candidate locations and the planning of delivery routes from the selected depots to a set of customers	x		

Fuente: Elaboración propia.

4. DISCUSIÓN

El presente apartado del estudio tiene como característica emplear un método deductivo para su desarrollo, es decir, parte de premisas generales para llegar a una serie de conclusiones particulares. Hay algunos temas que se destacaron de la literatura, razón por la que las siguientes subsecciones resumen los hallazgos en términos de 5 elementos que a continuación se exponen; aspectos que inicialmente se abordaron teniendo en cuenta los 63 documentos, para posteriormente estudiarlos de manera más detallada de acuerdo a la taxonomía del estudio, es decir por cada una de las fuentes de emisión delimitadas (CO₂, vehículos eléctricos, inventario y transporte).

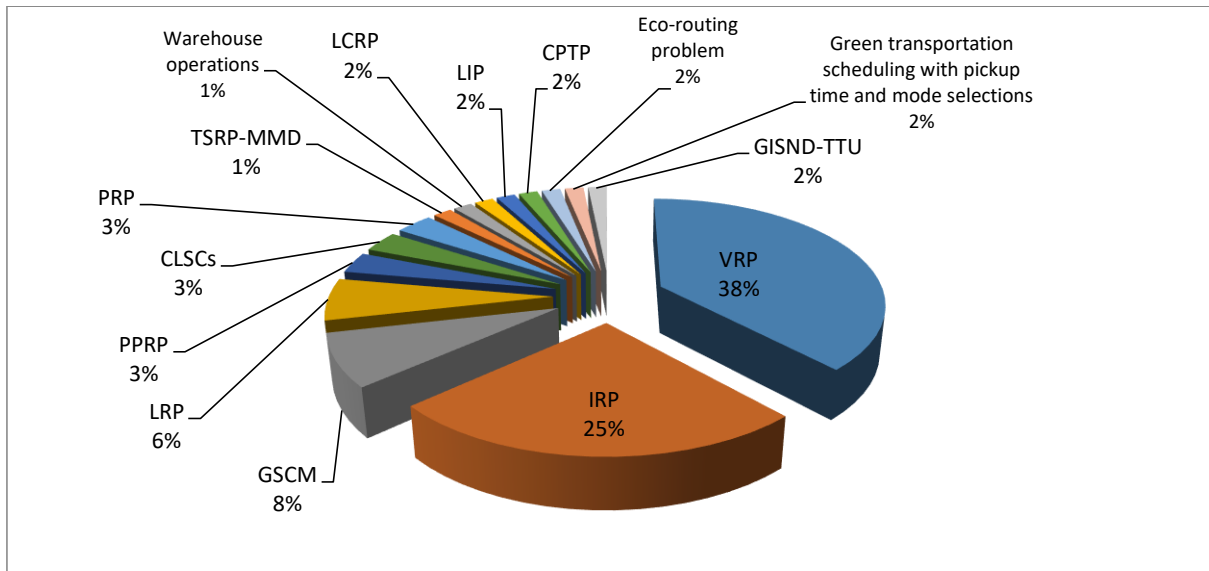
- Problema y característica
- Emplazamiento de la solución
- Modelo empleado
- Método de optimización

4.1. Problema y característica

El problema de enrutamiento de vehículos conocido como el Vehicle Routing Problem (VRP) consiste en determinar una serie de rutas para una determinada flota basado en uno o mas almacenes para un numero dado de destinos o consumidores geográficamente ubicados. El VRP es uno de los problemas de optimización combinatoria más estudiados debido a que abarca actividades de transporte, distribución y logística que constituyen en su conjunto un alto valor para cualquier empresa. Entre las actividades logísticas, el transporte se presenta como una de las principales fuentes de contaminación atmosférica, en Europa por ejemplo, generando niveles nocivos de contaminantes atmosféricos y es responsable de hasta el 24% de las emisiones de gases efecto invernadero en la Unión Europea (Molina, Equia, Racero & Guerrero, 2014). En la presente revisión, el VRP es el problema más estudiado con un 38% que corresponde a 24 documentos.

Otro de los problemas típicos que confirman la gestión logística habitual es el problema de la gestión de inventario y el enrutamiento de vehículos combinado en una cadena de suministro conocido como el Inventory Routing Problem (IRP), el cual se refiere a todos aquellos costos en los que incurren un conjunto existente tanto de proveedores como de consumidores en actividades de transporte e inventario de productos. El IRP presenta múltiples periodos y a pesar de contar con un horizonte de planeación, la demanda del cliente no se conoce al comienzo de este, es un problema de asignación de recursos en el que se debe satisfacer la demanda proyectada de cada cliente utilizando de la manera más óptima los recursos existentes. Por todo esto, el problema se ha convertido en un atractivo organizacional entorno al cual diversos autores han venido trabajando. En la presente investigación, el IRP tiene una participación del 25% con 16 artículos revisados.

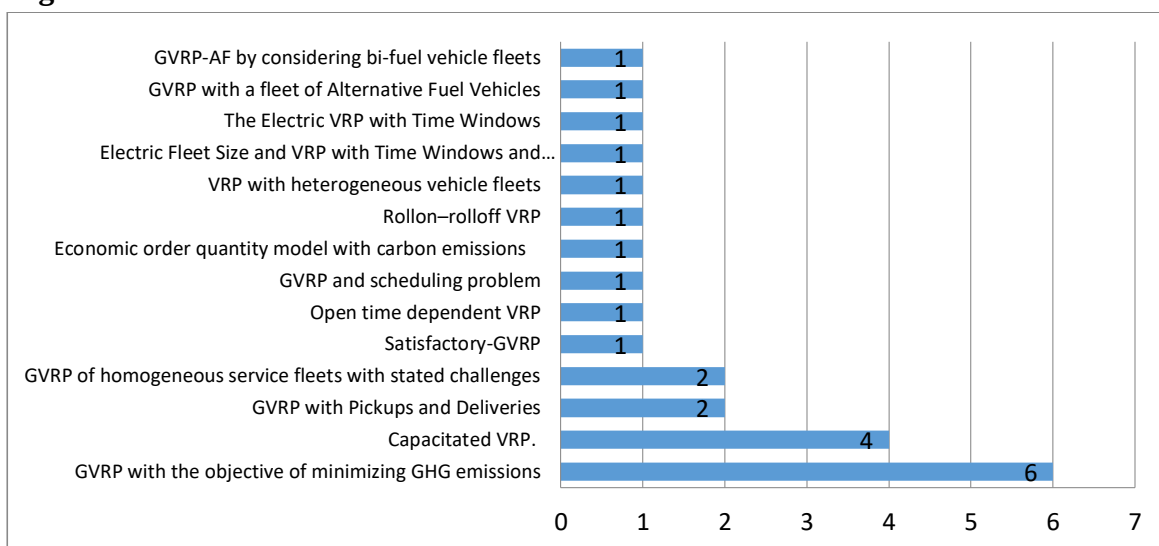
Es así entonces que como resultado de las distintas variaciones al problema de ruteo de vehículos (VRP) de los años 50, empiezan a existir modelos clave no solo en la búsqueda de minimización de costos logísticos internos, sino también en el nivel de emisiones producidas; un ejemplo es el origen del Inventory Routing Problem. (Coelho, Cordeau & Laporte, 2013). De esta manera, empiezan surgir modelos como Green Supply Chain Management (GSCM), Location Routing Problem (LRP), Pollution Production Routing Problem (PPRP), Designing closed-loop supply chains (CLSCs) y PRP (Pollution routing problem); modelos en la estrategia de negocios de integración en la toma de decisiones en la Administración de la Cadena de Suministros que en la presente revisión de literatura se abordaron en 5, 4, 2, 2 y 2 artículos, respectivamente.

Figura 6. Distribución de los problemas encontrados

Fuente: Elaboración propia.

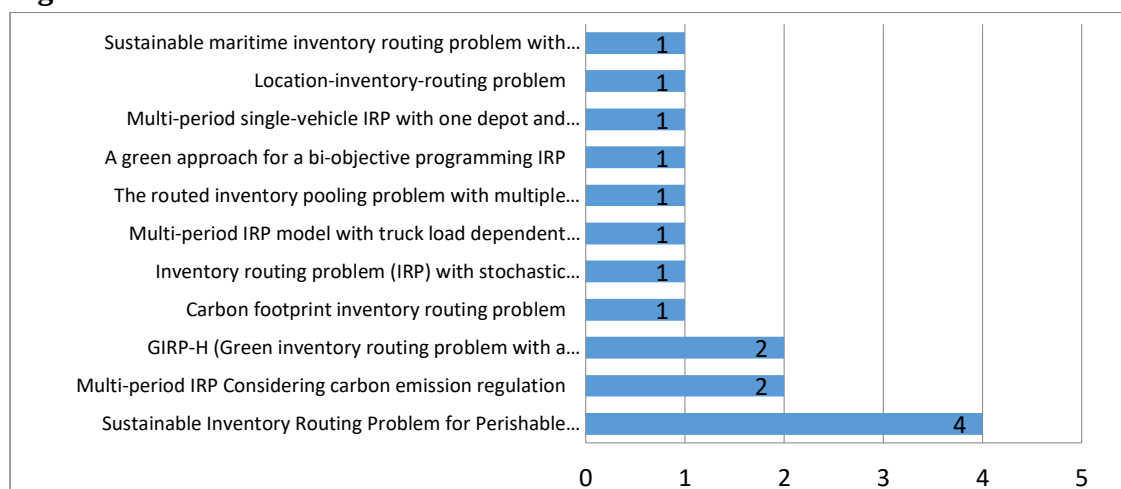
El VRP y el IRP en su conjunto ocuparon el 63% de la revisión de la literatura. Las Figuras 7 y 8 nos muestran las características de cada uno de estos problemas, respectivamente.

Los principales progresos en el estudio del VRP, están enmarcados en el movimiento conocido como Green Vehicle Routing Problem (GVRP). Con 6 artículos y con la tendencia anteriormente descrita en lo que es la preocupación por la emisión de CO₂, el objetivo de minimizar la emisión de gases efecto invernadero como una función objetivo para minimizar costes internos impera en la revisión. Le siguen el modelo Capacited VRP (los vehículos tienen una capacidad de carga limitada para productos de entrega) del que se habla en 4 artículos, el GVRP with Pickups and Deliveries presente en 2 y el GVRP of homogeneous service fleets with stated challenges también en 2 documentos.

Figura 7. Características del VRP

Fuente: Elaboración propia.

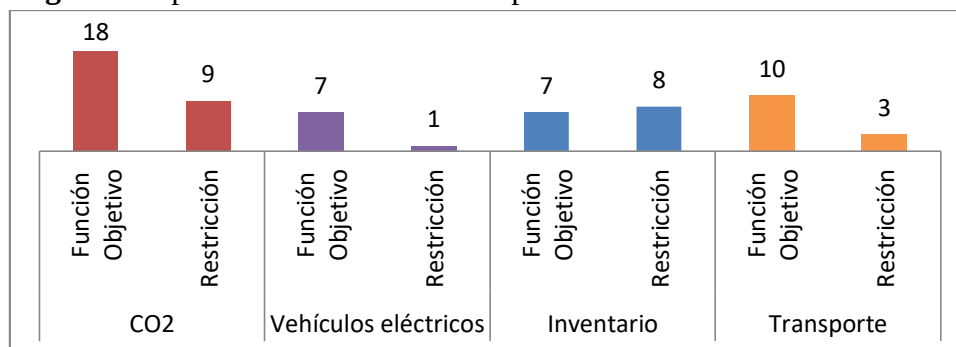
Así como en el VRP la corriente ha sido el GVRP, en lo que respecta al IRP el Green Inventory Routing Problem también es el punto de partida en lo que es el enfoque verde en este modelo tal y como lo demuestran sus características. La característica que más se encontró en los problemas de IRP fue Sustainable Inventory Routing Problem for Perishable Products, los autores de los 4 artículos en los que se encuentra presente esta característica dicen que las preocupaciones cada vez son mayores sobre el uso de la energía, las emisiones y los residuos de alimentos, y se requieren de modelos avanzados para su gestión logística.

Figura 8. Características del IRP

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Emplazamiento de la solución

En la mayoría (67%) de los trabajos revisados de todas las fuentes de emisión, la solución al problema estudiado en esta investigación se encuentra en la función objetivo de los modelos. Solo en inventario, la solución en las restricciones concentra la atención, lo que se constituye en una recomendación u oportunidad para investigaciones futuras de la resolución del problema combinado teniendo en cuenta factores ambientales.

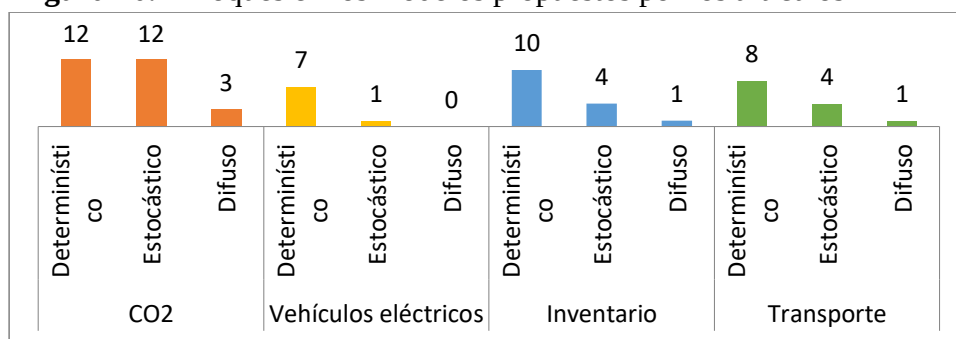
Figura 9. Aproximación a la solución por fuente de emisión

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Modelo empleado

La figura 10 presenta el comportamiento de los artículos revisados de acuerdo con las formas en que se modelan los parámetros inciertos en la programación. En todas las fuentes de emisión el enfoque determinístico primó sobre el estocástico y el difuso, a excepción del CO₂ en la que el enfoque estocástico fue abordado en el mismo número de documentos. Las mismas entradas producen invariablemente las mismas salidas, fue el parámetro utilizado en la mayoría de la investigación.

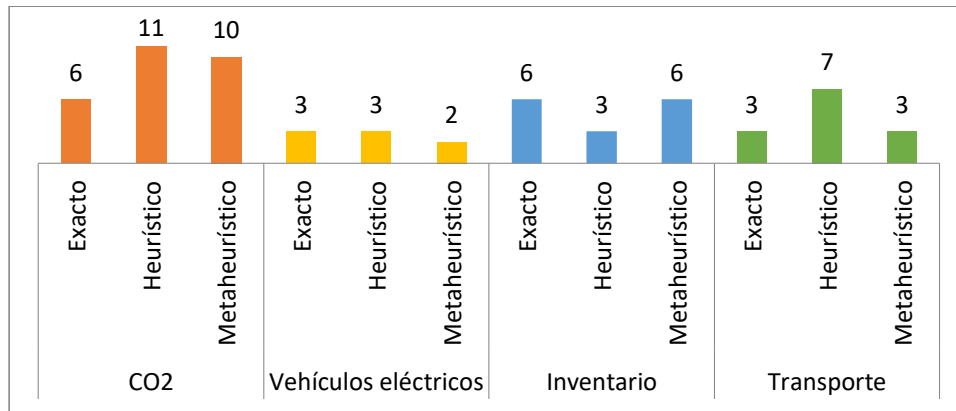
Figura 10. Enfoques en los modelos propuestos por los artículos



Fuente: Elaboración propia.

4.4. Método de optimización

El método de optimización combinatoria en la investigación no generó ningún patrón marcado. Los tres métodos reconocidos en la literatura tienen suficiente repercusión en el desarrollo de los artículos encontrados. Solo se destaca el hecho de que en CO₂, vehículos eléctricos y transporte, los algoritmos heurísticos tienen relevancia a comparación del caso inventario. En lo exacto el Mixed Integer Linear Programming (MILP) fue el método más utilizado, en lo heurístico fue la búsqueda local y en lo metaheurístico los algoritmos genéticos.

Figura 11. Métodos de optimización

Fuente: Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

Se han estudiado 63 documentos entre el año 2012 a la actualidad referentes a la modelación teorico-matemática de factores ambientales en el diseño de cadenas de suministro aplicadas al Inventory Routing Problem, problema fundamentado en el Vehicle Routing Problem. La cantidad de trabajo científico en este campo de estudio de la Administración ha aumentado a lo largo de los años dado el daño que el ser humano con las actividades industriales ha causado al medio ambiente, en un principio ha sido CO2 la fuente de emisión más estudiada, pero actualmente es evidente el exponencial crecimiento de los estudios principalmente en vehículos eléctricos e inventario. Es claro que a medida que la tecnología avanza, se pueden llegar a resolver problemas más complejos y con tiempos de ejecución más rápidos; así como también, que empiezan a existir modelos clave dadas variaciones al VRP que busquen minimizar no solo costos logísticos internos sino también el impacto al ambiente. La mayoría de los documentos usan modelos que no contemplan probabilidades ni la incertidumbre de la realidad de los procesos logísticos en su conjunto, además de esto casi ningún artículo encontrado tiene en cuenta múltiples parámetros inciertos al mismo tiempo; este resultado de la investigación constituye una oportunidad para que los futuros investigadores. Además, hay una investigación limitada en el mecanismo de carga de vehículos alternativos, se presenta la necesidad en el caso de que se instauren soluciones de

este tipo, de que la flota tenga que hacer numerosos trasbordos para carga de energía; solo hay un estudio que habla de la eficiencia de la energía en las actividades logísticas de las organizaciones. En cuanto al emplazamiento de la solución, en lo que es el inventario como fuente de emisión hay una limitación en estructurar como función objetivo la solución al problema combinado teniendo en cuenta al medio ambiente, lo que se constituye en una oportunidad futura de investigación también. Finalmente, en lo que son los métodos de solución, se recomienda utilizar algoritmos metaheurísticos híbridos para la minimización de la entropía y para el hallazgo soluciones óptimas.

6. REFERENCIAS

- Abdoli, B., MirHassani, S., & Hooshmand, F. (2017). Model and algorithm for bi-fuel vehicle routing problem to reduce GHG emissions. *Environmental Science And Pollution Research*, 24(27), 21610-21624. doi:10.1007/s11356-017-9740-8
- Afshar-Bakeshloo, M.), Jolai, F.), Mehrabi, A.), Safari, H.), & Maleki, M.). (2016). A green vehicle routing problem with customer satisfaction criteria. *Journal Of Industrial Engineering International*, 12(4), 529-544. doi:10.1007/s40092-016-0163-9
- Alinaghian, M. & Zamani, M. (2017). A bi-objective fleet size and mix green inventory routing problem, model and solution method. *Soft Comput*, 1–17. doi.org/10.1007/s00500-017-2866-2
- Ameknassi, L., Aït-Kadi, D., & Rezg, N. (2016). Integration of logistics outsourcing decisions in a green supply chain design: A stochastic multi-objective multi-period multi-product programming model. *International Journal Of Production Economics*, 182165-184. doi:10.1016/j.ijpe.2016.08.031
- Arango-Serna, Martín Darío, Andrés-Romano, Carlos, & Zapata-Cortés, Julián Andrés. (2016). Distribución colaborativa de mercancías utilizando el modelo IRP. *DYNA*, 83(196), 204-212. <https://dx.doi.org/10.15446/dyna.v83n196.52492>
- Baita, F., Ukovich, W., Pesenti, R., & Favaretto, D. (1998). Dynamic routing-and-inventory problems: a review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(8), 585–598. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(98\)00014-7](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(98)00014-7)

- Bandeira, J.M., Fontes, T., Pereira, S.R., Fernandes, P., Khattak, A. & Coelho, M.C. (2014). Assessing the Importance of Vehicle Type for the Implementation of Eco-routing Systems. *Transportation Research Procedia*, 9800-809. doi.org/10.1016/j.trpro.2014.10.063
- Bouma, H. W., & Teunter, R. H. (2016). The routed inventory pooling problem with multiple lateral transshipments. *International Journal of Production Research*, 54(12), 3523-3533. DOI: 10.1080/00207543.2015.1082668
- Bruglieri, M.), Mancini, S.), Pezzella, F.), & Pisacane, O.). (2016). A new Mathematical Programming Model for the Green Vehicle Routing Problem. *Electronic Notes In Discrete Mathematics*, 5589-92. doi:10.1016/j.endm.2016.10.023
- Candia, R., (2017). Algoritmo de solución para un modelo dinámico combinado de IRP con ventanas de tiempo y crew sheduling. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5196/1/CandiaParraRubenDario2017.pdf>
- Cheng, C., Qi, M., Wang, X., & Zhang, Y. (2016). Multi-period inventory routing problem under carbon emission regulations. *International Journal Of Production Economics*, 182263-275. doi:10.1016/j.ijpe.2016.09.001
- Cheng, C., Yang, P., Qi, M., & Rousseau, L. (2017). Modeling a green inventory routing problem with a heterogeneous fleet. *Transportation Research Part E*, 9797-112. doi:10.1016/j.tre.2016.11.001
- Coelho, L. C., & Laporte, G. (2013). The exact solution of several classes of inventory-routing problems. *Computers & Operations Research*, 40(2), 558–565. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2012.08.012>
- De, A., Kumar, S. K., Gunasekaran, A., & Tiwari, M. K. (2017). Sustainable maritime inventory routing problem with time window constraints. *Engineering Applications Of Artificial Intelligence*, 6177-95. doi:10.1016/j.engappai.2017.02.012
- Delbufalo, E. (2012). Outcomes of inter-organizational trust in supply chain relationships: a systematic literature review and a meta-analysis of the empirical evidence. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(4), 377–402. <https://doi.org/10.1108/13598541211246549>
- Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2014). The bi-objective Pollution-Routing Problem. *European Journal Of Operational Research*, (3), 464.
- Demir, E., Burgholzer, W., Hrušovský, M., Arıkan, E., Jammerneegg, W., & Woensel, T. V. (2016). A green intermodal service network design problem with travel time

- uncertainty. *Transportation Research Part B*, 93(Part B), 789-807. doi:10.1016/j.trb.2015.09.007
- Eguia I., Racero J., Molina J.C., Guerrero F. (2013). Environmental Issues in Vehicle Routing Problems. In: Erechtkhoukova M., Khaite P., Golinska P. (eds) *Sustainability Appraisal: Quantitative Methods and Mathematical Techniques for Environmental Performance Evaluation. EcoProduction (Environmental Issues in Logistics and Manufacturing)*. Springer, Berlin, Heidelberg, 215-241. doi.org/10.1007/978-3-642-32081-1_10
- Elhedhli, S., & Merrick, R. (2012). Green supply chain network design to reduce carbon emissions. *Transportation Research Part D*, 17370-379. doi:10.1016/j.trd.2012.02.002
- Farahani, R. Z., Rashidi Bajgan, H., Fahimnia, B., & Kaviani, M. (2015). Location-inventory problem in supply chains: a modelling review. *International Journal Of Production Research*, 53(12), 3769-3788. doi:10.1080/00207543.2014.988889
- Farrokhi-Asl, Hamed., Tavakkoli-Moghaddam, Reza., Asgarian, Bahare., Sangari, Esmat., (2016). Metaheuristics for a bi-objective location-routing- problem in waste collection management. *Journal of Industrial and Production Engineering*, DO - 10.1080/21681015.2016.1253619
- Fichtinger, Johannes., Ries, Jörg M., Grosse, Eric H. & Baker, Peter. (2014). Assessing the environmental impact of integrated inventory and warehouse management. *International Journal of Production Economics*, 170717-729. doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.06.025
- Fukasawa, R., He, Q., & Song, Y. (2016). A disjunctive convex programming approach to the pollution-routing problem. *Transportation Research Part B*, 9461-79. doi:10.1016/j.trb.2016.09.006
- Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R., & Devika, K. (2014). Two-echelon multiple-vehicle location–routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food. *International Journal Of Production Economics*, 152(Sustainable Food Supply Chain Management), 9-28. doi:10.1016/j.ijpe.2013.12.028
- Guo, Z., Zhang, D., Liu, H., He, Z., & Shi, L. (2016). Green transportation scheduling with pickup time and transport mode selections using a novel multi-objective memetic optimization approach. *Transportation Research Part D*, doi:10.1016/j.trd.2016.02.003

- He Y., Briand C., Jozefowicz N. (2017). Inventory Routing with Explicit Energy Consumption: A Mass-Flow Formulation and First Experimentation. In: Vitoriano B., Parlier G. (eds) Operations Research and Enterprise Systems, 96-116. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53982-9_6
- He, Dongdong., Zhong, Qiuyan., Qu, Yi., Du, Peng. & Lin, Zhengkui. (2016). A Green Approach for a Bi-Objective Programming Inventory Routing Problem. *International Journal of Research and Surveys*, 101375-1381.
- Huang, Y. A., Weber, C. L., & Matthews, H. S. (2009). Categorization of Scope 3 Emissions for Streamlined Enterprise Carbon Footprinting. *Environmental Science & Technology*, 43(22), 8509– 8515. <https://doi.org/10.1021/es901643a>
- Jabir, E., Panicker, V. V., & Sridharan, R. (2015). Multi-objective Optimization Model for a Green Vehicle Routing Problem. *Procedia - Social And Behavioral Sciences*, 189(Operations Management in Digital Economy), 33-39. doi:10.1016/j.sbspro.2015.03.189
- Kadziński, M., Tervonen, T., Tomczyk, M. K., & Dekker, R. (2017). Evaluation of multi-objective optimization approaches for solving green supply chain design problems. *Omega*, 68168-184. doi:10.1016/j.omega.2016.07.003
- Keskin, M., & Çatay, B. (2016). Partial recharge strategies for the electric vehicle routing problem with time windows. *Transportation Research Part C*, 65111-127. doi:10.1016/j.trc.2016.01.013
- Kumar, R. S., Kondapaneni, K., Dixit, V., Goswami, A., Thakur, L., & Tiwari, M. (2016). Multi-objective modeling of production and pollution routing problem with time window: A self-learning particle swarm optimization approach. *Computers & Industrial Engineering*, 9929-40. doi:10.1016/j.cie.2015.07.003
- Kuo, T. C., Chen, G. Y., Wang, M. L., & Ho, M. W. (2014). Carbon footprint inventory route planning and selection of hot spot suppliers. *International Journal Of Production Economics*, 150125-139. doi:10.1016/j.ijpe.2013.12.005
- Leggieri, V., & Haouari, M. (2017). A practical solution approach for the green vehicle routing problem. *Transportation Research Part E*, 10497-112. doi:10.1016/j.tre.2017.06.003
- Letmathe, P., & Balakrishnan, N. (2005). Environmental considerations on the optimal product mix. *European Journal Of Operational Research*, 167(2), 398-412. doi:10.1016/j.ejor.2004.04.025

- Li, H., Lv, T., & Li, Y. (2015). The tractor and semitrailer routing problem with many-to-many demand considering carbon dioxide emissions. *Transportation Research Part D*, 3468-82. doi:10.1016/j.trd.2014.10.004
- Madankumar, S., & Rajendran, C. (2018). Mathematical models for green vehicle routing problems with pickup and delivery: A case of semiconductor supply chain. *Computers And Operations Research*, 89183-192. doi:10.1016/j.cor.2016.03.013
- Mallidis, I., Vlachos, D., Iakovou, E., & Dekker, R. (2014). Design and planning for green global supply chains under periodic review replenishment policies. *Transportation Research Part E*, 72210-235. doi:10.1016/j.tre.2014.10.008
- Mangla, S. K., Kumar, P., & Barua, M. K. (2015). Risk analysis in green supply chain using fuzzy AHP approach: A case study. *Resources, Conservation & Recycling*, 104(Part B), 375-390. doi:10.1016/j.resconrec.2015.01.001
- Mannoubia, A., Houda, D., & Bassem, J. (2017). Variable neighborhood search algorithm for the green vehicle routing problem. *International Journal Of Industrial Engineering Computations*, Vol 9, Iss 2, Pp 195-204 (2017), (2), 195. doi:10.5267/j.ijiec.2017.6.004
- Mirzaei, S., & Seifi, A. (2015). Considering lost sale in inventory routing problems for perishable goods. *Computers & Industrial Engineering*, 87213-227. doi:10.1016/j.cie.2015.05.010
- Mirzapour Al-e-hashem, S., & Rekik, Y. (2014). Multi-product multi-period Inventory Routing Problem with a transshipment option: A green approach. *International Journal Of Production Economics*, (C), 80.
- Mokhtari, H., & Hasani, A. (2017). A multi-objective model for cleaner production-transportation planning in manufacturing plants via fuzzy goal programming. *Journal Of Manufacturing Systems*, 44(Part 1), 230-242. doi:10.1016/j.jmsy.2017.06.002
- Molina, J. C., Eguia, I., Racero, J., & Guerrero, F. (2014). Multi-objective Vehicle Routing Problem with Cost and Emission Functions. *Procedia - Social And Behavioral Sciences*, 160(XI Congreso de Ingenieria del Transporte (CIT 2014), 254-263. doi:10.1016/j.sbspro.2014.12.137
- Molina, J. C., Equia, L., Racero, J., & Guerrero, F. (2014). Multi-objective vehicle routing problema with cost and emission. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, págs. 254-263.

- Montoya-Torres, J. R., Gutierrez-Franco, E., & Blanco, E. E. (2015). Conceptual framework for measuring carbon footprint in supply chains. *Production Planning & Control The Management of Operations*, 26(4), 265–279. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09537287.2014.894215?scroll=top&needAccess=true>
- Muñoz, A. D. (2007). *Metaheurísticas*. Librería – Editorial Dykinson.
- Muñoz-Villamizar, A., Montoya-Torres, J. R., & Faulin, J. (2017). Impact of the use of electric vehicles in collaborative urban transport networks: A case study. *Transportation Research Part D*, 5040-54. doi:10.1016/j.trd.2016.10.018
- Naderipour, M., & Alinaghian, M. (2016). Measurement, evaluation and minimization of CO₂, NO_x, and CO emissions in the open time dependent vehicle routing problem. *Measurement: Journal Of The International Measurement Confederation*, 90443-452. doi:10.1016/j.measurement.2016.04.043
- Nurjanni, K. P., Carvalho, M. S., & Costa, L. (2017). Green supply chain design: A mathematical modeling approach based on a multi-objective optimization model. *International Journal Of Production Economics*, 183(Part B), 421-432. doi:10.1016/j.ijpe.2016.08.028
- Qiu, Y., Qiao, J., & Pardalos, P. M. (2017). A branch-and-price algorithm for production routing problems with carbon cap-and-trade. *Omega*, 6849-61. doi:10.1016/j.omega.2016.06.001
- Rahimi, M., Baboli, A., & Rekik, Y. (2016). Sustainable Inventory Routing Problem for Perishable Products by Considering Reverse Logistic. *IFAC-PapersOnLine*, 49949-954. doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.898
- Rahimi, M., Baboli, A., & Rekik, Y. (2017). Multi-objective inventory routing problem: A stochastic model to consider profit, service level and green criteria. *Transportation Research Part E*, 10159-83. doi:10.1016/j.tre.2017.03.001
- Sánchez, J., (2009). Propuesta para la mejora de la programación de los recursos no homogéneos de la poscosecha con proceso tipo flow shop híbrido en la empresa CI Miraflores S.A. Pontificia Universidad Javeriana. <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/Tesis245.pdf>
- Sara, N., & Farimah Mokhatab, R. (2017). An Integrated Multi-Echelon Supply Chain Network Design Considering Stochastic Demand: A Genetic Algorithm Based Solution. *Promet (Zagreb)*, Vol 29, Iss 4, Pp 391-400 (2017), (4), 391. doi:10.7307/ptt.v29i4.2193

- Shukla, Nagesh., Tiwari, M.K. & Ceglarek, Darek. (2013). Genetic-algorithms-based algorithm portfolio for inventory routing problem with stochastic demand. *International Journal of Production Research*, 118-137. doi:10.1080/00207543.2011.653010
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & Bektaş, T. (2015). The time-dependent two-echelon capacitated vehicle routing problem with environmental considerations. *International Journal Of Production Economics*, 164366-378. doi:10.1016/j.ijpe.2014.11.016
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., & van der Vorst, J. G. (2015). Modeling an Inventory Routing Problem for perishable products with environmental considerations and demand uncertainty. *International Journal Of Production Economics*, (C), 118.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., & van der Vorst, J. G. (2018). Modeling a green inventory routing problem for perishable products with horizontal collaboration. *Computers And Operations Research*, 89168-182. doi:10.1016/j.cor.2016.02.003
- Srivatsa Srinivas, S., & Gajanand, M. S. (2017). Vehicle routing problem and driver behaviour: a review and framework for analysis. *Transport Reviews*, 37(5), 590-611. doi:10.1080/01441647.2016.1273276
- Sun, J.), & Liu, H.). (2015). Stochastic eco-routing in a signalized traffic network. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 5932-47. doi:10.1016/j.trc.2015.06.002
- Szala, M. (2013). Synthesis of Carbon Fibers by Combustion Route Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures, 21, 879-887. doi: 10.1080/1536383X.2012.684184
- Tiwari, A., & Chang, P. (2015). A block recombination approach to solve green vehicle routing problem. *International Journal Of Production Economics*, 164379-387. doi:10.1016/j.ijpe.2014.11.003
- Toptal, A., Özlü, H., & Konur, D. (2014). Joint decisions on inventory replenishment and emission reduction investment under different emission regulations. *International Journal Of Production Research*, 52(1), 243-269. doi:10.1080/00207543.2013.836615
- Toro, E. M., Franco, J. F., Echeverri, M. G., & Guimarães, F. G. (2017). A multi-objective model for the green capacitated location-routing problem considering environmental impact. *Computers & Industrial Engineering*, 110114-125. doi:10.1016/j.cie.2017.05.013

- Tracy, B. (2015). *El camino hacia la riqueza: Estrategias de éxito para el emprendedor*. Harper Collins.
- Vaz Penna, Puca Huachi., Afsar, H. Murat., Prins, Christian. & Prodhon, Caroline. (2016). A Hybrid Iterative Local Search Algorithm for The Electric Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows and Recharging Stations. *IFAC-PapersOnline*, 49955-960. doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.899
- Wy, J., & Kim, B. (2013). A hybrid metaheuristic approach for the rollon–rolloff vehicle routing problem. *Computers And Operations Research*, 401947-1952. doi:10.1016/j.cor.2013.03.006
- Xiao, Y., & Konak, A. (2016). The heterogeneous green vehicle routing and scheduling problem with time-varying traffic congestion. *Transportation Research Part E*, 88146-166. doi:10.1016/j.tre.2016.01.011
- Yang, J., & Sun, H. (2015). Battery swap station location-routing problem with capacitated electric vehicles. *Computers And Operations Research*, 55217-232. doi:10.1016/j.cor.2014.07.003
- Yavuz, M. (2017). An iterated beam search algorithm for the green vehicle routing problem. *Networks*, 69(3), 317-328. doi:10.1002/net.21737
- Yin, P., & Chuang, Y. (2016). Adaptive memory artificial bee colony algorithm for green vehicle routing with cross-docking. *Applied Mathematical Modelling*, 409302-9315. doi:10.1016/j.apm.2016.06.013
- Zhalechian, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., & Mohammadi, M. (2016). Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty. *Transportation Research Part E*, 89182-214. doi:10.1016/j.tre.2016.02.011
- Zhang, J., Zhao, Y., Xue, W., & Li, J. (2015). Vehicle routing problem with fuel consumption and carbon emission. *International Journal Of Production Economics*, 170(Part A), 234-242. doi:10.1016/j.ijpe.2015.09.031
- Zhang, S., Gajpal, Y., & Appadoo, S. (2017). A meta-heuristic for capacitated green vehicle routing problem. *Annals Of Operations Research*, 1-19. doi:10.1007/s10479-017-2567-3
- Zhou, Y., & Lee, G. M. (2017). A Lagrangian Relaxation-Based Solution Method for a Green Vehicle Routing Problem to Minimize Greenhouse Gas Emissions. *Sustainability*, 9(5), 17.