

ESTADO DEL ARTE DEL PROYECTO: “Diseño y validación de un modelo de distribución de mercancías que mejore la eco eficiencia del suministro en cadenas de supermercados de la ciudad de Barranquilla”

AUTORES: Rafael Rojas Millan, Javier Mahecha Núñez, Juan Cabello Eras, Andrés Bronfman Cáceres

RESUMEN: Una de las formas de lograr esa optimización en el transporte es a partir de la utilización de modelos basados en el problema de ruteo vehicular (VRP) el cual se centra en la disminución de la distancia total recorrida por una flota de vehículos. Este modelo presenta variantes como CVRP, donde cada vehículo está limitado por su capacidad en la cantidad de carga que puede transportar; o VRP con ventanas de tiempo (VRPTW) donde los clientes deben ser visitados dentro de franjas horarias predefinidas (Bektaş & Laporte, 2011). A pesar de esto estos modelos no se han desarrollado para dar respuestas que integren todas las variables que influyen en el transporte como la congestión. Autores como (Andrés Figliozzi, 2012) sostienen que este fenómeno crea una variación sustancial en las velocidades de viaje durante las horas pico, lo que genera tiempos de viaje prolongados, mayor consumo de combustible y aumento de las emisiones, además, crea una problemática para los modelos de enrutamiento existentes, ya que estos dependen de un valor constante para representar las velocidades del vehículo lo cual resulta en soluciones ineficientes. En Colombia el transporte urbano de mercancías aborda una serie de objetivos para la sustentabilidad y la prosperidad económica de las regiones, estos objetivos tienen en cuenta el flujo de abastecimiento y distribución de alimentos y bebidas a los centros de consumo, bodegas o almacenes tanto mayorista como minorista. Para el caso de las cadenas de supermercados, predomina el tener puntos de venta en varias ubicaciones dentro de la ciudad o de la región que comparten una marca y administración central. Algunas de estas cadenas de tiendas funcionan las 24 horas, los 365 días del año, por lo que necesita un sistema de abastecimiento dinámico y casi constante en sus estanterías para el público. Según la superintendencia de industria y comercio, el mercado de retail (venta al por menor) lo conforman los grandes hipermercados y almacenes de cadena que ofrecen a los consumidores las diversas categorías de productos. Los retail con mayor participación en el mercado colombiano, son del Grupo Empresarial Éxito y Olímpica. Estas cadenas de supermercados se enfrentan a las mismas situaciones de mantenimiento de sus niveles de stock para la satisfacción de la demanda requerida por su clientela afectando la movilidad y la calidad de vida de las personas ya que cuentan con 1414 puntos de venta en el país. (Sectorial, 2017). Esta situación ha generado diferentes estrategias, entre ellas se encuentran la distribución nocturna de mercancías (Holguín-Veras, 2008), la optimización de la capacidad de los vehículos y el uso de carriles multiuso, entre otros. (Antún, 2013). La mayoría de estas estrategias giran en torno a la movilidad sostenible y están enlazada con la aplicabilidad de la eco eficiencia; que según (Sustainability; & Ethos, 2002) mejora de los procedimientos ambientales supone la obtención del mismo nivel de producción con menos recursos, emisiones y desechos. Para el caso de la ciudad de Barranquilla y su área metropolitana, se ha detectado oportunidad de mejora en la forma como se administra el transporte de carga para las principales cadenas de supermercado, los

cuales realizan recorridos hacia distintos nodos dentro de la ciudad de manera que se pueda satisfacer el requerimiento de abastecimiento y mantenimiento de su “stock”, comenzando en el depósito o centro de distribución y luego realizando entregas a un conjunto de clientes (puntos de venta) dentro de un límite de tiempo especificado previamente, para luego regresar al CEDI. Esto se traduce en un problema real de mejora de la eficiencia del suministro en un ambiente urbano que presenta de congestión, pero sobre todo que debe tener cuenta el consumo energético, las emisiones generadas y el costo, para dar una respuesta equilibrada y ajustada a la realidad.

MARCO TEÓRICO: Desarrollo sostenible” y “sostenibilidad” han sido las palabras de investigación y estudios en los últimos veinte años. El desarrollo sostenible se ha definido por la ONU como la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Este pilar medio ambiental abarca una enorme gama de cuestiones; la extracción y la contaminación del agua, la deforestación, la contaminación atmosférica, el abastecimiento y uso de la energía son solo algunos de los temas que se abordan mediante una multiplicidad de códigos, directrices y estándares. (Dwyer & Efrón, 2017; Paz Marcano, Harris & Franco Segovia, 2016; Hernández Palma, Muñoz Rojas & Barrios Parejo, 2017). En el mundo global de hoy, la logística es clave para el comercio internacional y contribuye a la prosperidad, al bienestar y al desarrollo sostenible de las naciones. Materiales, comida y productos son distribuidos desde donde se extraen, se cosechan o se producen en las cercanías tiendas a través de cadenas logísticas (Arteaga Sarmiento, González & Rodríguez Molano, 2020). Los sistemas logísticos actuales causan graves y en el largo plazo inaceptables daños ambientales y sociales debidos, por ejemplo, a emisiones peligrosas, congestión, hedor, ruido y el alto precio que tiene que ser pagado en términos de carga de infraestructura, (Cinar, Gakis, & Pardalos, 2018). Lo anterior le da vida al concepto de “ciudad logística”, la cual se ha definido como la logística de la ciudad o bien, “el proceso para optimizar totalmente actividades de logística y transporte de empresas privadas con apoyo de sistemas avanzados de información en áreas urbanas teniendo en cuenta el entorno del tráfico, la congestión del tráfico, la seguridad del tráfico y el ahorro de energía en el marco de una economía de mercado. Dado que estas partes interesadas tienen diferentes objetivos y diferentes perspectivas sobre el transporte urbano de mercancías, se requiere la coordinación entre las partes interesadas para avanzar hacia ciudades más sostenibles y habitables. (Eiichi Taniguchi, 2014). La distribución urbana de mercancías (DUM) representa más del 40% del consumo energético de los vehículos urbanos. Los vehículos para la distribución urbana de mercancías son responsables del 20% al 35% de las emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero en las áreas metropolitanas y está implicada en el 15%- 20% de los accidentes en núcleo urbano. Los problemas de la DUM y sus efectos operacionales asociados han incurrido en externalidades negativas cada vez más evidentes; es así que la combustión de motores, las vibraciones producidas por los camiones, la disminución de la velocidad media de circulación, la ocupación del espacio público durante las operaciones de carga y descarga, la fricción entre los vehículos comerciales y otros modos de transporte, son factores que deben ser considerados en el proceso de la distribución urbana de mercancías, (Antún, 2013). Los sistemas de transporte, particularmente el transporte urbano, son

complejos, heterogéneos y a menudo mal entendidos por el sector gubernamental. La promulgación de políticas que impactan en un sistema tan complejo puede llevar a esfuerzos ineficaces y, a menudo, efectos negativos involuntarios. Una alternativa para contrarrestar este fenómeno es garantizar que la política de transporte urbano está respaldada por la investigación. (Holguín-Veras, Amaya Leal, & Seruya, 2017). Por ello, en la mayor parte de los casos, deben analizarse más en profundidad las causas que originan la problemática en la rutina diaria de la distribución urbana de mercancías, (Antún, 2013). Tres elementos son esenciales para promover la logística de la ciudad; (a) Aplicación de tecnologías innovadoras de TIC (Tecnología de la información y la comunicación) e ITS (Sistemas de transporte inteligentes), (b) Cambio en la mentalidad de gerentes de logística, y (c) asociaciones público-privadas. Primero, la aplicación de tecnologías innovadoras de TIC y ITS en el transporte urbano de mercancías permite la recopilación de datos precisos de los movimientos de recogida y entrega de mercancías por parte de camiones en las vías urbanas redes con menores costos (Caro Moreno, 2016; Pérez, 2019). Los datos digitales se pueden utilizar completamente para optimizar el enrutamiento del vehículo y la planificación de la programación en una manera dinámica y estocástica. Este tipo de la optimización de las operaciones del vehículo puede contribuir a reducir los costos de logística, las emisiones de CO₂, NO_x y aliviar la congestión del tráfico. Para resolver los problemas de optimización de los servicios de transporte han aparecido numerosas herramientas de simulación. Estas herramientas no solo permiten al planificador tomar decisiones con una base mucho más fundada, sino también le permite analizar un mayor número de escenarios posibles de una manera rápida y sencilla. Todo esto hace que aparezcan nuevas posibilidades en la manera de afrontar las decisiones de actuación y planificación sobre los sistemas de transporte urbanos, (Ruisánchez Díaz, 2016). Entre los modelos que se pueden utilizar para el estudio de la distribución urbana de mercancías se encuentran: diseño de red de logística sostenible bajo incertidumbre, algoritmos constructivos para el acumulativo problema de enrutamiento de vehículos con duración limitada, generación de columna para envío óptimo entrega en una red de distribución logística, algoritmos heurísticos, programación matemática, modelo genético multiobjetivo de inventario colaborativo entre otros. Los algoritmos evolutivos son métodos de búsqueda estocásticos que permiten encontrar soluciones a problemas matemáticos, trabajando con una población de individuos que representan un conjunto de soluciones candidatas. Esta población es sometida a diferentes transformaciones y después a un proceso de selección que favorece a los mejores. Cada ciclo de transformación y selección constituye una generación. Después de determinado número de generaciones se espera que el mejor individuo de la población esté cerca a la solución óptima del problema. En los algoritmos evolutivos se producen cambios en nuevas generaciones a través de la mutación, pero estas generaciones pueden darse por mecanismos de recombinación o sobre-cruzamiento, como es el caso en los algoritmos genéticos. (Zapata, 2016). Igualmente optimizar el rendimiento de las cadenas logísticas multimodales, incluso incrementando el uso de modos intrínsecamente más sostenibles es una de las estrategias usadas cuando otras innovaciones tecnológicas puedan resultar insuficientes (por ejemplo, transporte de mercancías a larga distancia.). Planificar, construir y equipar las infraestructuras lleva muchos años —y los trenes, aeronaves y buques duran décadas y las elecciones que se hagan

ahora serán determinantes para el transporte de 2050, (Europea, 2011) La eco eficiencia es un término relacionado con protección del medio ambiente o el control de la contaminación, y con la forma como los sectores productivos realizan una contribución a la calidad de vida de la población. Tal enfoque se asocia normalmente a regulaciones y controles, cuando no a costos adicionales para la empresa, que no siempre puede asumir ni tampoco traspasar a los precios de sus productos, sobre todo en mercados altamente competitivos. La eco eficiencia apunta claramente no sólo en esa dirección sino también en el tratamiento de los recursos naturales, tanto materias primas como insumos energéticos. Operar de manera ecoeficiente significa pues aunar los conceptos de desarrollo económico sostenible y protección ambiental, en un marco de aplicación a procesos concretos del sector productivo. La eco eficiencia por eso ha sido calificada de una nueva “revolución tecnológica”. La eco eficiencia es la manera en que se mide la vinculación entre economía y medio ambiente en una perspectiva práctica de la sostenibilidad. En muchos casos, es importante recalcarlo, el estado se hace parte de una estrategia de eco eficiencia, apoyándola e impulsándola, ya que sus promotores se transforman en aliados importantes de la acción pública de protección del medio ambiente y uso de los recursos naturales (Leal, 2005). Dentro de los principios de funcionalidad se encuentra la ecología industrial y territorial la cual consiste en el establecimiento de un modo de organización industrial en un mismo territorio caracterizado por una gestión optimizada de los “stocks” y de los flujos de materiales, energía y servicios.

ESTADO DEL ARTE: El desarrollo sostenible se ha definido por la ONU como la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Casi todas las empresas y gobiernos tienen un compromiso con el desarrollo sostenible en sus declaraciones de visiones y misiones, Acosta Vega (2017). Todos se convertirían en ‘verdes’ para ‘salvar el planeta’. El pilar medio ambiental abarca una enorme gama de cuestiones; la extracción y la contaminación del agua, la deforestación, la contaminación atmosférica, el abastecimiento y uso de la energía son solo algunos de los temas que se abordan mediante una multiplicidad de códigos, directrices y estándares. (Dwyer & Efrón, 2017). Lo anterior le da vida al concepto de “ciudad logística”, la cual se ha definido como la logística de la ciudad o bien, “el proceso para optimizar totalmente actividades de logística y transporte de empresas privadas con apoyo de sistemas avanzados de información en áreas urbanas teniendo en cuenta el entorno del tráfico, la congestión del tráfico, la seguridad del tráfico y el ahorro de energía en el marco de una economía de mercado. Dado que estas partes interesadas tienen diferentes objetivos y diferentes perspectivas sobre el transporte urbano de mercancías, se requiere la coordinación entre las partes interesadas para avanzar hacia ciudades más sostenibles y habitables. (Eiichi Taniguchi, 2014). En el mundo global de hoy, la logística es clave para el comercio internacional y contribuye a la prosperidad, al bienestar y al desarrollo sostenible de las naciones. Materiales, comida y productos son distribuidos desde donde se extraen, se cosechan o se producen en las cercanías a través de cadenas logísticas. Los sistemas logísticos actuales causan graves y en el largo plazo inaceptables daños ambientales y sociales debidos por ejemplo, a emisiones peligrosas, congestión, hedor, ruido y el alto precio que tiene que ser pagado en términos de carga de infraestructura, (Cinar, Gakis, & Pardalos, 2018). Los sistemas de transporte, particularmente el transporte urbano,

son complejos, heterogéneos y a menudo mal entendidos por el sector gubernamental. La promulgación de políticas que impactan en un sistema tan complejo puede llevar a esfuerzos ineficaces y, a menudo, efectos negativos involuntarios. La mejor alternativa según algunos estudios o investigaciones en el tema es garantizar que la política de transporte urbano está respaldada por la investigación del comportamiento. (Holguín-Veras A. L., 2017). Esta estrategia incluye la identificación de conglomerados territoriales con actividades logísticas, estudios de caso sobre los principales centros de distribución, la identificación de nodos logísticos entre otras acciones. (Antún, Lozano, Francisco, & Guarneros, 2010) La distribución urbana de mercancías (DUM) representa más del 40% del consumo energético de los vehículos urbanos. Los vehículos para la distribución urbana de mercancías son responsables del 20% al 35% de las emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero en las áreas metropolitanas. La DUM está implicada en el 15%- 20% de los accidentes en núcleo urbano. La combustión de motores, las vibraciones producidas por los camiones, la disminución de la velocidad media de circulación, la ocupación del espacio público durante las operaciones de carga y descarga, la fricción entre los vehículos comerciales y otros modos de transporte, son factores que deben ser considerados en el proceso de la distribución urbana de mercancías, (Antún, Juan Pablo, 2013). La eficiencia logística es la clave para el tráfico urbano y los problemas ambientales generados por el tráfico de carga. Busca hacer los mismos envíos de mercancías con menor uso de vehículos (es decir, menos vehículos, vehículos más pequeños, menos kilómetros viajando). La industria del transporte buscará mejorar la eficiencia logística por su propia iniciativa, pero el desarrollo podría ser muy lento para contrarrestar los volúmenes crecientes de bienes a ser distribuidos. (Herzong, 2011) La distribución urbana de mercancías (DUM) es el último eslabón de servicio en la cadena de transporte, por lo que también se la conoce como la logística de “la última milla”. En el concepto de DUM se engloban todos los movimientos relacionados con la actividad comercial y el suministro y distribución de bienes en las ciudades, incluido el movimiento de mercancías (entregas, recogidas, transferencias, carga y descarga, ubicación, almacenamiento y retorno), pero se excluyen el transporte de mudanzas y obras, por darse esporádicamente y gozar de licencias especiales, al igual que la recogida de residuos sólidos y el transporte de dinero, que se realizan en horarios no punta de carga en la red vial. La distribución urbana de las mercancías, si bien es fundamental para el desarrollo económico de las ciudades, es, a su vez, uno de los principales generadores de la congestión del tránsito, e interfiere con el resto del transporte urbano en lo que se refiere al uso del espacio público, (Antún, Juan Pablo, 2013). La distribución urbana de mercancías o de la última milla, que cubre el tramo entre el último lugar de almacenaje de un producto y el punto de entrega al consumidor, es un concepto cada vez más relevante en un mundo donde las compras realizadas a través de internet no hacen más que crecer. (Bedaux, 2018). Los estudios han demostrado que el receptor de mercancías centró las políticas que incluyen impuestos, deducciones y descuentos por gastos de envío a las empresas que deseen aceptar entregas fuera del horario habitual; mientras que las políticas centradas en el transportista incluyen ahorro de peaje para camiones que viajan durante las horas pico, (Holguín-Veras, Johanna, & B, 2008). Los procesos de distribución de mercancías en entornos urbanos requieren evaluar de manera simultánea varias funciones objetivo, lo que hace necesario

utilizar técnicas de optimización multiobjetivo con capacidad de resolver problemas complejos, como es el caso del modelo de optimización de la distribución de la mercancía. La solución a los problemas multiobjetivo se realiza desde dos tipos de enfoques: el enfoque unidimensional y el enfoque de alta dimensión, (Zapata, 2016). Los impactos ambientales negativos más significativos del transporte urbano provienen en gran medida de los viajes en tráfico congestionado. el tráfico de carga es solo una expresión física de la demanda, aunque una que produce cantidades significativas de externalidades negativas. Algunos de estos efectos son responsabilidad de los transportistas, mientras que otros son responsabilidad de los receptores. (Holguín-Veras, y otros, 2018) Para resolver los problemas de optimización de los servicios de transporte han aparecido numerosas herramientas de simulación. Estas herramientas no solo permiten al planificador tomar decisiones con una base mucho más fundada, sino también le permite analizar un mayor número de escenarios posibles de una manera rápida y sencilla. Todo esto hace que aparezcan nuevas posibilidades en la manera de afrontar las decisiones de actuación y planificación sobre los sistemas de transporte urbanos, (Ruisánchez Díaz, 2016). Los algoritmos evolutivos son métodos de búsqueda estocásticos que permiten encontrar soluciones a problemas matemáticos, trabajando con una población de individuos que representan un conjunto de soluciones candidatas. Esta población es sometida a diferentes transformaciones y después a un proceso de selección que favorece a los mejores. Cada ciclo de transformación y selección constituye una generación. Después de determinado número de generaciones se espera que el mejor individuo de la población esté cerca a la solución óptima del problema. En los algoritmos evolutivos se producen cambios en nuevas generaciones a través de la mutación, pero estas generaciones pueden darse por mecanismos de recombinación o sobre-cruzamiento, como es el caso en los algoritmos genéticos. (Zapata, 2016).

BIBLIOGRAFÍA

- Adarme, W., Serna, M. D., & Cárdenas, I. D. (2014). COMPORTAMIENTOS LOGÍSTICOS EN LA DISTRIBUCIÓN DE ÚLTIMA MILLA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS EN VILLAVICENCIO, COLOMBIA. Escuela de Ingeniería de Antioquia —EIA—, 145-156. Alcaldía de Barranquilla. (mayo de 2016). Plan de desarrollo 2016 - 2019. Obtenido de https://camacol.co/sites/default/files/BARRANQUILLA_Articulado_PDB_05-ABRIL-2016_IMPRESION_CONCEJO.pdf Alcaldía de Barranquilla. (2018). Secretaria de transito y seguridad vial. Barranquilla.
- Antún, J. P., Lozano, A., Francisco, G. A., & Guarneros, L. (2010). La distribución física de bienes en una megalópolis: Estrategias para políticas sobre la ubicación de instalaciones logísticas dentro de la Región Central de México. *Procedia - Ciencias Sociales y del Comportamiento*, 6130-6140. Antún, Juan Pablo. (2013). *Distribución Urbana de Mercancías: Estrategias con Centros Logísticos*. Mexico: BID.
- Arteaga Sarmiento, W., González, A., & Rodríguez Molano, J. (2020). Value generators of the logistic process of the flower growers of Cundinamarca. *ECONÓMICAS CUC*, 41(2). <https://doi.org/10.17981/econcuc.41.2.2020.Org.2>

- Caro Moreno, J. (2016). Funding of technological innovation in the services sector in Colombia. *ECONÓMICAS CUC*, 37(2), 89-114. <https://doi.org/10.17981/econcuc.37.2.2016.05>
- Competividad, C. p. (2018). Índice de competitividad de ciudades. Bogotá: puntoaparte bookvertising.
- Bedaux, P. (6 de febrero de 2018). <https://empresaexterior.com/art/65054/distribucion-urbana-de-mercancias-retos-y-soluciones>.
- Holguín-Veras, J. (2008). Necessary conditions for off-hour deliveries and the effectiveness of urban freight road pricing and alternative financial policies in competitive markets. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2007.10.008>
- UPME. (2016). Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017-2022. Ministerio de Minas y Energía. [https://doi.org/10.1016/S0022-3093\(01\)01172-3](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(01)01172-3)
- BID. (2014). Mega ciudades e infraestructura en America Latina. BID.
- Dwyer, B., & Efrón, A. (2017). Eficiencia energética en la supply chain, economía circular en la práctica. Bogotá: EcoeEdiciones Ltda.
- Eiichi Taniguchi. (2014). Concepts of City Logistics for Sustainable and Liveable Cities. *Procedia*, 310.
- ONU. (2015). Objetivos de desarrollo objetivos. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/Penn>, S.
- (2018). <https://pyme.lavoztx.com/diferencia-entre-una-tienda-por-departamentos-y-una-cadena-de-almacenes-6046.html>.
- Hernández Palma, H., Muñoz Rojas, D., & Barrios Parejo, I. (2017). Management styles and their influence on value generation of the health care institutions of the Caribbean region. *ECONÓMICAS CUC*, 38(1), 133-146. <https://doi.org/10.17981/econcuc.38.1.06>
- Holguín-Verasa José, S.-D. I. (2016). Sistema sostenible de transporte urbano y gestión de la demanda de transporte. *Transportation Research Procedia*, 40-52.
- Antún, Juan Pablo. (2016). Tendencias corporativas en la distribución urbana de bienes en la Ciudad de México. *Investigación de transporte Procedia*, 51-58.
- Sectorial. (31 de Marzo de 2017). Cuántos Almacenes de Cadena Hay en Colombia. Obtenido de <https://www.sectorial.co/articulos-especiales/item/52640-%C2%BFcu%C3%A1ntos-almacenes-de-cadena-hay-en-colombia-infograf%C3%ADa>
- Paz Marcano, A., Harris, J., & Franco Segovia, F. (2016). Responsabilidad social gestión compartida con el emprendedor social en empresas mixtas del sector petrolero. *ECONÓMICAS CUC*, 37(2), 47-68. <https://doi.org/10.17981/econcuc.37.2.2016.03>
- Pérez, C. (2019). Business innovation at the service of the micro and small business of North-Santander: for regional competitiveness. *ECONÓMICAS CUC*, 40(1), 91-104. <https://doi.org/10.17981/econcuc.40.1.2019.06>

- Transporte, M. (2017). Transporte en Cifras - Estadística. Bogotá.
- UPME. (2016). Cambio tecnológico en la cadena de valor en los sectores de industria, transporte, servicios y residencial .Bogotá: UPME.
- UNAL. (Febrero de 2018). Congestión vehicular ¿un problema de movilidad. Obtenido de
- Landinez-Lamadrid, D. C., Ramirez-Ríos, D. G., Neira Rodado, D., Parra Negrete, K., & Combata Niño, J. P. (2017). Shapley Value: its algorithms and application to supply chains. INGE CUC, 13(1), 61-69. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.06>
- Acosta Vega, R., Ospino Ayala, Óscar, & Valencia Espejo, V. (2017). Diseño de un sistema de planificación de recursos empresariales (ERP) para una microempresa. INGE CUC, 13(1), 84-100. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.08>