

IMPORTANCIA DE LA INTEGRACION DE DECISIONES EN LA CADENA DE SUMINISTRO: LOCALIZACION Y RUTEO

Gutiérrez Sánchez, Hernando Alexander

Docente Tiempo Completo. Facultad de Ciencias Administrativas y Contables.
Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia

hergutierrez@unisalle.edu.co

Resumen: En este artículo se quiere destacar la importancia de integrar las decisiones de la cadena de Suministro, específicamente la localización y el ruteo, con el fin de mejorar los costos logísticos, que permitan mejorar la competitividad de las organizaciones que hacen parte de la Cadena. Para este artículo se revisaron diferentes estudios aplicados tanto para el problema de localización, como para el problema de ruteo de manera independiente, y también otros estudios que integraban estos dos problemas, pudiendo concluir, que se obtienen mejores resultados en los algoritmos cuando este se aborda de manera integrada, sin embargo, al mismo tiempo se pudo evidenciar el incremento de la complejidad del problema. En este estudio se puntualizan algunos elementos que influyen directamente en la Cadena de suministro y la logística, al tomar decisiones en los diferentes niveles de planeación.

Palabras clave: localización, ruteo, cadena de Abas.

IMPORTANCE OF INTEGRATION OF DECISIONS IN THE SUPPLY CHAIN: LOCATION AND ROUTING

Abstract: In this article we want to highlight the importance of integrating the decisions of the supply chain, specifically the location and routing, in order to improve logistics costs, to improve the competitiveness of the organizations that are part of the Chain. For this article, different studies applied to the problem of localization, as well as to the problem of routing independently, and other studies that integrated these two problems were reviewed, being able to conclude that better results are obtained in the algorithms when this is addressed. In an integrated manner, however, at the same time the increase in the complexity of the problem could be evidenced. This study highlights some elements that directly influence the supply chain and logistics, when making decisions at different levels of planning.

Keywords: location, routing, supply chain.

INTRODUCCIÓN

La globalización de las actividades económicas con los rápidos desarrollos en tecnologías de la información, han permitido ciclos de vida de los productos más cortos, tamaños de lotes más pequeños y comportamientos de los clientes muy dinámicos en términos de preferencia. Esos aspectos han contribuido al incremento de la incertidumbre de la demanda y como resultado de esto, el diseño de la red de la cadena de suministros (CS) se ha convertido en un elemento muy importante para las organizaciones (Melo, Nickel, & Saldanha-Gama, 2009).

La Administración de la Cadena de Suministro (ACS) es la integración de actividades que involucra la compra de materiales y servicios, para transformarlos en bienes intermedios y productos terminados, y entregarlos al cliente, (Heizer & Render 2004). Adicionalmente, estos autores mencionan que la ACS comprende la determinación de operadores de transporte, transferencias de crédito y dinero en efectivo, proveedores, distribuidores y bancos, cuentas por cobrar y pagar, almacenamiento y niveles de inventario, cumplimiento de pedidos y administrar la información del cliente entre las diferentes áreas de la empresa.

Otra definición de la ACS es la que propone Ballou (2004) y es la que abarca todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes, desde la etapa de materia prima (extracción) hasta el usuario final, así como los flujos de información relacionados.

Las definiciones anteriores indican, que la eficiencia de los bienes y servicios en cada uno de los eslabones de la CS, no dependen solamente de la logística que realicen cada uno de ellos, sino que se está mirando desde

la perspectiva de cadenas (varios actores que intervienen en la elaboración y distribución de bienes y servicios), lo que significa, que no solo es como cada uno de ellos realice sus operaciones, sino cómo se articulan entre ellos (sinergia), para suplir las necesidades del consumidor. Este enfoque, ha tomado mucha fuerza debido a que a pesar de que el productor o uno de los eslabones hagan bien sus actividades de transformación y/o logística, no garantiza que satisfaga las necesidades del consumidor en tiempos de entrega, costos, oportunidad, servicio entre otros.

De acuerdo con Heizer & Render (2004), las CS en un entorno global deben ser:

- Flexibles para adaptarse a los diferentes cambios de demanda, canales de distribución o transporte, tasas de importación y tipos de cambio. Este es un aspecto fundamental ya que la incertidumbre desde el punto de vista de la demanda, de las necesidades de los clientes, adelantos científicos entre otros, es demasiado alta.
- Uso de tecnología de la información para la trazabilidad del producto desde que entra al sistema hasta que sale. La necesidad de tomar decisiones acertadas, rápidas, teniendo información en tiempo real, es fundamental para aumentar la flexibilidad. Todos los integrantes de la cadena necesitan saber el estado de sus pedidos, la satisfacción del cliente, el cumplimiento de sus promesas de venta, etc.
- Contar con personal capacitado que administre el manejo de impuestos, costos de transporte, seguros, aspectos nacionales (comerciales y políticos). Para la articulación de la CS, es importante tener un personal capacitado, idóneo y con la capacidad de tomar

decisiones de cierta índole, rápidamente para mejorar el servicio al cliente, tiempos de respuesta, oportunidad y rentabilidad.

Actualmente, es normal encontrar en algunos países los diferentes eslabones de una CS y que estos tengan en cuenta los aspectos anteriores. Para mantener la flexibilidad y poder tener un personal que administre los recursos y cumpla con los requerimientos que exige cada país, se requiere la utilización de sistemas de información robustos en tiempo real, para tomar decisiones acertadas en todos los niveles, de acuerdo con el tiempo de impacto que estas tienen.

En la CS se distinguen tres niveles de decisión, dependiendo del horizonte del tiempo según Chopra & Meindl (2007), los cuales son: estratégica (largo plazo), táctica (mediano plazo) y operativa (corto plazo) (Simchi-levi, Kaminski, & Simchi-Levi, 2004).

Las decisiones estratégicas involucran el número de instalaciones, la localización y las capacidades de los almacenes y de las plantas, y el flujo de material a través de la red logística. Para el nivel táctico se tienen en cuenta la configuración de la red logística, las estacionalidades, el número de personas a contratar o despedir en cada uno de los periodos, la disposición de los recursos para satisfacer la demanda, entre otros. Las decisiones operativas son el ruteo de vehículos (Escobar & Linfati, 2012), niveles de inventarios, programación diaria de todos los recursos.

Este artículo se enfoca en las decisiones a largo plazo, específicamente en la localización de instalaciones ya sea una planta, un centro de distribución u otra. Adicionalmente, es importante mencionar que la falta de integración de diferentes problemas de la CS puede conllevar a

resultados sub-óptimos (Daskin, Snyder, & Berger, 2005). Por esta razón, la tendencia es tomar las decisiones de manera integrada. Una de esas integraciones es el problema de localización con el de ruteo de vehículos, con el fin de mejorar costos de distribución en la CS.

Para la realización de este artículo se llevó a cabo una revisión documental teniendo en cuenta las bases de datos Ebsco Host y Science Direct, donde se investigaron aplicaciones del problema de localizaciones de instalaciones y el problema de ruteo de vehículos, de manera independiente y se observó que la tendencia y la necesidad es tomar decisiones integradas, razón por la cual los investigadores han optado por estudiar ambos problemas al mismo tiempo tratando de buscar mejores representaciones de la realidad, obteniendo mejores resultados y tomar así mejores decisiones.

El objetivo que pretende esta investigación es promover estudios integrando diferentes problemas para que se resuelvan simultáneamente y se tomen decisiones que permitan la disminución de costos haciendo cadenas de suministros más competitivas y que respondan mejor a las necesidades de los clientes.

El artículo se divide en cuatro secciones: la primera es una profundización de la CS, donde presenta como la localización y el ruteo de vehículos son fundamentales y afectan de una u otra manera para alcanzar las metas organizacionales de los miembros que pertenecen a la Cadena. La segunda parte es la caracterización general del Problema de Localización de Instalaciones (PLI), sus variaciones y la importancia de solución de este problema dentro de la cadena de suministros. La tercera parte es la caracterización del problema de ruteo de vehículos (VRP), sus variaciones y cómo

influye esta labor, dentro de la CS. Por último, se hará una breve recopilación de algunos estudios donde integran el Problema de localización-ruteo para evidenciar algunas aplicaciones y la importancia de la integración de estas dos decisiones en la CS.

ANÁLISIS DOCUMENTAL

Partiendo de la definición de la CS dada con anterioridad e insistiendo que algunas empresas buscan formar redes de comunicaciones para que el producto o servicio llegue a los consumidores, estas de una u otra forma deben realizar logística y esto influye de manera directa en su competitividad (Shavandi & Bozorgi, 2012), por esta razón es necesario recordar la definición de logística.

La logística la define Ballou, (2004) como “parte del proceso de CS que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivos de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen al punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos del cliente”.

La definición de Ballou (2004) se enfoca en los flujos y almacenamientos de bienes y servicios. Si esto se puntualiza en una empresa que hace parte de la CS, pudiendo ser esta cualquiera de los eslabones (indiferente de la posición que ocupe de la cadena), esta tiene unos flujos de entrada que son los que le envían sus proveedores y unos flujos de salida que son los bienes y/o servicios (entregados a sus clientes) transformados en un cierto periodo de tiempo. El almacenamiento es una de las funciones más importantes que desempeña la logística y según la filosofía JIT, una empresa debería tener cero inventarios ya

que esto genera costos. Sin embargo, el uso de inventarios ayuda a lidiar con la incertidumbre y la variabilidad de la demanda.

Los almacenamientos se presentan antes del proceso productivo, es decir los suministros enviados por los proveedores; durante la transformación, que es el producto en proceso y cuando se ha fabricado el bien o se ha generado el servicio, que se denomina producto terminado.

Tanto los flujos, como los almacenamientos, se llevan a cabo en las instalaciones de las organizaciones que hacen parte de la CS y el realizarlas de manera eficiente, puede disminuir costos, prestar un mejor servicio, o tener una ventaja frente a sus competidores.

Entre cada par de eslabones de la cadena se evidencia un flujo de materiales, que generan un costo dependiendo de cómo se realice la distribución de estos y de la ubicación de las instalaciones.

En otras palabras, en el diseño de la CS, se analiza no solo la localización de instalaciones y la integración del ruteo, sino también hay algunas otras decisiones como son: el nivel de inventario, la capacidad de producción, y los modos de transporte, (Sabzevari, Sahraeian, & Mahdi, 2014).

Todo esto permite diseñar la red logística donde es fundamental tener en cuenta la inversión, la vigencia y la calidad de la información con la que se cuenta, porque influye en el logro de la articulación de los miembros de la CS.

Es importante recalcar que la ubicación de una instalación en un sitio no adecuado puede incrementar costos (Karaoglan, Altiparmak, Kara, & Dengiz, 2011).

A continuación, se presenta la caracterización general del PLI.

Problema de Localización de Instalaciones (PLI)

La globalización implicó profundos cambios en los sistemas de producción en donde la localización no se escapa de estos, ella influye en los tiempos de respuesta a los clientes, a mejorar las relaciones entre proveedores y clientes, afecta los costos en diferentes ámbitos como de distribución, mano de obra, inversión, entre otros.

Por ende, las decisiones de localización son cada vez más complejas, teniendo en cuenta los desarrollos de los mercados, el incremento de la tecnología, modos de transportes más eficientes e incremento de las diferencias en los costos de mano de obra.

El PLI está relacionado a la asignación adecuada de un conjunto de instalaciones, de tal manera que los objetivos como son los costos de transporte y distancia para servir a los clientes sean los menores posibles, (Huang & Di, 2015). Según Heizer & Render (2009), establece que la localización de instalaciones es una decisión estratégica, debido a la alta inversión, la dificultad de parar la producción y las pérdidas en que se incurrirían.

Las decisiones de localización no se deben tomar a la ligera, porque generalmente involucran largos y costosos estudios de ubicaciones alternativas. Al tomar mal esta decisión, las consecuencias para la empresa serían nefastas, por las pérdidas de clientes, de la inversión realizada, disminución de la rentabilidad y posiblemente esto conllevaría a tener que reubicarse nuevamente.

La organización debe elegir racionalmente un sitio o una región, que favorezca la rentabilidad de las operaciones de la empresa. La importancia de esta decisión repercute en el desarrollo económico, tecnológico, urbano y social. Según Tawfik & Chauvel (1997), expresa que la localización es importante para la Administración porque:

- Existe dificultad del cambio de localización
- Trae consecuencias a largo plazo
- Influencia directamente los costos de producción

Al realizar el estudio de localización en cada uno de los niveles (país, región, comunidad y sitio específico), se requieren evaluar factores, los cuales de acuerdo con Tawfik & Chauvel (1997) estos son: mercado, si está disperso o concentrado; fuentes de abastecimientos tiene en cuenta aspectos como la distancia, el tipo de transformación de la empresa y la diversidad o multiplicidad de los proveedores; transporte, evalúa la disponibilidad, eficiencia, alternativas de modos y los costos; mano de obra, tiene en cuenta la disponibilidad, formación, costo, estabilidad y productividad; energía, evalúa aspectos del tipo de servicio, confiabilidad, tasas, descuentos, multas, etc.; agua de servicio, se tiene en cuenta disponibilidad, costo y calidad.; clima, se revisan aspectos como la temperatura promedio, precipitaciones, humedad, días de sol, entre otros; por último el medio ambiente, donde se establece la calidad del suelo, normatividad, tarifas, disposiciones regionales y municipales, etc. Estos factores son fundamentales para decidir cuál de las opciones es la más adecuada cuando se quiere localizar una o varias instalaciones.

Los PLI, son considerados problemas Np-Hard (Escobar, Linfati, & Toth, 2013), es

decir, problemas complejos difíciles de resolver en un tiempo polinomial. Según Hale & Moberg (2003), las funciones y objetivos de los PLI son variadas de acuerdo a su aplicación, entre ellas se tiene la minimización de la distancia euclidiana (hipotenusa) o escalonada (se tienen en cuenta los catetos), el número y tamaño de las instalaciones, el costo fijo de abrir las instalaciones, entre otros.

Adicionalmente, este tipo de problemas tienen diferentes variaciones como son de una o varias instalaciones, si los parámetros son determinísticos o estocásticos, si las instalaciones a ubicar son de diferente tipo, con capacidad o capacidad infinita, también puede ser discreto o continuo.

Moradi & Bidkhorri (2009), establecen que la localización de una instalación se aplica en la ubicación de un hospital, una estación de bomberos, un edificio, una escuela o un almacén de distribución entre una planta y los clientes. Este problema ha sido abordado por Chang, Su, Jan, & Chen (2013), donde se busca ubicar una instalación que tienen en un plano ubicadas varias fuentes, con el fin de encontrar la ruta de conexión de las fuentes con la instalación localizada al menor costo.

Otra variación del problema es la presentada por Daneshzand & Shoeleh (2009), que trata de la ubicación de múltiples instalaciones (almacenes) para servir a un determinado número de regiones, en establecimientos comerciales e industriales para disminuir el costo solamente de transporte. Drezner & Drezner (2006), realizan un estudio que maneja múltiples instalaciones que trabajan dos problemas: el primero busca minimizar la distancia recorrida para atender a los clientes y la segunda es igualar la demanda en las instalaciones reduciendo al mínimo la variabilidad de la demanda total.

En los PLI se ha determinado que los parámetros como los costos, las demandas, la ubicación de los clientes no necesariamente son determinísticos y esto puede afectar sensiblemente la solución del problema. Barón, Berman, & Krass, (2008) trabajan con la demanda estocástica y la congestión, con el fin de determinar el número, la ubicación y la capacidad de las instalaciones.

Cuando se trabaja localización en la CS es posible que se trate ubicar diferentes tipos de instalaciones al mismo tiempo, donde cada una de ellas realiza un rol determinado. Cada conjunto de instalaciones de cada tipo se establece que son asignadas para un eslabón de la cadena. Sahin, Süral, & Meral (2007) han trabajado esta variación de la localización, donde buscan la ubicación de centros, estaciones y unidades móviles de sangre, con el fin de regionalizar este servicio.

En ocasiones se aplican modelos en el PLI para determinar la ubicación de una instalación, teniendo o no en cuenta la capacidad de esta, si tiene en cuenta su capacidad se denomina capacitado y fue estudiado por Chudak & Williamson (2005), en caso contrario se denomina no capacitados. Otra de las aplicaciones es utilizando la inferencia probabilística en un modelo gráfico y se caracteriza algunos escenarios donde se puede alcanzar el óptimo global, (Lazic, Frey, & Aarabi, 2009). Los que consideran la capacidad de la instalación se denominan capacitados, una aplicación es la realizada por Jabalameli, Bankian, & Moshref (2010), que se enfocó en la ubicación de un centro de distribución en una cadena de suministros partiendo de que este tenía un radio de cobertura para atender a los clientes, dada una capacidad establecida.

El PLI que fue trabajado por Melo, Nickel, & Saldanha-da-Gama (2009) puede también tener definido un conjunto de lugares de posibles ubicaciones, si esto es considerado, se dice que el problema es discreto, pero si la o las instalaciones se pueden ubicar en cualquier lugar de una zona o región se denomina que el problema es continuo.

Es importante destacar, que los modelos de localización no solo se utilizan en problemas dentro de la cadena de suministros, sino que se aplican en otros campos. Estos incluyen la localización de estaciones de ferrocarril para evitar la variabilidad de los tiempos de entrega, localización de sitios peligrosos, estaciones de rescate para minimizar el tiempo de respuesta, la ubicación de cajeros para mejorar el servicio, entre otros, (Hale & Moberg, 2003).

Lo anterior comprueba la complejidad y versatilidad de este problema y aunque en este documento no se realice una revisión rigurosa del PLI, es importante destacar la importancia que tiene este, dentro de la investigación de Operaciones.

A continuación, se presentará el Problema de Ruteo de Vehículos (VRP), donde se explica el problema, se presentan sus principales características y la importancia de este en la función logística de distribución.

Problema de Ruteo de Vehículos (VRP)

El VRP es un problema clásico que ha sido estudiado ampliamente por la literatura. Este problema se representa por medio de un número de clientes a los cuales se les debe atender (recoger o entregar un bien), por medio de un depósito. El objetivo es determinar las rutas para atender todos los clientes minimizando el tiempo total de

recorrido, el tiempo de espera total, el número de vehículos necesarios y el costo total.

Para alcanzar estos objetivos es necesario satisfacer algunas restricciones como son de capacidad del vehículo, longitud de la ruta, ventanas de tiempo, garantizar la demanda de los clientes, el tiempo de entrega, entre otros.

Esta actividad de ruteo hace parte de la función de distribución de la Logística donde se establece basado en la demanda, la secuencia en que el vehículo debe recoger o entregar el bien. En esta parte se hace alusión nuevamente a la importancia de realizar los flujos de manera eficiente entre cada par de actores de la CS, ya que es uno de los elementos fundamentales para su articulación, pero a pesar de que históricamente los investigadores han diseñado los sistemas de distribución de manera independiente.

El VRP, presenta diferentes variaciones como lo describe Gutiérrez (2011), las mismas son: el tipo de flota (homogénea y heterogénea), cantidad de depósitos, con parámetros determinísticos o estocásticos, con visitas a los clientes por un solo o varios vehículos, con solo recogida, o solo entrega o mixta que puede ser secuencial o simultánea, para varios o un solo periodo, con o sin ventanas de tiempo, donde las ventanas de tiempo pueden ser duras (no se puede incumplir el lapso de visita) o suaves (se pueden incumplir pero se incurre en una penalización).

Muchos son los autores que han estudiado el problema de ruteo, como: Özyurt & Aksen (2007) donde trabaja el ruteo con múltiples depósitos; Hassan-Pour, Mosadegh-Khah, & Tavakkoli-Moghaddam (2009), que trabajaron con localización y ruteo donde los

parámetros estocásticos son la ubicación de las instalaciones y las rutas; Liu, Jiang, Fung, Chen, & y Liu (2010) quienes trabajaron con múltiples depósitos y flota homogénea; Tarantilis, Zachariadis, & Kiranoudis (2008) que trabajaron con flota heterogénea, es decir con vehículos de capacidades y costos fijos diferentes; Nowak & White III (2008) trabajaron con entregas y recogidas divididas, es decir que existe la posibilidad de enviar varios vehículos a un mismo cliente; Ropke & Pisinger (2006) trabaja con entregas y recogidas secuenciales; Chen & y Wu (2006) trabajaron con entregas y recogidas simultáneas, es decir que entregan algo y le recogen al mismo cliente los envases vacíos, canastillas, etc.; por último está Repoussis & Tarantilis (2010) quienes trabajaron con rutas abiertas y ventanas de tiempo duras.

Con lo anterior se puede demostrar que lo expuesto en este artículo es general con respecto a la gran cantidad de estudios realizados en esta temática donde este problema también es caracterizado como NP-Hard en la medida que el número de clientes aumente.

A continuación, se presenta como los investigadores actualmente están vinculando la localización con el ruteo para mejorar la toma de decisiones en la (CS).

Integración de PLI y VRP

Actualmente es válido reconocer desde las directivas de las organizaciones la prevalencia de una relación fuerte entre la ubicación de las instalaciones; la asignación de proveedores, vehículos y clientes a las instalaciones; y el diseño de rutas alrededor de las instalaciones, (Bozorgi-Amiri & Khorsi, 2016). Adicionalmente desde la parte académica se ha concluido que si las rutas no se tienen en cuenta en la ubicación de

depósitos los costos de los sistemas de distribución serían bastante altos (Karaoglan, Altıparmak, Kara, & Dengiz, 2011).

Es por esto, que la integración de decisiones en la (CS), ha llevado a algunos investigadores a resolver problemas teniendo en cuenta dos o más problemas con el fin de tener mejores costos y resultados. Las decisiones de localizar depósitos generalmente están relacionadas con los costos de transporte, (Rand, 2003).

Adicionalmente, Salhi & Nagy (1999) han podido evaluar que el costo logístico se puede mejorar en el tiempo, cuando las decisiones de localización y ruteo se toman de manera integrada.

El problema de localización-Ruteo fue definido en sus comienzos por Boventer (1961), Maranzana, (1965), Webb (1968), Lawrence y Pengilly (1969), Higgins (1972) y Christofides y Eilon (1969), (Hassanzadeh, Mohseninezhad, Tirard, Dadgostari, & Zolfagharinia, 2009), entre otros.

Según Bruns 1998 (como se cita en Nagy & Salhi, 2007, p. 650) el problema de Localización-Ruteo es la planeación de la localización tomando en cuenta la planeación de las rutas. Adicionalmente Nagy & Salhi (2007), establece que cuando se trabajan los dos, el problema principal es el de Localización y para desarrollarlo hay que resolver un problema secundario que es el ruteo.

Es importante señalar que, en un problema de localización y ruteo, se debe asignar los clientes a una instalación, estos incorporarlos en una ruta que define la secuencia de visita de cada uno de ellos, teniendo en cuenta que estos van a ser servidos en sus propias instalaciones.

Según (Nagy & Salhi, 2007), establece que los problemas de Localización-Ruteo se pueden clasificar según su estructura jerárquica, donde los depósitos son instalaciones a los cuales se le asigna una serie de clientes y no hay rutas entre depósitos; la segunda es los tipos de datos si son conocidos (determinísticos) o si están relacionados con una distribución de probabilidad (estocásticos); esta localización puede ser para un periodo o múltiples periodos de tiempo; el método de solución que se utilice, estos pueden ser exactos o heurísticos; la función objetivo es generalmente minimizar costos, aunque en algunos casos el problema se resuelve multiobjetivo; Si el espacio de solución es determinado por un conjunto de sitios (finito), se establece que el espacio de solución es discreto, pero si esta es un área donde en cualquier punto de esta se puede localizar la instalación el espacio de solución es continuo; el número de instalaciones a localizar puede ser uno o varios; por último el número y tipo de vehículos (flota homogénea o heterogénea).

Otra perspectiva de organización del problema de localización-ruteo es la que propone Borges, Ferreira, Sousa, & Barreto (2013), en la cual establecen que la clasificación está dada por 4 elementos que pueden variar el tipo de problema a resolver, donde estos son: los depósitos (numero, tipo, costo, capacidad, servicio prestado), clientes (operación, demanda, servicio varias veces, localización), vehículos (Numero, tipo, capacidad, asignaciones, tiempo de ruta, cobertura, etc.) y productos (numero, características).

Ambas perspectivas, evidencian el gran número de casos que se pueden abordar y la amplitud de investigaciones que se pueden abordar en esta área. Es importante también recalcar, que una variación a un caso

resuelto por un grupo de investigadores puede modificar de manera sensible el método utilizado para resolverlo.

La localización está relacionada al ruteo de vehículos, ya que muchos autores tienen el costo de transporte como una de las funciones objetivos a minimizar. A pesar de esto muchos autores hacen caso omiso a trabajarlas de manera relacionada. (Nagy & Salhi, 2007), establecen tres razones del porque se trabajan de manera separada las cuales son: muchas situaciones practicas donde el aspecto de ruteo no se contempla (un hospital, una estación de bomberos, etc.); debido a que las instalaciones son seleccionadas para un largo periodo y las rutas de los clientes pueden variar pues no habría mucha relación seleccionar los depósitos con base en un ruteo que es cambiante en cortos periodos de tiempo; la tercera la dificultad de resolver estos problemas integrados es más complicados que resolver solo el PLI. La tercera apreciación se debe a lo mencionado en las dos anteriores secciones y es que estos dos problemas son NP-hard, (Y. Mehrjerdi & Nadizadeh, 2014), lo que dificulta el procesamiento de los datos en grandes instancias.

Todas estas variaciones permiten representar un número importante de problemas relacionados con localización-ruteo y a continuación se presentan algunas de ellas, teniendo en cuenta tres grupos que son: Trabajos relacionados a emergencias o desastres, a manejo de residuos peligrosos y otros casos.

Casos de localización ruteo en desastres

La Organización Mundial de la Salud define un desastre o emergencia como: "cualquier caso que inflija daño, destrucción, interrupción ecológica, pérdida de vidas

humanas, sufrimiento humano y deterioro de servicios de salud en una escala suficiente para garantiza una respuesta extraordinaria desde fuera de la comunidad o área afectada". (Tomado de (Bozorgi-Amiri & Khorsi, 2016).

Para afrontar dichas situaciones Chang, Zhou, Chen, & Chen (2017), utiliza la Gestión logística de emergencia que incluye principalmente dos aspectos: el problema de ubicación de la instalación (hospitales, lugares de almacenamiento de bienes y comidas, sitio de mando, entre otros) y el problema de enrutamiento del vehículo (que se refiere a como se pueden comunicar los lugares de desastre con las instalaciones ubicadas).

Bozorgi-Amiri & Khorsi (2016) proponen un modelo de programación para la logística de ayuda humanitaria, que permite integrar estrategias, tácticas y decisiones operacionales para el pre y post desastre. Es modelo es multi-objetivo los cuales son minimizar la cantidad máxima de escasez entre las áreas afectadas en todos períodos, el tiempo total de viaje y suma antes y después del desastre costos. Esto se aplica a la ciudad de Teherán con elementos estocásticos y dinámicos en cuanto a la demanda y tiempos de respuesta.

Un segundo caso es el trabajado por Chang, Zhou, Chen, & Chen (2017), donde le dan mucha importancia a este tipo aplicaciones debido que después de los desastres, todo tipo de materiales son escasos, por lo que es muy importante tener provisiones de auxilio. Por lo tanto, ellos proponen un modelo multi-objetivo donde el primero es la minimización de la distribución total los costos es uno de los objetivos y el segundo es la maximización de las peores tasas de satisfacción del camino. Este modelo fue resuelto por medio de un algoritmo genético

que dio resultados muy estables y eficaces para este problema.

Casos de localización ruteo en manejo de residuos

Los casos que se van a presentar están relacionados a disponer los desechos de una forma adecuada que son generados por las industrias, empresas y comunidad, que en cierto momento pueden ocasionar inconvenientes a las personas, el medio ambiente, etc. Es por esto, la importancia de abordar problemas de localización-ruteo debido al riesgo potencial para las comunidades cercanas y el medio ambiente, (Yu & Deng, 2016).

Rahim & Sepil (2014) trabajaron una aplicación del mundo real que es el reciclaje de vidrio en la ciudad de Ankara, capital de Turquía. La compañía recicladora inicialmente tenía una pequeña ruta para visitar sus clientes regulares (principalmente hospitales, restaurantes, bares y escuelas), pero se propuso determinar nuevas ubicaciones denominadas bancos de vidrio, para mejorar el volumen de la recolección de este material y así definir la ruta de recolección diaria, con el fin de maximizar el beneficio.

Un segundo caso es el trabajado por (Yu & Deng, 2016) que busca la integración de las decisiones críticas deben tomarse a nivel estratégico, táctico y operativo, para el manejo de desechos peligrosos.

Esto implica la ubicación de múltiples instalaciones incluidas las plantas de tratamiento, plantas de reciclaje y sitios de eliminación, y el ruteo de los vehículos que conectan cada una de estas instalaciones para generar la red logística de manejo de residuos peligrosos. Para esto se trabaja con

un factor de riesgo que cambia dependiendo de las características del desecho peligroso a manipular.

Un tercer caso es el abordado por Ardjmand, Weckman, Park, Taherkhani, & Singh (2015) para un producto peligroso en un solo periodo de tiempo, pretendiendo minimizar el costo total y el riesgo de establecer instalaciones, sitios de eliminación y transporte.

Esta aplicación fue resuelta por un algoritmo Genético con muy buenos resultados debido a la convergencia obtenida. Los autores proponen trabajar con múltiples productos lo que incrementaría la complejidad del problema y la adaptación del algoritmo en su estructura, genes, mutaciones, entre otras.

Otros casos

Linfati, Escobar, & Gatica (2014), trabajaron en determinar cuáles eran los depósitos a poner en funcionamiento, a cada uno de ellos se les asignó un grupo de clientes a atender y se definieron las rutas para atender sus demandas, teniendo en cuenta una flota de vehículos heterogénea y buscando minimizar el costo de los depósitos que se van abrir, el costo de los vehículos utilizados, y los costos asociados a la ruta para visitar y atender a los clientes.

Otra aplicación (Escobar & Linfati, 2012) donde trabajan está dada por dos de los tres autores del primer ejemplo donde la función objetivo es la misma y los objetivos también, la diferencia radica en que se analiza tanto la capacidad de los vehículos (las demandas de los clientes de una ruta no pueden exceder la capacidad de los vehículos) y la capacidad de los depósitos (los clientes asignados al depósito no pueden exceder la capacidad del mismo).

Una tercera aplicación es la trabajada por Negrotto (2015), donde trabaja el problema de localización-ruteo con capacidades y premios, donde este último significa que la visita a todos los clientes no es obligatoria y que la función objetivo busca maximizar los beneficios obtenidos.

Adicionalmente en este estudio se aplica Colonia de Hormigas, métodos exactos y branch and bound. Una cuarta aplicación la de (Hassan-Pour, Mosadegh-Khah, & Tavakkoli-Moghaddam, 2009), que trabajó el problema con parámetros estocásticos, multi-objetivo y con múltiples depósitos. El modelo fue resuelto por el algoritmo de recocido simulado.

Una cuarta aplicación es la realizada por Liu & Kachitvichyanukul (2015), quienes trabajan con dos objetivos contradictorios que son: minimizar el costo total y maximizar la demanda total de los clientes atendidos. En esta aplicación se toman tres tipos de decisiones que son: i) selección de un conjunto de instalaciones (depósito, centro de distribución y almacén); ii) la asignación de clientes al depósito o almacén; y iii) la programación de las rutas y horarios del vehículo.

El quinto artículo investiga los posibles efectos económicos, ambientales y sociales de combinar la localización de depósitos intermedios con el ruteo de vehículos, teniendo en cuenta el trabajo colaborativo en decisiones de transporte urbano, teniendo en cuenta que varios proveedores en una ciudad deciden entregar sus productos de manera conjunta disponiéndolas en depósitos intermedios, buscando el desarrollo en la perspectiva de la sostenibilidad. Los resultados obtenidos por los autores Ouhader & El Kyal (2017), compararon los escenarios colaborativos y no colaborativos concluyendo que el primero

conduce a una reducción en las emisiones de CO₂, costo de transporte, vehículos usados y distancias recorridas, además de la mejora de la utilización de la capacidad de carga de los vehículos, pero esto afecta el impacto social negativo, por la disminución del empleo.

La sexta aplicación se enfoca en el diseño de una CS con dos niveles, tienen en cuenta las políticas de inventario y el ruteo de los vehículos para la conexión de los dos niveles. Se tiene en cuenta en el ruteo una flota de vehículos homogénea, en un horizonte de planeación finito y demanda determinística. Para resolver dicho modelo se utiliza una heurística híbrida entre la generación de columnas, la relajación lagrangiana y la búsqueda local se presentan dentro de un procedimiento heurístico, (Guerrero, Prodhona, Velasco, & Amaya, 2015).

La séptima aplicación considera también el inventario como decisión adicional a la de localización-ruteo, teniendo en cuenta, que las demandas de los minoristas y el plazo de entrega son estocásticos, abordado por Gholamian & Heydari (2017). Para resolver el modelo se aplica un método híbrido conformado por recocido simulado (para resolver los problemas de localización y ruteo) y algoritmos genéticos (para resolver el problema de inventarios). Los autores tienen en cuenta para trabajar los niveles de inventario tanto de los productos como de las partes de los productos.

El último documento analizado trabaja la localización-ruteo para modelar una red de distribución Cross-docking. En este estudio, se presenta un modelo de optimización robusto para tratar la incertidumbre inherente de los datos de entrada. Para este propósito, los autores Mousavi & Vahdani (2017) proponen un modelo nuevo bifásico de

programación lineal determinista de enteros mixtos (MILP) para ubicar almacenes cross-docking y programar el ruteo de los vehículos. Este tipo de almacenes es considerado como un nuevo servicio logístico enfoque, y se emplea para acelerar el flujo de materiales en las redes de distribución, evitando almacenamientos mayores de 48 horas. El modelo contempla tres tipos de costos que son: de apertura, costos de transporte y costos de inventarios. El ruteo se realiza de proveedores a instalaciones Cross-docking y luego a minoristas.

Aunque el objetivo no es abarcar todas las aplicaciones en esta temática, si es necesario insistir que existe una tendencia de articular varias actividades o decisiones que intervienen en la CS, con el fin de ser más eficientes en sus procesos y en el costo del bien o servicio final.

REFLEXIONES FINALES

El problema de localización y de ruteo de Vehículos son problemas NP-hard que se complementan debido a que los primeros, determinan en buena medida los costos de transporte y de conexión de cada uno de los eslabones de una CS.

Es importante el auge que ha tenido por parte de los investigadores y la necesidad que han declarado los directivos de las empresas de modelar situaciones reales de manera integrada y por eso se han realizado estudios teniendo en cuenta características como la incertidumbre con varios enfoques, las localizaciones múltiples de varios niveles, la aplicación de diferentes heurísticas individuales e híbridas, el abordaje de problemas con múltiples objetivos y en ocasiones con objetivos contradictorios, lo estático o dinámico del comportamiento de

los parámetros de los problemas, entre otros muchas variaciones. Se pudo comprobar que efectivamente al integrar los problemas se mejora la representación de la realidad y esto permite tomar mejores decisiones a menores costos.

Es evidente que la complejidad en el abordaje de varios problemas al mismo tiempo se incrementa, sin embargo, los resultados obtenidos dan muestra de lo necesario que es seguir por este camino.

Aunque en el artículo se presenta la integración de la localización-ruteo, y una aplicación integrando el problema de inventario, es importante revisar nuevas articulaciones como el nivel de servicio, restricciones legales, ampliación de capacidades, entre otros aspectos para que las decisiones sean más robustas.

Adicionalmente, es importante trabajar en diferentes algoritmos heurísticos e híbridos para resolver estos problemas integrados que permitan encontrar mejores resultados, en menos tiempo, buscando mejorar la eficiencia y disminuir la dificultad que acusan los investigadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ardjmand, E., Weckman, G., Park, N., Taherkhani, P., & Singh, M. (2015). Applying genetic algorithm to a new location and routing model of hazardous materials. *International Journal of Production Research*, 916-928.
- Ballou, R. (2004). *Logística. Administración de la Cadena de Suministros*. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación.
- Barón, O., Berman, O., & Krass, D. (2008). *Facility Location with Stochastic Demand and Constrains on Waiting time*. *Manufacturing & Service Operations Management*, 484-505.
- Borges, R., Ferreira, C., Sousa, B., & Barreto, S. (2013). A taxonomical analysis, current methods and objectives on location-routing problems. *International transactions in Operational Research*, 795-822.
- Bozorgi-Amiri, A., & Khorsi, M. (2016). A dynamic multi-objective location-routing model for relief logistic planning under uncertainty on demand, travel time, and cost parameters. *Int J Adv Manuf Technol*, 1633-1648.
- Chang, K., Su, C., Jan, G., & Chen, C. (2013). An efficient method for single-facility location and path connecting problems a cell path. *International Journal of Geographical Information Science*, 2060-2076.
- Chang, K., Zhou, H., Chen, G., & Chen, H. (2017). Multiobjective Location Routing Problem considering Uncertain Data after Disasters. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 1-7.
- Chen, J.-F., & Wu, T.-H. (2006). Vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups. *Journal of the Operational Research Society*, 579-587.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2007). *Supply chain management: strategy, planning, and operation*. New York: Prentice-Hall.
- Chudak, F. A., & Williamson, D. P. (2005). Improved approximation algorithms for capacitated facility location problems. *Math. Program*, 207-222.
- Daneshzand, F., & Shoeleh, R. (2009). Multifacility Location Problem. En R. Farahani, & M. Hekmatfar, *Facility Location. Concepts, Models, Algorithms y casos de*

- estudio (págs. 69-92). London: Physica-Verlag.
- Daskin, M., Snyder, L., & Berger, R. (2005). Facility location in supply chain design. *Logistics Systems: Design and Optimization*, 39-65.
- Drezner, T., & Drezner, Z. (2006). Multiple Facilities Location in the plane using the Grvity Model. *Geographical Analysis*, 391-406.
- Escobar, J. W., Linfati, R., & Toth, P. (2013). A two-phase hybrid heuristic algorithm for the capacitated location-routing problem. *Computers & Operations Research*, 70-79.
- Escobar, J., & Linfati, R. (2012). Un algoritmo metaheurístico basado en recocido simulado con espacio de búsqueda granular para el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 139-150.
- Gholamian, M., & Heydari, M. (2017). An inventory model with METRIC approach in location-routing-inventory problem. *Advances in Production Engineering & Management*, 115-126.
- Guerrero, W., Prodhona, C., Velasco, N., & Amaya, C. (2015). A relax-and-price heuristic for the inventory-location-routing problem. *International Transactions in operational research*, 129-148.
- Gutiérrez, H. (2011). *Diseño de un método para la solución de un Problema de Ruteo de Vehiculos con Ventanas de Tiempo Abierto*. Bogota D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Hale, T., & Moberg, C. (2003). Location Science Research: A review. *Annals of Operation Research*, 21-35.
- Hassan-Pour, H. A., Mosadegh-Khah, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2009). Solving a multi-objective multi-depot stochastic location-routing problem by a hybrid simulated annealing algorithm. *Journal of Engineering Manufacture*, 1045-1054.
- Hassanzadeh, A., Mohseninezhad, L., Tirard, A., Dadgostari, F., & Zolfagharinia, H. (2009). Location-Routing Problem. En R. Farahani, & M. Hekmatfar, *Facility Location. Concepts, Models, Algorithms y casos de estudio* (págs. 395-418). London: Physica-Verlag.
- Heizer, J., & Render, B. (2004). *Principios de administración de Operaciones*. Naucalpan de Juarez: Pearson Prentice Hall.
- Heizer, J., & Render, B. (2009). *Principios de Administración de Operaciones*. Mexico: Pearson.
- Huang, X., & Di, H. (2015). Modelling uncapacitated facility location problem with uncertain customers' positions. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2569-2577.
- Jabalameli, M., Bankian, B., & Moshref, M. (2010). Capacitated Facility location Problem with variable coverage Radius in Distribution System. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 231-237.
- Karaoglan, I., Altiparmak, F., Kara, I., & Dengiz, B. (2011). A branch and cut algorithm for the location-routing problem with simultaneous pickup and delivery. *European Journal of Operational Research*, 318-332.

- Lazic, N., Frey, B., & Aarabi, P. (2009). Solving the Uncapacitated Facility Location Problem Using Message Passing Algorithms. 13th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS) (págs. 429-). Sardina, Italia: JMLR.
- Linfati, R., Escobar, J., & Gatica, G. (2014). Un algoritmo Metaheurístico para el problema de localización y ruteo con flota heterogénea. *Ingeniería y Ciencia*, 55-76.
- Liu, J., & Kachitvichyanukul, V. (2015). A pareto-based particle swarm optimization algorithm for multi-objective Location-Routing problem. *International Journal of Industrial Engineering*, 314-329.
- Liu, R., Jiang, Z., Fung, R., Chen, F., & y Liu, X. (2010). Two-phase heuristic algorithms for full truckloads multi-depot capacitated vehicle routing problem in carrier collaboration. *Computers & Operations Research*, 950-959.
- Melo, M., Nickel, S., & Saldanha-da-Gama, F. (2009). Facility location and supply chain management - A-review. *European Journal of Operational Research*.
- Moradi, E., & Bidkhorji, M. (2009). Single Facility Location Problem. En R. Farahani, & M. Hekmatfar, *Facility Location. Concepts, Models, Algorithms y casos de estudio* (págs. 37-68). London: Physica-Verlag.
- Mousavi, S., & Vahdani, B. (2017). A robust approach to multiple vehicle location-routing problems with time windows for optimization of cross-docking under uncertainty. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 49-62.
- Nagy, G., & Salhi, S. (2007). Location_Routing: Issues, models and Methods. *European Journal of Operational Research*, 649-672.
- Negrotto, D. (2015). Algoritmos para el Problema de Localización y ruteo de Vehículos con capacidades y premios. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Nowak, M. E., & White III, C. C. (2008). Pickup and Delivery with Split Loads. *Transportation Science*, 32-43.
- Ouhader, H., & El Kyal, M. (2017). Combining Facility Location and Routing Decisions in Sustainable Urban Freight Distribution under Horizontal Collaboration: ¿How Can Shippers Be Benefited?. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-18.
- Özyurt, Z., & Aksen, D. (2007). Solving the multi-depot location routing Problem with Lagrangian Relaxation. En E. Baker, A. Joseph, M. A., & M. Trick, *Extending the Horizons: Advances in Computing, Optimization and Decision Technologies*. (págs. 125-144). Springer.
- Rahim, F., & Sepil, C. (2014). A location-routing problem in glass recycling. *Ann Oper Res*, 329-353.
- Rahim, F., & Sepil, C. (2014). A location-routing problem in glass recycling. *Ann Oper Res*, 329-353.
- Rand, G. (2003). Methodological choices in depot location studies. *Operational Research Quarterly*, 241-249.
- Repoussis, P., & Tarantilis, C. B. (2010). A hybrid evolution strategy for the open vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 443-455.
- Ropke, S., & Pisinger, D. (2006). A Unified for a Large Class of Vehicle Routing Problems with Backhauls. *European Journal of Operational Research*, 750-775.

- Sabzevari, A., Sahraeian, R., & Mahdi, S. (2014). A dynamic multi-commodity inventory and facility location problem in steel supply chain network design. *Int J adv Manuf Technol*, 1267-1282.
- Sahin, G., Süral, H., & Meral, S. (2007). Locational analysis for regionalization of Turkish Red Crescent blood services. *Computers & Operations Research*, 692-704.
- Salhi, S., & Nagy, G. (1999). Consistency and robustness in location – routing. *Studies in Locational Analysis*, 3-19.
- Shavandi, H., & Bozorgi, B. (2012). Developing a location–inventory model under fuzzy environment. *Int J Adv Manuf Technol*, 191-200.
- Simchi-levi, D., Kaminski, P., & Simchi-Levi, E. (2004). *Managing the Supply Chain: Definitive Guide for the Bussiness Professional*. New York: McGraw-Hill.
- Tarantilis, C. D., Zachariadis, E., & Kiranoudis, C. (2008). A guided tabu search for the heterogeneous vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 1659-1673.
- Tawfik, L., & Chauvel, A. (1997). *Administración de la Producción*. México: McGraw Hill.
- Y. Mehrjerdi, Y., & Nadizadeh, A. (2014). Hybrid method to solve capacitated location-routing problem with fuzzy demands. *International Journal of Industrial Engineering & Produccion Research*, 1-19.
- Yu, H., & Deng, W. (2016). An Improved Multi-Objective Programming with Augmented E-Constraint Method for Hazardous Waste Location-Routing Problems. *Internationa Journal of environmental Research and Health public*, 1-21.

Fecha de recepción: 16 de febrero de 2017

Fecha de aceptación: 15 de noviembre de 2017