

Diseño de un sistema de rutas variable de transportación basado en sistemas de información geográfica

Avances

Design of a variable transportation routes system based in geographic information systems

Quintana Cruz, Eulises; Ojeda Mesa, Leonardo; Almeida Franco, Orlando

 **Eulises Quintana Cruz**
aeulisesquintana@gmail.com
Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca, Cuba

 **Leonardo Ojeda Mesa**
leonardom@upr.edu.cu
Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca, Cuba

 **Orlando Almeida Franco**
orlayuby@gmail.com
Empresa GeoCuba, Cuba

Avances

Instituto de Información Científica y Tecnológica, Cuba
ISSN: 1562-3297
ISSN-e: 1562-3297
Periodicidad: Trimestral
vol. 21, núm. 4, 2019
avances@ciget.vega.inf.cu

Recepción: 15 Julio 2019
Aprobación: 18 Septiembre 2019

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/145/145873012/index.html>



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NonComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Resumen: Durante los últimos años el proceso de gestión del transporte de la Unidad Empresarial de Base Mayorista de Medicamentos de Pinar de Río ha presentado afectaciones en la planificación operativa de las cargas y de sus rutas de transportación. Estas afectaciones se relacionan con el diseño empírico de las rutas, incidiendo en la prolongación de los ciclos de transportación y en el deterioro de sus indicadores. En este sentido el objetivo general del estudio fue el de diseñar un sistema de rutas de transportación 512 Sistema de rutas variable de transportación basado en sistemas de información geográfica variables soportado en Sistemas de Información Geográfica para la optimización de dicho proceso. Para ello se empleó el análisis documental, la observación directa y el análisis estadístico como métodos y técnicas de investigación fundamentales, utilizándose además herramientas informáticas para el procesamiento estadístico de la información y Sistemas de Información Geográfica en la solución de problemas de optimización del transporte. Durante el desarrollo de esta investigación se establece la metodología para determinar el estado actual del proceso objeto de estudio, analizándose desde la progresión del comportamiento de sus indicadores de gestión. Posteriormente, se preestablecen los parámetros y valores metas para medir la efectividad del sistema de ruteo propuesto en su fase de prueba. Como resultado de la implementación del sistema de rutas de transportación se determinan resultados positivos en cada uno de los parámetros, obteniéndose ahorros importantes en el consumo de combustible, distancias recorridas y en los tiempos de servicio, incidiendo directamente en la disminución de los costos de operación del proceso de transportación de la empresa.

Palabras clave: sistemas de rutas variables, rutas de distribución, transporte, optimización de rutas, sistemas de información geográfica.

Abstract: During the last years, the transportation management process of the Base Business Unit Wholesale of Medicines of Pinar de Río has affected the operational planning of the loads and their transportation routes. These affectations are related to the empirical design of the routes, affecting the prolongation of the transportation cycles and the deterioration of their indicators. In this sense, the general objective of the study was to design a system of variable transportation

routes supported in Geographic Information Systems for the optimization of said process. For this, documentary analysis, direct observation and statistical analysis were used as fundamental research methods and techniques, also using computer tools for the statistical processing of information and Geographic Information Systems in solving transport optimization problems. During the development of this research the methodology is established to determine the current state of the process under study, analyzing from the progression of the behavior of its management indicators. Subsequently, the parameters and target values are preset to measure the effectiveness of the routing system proposed in its test phase. As a result of the implementation of the transportation route system, positive results are determined in each of the parameters, obtaining significant savings in fuel consumption, distances traveled and in service times, directly affecting the decrease in operating costs of the company's transportation process.

Keywords: variable route systems, distribution routes, transport, route optimization, geographic information systems.

INTRODUCCIÓN

El comercio internacional tal y como se conoce en la actualidad sería impensable sin el desarrollo acelerado que han alcanzado los sistemas logísticos. En este contexto la distribución como subsistema logístico se ha convertido dentro de la gestión empresarial en un factor clave para la toma de decisiones sobre las cuales se basan las estrategias de negocio. Como es de suponer, los procesos de distribución física como función del marketing, sin la gestión del transporte harían imposible el intercambio comercial en cualquiera de sus niveles, pues este solo existe si los proveedores son capaces de entregar el producto demandado en la cantidad, calidad y tiempo exigido por su cliente.

“En los últimos años, la mayor parte de los estudios desarrollados en el ámbito de la distribución física de una empresa se concentra en el diseño de la estructura general de la distribución, ampliándolo en muchos casos a otros procesos logísticos de la empresa” (López, Olguín & Camargo, 2008, p. 66). Esto ha provocado que en no pocas ocasiones pase desapercibida la necesidad de utilizar sistemas de asignación de cargas y rutas dirigidos a optimizar tiempos y costos en el proceso de distribución física de los productos.

En este sentido, la investigación que a continuación se presenta abordará estas problemáticas desde el análisis del proceso de “Gestión del Transporte” de la Unidad Empresarial de Base Mayorista de Medicamentos (UEBMM) de Pinar del Río, perteneciente a la Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos (EMCOMED) de Cuba. Su objeto social es el de comercializar, almacenar y distribuir medicamentos, reactivos, medios de diagnósticos, material higiénico sanitario, alcohol, productos dentales y dermocosméticos a las entidades del sistema de salud y otras que brindan servicios de salud en el territorio.

Actualmente el servicio de transportación ofertado por dicha empresa hacia las diferentes instituciones de salud de la provincia, ha venido presentando afectaciones entre otros factores, por la deficiente planificación y asignación de las cargas unido al diseño empírico de sus rutas de transportación. Estos elementos en la gestión del proceso han provocado: el desaprovechamiento de la flota propia de vehículos, incrementos en el gasto de portadores energéticos, alta variabilidad de los tiempos de operación y ciclos logísticos, así como elevados tiempos de espera y de estancia en las instalaciones. Las problemáticas referidas con anterioridad se identifican en el diagnóstico del proceso como un Problema de Ruteo de Vehículos (VPR) por sus siglas en inglés. “El problema de enrutamiento o ruteo de vehículos data del año de 1959 y fue introducido por

Dantzig y Ramser. Cinco años después, Clarke y Wright propusieron el primer algoritmo que resultó efectivo para resolverlo” (Hernández et al., 2014, p. 6).

Este citado autor, más adelante define que el objetivo del VRP es minimizar el costo de las rutas que inician y terminan en un depósito, para un conjunto de clientes con demandas conocidas.

En relación a este método (Arboleda et al. 2016) especifica que los componentes fundamentales del VRP, son: la red de carreteras, los clientes, los depósitos, los vehículos y los conductores. Si bien cabe destacar que existe una vasta producción científica sobre la optimización del transporte en problemas de asignación de cargas, es preciso señalar que su integración con las potencialidades que brindan los sistemas de información geográfica llama cada vez más la atención de los especialistas del sector gracias a la proyección espacial de las soluciones que aportan los mismos en la gestión del transporte.

Clavel y Rodríguez (2016), Marrero (2017) y Reinaldo (2018) en investigaciones similares realizadas en la Droguería La Habana perteneciente al propio grupo de empresas comercializadores de medicamentos del país, utilizan como indicadores de contraste algunos relacionados con las distancias recorridas, el nivel de utilización de las capacidades de transportación, duración de los ciclos, cantidad de vehículos utilizados en las transportaciones y costos de las operaciones. Por esta razón, el presente estudio se plantea como objetivo general diseñar un sistema de rutas de transportación soportado en Sistemas de Información Geográfica para el proceso de Gestión del Transporte de la UEBMM de Pinar del Río.

Con la estructuración de este sistema de rutas variables se pretende incidir positivamente en la solución de los factores anteriormente expuestos que dan origen a esta investigación, complementándose con otros sistemas de gestión y control de flota activos en la empresa a través de la incorporación de criterios de optimización en la planificación operativa del transporte.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos y técnicas de investigación empleados fueron el análisis documental, la observación directa y el análisis estadístico. Al mismo tiempo se utilizaron herramientas informáticas para el procesamiento y el análisis estadístico de conjunto con la implementación del Sistema de Información Geográfica (SIG) seleccionado.

Para el despliegue funcional del Sistema de Rutas Variables en función de la optimización del proceso de asignación de cargas y rutas de distribución, antes fue necesario establecer el estado actual del proceso objeto de estudio “Gestión del Transporte” en relación al funcionamiento de su sistema de asignación de cargas y de ruteo. Este análisis se realizó con el objetivo de conocer el saber hacer del equipo de transporte en este sentido. Para ello, se partió del estudio de su funcionamiento interno a través de la observación directa como método rector. En la Figura 1 que se muestra se ha resumido el contenido de la investigación en cuatro etapas fundamentales, a través de las cuales se analizó la problemática objeto de investigación y se diseñó el sistema de rutas variable. Aprovechando esta representación, se ha estructurado el contenido de este artículo siguiendo la descripción de cada una de las etapas representadas.

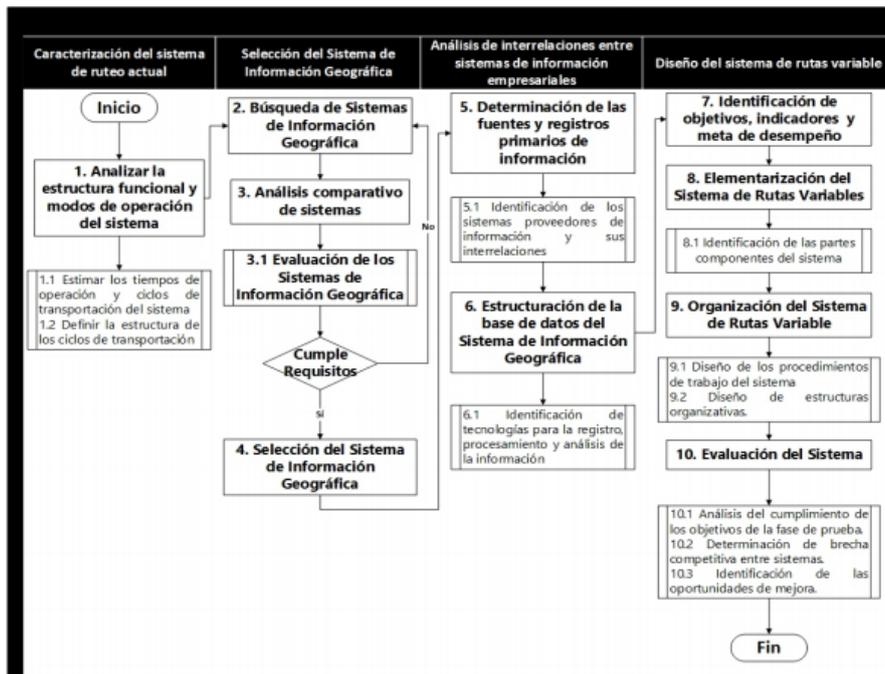


Figura 1. Proceso de diseño del Sistema de Rutas.

Para el desarrollo de la investigación las rutas actuales no siguen una distribución fija, sino que diariamente se le realizan ajustes a las mismas para lograr mayor flexibilidad en su programación. Los clientes se agrupa atendiendo a su localización geográfica distribuidos en cada uno de los 11 municipios de la provincia para un total de 206 clientes y un ciclo de distribución de 15 días según el programa de distribución pactado por la empresa con la dirección de salud del territorio. La asignación de cargas y la generación de rutas es realizada por el técnico en control de flota que atiende las operaciones de tráfico del equipo de transporte. Diariamente durante un ciclo de distribución (15 días) se observó la ejecución la secuencia de actividades que se realizaban para distribuir las cargas entre los vehículos de la flota y el modo en que se definían las rutas de transportación.

Para el diseño del sistema de ruteo que se propone en este estudio el cual se basa en un sistema de información geográfica, se analizaron diferentes softwares entre los cuales se encuentran MapInfo Profesional, OsmAnd, ArcGIS y Google Earth. Con este propósito se realizó un estudio comparativo entre cada uno de los sistemas anteriormente citados donde se examinaron las características funcionales de los mismos, sus ventajas y desventajas en su uso y aplicación.

Luego de analizar las características funcionales individuales de cada uno de los sistemas citados y su ajuste a los requerimientos de optimización del proceso objeto de estudio se concluyó que el ArcGIS era la herramienta que más se ajustaba precisamente a las necesidades del estudio. El ArcGIS Desktop es un conjunto de aplicaciones y extensiones integradas a través de las cuales se puede realizar cualquier tarea SIG, incluyendo: mapeo, administración de datos, análisis geográficos, edición de datos y geoprocusamiento (E.S.R.I, 2005).

Estas funcionalidades hacen del ArcGIS una herramienta muy robusta como sistema de información geográfica, sin embargo, para los fines de este estudio se utilizó la función Análisis de redes (Network Analysis) para la solución del problema de ruteo de vehículos que se describe en esta investigación. Para ejecutar esta función, el sistema de información geográfica requiere la introducción de los valores de demanda de cada uno de los clientes, los tiempos de servicio de las unidades de destino, la capacidad de carga de los vehículos y los horarios de apertura y de cierre de las entidades destinos y depósito (UEBMM de Pinar del Río). Estos datos fueron obtenidos del análisis de los ciclos de transportación a través del muestreo aleatorio simple de las trazas

de trayectorias del sistema de posicionamiento global (GPS) generadas en el periodo 2017-2018. Durante este período se tomaron como muestra 410 viajes realizados a los diferentes municipios del territorio para un nivel de confianza del 95 %, error y precisión del 3%.

La selección aleatoria fue realizada utilizando la función generadora de números aleatorios de una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Según los requerimientos funcionales del sistema de información geográfica especificados con anterioridad se identifican las siguientes variables: tiempo de carga, tiempo de descarga, velocidad promedio y tiempo total del ciclo. Para la estimación de las variables se estructuró una base de datos en Microsoft Excel donde se representaron punto a punto las transportaciones contenidas en cada una de las trayectorias muestreadas. Este proceso se organizó en cuatro fases, identificación de las necesidades de información, determinación de los registros primarios para la obtención de los datos, estructuración de la base de datos, procesamiento y análisis estadístico de la información. En la Figura 2 se muestran las interrelaciones de las fuentes primarias de información y los sistemas de información de los cuales se capturaron los datos.

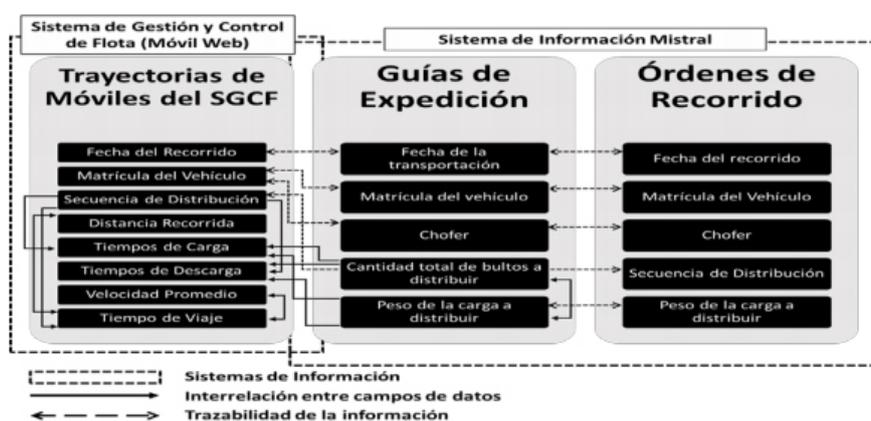


Figura 2. Fuentes de información de la base de datos del sistema de información geográfica.

El análisis estadístico se basó en la estimación de las medidas de tendencia central, de dispersión y de bondad de ajuste de los datos con el objetivo de verificar la significación estadística de los mismos y de este modo asegurar la representatividad de la información que serviría más adelante de soporte a la red del SIG, en estas tareas se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 21.

Para la puesta en marcha del sistema se preestablecieron una serie de objetivos, indicadores de desempeño y valores meta que posteriormente se utilizaron para su evaluación. La definición de estos objetivos e indicadores fueron derivados en primer lugar de los resultados obtenidos en la caracterización del sistema de ruteo actual y el análisis de las trayectorias de los vehículos del Sistema de Gestión y Control de Flota (SGCF) de la empresa. En su formulación como referencia se tomaron además los indicadores utilizados por Clavel y Rodríguez (2016), Marrero (2017) y Reinaldo (2018).

Para el establecimiento de los valores de las metas de desempeño se tomaron como referencia los resultados obtenidos por Chávez y Quintana (2018), por haber realizado un estudio similar para la reorganización de las rutas de distribución de medicamentos en el municipio cabecera Pinar del Río con el mismo sistema de información geográfica. Definidos los objetivos e indicadores del sistema, se identificaron los elementos del mismo procurando conseguir determinar las partes componentes del sistema objetivamente necesarias. Básicamente consiste en definir con qué debe funcionar el sistema de ruteo para lograr los objetivos propuestos con anterioridad. Para el completamiento de esta etapa se tomó como punto de partida la estructura funcional observada durante la caracterización del sistema de ruteo actual, incorporando los elementos necesarios para el funcionamiento de la función de análisis de redes del sistema de información geográfica. También se determinó el flujo informativo con los elementos de entrada y de salida del sistema una vez ocurrido el proceso de transformación de los mismos. En la etapa de organización del sistema,

se determinó cómo es que el sistema operaría con sus partes componentes para cumplir con los objetivos definidos. Para ello se diseñó un procedimiento para las actividades relacionadas con el proceso de asignación de cargas -planificación de rutas utilizando la función análisis de redes del sistema de información geográfica ArcGis. También se identificaron las interrelaciones del sistema con sus partes componentes y con su entorno en la organización. Del mismo modo se definieron las estructuras organizativas necesarias para la implementación del nuevo sistema de ruteo basándose en las funciones de los cargos involucrados en el proceso “Gestión del Transporte”.

Con la estructuración del sistema se pasó a la etapa de prueba y evaluación de la efectividad del diseño propuesto. El método seguido para la evaluación de los resultados fue el de simulación, estableciendo comparaciones mediante los indicadores declarados con anterioridad entre un viaje real seleccionado aleatoriamente y su réplica simulada en el sistema. Cada replica simulada se generó manualmente en el sistema de información geográfica, o sea, para simular cada viaje fue preciso desarrollar cada uno de los pasos explicados en párrafo anterior. Teniendo en consideración la complejidad de este proceder y el tiempo promedio de recreación de un viaje en el sistema se decidió entonces de los 589 viajes realizados durante el año 2018 seleccionar aleatoriamente el 5 % para un total de 30 viajes contrastados. Al concluir esta etapa fue posible entonces establecer comparaciones entre el comportamiento histórico del sistema de ruteo actual y el que se propone en esta investigación, al mismo tiempo que se analizaron la desviaciones y conflictos presentados durante la simulación para su resolución en estudios posteriores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al caracterizar el sistema de ruteo actual se observó que el proceso de asignación de cargas y planificación de rutas se componía de fundamentalmente de cinco etapas, consulta de los pedidos despachados, agrupación de las cargas por cliente y destino, distribución de las cargas entre los vehículos disponibles, ordenamiento de la secuencia de distribución y entrega de la orden de recorrido al centro de distribución. Como elementos componentes del sistema se identificaron, la base de datos del sistema de información empresarial “Mistral”, la herramienta “Facturación” construida en Microsoft Access para realizar las consultas de los pedidos al sistema Mistral, una hoja de cálculo de Microsoft Excel para la organización de la distribución, cada uno de estos elementos son operados por el técnico en control de flota que atiende las operaciones de transportación del equipo de transporte.

Se comprobó que los métodos seguidos durante el proceso de asignación de cargas y planificación de las rutas de distribución son empíricos, basados en el conocimiento y experiencia del técnico en control de flota y de los distribuidores mayoristas de medicamentos (Choferes) del equipo de transporte. En relación a la asignación de cargas se determinó que los vehículos utilizaban más su capacidad de carga volumétrica que su capacidad de carga estática debido al picking realizado en el proceso de despacho de mercancías. Esto provoca que las dimensiones de las unidades de carga sean extremadamente variables y al mismo tiempo imposibilita saber con certeza durante la planificación de los recorridos los volúmenes de carga que completan la capacidad de carga de los vehículos.

Por otro lado, se verificó que la planificación de rutas se remite únicamente a la definición de la secuencia de distribución según el orden de aparición geográfico de los destinos, o sea no se establecen las vías de acceso a seguir desde el origen hasta cada uno de los destinos. Otro elemento de interés es que, al revisar la información documentada del proceso según el sistema de gestión integrado de la calidad vigente en la empresa, se comprobó que el sistema de asignación de cargas y rutas actual, no se encontraba documentado en dicho sistema. Al analizar las trayectorias de GPS se observó que e 100 % de los viajes revisados resultaron diferentes entre sí, lo que quiere decir que en las transportaciones realizadas a un mismo destino no se siguió la misma secuencia de distribución en cada uno de los casos analizados, lo que confirma que la tipología del sistema de rutas de distribución es variable.

Clavel y Rodríguez (2016), Marrero (2017) y Reinaldo (2018) demuestran la necesidad de romper con el esquema de rutas fijas para la optimización de las rutas de distribución de medicamentos de la Ciudad de La Habana. Sin embargo, durante esta investigación se pudo observar que en el caso objeto de estudio la planificación de las rutas era sustancialmente más flexible. Aunque en este caso también existen rutas fijas por municipios, acá las unidades que se encuentran cercanas a los límites de los territorios según las disponibilidades de transportación y de productos, estas con frecuencia se planifican fuera del día que les corresponden según el programa de distribución para reprogramarlas en los recorridos que más cercano pasan de esas ubicaciones.

Estos hechos indican que el sistema de rutas variable es el que más se ajusta a las características del servicio de distribución que oferta actualmente la empresa. En esta etapa también se logró establecer la magnitud de las variables requeridas por el sistema de información geográfica, así como la estructura del ciclo de transportación en cada uno de los municipios del territorio.

Los resultados del análisis estadístico desarrollado a las variables que conformaron la base de datos de la red del SIG concluyeron, con un nivel de confianza del 95%, que cada una de ellas seguía una distribución de probabilidad normal. En este diagnóstico inicial se verifica otra de las problemáticas que dieron inicio a la investigación, en las trayectorias revisadas el 63.2 % de los viajes excedieron la duración de la jornada laboral (7:30 am – 5:00 pm), de esos 259 viajes 151 incumplen con el horario de entrega pactado con el cliente (8:00 am – 5:00 pm). Estos resultados no se diferencian significativamente de los obtenidos por Rodríguez & Quintana (2018), al analizar las capacidades de transportación de la empresa. Al determinar la estructura de los ciclos de transportación se identificó este comportamiento al estimarse en 9 de 11 municipios ciclos de transportación superiores a la duración de la jornada laboral (Figura 3).

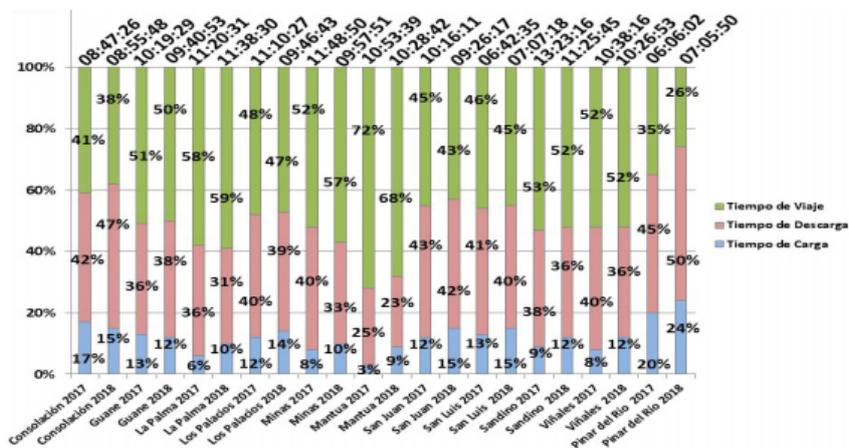


Figura 3. Estructura de los ciclos de transportación.

La extensión del ciclo de transportación más allá de la duración de la jornada laboral estaba determinado en primer lugar por la ubicación geográfica de los clientes, el volumen de productos demandados por los mismos, la organización del proceso de expedición, las condiciones técnicas de las infraestructuras viales y de la flota de la empresa. Como punto de partida la caracterización del sistema de ruteo permitió conocer los métodos de trabajo aprendidos por el equipo de transporte en la gestión del proceso de asignación de cargas y rutas de transportación de la empresa.

De igual modo, esta etapa facilitó la decantación de las principales exigencias a las que el nuevo sistema debía dar respuesta, por lo que metodológicamente para los fines de la investigación fue vital para la implementación del ArcGis como herramienta del sistema de rutas variable que se propone. Este análisis preliminar además de contribuir a la definición de la tipología del sistema de rutas que se propone y a la estructuración de la base de datos del SIG, también indicó la necesidad de influir sobre la duración de los ciclos

de transportación y la entrega en tiempo de los pedidos. Paralelamente a esto, se consideró necesario medir la eficacia del sistema propuesto en función del ahorro de las distancias a recorrer, el combustible asociado a las mismas y por ende los costos de las transportaciones. En resumen, se definieron cinco objetivos e igual número de indicadores como se muestra a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Objetivos, indicadores de desempeño para medir la eficacia del sistema

N°	Objetivos	Indicador	Meta de desempeño
1	Contribuir mediante la optimización de las rutas la entrega en tiempo de los pedidos.	Porcentaje de viajes simulados según las rutas del sistema que cumplen con el horario de entrega de los pedidos.	Se garantiza que el 95 % de los viajes simulados cumplen con el horario de entrega de los pedidos.
2	Reducir el número de viajes que acumulan horas extras en el proceso de transportación.	Porcentaje de viajes simulados que no acumulan horas extras en el proceso de transportación.	Se reduce en un 20 % los viajes que acumulan tiempo extra en el proceso.
3	Disminuir las distancias recorridas de los viajes programados.	Distancia de los viajes simulados por el sistema.	Se reducen las distancias en un 10 % respecto al histórico de la empresa.
4	Contribuir al ahorro de combustible en las transportaciones de la empresa.	Consumo de combustible diésel de los vehículos en los recorridos simulados por el sistema.	Se ahorra un 5 % del combustible abastecido como consecuencia del empleo del sistema.
5	Disminuir el costo de transportación por viaje.	Costo de un viaje de distribución.	Se disminuye en un 10 % el costo de un viaje en el proceso de transportación.

Elaboración propia a partir de Chávez y Quintana (2018)

En estudios similares Clavel y Rodríguez (2016), Marrero (2017) y Reinaldo (2018) incluyen indicadores relacionados con la cantidad de vehículos a utilizar y el nivel de utilización de sus capacidades de carga, sin embargo, el propio método escogido para la evaluación del sistema en esta investigación descarta por sí mismo el uso de esos indicadores, pues este se basa en la recreación caso a caso a través del SIG de las transportaciones ya realizadas en el pasado para su contraste. Para lograr la estructuración del sistema de rutas variables (Figura 4), se definieron tres partes componentes fundamentales, base de datos del sistema, distribuidor de cargas y planificador de rutas.

Dentro de las funciones de la base de datos del sistema se establecieron las relacionadas con el proceso de muestreo, procesamiento y análisis de la información vinculada a las variables de la red del sistema de información geográfica. Por otra parte, el distribuidor de cargas se encargó de la asignación a cada vehículo de los volúmenes de carga a transportar y sus respectivos destinos. Esta función fue ejecutada por el sistema de información geográfica ArcGis como resultado del análisis de redes, donde al mismo tiempo se obtuvo las rutas de distribución a seguir por cada vehículo.

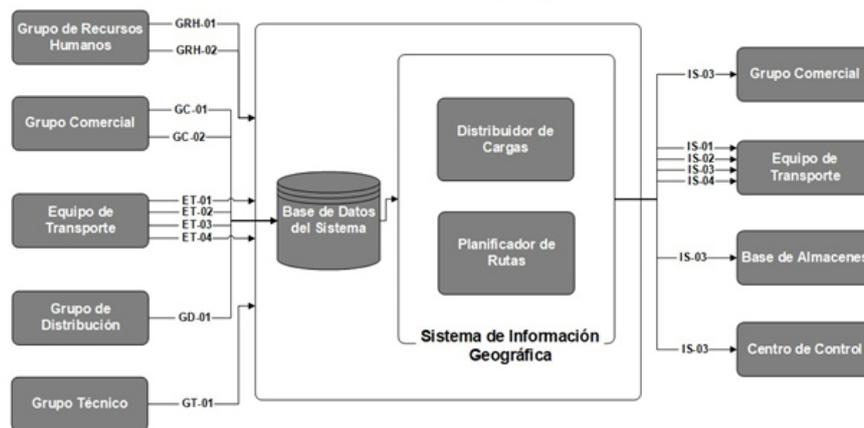


Figura 4. Sistema de rutas variables.

Código / Flujo de entrada al sistema Descripción

- GRH-01 Reporte de retribución de tiempo
- GRH-02 Reporte de vacaciones acumuladas
- GC-01 Programa de distribución
- GC-02 Especificación del área de entrega
- ET-01 Reporte de disponibilidad técnica de los vehículos
- ET-02 Información sobre la red vial
- ET-03 Reporte diario del sistema de gestión y control de flota
- ET-04 Legislación aplicable al proceso de transporte
- GD-01 Demanda de carga a transportar
- GT-01 Estándares de buenas prácticas en la distribución

Código / Flujo de salida del sistema

- IS-01 Rutas de transportación
- IS-02 Itinerarios de viajes
- IS-03 Secuencia de distribución
- IS-04 Cantidad de vehículos a utilizar

La utilización de un sistema de información geográfica en la solución de problemas de ruteo de vehículos, requirió para su funcionamiento de un flujo constante de información sobre la red en la cual se proyectarán las soluciones. Evidentemente esto obliga a crear estructuras que garanticen los recursos informativos necesarios para el funcionamiento del sistema. Sin embargo, en el caso objeto de estudio estas estructuras ya existían como parte del Sistema de Gestión y Control de Flota de la empresa, por lo que se utilizaron las mismas para mantener actualizada la base de datos del sistema de información geográfica. Por esta razón, se propuso incorporar las operaciones “Captación de Datos de la Red” y “Actualización de base de datos del sistema” en el apartado 7.12 “Análisis de Recorrido” del PO-34 “Procedimiento interno para implementación, ejecución y trabajo con el sistema de gestión y control de flota”.

De este modo se garantizó el flujo de información actualizado de las cuatro variables declaradas en los requerimientos funcionales del SIG en la sección de materiales y métodos.

Por otra parte, para la operación del SIG se estructuró un procedimiento de seis pasos con el objetivo de operar el sistema de información geográfica para la asignación de cargas y planificación de rutas en el proceso “Gestión del Transporte” (Figura 5).

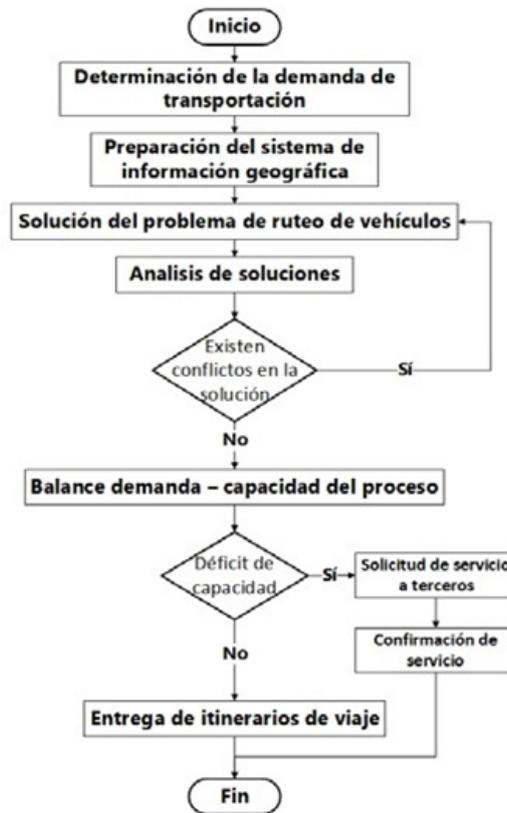


Figura 5. Procedimiento para la asignación de carga y planificación de rutas

Con la determinación de la demanda de transportación se cuantifica el volumen de carga a transportar por cliente y destino en cada uno de los días del programa de distribución utilizando la herramienta “Facturación” para consultar la base de datos del sistema Mistral y determinar las cantidades de productos despachadas a cada cliente. En la preparación del sistema de información geográfica para el análisis de redes se tomó como referencia el proceso desarrollado por Serna-Uran, García- Castrillón y Flores-Londoño (2016), iniciando con la creación del dataset de red a partir de una base de mapas descargada de Google Street Map para el territorio en el sistema de coordenadas geográficas mundial WGS-84.

Luego de convertir todos los elementos del dataset al sistema de coordenadas local Cuba-Norte, se insertaron las coordenadas geográficas de los puntos de distribución y del depósito o almacén de la empresa. Estas coordenadas fueron extraídas de la aplicación web (Movil Web) del Sistema de Gestión y Control de Flota el cual se soporta en las tecnologías de posicionamiento global. Con todos estos elementos construidos en el dataset y previamente estructurado, se ejecutó la opción “Problemas de generación de rutas para vehículos nuevo” dentro de la función de “Análisis de Rutas”. Seguidamente se cargaron las órdenes desde la entidad “Destinos” y el depósito desde la entidad del mismo nombre.

Posteriormente se agregaron a la capa “Rutas” tantos elementos como vehículos existían en el parque vehicular. En cada uno de los casos se introdujo manualmente al sistema, la matrícula del vehículo en el atributo “Nombre”, el lugar de origen y retorno del mismo (UEBMM de Pinar del Río), los tiempos de comienzo más temprano y el más tardío, su capacidad estática de carga y los costos por unidad de distancia.

Es importante señalar que por motivos prácticos y operativos del proceso de transportación la preparación del SIG se ha contenido en una plantilla donde se preestablecen la consecución de los pasos descritos con anterioridad, resumiendo este paso en dos operaciones “Actualización de la red de viales” y “Introducción de las variables de la red”.

Concluida la preparación del sistema se ejecuta el análisis de redes y se obtuvieron las rutas de distribución de cada uno de los vehículos en función de la demanda de transportación introducida al sistema (Figura 6). Estos resultados son revisados para la resolución de conflictos ya sea por la violación de restricciones en el proceso de transportación o por la aparición de errores en los elementos de la red.



Figura 6. Ruta obtenida por el SIG

Cuando se validaron las soluciones en cada una de las repeticiones realizadas se analizó la cantidad de vehículos demandados por el sistema para realizar las distribuciones según las restricciones del servicio especificadas en la red. En función de la disponibilidad técnica del parque vehicular de la empresa se determina la necesidad de contratar servicios de transportación a terceros para cumplir con el programa de distribución. Finalmente se entregarán los itinerarios de viaje a cada uno de los transportistas ya sean pertenecientes a la empresa o a terceros. Estos itinerarios de viaje son obtenidos del reporte “Indicaciones” donde se establecen la secuencia de vías de acceso para completar la distribución, así como los tiempos de descarga y de viaje de todo el recorrido.

Como resultado de la fase de evaluación del sistema se verificó el cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos para medir su eficacia en el proceso objeto de estudio. A pesar de haberse logrado rendimientos muy ajustados a las metas propuestas, se prevé que en estudios posteriores una prueba de contraste de mayor alcance pueda demostrar resultados aún más prometedores manteniendo las metas fijadas. Con esta prueba el sistema logra a través de la recreación de los viajes la entrega en tiempo de 276 clientes 21 clientes más que el obtenido con el sistema actual. En cuanto a los viajes que acumulan tiempo extra en el proceso, se acumularon por concepto de tiempo extra un total de 52.4 horas en 20 de los 30 viajes muestreados. Sin embargo, en los resultados mostrados por el SIG no solo se reduce este comportamiento en 42.74 horas, sino que se estiman además liberar 58.63 horas del fondo de tiempo del proceso por la disminución de la duración de los ciclos de transportación. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la fase de prueba del sistema de rutas variables.

Objetivo	Indicador	Valor Real Muestreado	Valor Meta	Valor Estimado SIG	% Cumplimiento
1	Porcentaje de viajes simulados según las rutas del sistema que cumplen con el horario de entrega de los pedidos.	89%	95%	96%	101.00%
2	Porcentaje de viajes simulados que no acumulan horas extras en el proceso de transportación.	33%	53%	83%	157.00%
3	Distancia de los viajes simulados por el sistema.	4758,13	4282,32	4280,60	100.04%
4	Consumo de combustible diésel de los vehículos en los recorridos simulados por el sistema.	694,82	669,08	629,98	104.00%
5	Costo de las operaciones de transportación.	12592,15	11332,94	11329,44	100.03%

Elaboración propia

Como es de suponer los resultados anteriores se obtuvieron como consecuencia de una disminución de las distancias recorridas durante las transportaciones recreadas por la acción del sistema de información geográfica en el análisis de redes. En este indicador se logró una disminución de 477.53 km respecto al real observado. Paralelamente a esto el sistema mostró rendimientos positivos en la disminución de los kilómetros sin carga durante las transportaciones por valores ascendentes a 594.25 km, lo que indudablemente incide en el nivel de aprovechamiento del recorrido y en la generación de tráfico. Por otra parte, el consumo de combustible sobre cumple en un 4% la meta fijada ahorrando un total de 64.84 litros de diésel. Es importante señalar que en la estimación de este indicador se tuvo en consideración el comportamiento histórico de las desviaciones del índice de consumo de combustible de cada uno de los vehículos utilizados. De este modo se consiguió obtener en la prueba, valores más representativos de la realidad modelada. Por último, se estimó con la implementación del sistema una reducción de los costos de las operaciones de transportación en \$ 1262.71 solamente en 30 de los 589 viajes realizados en el pasado año por la empresa.

Se reconocen algunos elementos que pudieran enriquecer los análisis realizados y la implementación propiamente dicha del sistema de rutas variable que se propone. En este sentido se identifica la necesidad de crear infraestructuras informáticas que conecten el sistema de información de la empresa con el SIG, con el objetivo de facilitar el proceso de actualización de la red del sistema de información geográfica. En relación al desarrollo de infraestructuras informáticas de este tipo, se recomienda la utilización del potencial del capital humano de la empresa en la creación de herramientas informáticas especializadas en estas funciones que se ajusten a la medida de las necesidades de dicha entidad. Esto no solo implicaría un ahorro sustancial por concepto de licencias de softwares, sino que también aportaría a la independencia tecnológica de la empresa. También es importante destacar la necesidad de mejorar la red de trabajo del sistema mediante el análisis minucioso de los sentidos de las vías, su estado técnico real para la circulación del parque de la empresa, el

tráfico y la topografía del terreno con el fin de obtener soluciones más fiables para la optimización de las rutas de distribución de medicamentos del territorio.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la evaluación del sistema demuestran la factibilidad de la idea propuesta en la solución de la problemática abordada. Durante este periodo de evaluación se ha podido comprobar que el empleo de métodos científicos en la planificación de rutas es capaz de incidir positivamente en la gestión del proceso de transporte de la empresa objeto de estudio. Al mismo tiempo, el sistema propuesto demuestra dar solución a las problemáticas que dieron origen a esta investigación utilizando las potencialidades de las herramientas de información geográfica para la toma de decisiones en la gestión de este proceso empresarial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arboleda, J., López, A. y Lozano, Y. (2016). El problema de ruteo de vehículos [VRP] y su aplicación en medianas empresas colombianas. *Ingenium*, 10(27), 29-36. Recuperado de <http://docplayer.es/63979960-El-problema-de-ruteo-de-vehiculos-vrp-y-su-aplicacion-en-medianas-empresas-colombianas.html>
- Chávez, R. M. y Quintana, E. (2018). Estudio de las rutas de transportación del proceso de distribución brindado por La Unidad de Base Mayorista de Medicamentos Pinar del Río (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial). Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca.
- Clavel, Y. de la C. y Rodríguez, Y. (2016). Análisis de los procesos de expedición, transporte y distribución en la Droguería La Habana (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial). Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, La Habana, Cuba.
- E.S.R. I, Environmental Systems Research Institute (2005). What is ArcGis?. California.
- Hernández, R., Lazcano, M., Onipoqui, Z. y Hassan, A. (2014). Selección de rutas de distribución en un operador logístico aplicando un procedimiento basado en vrp-tw. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. 28 p.
- López, J. A., Olguín, J. E. y Camargo, C. (2008). Modelo matemático de transporte aplicado a una compañía dedicada a la manufactura y distribución de juguetes, usando programación lineal entera. *Ingeniería Industrial*, (3), 65-72. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3997971>
- Marrero, S. P. (2017). Rediseño de las rutas de distribución en la Droguería La Habana (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial). Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba.
- Reinaldo, J. (2018). Rediseño del sistema de distribución secundaria de la Droguería La Habana (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial). Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba.
- Rodríguez, A. y Quintana, E. (2018). Análisis de la capacidad de transportación en la Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos de Pinar del Río (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial). Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca, Pinar del Río, Cuba.
- Serna-Uran, C. A., García-Castrillón, J. A. y Flores-Londoño, O. (2016). Análisis de Rutas de Transporte de Pasajeros Mediante la Herramienta Network Analyst de Arcgis. Caso Aplicado en la Ciudad de Medellín. *Ingenierías USBMed*, 7(2), 89-95. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/308905321_Analisis_de_Rutas_de_Transporte_de_Pasajeros_Mediante_la_Herramienta_Network_Analyst_de_Arcgis_Caso_Aplicado_en_la_Ciudad_de_Medellin_A_nalysis_of_Passenger_Transportati