



Calidad

y

Sistemas de
Manufactura

Ingeniantes

Uso de heurística vinculada a un sistema de información geográfica en el diseño de una red de transporte para el reparto de libros de texto gratuito

RESUMEN: Este estudio se realizó con la finalidad de crear una red de transporte para entregar los libros de texto gratuito (LTG) a 1,159 escuelas de nivel básico en la zona norte del Edo. de Chih. El total de escuelas se agrupó en dos conjuntos que se georeferenciaron dentro del mapa de Cd. Juárez, obteniendo dos sistemas nodales completos (SNC).

Aplicando el método de barrido a los SNC en el programa Arcmap del sistema de información geográfica (SIG) se dio solución al problema de ruteo de vehículos considerando su capacidad, los clusters se forman en grupos girando una semirrecta con origen en el almacén e incorporando las escuelas "barridas" por dicha semirrecta hasta llegar al límite de capacidad del camión de carga, de donde se obtuvieron todos los clusters necesarios para cubrir el total de escuelas. Cada cluster es luego ruteado resolviendo el problema del agente viajero y utilizando el programa RouteXL® se generaron las rutas de reparto para cada cluster de los dos SNC.

Como resultado se obtuvo un total de 56 clusters con sus respectivas rutas de reparto que cubren las 1,159 escuelas. Esto con una reducción de costos del 72.26% respecto a los costos de la distribución actual.

PALABRAS CLAVE: Georeferenciación, Cluster, Método de Barrido, Red de transporte, Sistemas de Información Geográfica.



Colaboración

Ricardo Rivas Corral; Mirella Parada González; Ulises Martínez Contreras, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

ABSTRACT: This study was carried out with the purpose of creating a transport network to deliver free textbooks (FTB) to 1,159 elementary schools at northern Chihuahua México. The total number of schools were grouped into two sets that are georeferenced within the map of Ciudad Juárez, obtaining two complete nodal systems (CNS).

Applying a heuristic approach called sweeping method to the CNS using the Arcmap program and the geographic information system (GIS) the problem of vehicle routing was solved considering the vehicles (trucks) capacity. The clusters were formed in groups by turning a line with origin in the warehouse and incorporating the schools using the heuristic method until the capacity restriction of the cargo truck is satisfied. This process was used until all the necessary clusters were obtained to cover the total number of schools. The routes for each cluster were calculated solving a problem called the traveling sales man (TSM). Using the RouteXL® program, the delivery routes for the two SNC's were generated.

As a result, 56 clusters were obtained with their respective distribution routes covering the 1,159 schools with a reduction of about 72.26% in distribution costs.

KEYWORDS: Georeferencing, Cluster, Sweep Method, Transport Network, Geographic Information Systems.

INTRODUCCIÓN

La educación en México es un derecho fundamental resguardado en el artículo 3º de la constitución de 1917, donde se dan las garantías para que todos los individuos reciban por parte del estado una educación de calidad y los materiales educativos para su desarrollo, bajo el precepto de que la educación pública en nuestro país debe de ser laica y gratuita; por esta razón el plan nacional de desarrollo (PND) 2013-2018 que con-

templa las cinco metas nacionales: 1 Un México en Paz, 2 México incluyente, 3 México con educación de calidad, 4 México próspero y 5 México con responsabilidad global. Dentro del apartado México con educación de calidad se tiene como una de las estrategias, el programa B003 producción y distribución de libros y materiales educativos, enfocado a garantizar que alumnos y docentes de preescolar, primaria y secundaria de todo el país, cuenten con sus libros de texto gratuito (LTG) revisados y actualizados al inicio de cada ciclo escolar [8]. La dependencia encargada de proveer los LTG a las escuelas de nivel básico en todo México es la comisión nacional del libro de texto gratuito (CONALITEG) fundada en 1959 y aprobada durante la gestión del Expresidente Lic. Adolfo López Mateos. La cantidad de ejemplares que la CONALITEG produce cada ciclo escolar se determina a partir del número de alumnos inscritos en los distintos niveles y modalidades de educación básica, estos ejemplares son entregados a los centros de distribución (CD) de cada uno de los estados de la república, el gobierno de cada estado es responsable de realizar el reparto a todas sus localidades. En el estado de Chihuahua la Secretaría de Educación y Deporte (SEyD) es la dependencia encargada de ejecutar dicha labor. Ésta da inicio mediante el traslado de los LTG a los almacenes localizados en 9 municipios valorados como puntos de entrega estratégica, dentro de estos se encuentra el almacén de Cd. Juárez para llevar a cabo el reparto en los municipios aledaños de Ahumada, Guadalupe y Praxedis G. Guerrero, así como en la zona de Cd. Juárez. No obstante lo anterior, actualmente no se cuenta con un sistema de transporte para el traslado de los LTG desde el almacén hacia las 1159 escuelas de la región, incumpliendo con lo establecido en el programa B003 [9].

Componentes Clave de la Transportación

En este sentido se considera al transporte como una directriz importante de la cadena de suministros (SC, Supply Chain, en su acrónimo inglés), ya que involucra a distintos actores; transportistas, autoridades y prestadores de servicios auxiliares, con necesidades e intereses diferentes. Realiza funciones diversas; comunicación, integración, traslado de bienes y personas, entre otras. Y requiere de múltiples tareas para su ejecución: planeación, organización, diseño, construcción, mantenimiento, conservación y control de operación [4].

El estudio considera los componentes clave de la transportación que las compañías deben analizar al diseñar y operar una cadena de suministros según nos dicen [1], siendo éstos:

- I. Diseño de una Red de Transporte
- II. Elección de Modos de Transporte

El trabajo se centró tanto en la selección del modo de transporte, así como en resolver el problema de ruteo de vehículos con capacidad (CVRP, Capacitated Vehicle Routing Problem, por sus siglas en inglés). La selección

del modo de transporte como se explica en el apartado de materiales y métodos, se llevó a cabo a partir de diversos factores, siendo el más importante la consulta de la ficha técnica de diferentes tipos de camiones, de lo que se obtuvo la carga útil de cada camión. De acuerdo al peso de los libros, se estimó la cantidad de libros por carga útil, y se definió el tipo de transporte a utilizar. Conociendo ya los tipos de camión se calcularon los costos de renta comparándose éstos con los gastos en que actualmente se incurre para trasladar los libros a cada escuela (con cargo a los padres de familia). Por otra parte, para resolver el CVRP se decidió aplicar el método heurístico: Asignar primero – Rutear después, también conocido como técnica o método de barrido (sweep method en inglés) [5]. Al aplicar esta técnica se decidió dividir las entregas en dos sistemas nodales completos, uno para las escuelas de nivel primaria y otro para las escuelas de preescolar y secundaria, generándose así 2 capas de datos (shapes) dentro del Sistema de Información Geográfica. Asimismo se generó una serie de rutas para satisfacer la demanda de los clusters en cada SNC.

Sistemas de Información Geográfica

A partir del gran volumen de información que se genera, surge la necesidad de manipular una gran cantidad de datos y éstos requieren de una interacción entre sí, por lo que se utiliza un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés), que es un conjunto de hardware, software, datos geográficos, personas y procedimientos; organizados para almacenar, actualizar, analizar y desplegar eficientemente rasgos de información referenciados geográficamente [6].

El software ArcGIS® es un componente que usan las personas para interactuar con un SIG. Está integrado a su vez por las siguientes tres aplicaciones; ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox: ArcMap se usan para visualizar, editar datos geográficos, crear mapas profesionales, gráficos y reportes (siendo ArcMap la aplicación central). ArcCatalog: se usa para explorar, organizar, distribuir y documentar los datos del SIG. Y ArcToolbox: se usa para el geoprocesamiento, esto es; análisis, gestión y conversión de formatos y proyecciones de los mapas. Dentro de estas Aplicaciones se realizó la transferencia de datos de las escuelas de nivel básico desde su formato en Excel de la matriz del manejo de materiales por medio de georreferenciación de datos espaciales en los sistemas de coordenadas (x, y) en la traza urbana de Cd. Juárez en el ArcMap. Obteniendo con ello la correlación (match) de datos espaciales dentro de una zona geográfica, generando un shape para cada SNC de los tres niveles educativos con ubicación exacta de todas las escuelas en forma de puntos dentro del mapa de trabajo. Como se explicó anteriormente, para trabajar con la técnica de barrido se manejaron dos SNC uno que contiene el nivel primaria y otro los niveles preescolar y secundaria. La generación de rutas de reparto para cada cluster resultante se dio a partir de la interac-

ción del shape de los clusters en el programa ArcGIS® y su correlación con el programa RouteXL® siendo éste último un planificador de rutas para múltiples destinos, generando como resultado las rutas óptimas de reparto de la red de distribución para los LTG de las 1159 escuelas en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología que se siguió contempla cinco etapas: 1era. Recolección de la información y adquisición de la traza urbana de Cd. Juárez, 2da. Generación de los SNC con el manejo de materiales de cada nivel educativo, 3era. Elección del modo de transporte. 4ta. Método: Asignar primero – Rutear después. 5ta. Estudio económico de la red de transporte propuesta.

Recolección de la Información y Adquisición de la Traza Urbana de Cd. Juárez

Obtención de la traza urbana digitalizada de toda el área geográfica del problema, abarcando los municipios de Cd. Juárez, Guadalupe, Praxedis G. Guerrero y Ahumada: donde se ubicaron las 1159 escuelas de la región como un punto, georreferenciadas en coordenadas (x, y) generando una capa de datos geográficos para cada nivel educativo dentro del mapa en la aplicación ArcMap (véase el ejemplo del SNC de primarias en la Figura 1), y posteriormente se descargaron los atributos de información de cada una de las escuelas del ciclo escolar 2016-2017 por medio de tres matrices en Excel una por cada nivel educativo que facilitó la SEyD, conteniendo los nombres de las escuelas por grado, dirección, Turno, la clave de centro de trabajo (CCT), el total de alumnos por grado y escuela.

Con la información de las especificaciones físicas de los LTG que la CONALITEG proporciona en su portal en internet, se generó una matriz general para el manejo de materiales (véase Tabla 1), donde a partir del peso en kilogramos de cada uno de los libros utilizados en los diferentes grados escolares, se obtuvieron las cantidades y pesos de los libros utilizados por alumno dependiendo su grado de escolaridad, luego multiplicando éste por el total de alumnos de cada grado se obtuvo la cantidad del peso total de libros por escuela a transportar dentro de la red. Ingresando esta nueva información al SIG mediante georreferencia de datos en coordenadas (x, y).

Tabla 1. Matriz General de Manejo de Materiales por Escuela

ESCUELA	pesos totales finales	Volumen total final	X	Y	X.MOY Y.MOY
JOSE MÉRGA GARCIA	7.304	0.00295676	359613.415	346638.831	68.831
FEDERICO FRIEDEL 1374	1.9584	0.003975552	388634.204	347951.4	39084
12 DE OCTUBRE	2.128	0.00437552	369857.767	348094.821	36108
ELIOSA GARCIA BURIEL	1.9584	0.003975552	362695.658	348485.045	32536
SOLEDAD ANTONIA HERRERA AVILA 1279	7.888	0.01068832	380814.72	348748.976	31065
TEOTIHUACAN	12.6528	0.02619264	370309.304	348904.949	20559
GENERACION BICENTENARIO 2010	19.808	0.0403276	368628.354	349383.753	18979
CATALINA MORENO TERPAZAS	10.7008	0.021945344	371762.633	3490758.371	22013
JOSE ROSAS MORENO	8.912	0.01836376	378449.587	3490614.595	28700
JARDIN DE INFANTES DR. CARLOS CANSECO 1404	2.894	0.00597894	372530.177	3490856.18	22791
LUCIA SAENZ HERRERA	17.5216	0.035975088	370531.855	3490924.407	21882
LUCIA SAENZ HERRERA	10.5856	0.021711488	370587.428	3490925.103	21207
CHICHENITZA	10.3512	0.02111536	370130.744	3490953.077	20381
BARRANCAS DEL COBRE	13.172	0.02619264	372131.042	3491188.229	22381
FELIX PARRA	12.3808	0.025188704	370763.382	3491552.235	20413
IESUS MACIAS DELGADO	9.5312	0.020243956	374111.308	3491403.579	24661
CARLOS ORCIZO ROMERO	18.4608	0.036921664	372539.364	3492331.638	24082
MARIA SAENZ HERRERA	13.2896	0.027256288	373471.071	3492822.962	23721
CARMEN RIGOLY DE RIOS	16.4064	0.033472032	372896.302	3493150.583	23066
JOSEFINA RAMIREZ GUZMAN	16.2296	0.033110464	367412.312	3493507.618	17123
CONCEPCION ARACELY AVILA PANDO	17.752	0.0363428	372678.068	3493558.771	22868
CHIHUAHUA	13.3024	0.027059552	371037.206	3493576.803	21887
MICHEL HIDALGO 2002-2006	20.16	0.0403276	367806.311	3494264.982	18056
BONAMPAR	13.3024	0.02619264	367622.255	3494284.591	18072
BASASEACHI	21.9776	0.045053968	371937.887	3494294.919	22248
MARIA DEL REFUGIO HERMOSILLO ONTIVEROS	13.236	0.0276732	372422.475	3494323.176	22672
RAGARALI	3.9888	0.00795104	371765.523	3494373.886	24746
TEHOSACHI	11.8656	0.024067168	370141.063	3494380.783	20391
CUSARARE	10.264	0.0214216	373477.339	3494690.947	23728
JANIE SABINES	25.5714	0.05178032	369855.827	3495241.125	19946
JULIA ROSA HOLGUN POSADA	26.436	0.05378888	369634.837	3495258.13	19895
CARMEN SAENZ HERRERA	20.0448	0.040830944	371713.208	3495408.261	21963

Generación de los SNC con el Manejo de Materiales de Cada Nivel Educativo

Tomando como referencia la información generada en la matriz para el manejo de materiales donde ahora se tienen los pesos en Kg de la cantidad total de libros por nodo georreferenciado dentro del mapa en sus respectivos shapes, estos datos se añaden a los sistemas nodales completos de cada nivel, como ejemplo se muestra el SNC de primarias con su manejo de materiales por escuela (véase la Figura 1). Una vez generado el SNC de primarias y el SNC de preescolar y secundarias abordamos la elección del modo de transporte pues éste afecta la velocidad y la eficiencia del flujo de productos a través de la cadena de suministros.

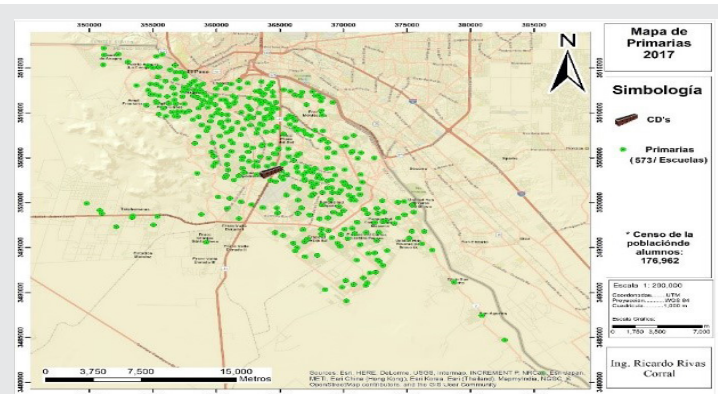


Figura 1. Mapa del SNC de Nivel Primaria en la Aplicación ArcMap

Elección del Modo de Transporte

Seleccionar un medio de transporte es una decisión tanto de planeación como de operación, en términos comerciales, el sistema de transportación vincula desde el punto de vista geográfico, a socios e instalaciones de una compañía separados dentro de la SC [2].

Para determinar la selección de los medios de transporte se tomaron en consideración diversos factores y parámetros físicos de las unidades, que generan una serie de condiciones para potenciar el uso de los mismos dentro de la red de distribución, siendo éstos los siguientes: 1. Dimensiones físicas del camión de carga y peso máximo de carga útil. 2. Unidades de caja conservadora (cc) para evitar daño del producto en tránsito. 3. Tecnología de GPS para monitorear las unidades. 4. Movilidad de las unidades en tránsito. 5. Tipo de combustible. 6. Costo de la renta del camión y accesibilidad de rentar las unidades a corto plazo.

Las unidades de transporte seleccionadas a partir de los factores anteriores son los camiones unitarios de carga tipo-C autorizados por la Secretaría de Comunicación y Transporte (SCT) para su libre tránsito en la región [3], siendo los modelos siguientes: A) El modelo de camión unitario de carga Rabón 4300 Low Profile caja conservadora (cc), con capacidad de carga útil de 10 Tn. B) El modelo Thorton 4400 cc, con capacidad de carga útil de 15 Tn.

Método: Asignar Primero - Rutear Después

El método Asignar primero y Rutear después (cluster first - route second) o técnica de Barrido (Sweep) procede en dos fases. Primero se busca generar grupos de clientes, también llamados clusters, que estarán en una misma ruta en la solución final. Luego, para cada cluster se crea una ruta que visite a todos sus clientes. Las restricciones de capacidad son consideradas en la primera etapa asegurando que la demanda total de cada cluster no supere la capacidad del vehículo [7].

Este algoritmo puede aplicarse en problemas planos, en los que cada nodo se corresponde con un punto en el plano y las distancias entre ellos se definen como la distancia euclídea. Se supone que cada cliente i está dado por sus coordenadas polares (p_i, θ_i) en un sistema que tiene al depósito como origen.

Técnica de Barrido

Paso 1 (inicialización). Ordenar los clientes según θ de manera creciente. Si dos clientes tienen igual valor de θ , colocar primero el de menor valor de p . Seleccionar un cliente w para comenzar y hacer

$$k := 1 \text{ y } C_k := \{w\}. \quad \text{Ec. (1)}$$

Paso 2 (selección). Si todos los clientes pertenecen a algún cluster, ir a 3. Si no, seleccionar el siguiente cliente w_i . Si w_i puede ser agregado C_k sin violar las restricciones de capacidad, hacer

$$C_k := C_k \cup \{w_i\} \quad \text{Ec. (2)}$$

Si no, hacer $k := k + 1$ y crear un nuevo cluster $C_k := \{w_i\}$. Ir a 2.

Paso 3 (optimización). Para cada cluster C_k para $t = 1, \dots, k$, resolver un TSP con sus clientes.

Por la forma en que se generan los clusters, las rutas obtenidas no se superponen, lo que puede ser bueno en algunos casos. Un posible resultado de la aplicación de este algoritmo se muestra en la Figura 2 donde las líneas punteadas indican los límites de los clusters.

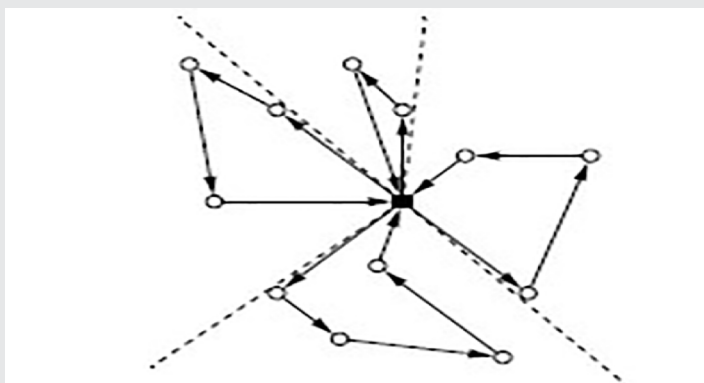


Figura 2. Solución Obtenida Mediante el Algoritmo de Barrido

El procedimiento se repite n veces, comenzando en cada ejecución por un cliente diferente.

Técnica de Barrido Aplicada al SNC de Escuelas Primarias

La obtención de los clusters en el SNC de las Escuelas de nivel primaria y de las escuelas de nivel secundaria y preescolar, utilizando la técnica de barrido en la aplicación ArcMap, está dada por las siguientes condiciones:

1. Se toma el centro de distribución o Almacén como punto de origen en $(0, 0^\circ)$ para realizar el barrido en un sector o cuadrante y delimitar el tamaño del cluster con los clientes (escuelas) a suministrar obteniendo así el C_k total.
2. Dentro de cada cluster se tienen escuelas donde; el turno matutino pertenece a una escuela con un ID y nombre único y el turno vespertino a otra escuela, estas escuelas serán tomadas como clientes individuales para la entrega de sus libros, más sin embargo conformaran un solo nodo ya que cuentan con la misma ubicación en el mapa de trabajo.
3. Restricción de capacidad en peso máximo de carga útil para el camión de reparto de 10 Tn y 15 Tn, con una contingencia al 90% del peso, tomando en cuenta un 5% de tolerancia en caso de un aumento de peso en el próximo ciclo escolar (esto a causa de un incremento en inscripción de alumnos por escuela), y otro 5% para cubrir el peso promedio de palets y el empaque de los LTG.

Aplicación del método de Barrido al SNC de las escuelas de nivel primaria (obsérvese Figura 3) obteniendo como resultado para el cluster No.1 los siguientes datos:

Paso 1: (inicialización) Al ordenar los clientes de manera creciente a θ , se seleccionó el cliente w (escuela) con menor valor en p , obteniendo $k := 1$ y $C_k := \{w\}$ siendo w la escuela con ID-570 con un peso total de 1010.97 kg.

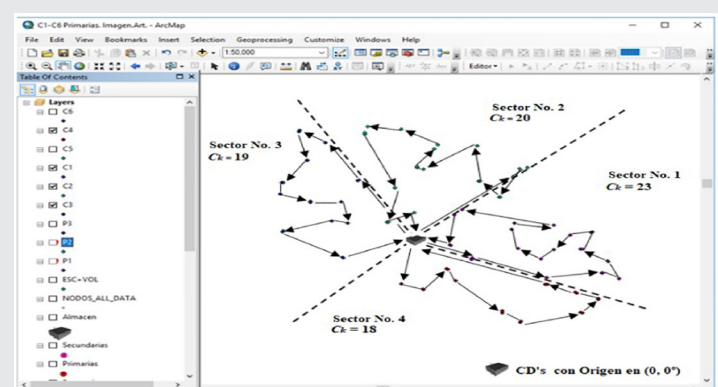


Figura 3. Generación de Clusters en el SNC de las Escuelas de Primarias, Aplicando la Técnica de Barrido en el Programa ArcMap

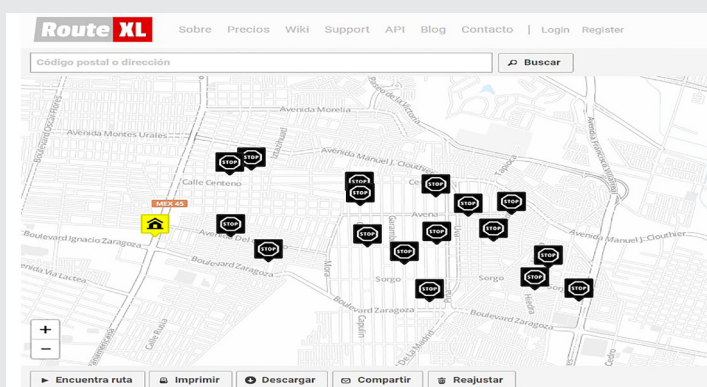


Figura 4. Ubicación de los Nodos del Cluster #1 en la Taza Urbana de Cd. Juárez

Paso 2: (selección) ya que la capacidad del camión no se ha cumplido, se procede a añadir el siguiente cliente w_i , agregando esta escuela a $C_k := C_k \cup \{w_i\}$. Siendo w_i la escuela con ID-436 con un peso total de 343.03 kg. Realizando el paso 2 a los siguientes clientes, se obtuvo una sumatoria total en C_k de 23 escuelas con un peso de 13,729.73 kg, quedando dentro del rango de porcentaje en carga útil de la capacidad del camión de carga.

Paso 3: (optimización). Una vez delimitado el Cluster No.1 resolver un TSP con los 23 clientes generando un total de 17 nodos, este problema se resuelve mediante la transferencia del número de nodos obtenidos en el ArcMap, importándolos al programa generador de rutas RouteXL® por medio del comando "Import" dentro de la traza urbana de Cd. Juárez donde se muestran las ubicaciones de las escuelas como se ve en la Figura 4. (Esto se realiza mediante una conversión de coordenadas UTM a coordenadas geográficas en la línea de comando/ArcMap→Arc.Toolbox→Data.Management.tools→Projections.and.Transformations→Project). Y se prosigue con la generación de las rutas por medio del comando "Encontrar ruta" esté despliega la ruta para el reparto de los LTG como podemos ver en la Figura 5.

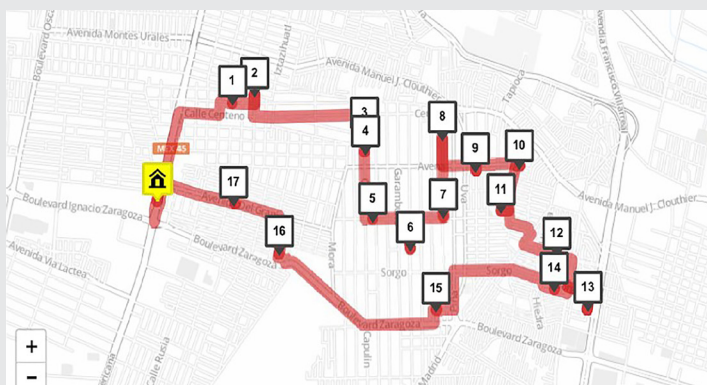


Figura 5. Generación de la Ruta de Reparto de las Escuelas de Primaria del Cluster #1

El procedimiento anterior se repitió n veces hasta generar el número total de clusters y las rutas de reparto con sus itinerarios para ambos SNC que se pueden ver en el apartado de resultados. Una vez obtenidas todas las rutas de reparto se pudo calcular el número de camiones que deben rentarse, quedando como sigue; 1 camión unitario de carga Rabón 4300 de 10tn durante un periodo de 11 días, 3 camiones Thorton 4400 de 15tn durante un periodo de 21 días.

Estudio Económico de la Red de Transporte Propuesta. Los costos estimados para el funcionamiento de la red de transporte propuesta se obtienen de los siguientes factores: 1) Pago al personal encargado de las unidades de transporte. 2) Costo por el consumo de combustible diésel de los camiones de carga para cubrir el total de km ruteados de la red de reparto (véase Tabla 2 y 3) Costo por la renta de las unidades requeridas para la red de transporte propuesta (véase Tabla 3).

Tabla 2. Costo Total por el Consumo de Combustible Diésel de la Red de Reparto Completa.

COSTO TOTAL DEL COMBUSTIBLE DE LA RED DE REPARTO				
CAMIÓN UNITARIO	Litros de Diésel	Costo x lt (+ 1.1% de Gasto-Extra)		Total
Camión 10 tn	176.4 lt x	\$18.06	x 1.1	3,464
Camión 15tn	712 lt x	\$18.06	x 1.1	14,144
COSTO TOTAL				\$17,608

A continuación, se realizan los estimados para los costos de los camiones de carga por los días de renta para repartir el total de clusters dentro de los dos SNC's.

Tabla 3. Costo Total por los Días de Renta de los Camiones de Carga.

COSTOS POR DÍAS DE RENTA DE LOS CAMIONES DE CARGA				
SNC de Prees.ySec.	Días de uso	Costo x día	Costo x días de uso	(+ IVA)
Camión 10 tn	11 x	\$2,332	25,652	\$29,756
Camión 15tn	19 x	\$2,579	49,001	\$56,841
SNC de Esc. Primarias				
Camión 15tn	22 x	\$2,579	56,738	\$65,816
Camión 15tn	22 x	\$2,579	56,738	\$65,816
COSTO TOTAL				\$218,229

Los costos estimados de cada factor se muestran en la Tabla 4, dando como resultado el costo total de \$ 256,180 pesos. M.X. para la red de transporte propuesta.

Tabla 4. Costo Total de la Red de Transporte Propuesta.

COSTO TOTAL DE LA RED DE TRANSPORTE DE LOS LTG				
Costos X Concepto de:	Salario diario de Chofer	Salario de Auxiliar	# de Días	Total
1. Pago a Personal				
Camión 10 tn	\$148	126.56	11	\$3,023.90
Camión 15 tn	\$148	126.56	63	\$17,318.70
2. Consumo de Combustible				
Camión 10 tn				3,464
Camión 15tn				14,144
3. Renta de Camiones				\$218,229
COSTO TOTAL				\$256,180

Análisis de Beneficios – Con el costo total de la red propuesta, se calcula la relación costo x alumno, para obtener una estimación del costo que conlleva entregarle sus libros al inicio del ciclo escolar a cada alumno de los 297,003 inscritos en el nivel básico, de donde obtenemos:

Costo x alumno = Costo total de la red de transporte / Número de alumnos inscritos;

\$ 256,180 / 297,003 al. = \$ 0.86 x alumno.

El costo que obtenemos por la entrega de libros por alumno es de \$ 0.86 pesos.

Para realizar el análisis de minimización de costos entre la red de transporte propuesta contra la renta de camiones por parte de la sociedad de padres de familia (como se realiza actualmente), para el traslado de libros desde el almacén hacia las escuelas, se utiliza como ejemplo el cluster #18 del sistema de escuelas Primarias.

Basándonos en los costos de renta de los camiones, se realizó un cuadro comparativo del cluster #18 (véase Tabla 6) entre los costos de la red de transporte propuesta (véase Tabla 5) y el costo del transporte que es cubierto actualmente por parte de las sociedades de padres de familia. A la fecha los padres de familia de cada una de las escuelas acuden al almacén por sus LTG en un vehículo rentado que les cuesta en promedio \$600 pesos.

Tabla 5. Costos Generados a la Red de Transporte por el Reparto en el Cluster #18

COSTO TOTAL DE LA RED DE TRANSPORTE DE LOS LTG				
Costos X Concepto de:	Salario diario de Chofer	Salario de Auxiliar	# de Días	Total
1. Pago a Personal				
Camión 10 tn	\$148	126.56	11	\$3,023.90
Camión 15 tn	\$148	126.56	63	\$17,318.70
2. Consumo de Combustible				
Camión 10 tn				3,464
Camión 15tn				14,144
3. Renta de Camiones				\$218,229
		COSTO TOTAL		\$256,180

Tabla 6. Cuadro Comparativo de Costos Entre la Red de Transporte y la Renta de Camiones por parte de la Sociedad de Padres de Familia en el Cluster #18.

Costo x Reparto de los LTG en SN- Esc. Primarias / Cluster #18		
C18: (21w-14n)	Red de Transporte	Renta de camiones x SPF*
N1	\$257.14	\$600
N2:2w	\$257.14	\$1,200
N3	\$257.14	\$600
N4	\$257.14	\$600
N5	\$257.14	\$600
N6:2w	\$257.14	\$1,200
N7	\$257.14	\$600
N8:2w	\$257.14	\$1,200
N9	\$257.14	\$600
N10:2w	\$257.14	\$1,200
N11	\$257.14	\$600
N12:2w	\$257.14	\$1,200
N13:2w	\$257.14	\$1,200
N14:2w	\$257.14	\$1,200
	\$3,599.96	\$12,600.00
		Coste Total
		* SPF: Sociedad de Padres de Familia

Es a partir de las estimaciones anteriores que se obtuvieron los costos de ambas formas de reparto. Donde el costo por traslado de los LTG a los 14 nodos que contienen las 21 escuelas (w) del cluster #18, mediante la red de transporte tiene un costo total de \$ 3,599 pesos.

Por otra parte, el costo para realizar la misma tarea por parte de la Sociedad de Padres de Familia, está dado por la multiplicación de las 21 escuelas x \$ 600 pesos del costo de la renta del camión, dando un total de: \$ 12,600 pesos.

RESULTADOS

El resultado del análisis de minimización de costos de la red de transporte vs el costo de la renta de camiones por parte de la sociedad de padres de familia es de un 72.26 % menor. Dándonos un estimado favorable de la red de transporte propuesta a la SEyD y ya que en ninguna circunstancia el costo generado por la red de transporte supera a la renta de camiones por parte de los padres de familia. Es en virtud de estos resultados que la red de transporte se considera un proyecto viable para el reparto de los LTG en la región por parte de la SEyD.

Los resultados obtenidos de los SNC se concentran en las Tablas 7 y 8, donde se aprecia la siguiente información: a) La columna No.1 muestra el total de clusters generados para cada SNC. b) La columna No.2 muestra el total de escuelas (w o clientes) suministradas en el cluster. c) La columna No.3 muestra el número total de nodos. d) La columna No.4 muestra la dirección en http: de cada una de las rutas de reparto en el Paq. RouteXL®.

Tabla 7. Clusters del SNC de las Escuelas de Nivel Primaria

CLUSTERS	# de Clientes	# de Nodos	Rutas de Reparto en Pag. RouteXL, Dir: HTTP
C1	23w	17n	http://www.routexl.es/f=CL4j0K7U0001
C2	21w	16n	http://www.routexl.es/f=36Fq2QEv6m6gl
C3	19w	12n	http://www.routexl.es/f=7vsT9HZ6T5s7
C4	18w	10n	http://www.routexl.es/f=0GryeAEq8sE0
C5	21w	16n	http://www.routexl.es/f=twPT8Xvenk30
C6	26w	21n	http://www.routexl.com/f=Be6Ng4y1m4bk
C7	15w	8n	http://www.routexl.com/f=ix8yA5PS3gV3
C8	13w	8n	http://www.routexl.com/f=2q22rgy8vGE5
C9	15w	10n	http://www.routexl.com/f=099Q9P5z9BT9
C10	10w	5n	http://www.routexl.com/f=1W6288a0N9k1
C11	17w	9n	http://www.routexl.com/f=2GqOZZY2qVLa
C12	14w	7n	http://www.routexl.com/f=pB60ZuCQ2v19
C13	14w	8n	http://www.routexl.com/f=BaLvU6y7ugwZ
C14	28w	25n	http://www.routexl.com/f=D7LovKQ8wZk0
C15	30w	28n	http://www.routexl.com/f=vT7Yl36oTCWF
C16	16w	9n	http://www.routexl.com/f=p6J8GLwaNwU9
C17	24w	18n	http://www.routexl.com/f=IEDtGw5bQcAG
C18	21w	14n	http://www.routexl.com/f=B05i34j93opH
C19	10w	5n	http://www.routexl.com/f=WZKkiKX1D643
C20	14w	9n	http://www.routexl.com/f=pB60ZuCQ2v19
C21	10w	5n	http://www.routexl.com/f=LOC731fAV8KB
C22	14w	8n	http://www.routexl.com/f=3pp1F9w26T81
C23	29w	28n	http://www.routexl.com/f=Qg0oV1Lbv7m7
C24	26w	22n	http://www.routexl.com/f=RBWS9G56k93z
C25	22w	16n	http://www.routexl.com/f=B2F90KYMBv70
C26	18w	13n	http://www.routexl.com/f=zE73TCd7jFMU
C27	16w	11n	http://www.routexl.com/f=GA01KyU15HCH
C28	8w	4n	http://www.routexl.com/f=Cvi0t41Oa9Sv
C29	17w	11n	http://www.routexl.com/f=221342v3o8l
C30	13w	8n	http://www.routexl.com/f=QCIF96U9D77w
C31	13w	8n	http://www.routexl.com/f=x6I29F23qp2i
C32	8w	8n	http://www.routexl.com/f=AkEC2SL7AVwo
C33	9w	7n	http://www.routexl.com/f=pH82w3sz8PTy

Tabla 8. Clusters del SNC de las Escuelas de Nivel Preescolar y Secundarias

CLUSTER	# de Clientes	# de Nodos	Rutas de Reparto en Pag. RouteXL, Dir: HTTP
C1	34w	29n	http://www.routexl.com/f=8BshICldtwvX
C2	29w	26n	http://www.routexl.com/f=l22BEp2zzOib
C3	20w	16n	http://www.routexl.es/f=e3qtr2qVy356
C4	33w	28n	http://www.routexl.com/f=eXDC8O3P27d5
C5	36w	30n	http://www.routexl.com/f=Kxp30b8DY65v
C6	24w	17n	http://www.routexl.es/f=h2T1dx7609na
C7	28w	25n	http://www.routexl.com/f=3NAiMr9gl9Dr
C8	20w	16n	http://www.routexl.es/f=D8F8tr7ULgM9
C9	31w	20n	http://www.routexl.com/f=cZU6l9ulmlB4
C10	20w	16n	http://www.routexl.es/f=9H6Z6nxFeTN3
C11	40w	34n	http://www.routexl.com/f=zgVN353vg84y
C12	31w	26n	http://www.routexl.com/f=X40VzXeZdtT6
C13	26w	19n	http://www.routexl.com/f=679srSpvHTqe
C14	25w	21n	http://www.routexl.com/f=rys5OvipwtiS
C15	35w	31n	http://www.routexl.com/f=u0Be51Lq80v
C16	29w	29n	http://www.routexl.com/f=99wyS1HKoM8N
C17	22w	22n	http://www.routexl.com/f=72nP85HFJY5f
C18	14w	9n	http://www.routexl.com/f=5jnUmRK3zi00
C19	17w	11n	http://www.routexl.com/f=53Lq81jzkE22
C20	28w	23n	http://www.routexl.com/f=K8U0A3ljn69v
C21	23w	19n	http://www.routexl.com/f=9IA4R8B5M6jW
C22	6w	6n	http://www.routexl.com/f=78Cx9Y832bd4
C23	15w	13n	http://www.routexl.com/f=a57b59G4yAkq

CONCLUSIONES

Aplicando el método de barrido en el SIG, se determinó un total de 56 clusters con sus rutas de reparto óptimas para llevar a cabo la entrega de los LTG a las 1159 escuelas de nivel preescolar, primarias y secundarias ubicadas en la zona norte del Estado de Chihuahua, México.

De acuerdo con el calendario normal, al año los alumnos tienen 195 días de clase, donde bajo la situación actual, los alumnos reciben sus libros alrededor de 18 días hábiles después del inicio del ciclo escolar. (pierden 9.23% del año escolar).

En ese sentido la red de transporte tiene una eficacia de entrega del 100%, ya que las entregas se realizan antes del inicio del ciclo escolar, generando así un bienestar académico entre el sector estudiantil de la región.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Chopra, S. y Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro*. 3era Edición. Pearson Educación. Naucalpan de Juárez, Estado de México, México.

[2] Coyle, J.J., Langley, C.J.Jr., Novack, R.A., Gibson, B.J. (2013). *Administración de la cadena de suministro. Una perspectiva logística*. 9na Edición. Cengage Learning Editores. Santa Fe, D.F., México.

[3] Diario Oficial de la Federación. (2014). Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal. Ciudad de México, D.F., México.

[4] García, O.G. y Backhoff, P.M.A. (1992). *Los Sistemas de Información Geográfica y el Transporte*. P. Escobedo, Querétaro, México.

[5] González, V.G. González, A.F. (2007). *Metaheurísticas aplicadas al ruteo de vehículos. Un caso de estudio. Parte 2: Algoritmo genético, comparación con una solución heurística*. Revista ingeniería e investigación. vol. 27, núm.1, 149-157.

[6] Huxhold, W.E. y Levinsohn, M. A. (2001). "Sistemas de Información Geográfica", Edición Universidad de Oxford, Nueva York.

[7] Orrego Cardoz, J., & Ospina Toro, D., & Toro Ocampo, E. (2016). *Solución al Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidad Limitada (CVRP) usando una técnica metaheurística*. Scientia Et Technica, 21 (3), 225-233.

[8] Secretaría de Educación Pública. (2014). B003 Edición Producción y Distribución de Libros y otros Materiales Educativos. México, D.F., México.

[9] SEP. (2016). *Libros de texto gratuitos, ciclo escolar 2016-2017 catalogo (1ª Edición)*. El Márquez. Querétaro.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo de investigación realizado en el presente artículo fue desarrollado gracias a la cooperación brindada en todo momento por la Secretaría de Educación y Deporte del estado de Chihuahua, México.