

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO



OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE EN EL COLEGIO *THE ENGLISH SCHOOL*

PROYECTO DE APLICACIÓN PRÁCTICA

ANGELA MARÍA RUIZ VARGAS

CARLOS ARTURO LUCERO ESPITIA

CAMILO ERNESTO VARGAS REINA

BOGOTÁ DC

2016

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO



OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE EN EL COLEGIO *THE ENGLISH SCHOOL*

PROYECTO DE APLICACIÓN PRÁCTICA

ANGELA MARÍA RUIZ VARGAS

CARLOS ARTURO LUCERO ESPITIA

CAMILO ERNESTO VARGAS REINA

TUTOR:

NELSON ALFONSO GÓMEZ CRUZ

ADMINISTRACIÓN EN LOGÍSTICA Y PRODUCCIÓN

BOGOTÁ DC

2016

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	7
RESUMEN	10
Palabras Claves	10
ABSTRACT.....	11
Key Words	11
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Planteamiento del problema de transporte en el Colegio de Inglaterra – <i>The English School</i>	12
1.2. Justificación	14
1.3. Objetivos.....	15
1.3.1.Objetivo General	15
1.3.1.Objetivos Específicos.....	16
1.4. Marco Metodológico	16
1.5. Alcance y Vinculación con el Proyecto del Profesor	17
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y CONCEPTUAL	19
2.1. ¿Qué es la logística?	19
2.2. Problemas del transporte desde el punto de vista logístico	19
2.3. Métodos para para evitar los problemas en el transporte	22
2.3.1.Programación Lineal	22
2.3.2.Algoritmos y sistemas matemáticos.....	22
2.3.3. Vecino más Próximo o Cercano (VMP)	23
2.3.4.Ventajas y desventajas de los diferentes métodos de optimización del transporte	26

2.3.5. Vecino más Próximo como el mejor método de optimización para resolver los problemas del sistema de transporte escolar en el Colegio de Inglaterra – <i>The English School</i> .	27
3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DEL COLEGIO DE INGLATERRA – THE ENGLISH SCHOOL	28
3.1. Almacenamiento y recopilación de la información, forma de trabajo actual en el departamento de transporte	28
3.2. Análisis de la información disponible en la actualidad	32
4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN BAJO LA METODOLOGÍA DE VECINO MÁS PRÓXIMO EN EL COLEGIO DE INGLATERRA – <i>THE ENGLISH SCHOOL</i>	37
4.1. Diseño del sistema de optimización de tiempos basado en el método de vecino más próximo	37
4.2. Implementación del sistema de optimización, para reducir los tiempos de desplazamiento de las rutas.	41
4.2.1. Planeación de la macro	41
4.2.2. Creación de la marco	43
4.2.3. Ejecución del macro	44
5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN BASO EN EL VECINO MÁS PRÓXIMO	45
5.1. Presentación de resultados	45
5.2. Análisis de los resultados	47
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
6.1. Conclusiones	53
6.2. Recomendaciones	54

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	56
------------------------------------	----

LISTAS ESPECIALES

Lista de Gráficos

Grafica 1 Porcentaje de satisfacción de padres con el servicio de transporte.....	33
Gráfica 2 Variación de Facturación Total 2014 - 2015	50
Gráfica 3 Variación de Costo Promedio Diario 2014 – 2015	51

Lista de Imágenes

Imagen 1 Mapa impreso utilizado para marcar los paraderos	29
Imagen 2 Tabla con la información de una de las rutas.....	30
Imagen 3 Tabla con la información de una de las rutas.....	31
Imagen 4 Mapa de rutas actual	34
Imagen 5 Mapa de ruta de muestra actual	35

Lista de Tablas

Tabla 1 Matriz inicial de Vecino más Próximo Ejemplo.....	24
Tabla 2 Matriz resultado de ejemplo Vecino más Próximo.....	25
Tabla 3 Matriz de análisis de error ejemplo Vecino más Próximo.....	25
Tabla 4 Horas de inicio y llegada de las rutas con su respectiva capacidad	35
Tabla 5 Tiempos de duración de recorrido de los vehículos actuales.....	45
Tabla 6 Facturación agosto y septiembre 2015.....	46
Tabla 7 Tiempos de duración de recorrido de los vehículos antes de la implementación.....	48
Tabla 8 Cambios en las rutas del sistema de transporte escolar con nuevo tiempo promedio	48
Tabla 9 Costos facturación 2015 sin incremento	49

GLOSARIO

Acompañante, Monitora o Asistente de disciplina: Persona que viaja con el conductor de un vehículo automotor y acompaña a los estudiantes durante el recorrido. (Acuerdo 051 de 2015, 2015)

Bus: Vehículo automotor destinado al transporte colectivo de personas y sus equipajes, debidamente registrado conforme a las normas y características especiales vigentes. (Ley 769 de 2002, 2002)

Bus escolar, vehículo escolar: Vehículo automotor destinado al transporte de estudiantes debidamente registrado como tal y con las normas y características especiales que le exigen las normas de transporte público. (Ley 769 de 2002, 2002)

Conductor: Persona habilitada y capacitada técnica y teóricamente para operar un vehículo. (Ley 769 de 2002, 2002)

Google Maps®: Servidor de aplicaciones de mapas en Web que ofrece imágenes de mapas desplazables, así como fotos en satélite del mundo entero e incluso la ruta entre diferentes ubicaciones. (KZ e-learning, 2016)

Heurísticas: Las heurísticas son métodos inteligentes que buscan una buena solución en un tiempo de cómputo razonable, pero sin garantizar que ésta sea la óptima. (Johnson et al., 2007).

Macro de Excel®: Una macro es un conjunto de comandos que están escritos en lenguaje de programación Visual Basic (VBA) que se almacena en un lugar especial de *Excel®* de manera que están siempre disponibles cuando se necesite ejecutar. Las macros están diseñadas para optimizar el tiempo en la ejecución de tareas rutinarias. (Excel total, 2016)

PESV: Es el instrumento de planificación que consignado en un documento contiene las acciones, mecanismos, estrategias y medidas que deberán adoptar las diferentes entidades, organizaciones o empresas del sector público y privado existentes en Colombia. Dichas acciones están encaminadas a alcanzar la seguridad vial como algo inherente al ser humano y así reducir la accidentalidad vial de los integrantes de las organizaciones mencionadas y de no ser posible evitar, o disminuir los efectos que puedan generar los accidentes de tránsito. (MinTransporte, 2014)

Pseudocódigo: El pseudocódigo o pseudolenguaje, son una serie de instrucciones en nuestro lenguaje natural (español, inglés, etc.) y expresiones que representan cada uno de los pasos que resuelven un problema específico. (Núñez, 2015)

Transporte: Es el traslado de personas, animales o cosas de un punto a otro a través de un medio físico. (Ley 769 de 2002, 2002)

Vehículo: De acuerdo al artículo 2° del Código Nacional de Tránsito. Ley 769 del 2002, se define como: Todo aparato montado sobre ruedas que permite el transporte de personas, animales o cosas de un punto a otro por vía terrestre pública o privada abierta al público. (Ley 769 de 2002, 2002)

Vía: Zona de uso público o privado, abierta al público, destinada al tránsito de vehículos, personas y animales. (Ley 769 de 2002, 2002)

Waze®: Es la aplicación de tráfico y navegación basada en la comunidad más grande del mundo. Únete a los conductores de tu área que comparten el tráfico e información de ruta en tiempo real ahorrando todos tiempo y dinero en sus desplazamientos diarios. (Waze, 2016)

RESUMEN

La optimización de sistemas y modelos se ha convertido en uno de los factores más importantes a la hora de buscar la mayor eficiencia de un proceso. Este concepto no es ajeno al transporte escolar, ambiente que cambia constantemente al ritmo de las necesidades de sus clientes, y que responde ante una fuerte responsabilidad frente a sus usuarios, los niños que hacen uso del servicio, en cuanto al cumplimiento de tiempos y seguridad, mientras busca constantemente la reducción de costos. Este proyecto expone las problemáticas presentadas en *The English School* en esta área y propone un modelo de optimización simple que permitirá notables mejoras en términos de tiempos y costos, de tal forma que genere beneficios para la institución en términos financieros y de satisfacción al cliente. Por medio de la implementación de este modelo será posible identificar errores comunes del proceso, se identificarán soluciones prácticas de fácil aplicación en el manejo del transporte y se presentarán los resultados obtenidos en la muestra utilizada para desarrollar el proyecto.

Palabras Claves

Transporte escolar – Vecino más próximo – optimización – sistema – colegio – tiempos – costos – ruteo – logística – administración.

ABSTRACT

System and model optimization has become one of the most important factors when we are looking for a better efficiency of a process. This concept is not strange to school bus transport, which is a changing environment that adjusts to its customers' changing needs, and that holds an important responsibility towards their users (the children that use this service) in terms of time and security service fulfillment, as it must look forward to reduce cost of operation. This project exposes the problems found in *The English School* on this area and proposes a simple optimization model that will obtain clear improvements in time and cost indicators, in which way it will generate benefits for the organization in their profit and customer service perception. With the model implementation, we will be able to identify common mistakes of the process, and come up with basic solutions easily applicable to the school transportation model to expose the results obtained in the sample defined to develop this project.

Key Words

School transport – Nearest Neighbor – optimization – system – school – time – cost – routing – logistics – administration.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema de transporte en el Colegio de Inglaterra – *The English School*

Desde sus inicios la actividad principal de los colegios ha sido instruir de conocimientos a sus estudiantes, dándoles la oportunidad de crecer tanto a nivel educativo como personal. En el caso del colegio Fundación Educativa de Inglaterra – *The English School*, la misión planteada es una experiencia feliz de vida, que forma líderes íntegros con una alta calidad y excelencia académica, seguros de sí mismos, conscientes de su responsabilidad socio-ambiental y decididos a transformar Colombia y al resto del mundo.” (Colegio de Inglaterra, 2014). A pesar de la claridad que existe en el enfoque que tienen este y la mayoría de colegios, se puede establecer que la logística que se tenga en torno al transporte es un factor de incidencia en el bienestar percibido por parte de los padres de familia y los estudiantes.

El transporte escolar es un servicio prestado por las diferentes instituciones con el fin de facilitarles a los padres la movilización de sus hijos desde y hacia el plantel educativo. Si bien es cierto que, como ya fue mencionado anteriormente, el transporte es una actividad complementaria, es posible afirmar que este tiene gran repercusión en el día a día de los estudiantes. Es posible afirmar que una ruta escolar puede demorarse, en promedio, entre una y dos horas entregando cada estudiante en su paradero. Con esto, es posible ver que los niños gastan aproximadamente entre 8 y 10 horas de su semana en un medio de transporte para llegar a sus hogares. Gran cantidad de los niños que utilizan estos medios de transporte son de preescolar y primaria, edades en las cuales los padres están a la espera de los mismos en el paradero.

En la actualidad en el colegio Fundación Educativa de Inglaterra – *The English School* 1326 estudiantes toman el transporte escolar ofrecido por la institución y el costo del mismo es de un monto considerablemente alto. Luego de realizar el proceso de matrícula y de inscripción del estudiante en el servicio de transporte, los padres de familia reciben un documento donde se establecen las condiciones del mismo y las horas de recogida y llegada del menor. Las especificaciones brindadas en el documento entregado van desde la dirección exacta del paradero,

hasta la hora donde el menor será recogido en la mañana y donde el mismo va a ser dejado en las horas de la tarde. Debido a que el servicio de transporte ofrece una hora exacta para la llegada del bus al paradero, los padres de familia, especialmente los de niños de preescolar, esperan que su hijo llegue en ese momento estipulado. La expectativa de los padres es que el retraso o adelanto de la ruta sea máximo de 5 minutos, pero en la actualidad esto no está sucediendo, las demoras del servicio de transporte del colegio están siendo considerablemente altas. Por este motivo, la institución ha recibido una cantidad importante de cartas de los progenitores presentando quejas por el mal servicio ofrecido por la misma.

Además de los inconvenientes que se presentan con los padres de familia debido a las variaciones de tiempo que tiene el transporte escolar, es importante considerar los altos costos en los que incurre el colegio debido a esto. Como resultado de la planeación de transporte que se realiza de forma ineficiente, el colegio está teniendo sobre costos como consecuencia de la cantidad de buses que componen la flota y la manera en la cual se distribuyen. Para comenzar, las rutas están generando costos extras ya que con la planeación que se está llevando a cabo en la actualidad la capacidad que tienen los buses es mayor a la cantidad de estudiantes que utilizan el transporte escolar. Al tener una mala planeación, el colegio no está teniendo control de la organización de las rutas y para minimizar el impacto que tienen las variaciones de tiempo caen en otro error de contratar más buses de los necesarios.

En la actualidad, el colegio está pagando por aproximadamente 300 puestos más de los necesarios debido a la forma en la cual está buscando cubrir todos los recorridos. Con este excedente el colegio está viendo representado el error de falta de optimización en cifras de gran importancia ya que la facturación podría variar notablemente con una mejoría. Si bien es cierto que en la actualidad el inconveniente en el cual se quiere enfocar el colegio es el que se genera como resultado de los tiempos, es importante entender que los costos en que inciden por este motivo también son de gran relevancia para la institución.

Teniendo en cuenta los problemas que están siendo presentados a nivel institucional debido a los retrasos, se identificó una necesidad importante para el colegio la cual realizar una organización especial a la logística del transporte, con el fin de minimizar los tiempos de recorrido de las rutas escolares establecidas. Para aumentar la satisfacción de los padres frente al servicio

ofrecido, es necesario que la institución se encargue de cumplir los horarios pautados. Por otro lado, al revisar las facturas del convenio realizado con la empresa TESCOTUR, prestadora del servicio de transporte, es evidente que se debe buscar una reducción importante en los costos por medio de la disminución en la cantidad de vehículos. Por medio de este trabajo se busca darles solución a los problemas presentados en la logística de transporte por parte de la institución, buscando ofrecer un sistema de optimización para las rutas.

En la actualidad el colegio cuenta con 4 horarios para dejar a los estudiantes en sus hogares y solo uno para la recogida de los mismos. Debido a que el mayor flujo de estudiantes se percibe en el momento de transportarlos de la casa al colegio, el proyecto se va a enfocar en este horario para realizar el estudio de tiempos, pasajeros, cantidad de tiempos y costos. Este horario de transporte comprende rutas que inicial desde las 5:30 am hasta el momento de dejar a los estudiantes que puede ser hasta las 7:30 am. Para llevar a cabo este recorrido, de llevar a los estudiantes de sus hogares al colegio, el colegio cuenta con 56 rutas.

Con la modificación de la logística de transporte en las horas de la mañana, se busca obtener un aumento en la satisfacción de los estudiantes y de los padres de familia. Por otro lado, con esto se generará una mayor seguridad para los estudiantes y los padres ya que ambas partes estarán más confiadas del manejo del transporte. Con un buen resultado, la buena voz a voz que se genere puede lograr que algunos padres de familia que optaron por no utilizar el servicio se vean atraídos por el mismo.

1.2. Justificación

A lo largo de los últimos años, el transporte en Colombia ha experimentado un crecimiento significativo sin mejorar la forma como se presta el servicio lo cual ha llevado a que el sistema presente fallas y que no sea un modelo eficiente. Como resultado de esto, se ha podido ver que el transporte escolar también ha tenido inconvenientes por la falta de eficiencia. Esto ha generado una necesidad importante de buscar soluciones de optimización logística con el fin de mejorar los

tiempos, los recorridos, los costos y la calidad. La solución de optimización se puede lograr a través de diversos modelos de transporte que han sido desarrollados con el tiempo.

El transporte no es un tema nuevo y por este motivo ha sido trabajado de diversas maneras por lo cual existen diferentes metodologías para el buen funcionamiento de este. Sin embargo, la optimización del transporte escolar es un tema novedoso y que requiere trabajo debido a que los colegios hasta este siglo se han dado cuenta de la importancia que tiene el transporte dentro de sus actividades diarias. Debido al crecimiento exponencial de estudiantes y de vehículos en la ciudad de Bogotá, el transporte escolar se ha convertido en un problema de gran importancia que requiere atención inmediata. Por la relevancia que tiene el transporte escolar en el día a día de los estudiantes, las diferentes instituciones están buscando nuevas formas para mejorar el servicio. Por lo anterior, la planeación del transporte se ha convertido en un eje fundamental de los procesos actuales de los colegios. Algunas instituciones educativas han optado por adquirir su propia flota de transporte asegurando que esta es la solución, pero el verdadero problema radica en que falta una logística clara y un modelo efectivo para la asignación de las rutas.

De este problema surge el problema planteado para este trabajo de grado. Por medio del estudio del caso que se presenta en la actualidad en el colegio *The English School*, se busca ofrecer una solución que permita tener un diseño claro de ruteo con el fin de que se optimice el sistema de transporte de esta institución. Por medio del modelo que dará como resultado este trabajo, se debe poder realizar un ruteo generalizado para que la logística de transporte no sea un inconveniente para el colegio.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar un modelo de optimización que minimice los tiempos de recorrido en el turno de la mañana en el Colegio de Inglaterra – *The English School*

1.3.1. Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual del transporte escolar en el colegio.
- Evaluar los diferentes métodos de optimización del transporte y asociarlos al transporte escolar.
- Formular y diseñar el modelo de optimización acorde a las necesidades del colegio.
- Implementar el modelo de optimización en el horario de la mañana en las rutas del colegio.
- Evaluar el desempeño del nuevo sistema contra el método que se utiliza actualmente.

1.4. Marco Metodológico

Para poder dar inicio al proyecto en mención, es necesario conocer a profundidad las condiciones en las cuales se encuentra el colegio respecto al sistema de transporte en la actualidad. Con el fin de obtener esta información se realizó un diagnóstico mediante el cual se busca conocer las herramientas, metodologías y análisis que se realizan a la hora de definir el rutero escolar del ciclo siguiente. La forma mediante la cual se logra la obtención de esta información, es contactando directamente a las directivas de la institución y a los responsables del transporte para que de esta manera se consiguiera la información de primera mano. Para tener un diagnóstico preciso es necesario conocer la cantidad de estudiantes que hacen uso del transporte escolar, el número de rutas que hacen parte de la flota en la actualidad junto a su capacidad total y los tiempos de cada recorrido.

Debido a que el objetivo central de este proyecto es encontrar un método que optimice el sistema de transporte escolar de *The English School*, es necesario realizar una investigación exhaustiva acerca de las diferentes teorías de logística en este ámbito. Para comenzar, se deben tener en cuenta diferentes teorías existentes debido a que al inicio no se conoce con claridad cuál

es la más adecuada para aplicarla al caso en estudio. Cuando se lleva a cabo la investigación de las metodologías, se debe realizar una comparación adecuada teniendo en cuenta los pros y los contras de las mismas analizándolos desde la dimensión del estudio de caso. Con esta última comparación se puede llegar a una conclusión acertada sobre la metodología que debe ser aplicada al proyecto.

Posterior a la selección de las mejores prácticas, se procede a analizarlas en el contexto presente en *The English School*. Luego del análisis se desarrolla un simulador que permita identificar el ruteo correspondiente a una muestra determinada, para poder llevar a cabo el uso de la metodología correspondiente. A partir de la efectividad de la muestra se espera demostrar si el sistema es aplicable a la flota de transporte restante. Luego de tener claridad del método que se va a implementar y tener los resultados de su aplicación en la muestra, es necesario llevarlo más allá y que este sea aplicable en todas las rutas. Para demostrar la efectividad del modelo seleccionado, es necesario realizar un análisis profundo a los resultados e identificando así propuestas de mejora.

Al realizar el análisis correspondiente a los resultados obtenidos, es necesario realizar una comparación con la situación anterior del colegio para poder tener claridad de las mejoras que se obtuvieron con el proyecto. Además de esto, se busca identificar si aún existen paraderos que tengan ventanas de tiempo muy amplias o inexactas. La comparación mencionada se va a realizar en términos de tiempos de duración de las rutas antes y después de la aplicación del modelo con el fin de determinar en cuanto se redujeron los mismos. Al tener esta claridad se va a tener una idea acerca de las rutas que siguen siendo críticas y con este elemento se podrá tomar una decisión acerca de los pasos a seguir con estas. Por otro lado, se busca medir la satisfacción de los padres de familia y los estudiantes por medio de una encuesta del sistema de transporte con el fin de determinar si esta aumentó luego de los cambios implementados.

1.5. Alcance y Vinculación con el Proyecto del Profesor

El proyecto está acorde con las líneas de trabajo del Semillero de Investigación en Complejidad Organizacional, que dirige el profesor Nelson Gómez, específicamente con los temas de modelos heurísticos y complejidad logística. El trabajo logra ampliar el alcance de los modelos

clásicos de la investigación de operación en pro de una optimización más adecuada sobre el fenómeno estudiado.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y CONCEPTUAL

2.1. ¿Qué es la logística?

“La Logística es la parte del proceso de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficientes y efectivos de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes.” (Ballou, 2004). Debido al amplio espectro que abarca, este concepto se ha convertido en un elemento vital a la hora de desarrollar y planear proyectos y actividades internas de las organizaciones. Dentro del alcance de la logística se encuentra la distribución y el transporte tanto de materiales como de personas, dependiendo de la naturaleza del negocio.

El transporte es considerado el elemento que añade valor de lugar a los productos y servicios manipulados por una empresa (Ballou, 2004). Por este motivo es indispensable que las empresas optimicen los tiempos y puntos de encuentro en las diferentes actividades de transporte requeridas para su funcionamiento diario. Debido a la importancia que se le ha dado a este elemento, se han generado diferentes metodologías para el diseño de rutas y la optimización de las mismas. Estos dos factores de transporte van muy de la mano debido a que es acertado afirmar que la optimización de este elemento depende directamente de un diseño adecuado de las rutas.

2.2. Problemas del transporte desde el punto de vista logístico

La logística de transporte se enfrenta a diferentes problemas constantemente, uno de ellos es el diseño de rutas y la apropiada gestión de las mismas. El objetivo principal de esta gestión se centra en obtener la optimización deseada y lograr que el camino seleccionado desde el origen hasta el destino final sea el más apropiado. Se dice que no se puede tener certeza de qué tan adecuado es el diseño de una ruta hasta que dos o más personas se enfrentan al mismo problema y

estas lo resuelven de maneras diferentes (Robusté, 2005). Con esto se puede establecer que no es posible llegar a la optimización de un sistema de transporte por medio de un único método.

La optimización de la gestión del transporte ha sido abarcada en varias ocasiones y desde diferentes puntos de vista. Es posible afirmar que este factor fue destacado especialmente desde 1930 debido al planteamiento del Problema del Agente Viajero (TSP por sus siglas en inglés). En este problema, que sirve como base para la teoría, se plantea que es necesario partir de un origen hasta ciertas localizaciones intermedias específicas y volver al punto de inicio en el menor tiempo y con el menor costo posible. (Arias Rojas, 2010) Debido a las diferentes necesidades y los diversos caminos que se pueden tomar, este problema ha tenido un sinnúmero de planteamientos. El TSP es de gran simplicidad y tiene una incalculable cantidad de resultados posibles, lo cual hace que cada persona pueda generar un planteamiento completamente único. Debido a la importancia que se le ha dado a este problema, en la actualidad se pueden encontrar diferentes metodologías para resolverlo.

La gestión del transporte es un elemento complejo en la logística. Al profundizar en el tema se puede encontrar que los problemas de ruteo ocurren, en su mayoría, en el transporte escolar. Para poder manejar el transporte escolar, es preciso entender el Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo (VRPTW por sus siglas en inglés). Este problema estudia a profundidad la optimización del transporte escolar, que debido a su naturaleza puede ser considerado como un elemento de alta complejidad. Este problema tiene como objetivo optimizar los tiempos, reducir los riesgos y maximizar la satisfacción del cliente, que en este caso en particular son varios. El transporte escolar obtiene su grado de complejidad debido a que el cliente final tiene varios elementos, ya que no solo se debe satisfacer las necesidades del estudiante sino también las de los padres de familia, las cuales tienden a ser diferentes entre ellas (Marín Chamia, 2013). Este problema también contempla otro concepto conocido como el Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidades (CVRP), donde se analiza la capacidad máxima de cada vehículo acorde a la cantidad de paradas y la ruta óptima de cada una de estas (Barajas Mora, 2009).

El problema de optimización de transporte especificado en el marco del transporte escolar está compuesto por una gran cantidad de variables, entre ellas la cantidad de escuelas a las que se quiera llegar, el horario en el que se presta el servicio, si existen estudiantes con prioridad o

servicios especiales, el objetivo de la solución propuesta, las restricciones del sistema, entre otras. El análisis de estos factores puede resumirse en cinco sub-problemas los cuales son: preparar la información, la selección de las paradas, el ruteo de los buses, el ajuste de tiempo y la determinación de horarios (Park, & Kim, 2010). La preparación de la información es el punto de partida para el desarrollo de los demás sub problemas, dado que es ahí donde se determinan los elementos clave en cuanto a cantidad y tipo de estudiantes, características y cantidad de buses, ventanas de tiempo, particularidades del sistema, etc. La selección de paradas generalmente es aplicada a un sistema en el que se busca reunir a los estudiantes en un punto focal donde puedan ser recogidos, de modo que se reduzca la cantidad de paradas y se mejore considerablemente el tiempo del sistema. En este punto se realiza tanto la selección de paraderos como la determinación de cuál estudiante corresponde a cada paradero. La teoría del ruteo es relativamente simple, encontrar la mejor ruta a recorrer que reúna la mayor cantidad de estudiantes en la menor cantidad de tiempo, pero el problema aumenta su nivel de complejidad dependiendo de la manera como se haya manejado el punto anterior en la asignación de paraderos y estudiantes. Finalmente, el ajuste de tiempo y la determinación de horarios son conceptos que trabajan de la mano, la dependencia de una hora de entrada o salida específica obliga a realizar ajustes rigurosos en los lapsos de tiempo que pueda manejar cada una de las rutas, de tal forma que pueda asignarse un horario confiable y viable en los tiempos de llegada a cada uno de los paraderos (Park, & Kim, 2010).

A pesar de que este problema tiene una naturaleza diferente al TSP no ha sido ajeno a la solución por el método de programación lineal. A pesar de la complejidad que puede generar esta metodología, VRPTW también ha sido solucionado por medio de esta con el fin de encontrar la respuesta óptima de la manera más apropiada, llegando a la misma solución, aunque se plantee de maneras diferentes. Por medio de estudios realizados en la Universidad Nacional de Colombia se logró proponer un algoritmo heurístico para establecer las rutas de transporte de la Secretaría de Educación de Bogotá. Esta propuesta busca generar una respuesta clara sobre las rutas de transporte basándose en las paradas y paraderos, la demanda, tiempos asociados, etc. (Barajas Mora, 2009).

2.3. Métodos para para evitar los problemas en el transporte

2.3.1. Programación Lineal

Uno de los métodos que se ha implementado en varias oportunidades para darle solución a este problema es la programación lineal. La programación lineal es uno de los métodos más utilizados para solucionar problemas de optimización. Se define como el problema de encontrar un vector X que optimice la función lineal $f(X)$ sujeto a ciertas restricciones (MATLAB, 2015). Las variables y resultados son de carácter cuantitativo y se buscan los valores que optimizan el objetivo, el cual está definido por medio de la función previamente establecida (Williams & Ormela, 2007). Esta metodología se ha desarrollado desde el siglo XX por diferentes pensadores como Kantorovitch y Koopmans que desarrollaron el conocido problema de transporte en 1942, Dantzing que formuló el enunciado general de los problemas de programación lineal y creó el método simplex, y Neumann que implementó la teoría de matrices a la programación lineal (Calmaestra, 2005). Es importante que las variables manejadas en el modelo estén apropiadamente definidas y relacionadas tanto en la función objetivo como en las restricciones, de tal forma que muestren la situación real del modelo y puedan buscar el mejor resultado posible a partir de la información conocida. Esta metodología se ha utilizado en problemas básicos de álgebra y logística como lo son el problema de transporte, en el cual se busca organizar el reparto de mercancías desde distintos orígenes hasta ciertos destinos, el problema de la dieta, donde se relaciona una cantidad de alimentos y sus componentes con el valor necesario para una nutrición apropiada, y el problema de planificación de producción, de tal forma que se optimiza la producción de una empresa de acuerdo a sus productos y a sus factores de producción buscando obtener los mayores beneficios posibles para el negocio (Calmaestra, Descartes 2D, 2005).

2.3.2. Algoritmos y sistemas matemáticos

Una de las formas más complejas pero completas que se puede utilizar para resolver los problemas de ruteo es por medio del planteamiento de algoritmos y sistemas matemáticos avanzados. Estos algoritmos son utilizados para evaluar las diferentes variables que se encuentran

en un problema de transporte, interpretadas en términos de restricciones tales como la capacidad de los buses, el tiempo de los estudiantes dentro del vehículo, la cantidad de demanda, etc (Euchi & Mraihi, 2011). La implementación de una solución algorítmica permite abarcar el problema desde diferentes ángulos dependiendo de la necesidad, pero en general lo que consigue es generar una planeación más adecuada de las decisiones a tomar en cuanto a cantidad o tipo de buses, rutas a tomar y ajustes de tiempo. Estos métodos más precisos también son conocidos como técnicas de programación matemática (Riera, & Salazar, 2012). A partir de estos modelos se pueden segmentar situaciones de optimización de costos, de tiempos, solucionar casos de ruteo donde los paraderos no corresponden debidamente con la ubicación de los alumnos, satisfacer la demanda y, en general, encontrar un punto óptimo a una red de transporte compleja. El proceso consiste en plantear claramente el problema, de tal forma que se definan los parámetros y las variables que se buscan optimizar, además de los supuestos y objetivos del modelo. Posteriormente se desarrolla el modelo matemático que abarque y optimice todos estos factores (Euchi & Mraihi, 2011). Esta es posiblemente la metodología más efectiva para la optimización de un problema de transporte, pero su grado de complejidad hace más difícil el desarrollo del algoritmo, de tal forma que no facilita la respuesta a la pregunta problema.

2.3.3. Vecino más Próximo o Cercano (VMP)

Otra de las propuestas existentes para solucionar el Problema del Agente Viajero es conocida como el método del Vecino Más Próximo o Cercano (VMP). Este es un algoritmo heurístico propuesto por J. G. Skellam, aunque la mayor parte del algoritmo fue desarrollado por P. J. Clark y F. C. Evans en 1954 (Contreras Pinto & Díaz Delgado, 2010). Consiste en unir un conjunto de nodos basados en la cercanía de su ubicación distribuidos en el espacio, uniéndolos de forma secuencial a partir de un nodo de partida y eligiendo el nodo más cercano al actual y sin tener en cuenta aquellos nodos que ya son parte de la secuencia (Problema del Agente Viajero – TSP, s.f). Este proceso se hace de forma iterativa, en cada etapa se evalúa cuál es el vecino más próximo con respecto al nodo actual para agregarlo a la ruta y se procede con la siguiente iteración. Una vez que se hayan agregado todos los nodos a la ruta se debe cerrar el ciclo regresando al punto de partida.

El método de VMP es uno de los más sencillos de aplicar a la hora de brindar una solución a los problemas de ruteo, pero su simplicidad implica que no asegura una solución óptima debido a la complejidad que pueda tener cada sistema, pero sigue siendo muy eficiente para dar soluciones útiles y rápidas a cada problema (Contreras Pinto & Díaz Delgado, 2010). Los principales problemas que puede presentar esta metodología son los siguientes:

1. La inclusión de variables irrelevantes reduce la precisión del sistema.
2. El modelo trabaja con variables netamente cuantitativas, aunque puede contemplar otras de tipo cualitativo, pero manejándolas de forma especial. A pesar de ello, puede ser sumamente efectiva si la recolección de datos se hace de forma precisa (Nisbet, Elder, & Miner, 2009).

Una de las herramientas más útiles que soportan el modelo de VMP es el uso de gráficos, principalmente creando conjuntos de vértices de distribución física que permitan dimensionar la situación real que se está enfrentando (Belles Samperaa, Ventura Pedret, Gomis Castellvi & March Amengual, 2011). Para explicar más claramente el caso un ejemplo será ilustrado. La tabla 1 plantea una ruta que debe pasar por cinco puntos a partir de un punto de origen 0. Las distancias entre cada pareja de puntos están dadas en kilómetros. (Ver tabla 1)

Tabla 1
Matriz inicial de Vecino más Próximo Ejemplo

	0	1	2	3	4	5
0	-	10	6	8	7	15
1	10	-	5	20	15	16
2	6	5	-	14	7	8
3	8	20	14	-	4	12
4	7	15	7	4	-	6
5	15	16	8	12	6	-

Fuente. Elaboración propia

Es importante resaltar que la matriz no cuenta con ningún valor al cruzarse un punto con él mismo. Para este caso, al partir del punto 0 se busca la localización más cercana al origen siendo esta la que corresponde al punto 2. Luego de esto se repite el proceso sin tener en cuenta aquellos puntos por los cuales ya se ha realizado el recorrido. Es decir el valor mínimo de la fila 0 es la

columna 2 cuando en la fila 2 se hace el procedimiento se encuentra que el mínimo hasta el la columna 1. Luego cuando se encuentra el valor mínimo de la fila 1 sería la columna 2 pero como está ya usada se debe mirar el siguiente valor mínimo, que en su caso sería la columna 4. Al repetir este procedimiento hasta haber recorrido cada uno de los puntos y regresado al origen se encuentra que la tabla resultante es la siguiente, donde con color amarillo se marcan los puntos mínimos de cada uno, teniendo en cuenta que no se puede repetir un punto en el cual ya se paró. (Ver Tabla 2)

Tabla 2
Matriz resultado de ejemplo Vecino más Próximo

	0	1	2	3	4	5
0	-	10	6	8	7	15
1	10	-	5	20	15	16
2	6	5	-	14	7	8
3	8	20	14	-	4	12
4	7	15	7	4	-	6
5	15	16	8	12	6	-

Fuente. Elaboración propia

De esta forma, la propuesta de ruta óptima que genera esta metodología consiste en (0, 2, 1, 4, 3, 5, 0) para un recorrido total de 57 kilómetros.

Existe un factor de error que se debe tener en cuenta a la hora de utilizar esta metodología. Al ser un sistema que agrega una parada tras otra, puede estar olvidando los valores posteriores del sistema, es decir, puede que la solución parezca óptima al desglosarlo punto por punto, pero genera un resultado catastrófico al mirar el sistema en total (Problema del Agente Viajero – TSP, s.f). Para tener más claridad se debe realizar el análisis a la siguiente tabla. (Ver Tabla 3)

Tabla 3
Matriz de análisis de error ejemplo Vecino más Próximo

	0	1	2	3
0	-	3	2	100
1	3	-	1	3
2	2	1	-	4
3	100	3	4	-

Fuente. Elaboración propia

En un modelo de 3X3 donde 0 es el origen y el destino, se puede ver que el modelo de VMP propone la ruta (0, 2, 1, 3, 0), donde la respuesta es acertada si no se tuviera en cuenta el regreso, dado que de ser así el valor total del sistema aumenta considerablemente. Es por esto que el modelo se expone a un margen de error en el que debe existir el análisis en intervención humana, de forma que gestione de la mejor manera la ruta evitando generar trayectos que puedan afectar negativamente al sistema, ya sea por distancias o porque la realidad del caso no se ajusta a la solución propuesta.

2.3.4. Ventajas y desventajas de los diferentes métodos de optimización del transporte

Cada metodología de optimización presenta beneficios específicos que se adecúan a los diferentes escenarios en los que se aplican. En el caso de la programación lineal permite un análisis cuantitativo de la variable X, optimizando su resultado para un sistema determinado con base en la función $f(X)$. La respuesta dada por la programación lineal tiende a ser bastante precisa y de alta confiabilidad, además de ser un método simple cuando utiliza una única variable. Por otro lado, al incluir una segunda variable el modelo puede incrementar considerablemente su complejidad, haciendo que aumente la dificultad de planteamiento y resolución del problema. Además, el uso de esta metodología en un sistema de transporte escolar implica el uso de una gran cantidad de variables, dado que se debe tener en cuenta el cruce de todos los paraderos entre sí, haciendo que esta metodología no sea ideal para optimizar una gran cantidad de estudiantes y sus paraderos.

Como se mencionó anteriormente, la aplicación de un algoritmo de optimización es la solución más completa que se puede desarrollar para un sistema de transporte escolar, permite analizar diversas variables con un alto grado de precisión y confiabilidad en la información obtenida. Las dificultades que presenta esta metodología se derivan en el alto grado de complejidad que implica el uso de un algoritmo de optimización, el planteamiento del mismo requiere entrar a un nivel de detalle que no suele ser necesario para ciertos sistemas más simples, de modo que su implementación no agrega valor real mientras que aumenta considerablemente la dificultad del planteamiento y análisis de resultados.

Por último, el Vecino Más Próximo es la metodología de mayor simplicidad entre las mencionadas, permite el análisis de información entre cada uno de los agentes de forma sencilla y ordenada, además de ser una alternativa bastante efectiva que permite realizar ajustes cualitativos al modelo dependiendo de las condiciones de cada sistema. Su mayor desventaja es que su solución no es óptima al problema, a pesar de tener una aproximación bastante confiable se debe tener en cuenta que es un modelo con mucho por mejorar en términos cuantitativos. Por otro lado, puede realizarse un análisis de una segunda variable por medio de una nueva matriz, pero la optimización del problema estará ligada a una única variable del problema.

2.3.5. Vecino más Próximo como el mejor método de optimización para resolver los problemas del sistema de transporte escolar en el Colegio de Inglaterra – *The English School*.

La metodología del VMP es la más óptima para optimizar el sistema de transporte escolar en cuestión debido a su simplicidad, de modo que facilita la interpretación de los datos y los ajustes de los mismos. También se debe tener en cuenta que en un contexto real el transporte escolar se ve afectado por muchas variables adicionales que no pueden tenerse en cuenta de forma cuantitativa tales como el estado de las vías y su efecto en los tiempos de recorrido, eventualidades o accidentes, y condiciones particulares de la ruta que afectan el recorrido causando ajustes en el mismo. Por ello es mejor contar con un sistema que responda fácilmente a los cambios para realizar los ajustes correspondientes.

3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DEL COLEGIO DE INGLATERRA – THE ENGLISH SCHOOL

3.1. Almacenamiento y recopilación de la información, forma de trabajo actual en el departamento de transporte

El colegio *The English School* en la actualidad no cuenta con ningún tipo de modelo mediante el cual lleve a cabo la distribución de los vehículos con las que maneja la asignación de los estudiantes. Esta situación lleva a que haya errores en la distribución de las rutas y demuestra poca planificación por parte de los entes encargados en la institución.

Al acudir a las personas encargadas del manejo del transporte escolar afirmaron que nunca se había hecho una reasignación de rutas debido al gran impacto que esta podría tener. Como consecuencia de esto cada vez que ingresa un nuevo alumno a alguna zona, en lugar de modificar la ruta del sector, lo que se lleva a cabo es una desviación de otro vehículo o se agrega otro recorrido al sistema es decir una nueva ruta. Con esta solución se daba cumplimiento a los requerimientos por parte de los padres de familia, pero hace que niños de la misma zona tuviesen una diferencia de horario de más de 50 minutos generando inconformidad en los usuarios de la ruta antigua y caos dentro del departamento de transporte, ya que al tener tantas rutas en el sector y pasar varias veces por los mismo lugares genera desorden de las rutas y no se sabe a ciencia cierta que ruta es la que mejor se acomoda al lugar de residencia del niño. Adicionalmente esto lleva a que se paguen sobrecostos en las rutas puesto que lo que se hace con dos rutas se podría hacer en una sola.

El hallazgo que se hizo respecto a la forma en la cual se trazaban las rutas fue que este proceso es completamente manual. Todos los trazados de los recorridos en el departamento de transporte se realiza en mapas impresos, en los cuales cada paradero tiene un *stiker* para poderlo reconocer. Con esta metodología no permite una identificación apropiada acerca de las rutas que pasan por el mismo sector y existe la posibilidad de que algún *stiker* se pueda retirar o mover del lugar donde debería estar. (Ver imagen 1) Por otro lado, los horarios de recogida y llegada de los estudiantes a sus hogares se registraban en una hoja impresa que luego se llena a mano y se le

entrega a cada alumno. Esta forma de trabajo hace que la búsqueda de alguna hora de algún estudiante sea extensa en estas hojas en el momento en el que se requiriera verificación del horario de algún estudiante. Esta búsqueda genera demoras innecesarias y trae como consecuencia ineficiencia a la hora de brindar soluciones y respuestas a los alumnos o los padres de familia.

Imagen 1

Mapa impreso utilizado para marcar los paraderos



Fuente: Foto tomada de los archivos utilizados en el colegio.

Las tablas de registro de los estudiantes que utilizan el servicio de transporte del colegio se encuentran impresas o hechas a mano cada una de manera singular. Esta modalidad hace que la interpretación de la información que se registra sea muy compleja debido a que algunas están hechas de acuerdo al orden del paradero y otras se organizan alfabéticamente de acuerdo a los nombres de los alumnos. Además de esto algunas no cuentan con los nombres completos de los estudiantes y algunas solo cuentan con el paradero en el que se debe recoger al estudiantes y no

tienen la dirección de la casa, estos son algunas de las variaciones que hay entre cada una de las tablas de las rutas pero pueden presentarse más. (Ver imagen 2)

Imagen 2

Tabla con la información de una de las rutas.



CONTROL DE RUTA NRO 30 B												
NOMBRE ASISTENTE: BLANCA NIDA RANQUEZ			CELULAR: 952186023			DOMINIO Y PARADERO ASISTENTE:			LOCAL ACTIVIDADES			
DATOS DEL ALUMNO			RUTAS			CODIGO						
PAR	HORA	NOMBRE DEL ALUMNO	CUR	DIRECCION CASA	DIR PARADERO	CELULAR	AM	60-30	60-30	Lun	Mar	Jue
1	18:05	PESALDO GOMEZ JUANNA	11	CRA 21 158-81 L 20	PORTERIA	3138932876			300			
2	18:05	ANGEL REINOSO JUAN FELIPE	11	CRA 20 132-88	PORTERIA	3174742865			300			
3	18:08	SUAREZ GONZALEZ JUAN CAMILO	3	CALLE 133 19-39	PORTERIA	3071864917	30P		300	X		
4	18:08	CORENA BULA JUAN ANGEL	9	CLLE 132 20-31 APT0804	PORTERIA	3144713183			300			
4	18:08	CORENA BULA TATIANA MARGARIT	11	CLLE 132 20-31 APT0804	PORTERIA	3144713183			300			
4	18:08	MADIEDO SOTO SEBASTIAN	8	CRA 21 128080 CASA 202	PORTERIA	3164103777			300			
5	18:09	ROCERO CASTAÑO GABRIEL	1	CRA 21 1280-36 AP 402	PORTERIA	3108509289	30P		300	X		
5	18:09	ROCERO CASTAÑO JULIAN	3	CRA 21 1280-36 AP 402	PORTERIA	3108509289	30P		300	X		
6	18:12	OSORIO MAYA VANESSA	8	CLLE 131 18-73	PORTERIA	3107778806			300			
7	18:15	LOPEZ ESTEFAN VALENTINA	11	CLLE 12819-65 L 1 502	PORTERIA	3158333112			300			
7	18:19	GARCIA MACIAS EDUARDO	8	CLL 128B 19-65 L 1 APT0901	PORTERIA	3104888286			300			
8	18:20	CASTILLO VARGAS ISABELLA	4	CRA 21 128B -79	PORTERIA	3158520247	30P		300	X	X	X
8	18:20	CASTILLO VARGAS JUAN CAMILO	2	CRA 21 128B -79	PORTERIA	3158520247	30P		300	X	X	X
8	18:22	GOMEZ CARVAJAL MA. JOSE	9	CLLE 127D 19-25 AP 302	PORTERIA	3153080015			300			
9	18:22	GRACIA CONCHA ISABELLA	8	CALLE 127D 19-45 AP 507	PORTERIA	3143457606			300			
10	18:22	BARCENAS SALGADO MARIANA	4	CALLE 127D 19-45 AP 504	PORTERIA	3176352582	30P		300		X	X
10	18:22	BARCENAS SALGADO NICOLAS	TR3	CALLE 127D 19-45 AP 504	PORTERIA	3176352582	30P		300	X		X
10	18:22	DOMINGUEZ CRISTIANI SAMUEL	2	CLL 127D 19-45 AP 704	PORTERIA	3108001405	30P		300	X	X	X
10	18:22	DOMINGUEZ CRISTIANI SAMUEL	2	CLL 127D 19-45 AP 704	PORTERIA	3108001405	30P		300	X		X
11	18:25	OSPINA LOPEZ JUAN ANDRES	9	CALLE 127D 19-44 CASA 1	ESQUINA AV 19	3158923253	30P		300	X	X	X
11	18:25	OSPINA LOPEZ VALENTINA	8	CALLE 127D 19-44 CASA 1	ESQUINA AV 19	3158923253			300			
12	18:27	THAKUR ADITYA	11	CALLE 127B 20-10 AP 201	ESQUINA AV 19	3142933554			300			
13	18:30	TELLEZ ZULUAGA FELIPE	8	AV 19 127-75 AP 201	PORTERIA	3004322383			300			
OBSERVACIONES GENERALES DE LA RUTA												

Fuente: Fotos tomadas de los archivos utilizados en el colegio.

El registro de la información de inicio y fin de cada ruta también se hace de forma manual, los encargados deben registrarla en un cuaderno. El motivo para que esto se realice de dicha manera es que hay falta de tiempo y de personal que se encargue de esta operación. Esta solución se decidió debido a que argumentan que es más rápido escribir el horario de inicio o llegada de la ruta en un cuaderno que en una tabla de Excel®. (Ver imagen 3)

Imagen 3

Tabla con la información de una de las rutas.

Primaria		Bachillerato	
1 1:43	4 1:17	7 1:00	11 1:11
2 1:33	5 1:25	8 1:20	
3 1:33			
34	35 3:07	36 3:07	37 3:07
38 3:45	39 3:45	40 3:45	41 3:45
42 3:22	43 3:22	44 3:22	
45 3:22	46 3:22	47 3:22	
48 3:22	49 3:22	50 3:22	
51 3:22	52 3:22	53 3:22	
54 3:22	55 3:22	56 3:22	
57 3:22	58 3:22	59 3:22	
60 3:22	61 3:22	62 3:22	
63 3:22	64 3:22	65 3:22	
66 3:22	67 3:22	68 3:22	
69 3:22	70 3:22	71 3:22	
72 3:22	73 3:22	74 3:22	
75 3:22	76 3:22	77 3:22	
78 3:22	79 3:22	80 3:22	
81 3:22	82 3:22	83 3:22	
84 3:22	85 3:22	86 3:22	
87 3:22	88 3:22	89 3:22	
90 3:22	91 3:22	92 3:22	
93 3:22	94 3:22	95 3:22	
96 3:22	97 3:22	98 3:22	
99 3:22	100 3:22	101 3:22	
102 3:22	103 3:22	104 3:22	
105 3:22	106 3:22	107 3:22	
108 3:22	109 3:22	110 3:22	
111 3:22	112 3:22	113 3:22	
114 3:22	115 3:22	116 3:22	
117 3:22	118 3:22	119 3:22	
120 3:22	121 3:22	122 3:22	
123 3:22	124 3:22	125 3:22	
126 3:22	127 3:22	128 3:22	
129 3:22	130 3:22	131 3:22	
132 3:22	133 3:22	134 3:22	
135 3:22	136 3:22	137 3:22	
138 3:22	139 3:22	140 3:22	
141 3:22	142 3:22	143 3:22	
144 3:22	145 3:22	146 3:22	
147 3:22	148 3:22	149 3:22	
150 3:22	151 3:22	152 3:22	
153 3:22	154 3:22	155 3:22	
156 3:22	157 3:22	158 3:22	
159 3:22	160 3:22	161 3:22	
162 3:22	163 3:22	164 3:22	
165 3:22	166 3:22	167 3:22	
168 3:22	169 3:22	170 3:22	
171 3:22	172 3:22	173 3:22	
174 3:22	175 3:22	176 3:22	
177 3:22	178 3:22	179 3:22	
180 3:22	181 3:22	182 3:22	
183 3:22	184 3:22	185 3:22	
186 3:22	187 3:22	188 3:22	
189 3:22	190 3:22	191 3:22	
192 3:22	193 3:22	194 3:22	
195 3:22	196 3:22	197 3:22	
198 3:22	199 3:22	200 3:22	
201 3:22	202 3:22	203 3:22	
204 3:22	205 3:22	206 3:22	
207 3:22	208 3:22	209 3:22	
210 3:22	211 3:22	212 3:22	
213 3:22	214 3:22	215 3:22	
216 3:22	217 3:22	218 3:22	
219 3:22	220 3:22	221 3:22	
222 3:22	223 3:22	224 3:22	
225 3:22	226 3:22	227 3:22	
228 3:22	229 3:22	230 3:22	
231 3:22	232 3:22	233 3:22	
234 3:22	235 3:22	236 3:22	
237 3:22	238 3:22	239 3:22	
240 3:22	241 3:22	242 3:22	
243 3:22	244 3:22	245 3:22	
246 3:22	247 3:22	248 3:22	
249 3:22	250 3:22	251 3:22	
252 3:22	253 3:22	254 3:22	
255 3:22	256 3:22	257 3:22	
258 3:22	259 3:22	260 3:22	
261 3:22	262 3:22	263 3:22	
264 3:22	265 3:22	266 3:22	
267 3:22	268 3:22	269 3:22	
270 3:22	271 3:22	272 3:22	
273 3:22	274 3:22	275 3:22	
276 3:22	277 3:22	278 3:22	
279 3:22	280 3:22	281 3:22	
282 3:22	283 3:22	284 3:22	
285 3:22	286 3:22	287 3:22	
288 3:22	289 3:22	290 3:22	
291 3:22	292 3:22	293 3:22	
294 3:22	295 3:22	296 3:22	
297 3:22	298 3:22	299 3:22	
300 3:22	301 3:22	302 3:22	
303 3:22	304 3:22	305 3:22	
306 3:22	307 3:22	308 3:22	
309 3:22	310 3:22	311 3:22	
312 3:22	313 3:22	314 3:22	
315 3:22	316 3:22	317 3:22	
318 3:22	319 3:22	320 3:22	
321 3:22	322 3:22	323 3:22	
324 3:22	325 3:22	326 3:22	
327 3:22	328 3:22	329 3:22	
330 3:22	331 3:22	332 3:22	
333 3:22	334 3:22	335 3:22	
336 3:22	337 3:22	338 3:22	
339 3:22	340 3:22	341 3:22	
342 3:22	343 3:22	344 3:22	
345 3:22	346 3:22	347 3:22	
348 3:22	349 3:22	350 3:22	
351 3:22	352 3:22	353 3:22	
354 3:22	355 3:22	356 3:22	
357 3:22	358 3:22	359 3:22	
360 3:22	361 3:22	362 3:22	
363 3:22	364 3:22	365 3:22	
366 3:22	367 3:22	368 3:22	
369 3:22	370 3:22	371 3:22	
372 3:22	373 3:22	374 3:22	
375 3:22	376 3:22	377 3:22	
378 3:22	379 3:22	380 3:22	
381 3:22	382 3:22	383 3:22	
384 3:22	385 3:22	386 3:22	
387 3:22	388 3:22	389 3:22	
390 3:22	391 3:22	392 3:22	
393 3:22	394 3:22	395 3:22	
396 3:22	397 3:22	398 3:22	
399 3:22	400 3:22	401 3:22	
402 3:22	403 3:22	404 3:22	
405 3:22	406 3:22	407 3:22	
408 3:22	409 3:22	410 3:22	
411 3:22	412 3:22	413 3:22	
414 3:22	415 3:22	416 3:22	
417 3:22	418 3:22	419 3:22	
420 3:22	421 3:22	422 3:22	
423 3:22	424 3:22	425 3:22	
426 3:22	427 3:22	428 3:22	
429 3:22	430 3:22	431 3:22	
432 3:22	433 3:22	434 3:22	
435 3:22	436 3:22	437 3:22	
438 3:22	439 3:22	440 3:22	
441 3:22	442 3:22	443 3:22	
444 3:22	445 3:22	446 3:22	
447 3:22	448 3:22	449 3:22	
450 3:22	451 3:22	452 3:22	
453 3:22	454 3:22	455 3:22	
456 3:22	457 3:22	458 3:22	
459 3:22	460 3:22	461 3:22	
462 3:22	463 3:22	464 3:22	
465 3:22	466 3:22	467 3:22	
468 3:22	469 3:22	470 3:22	
471 3:22	472 3:22	473 3:22	
474 3:22	475 3:22	476 3:22	
477 3:22	478 3:22	479 3:22	
480 3:22	481 3:22	482 3:22	
483 3:22	484 3:22	485 3:22	
486 3:22	487 3:22	488 3:22	
489 3:22	490 3:22	491 3:22	
492 3:22	493 3:22	494 3:22	
495 3:22	496 3:22	497 3:22	
498 3:22	499 3:22	500 3:22	

Fuente: Foto tomada de los archivos utilizados en el colegio.

En la actualidad no se cuenta con un sistema de comunicación especializado entre las rutas y el módulo de transporte del colegio. Por este motivo, la única forma de comunicación se da a través de los celulares de las monitoras de la ruta y esto genera diversos problemas ya sea por falta de cobertura del prestador del servicio móvil o por falta de minutos para llamar.

3.2. Análisis de la información disponible en la actualidad

De acuerdo a lo que se vio evidenciado anteriormente es posible asegurar que la recolección de información y los métodos de planificación en el sistema de transporte escolar del Colegio de Inglaterra – *The English School* son deplorables. En la actualidad no existe ningún medio de control o administración de datos, todo se lleva a cabo de forma manual y no se genera ningún registro virtual de la información. Este manejo que se le da genera una pérdida y mala interpretación de la información, llevando a que el margen de error por parte de los encargados de la operación sea más alto.

Es sorprendente que con un manejo de más de 1300 alumnos no se cuente con un sistema de planificación y ejecución de la información y que todas las búsquedas deban hacerse en carpetas físicas. Con esto se puede entender porque la satisfacción de los padres de familia esté en el 84,27% de una meta que se tiene de 92%. (Ver Grafica 1) Como se puede analizar en la gráfica, se puede observar que el transporte deja mucho que desear para ese más de 15% de padres de familia que se sienten insatisfechos con el servicio de transporte. Este porcentaje se obtuvo por una encuesta realizada por parte del colegio a los padres de familia que acceden al servicio de transporte escolar en septiembre de 2014 y que evaluaron con sí o no, la siguiente pregunta: ¿Se siente satisfecho con el servicio de transporte prestado a sus hijos?

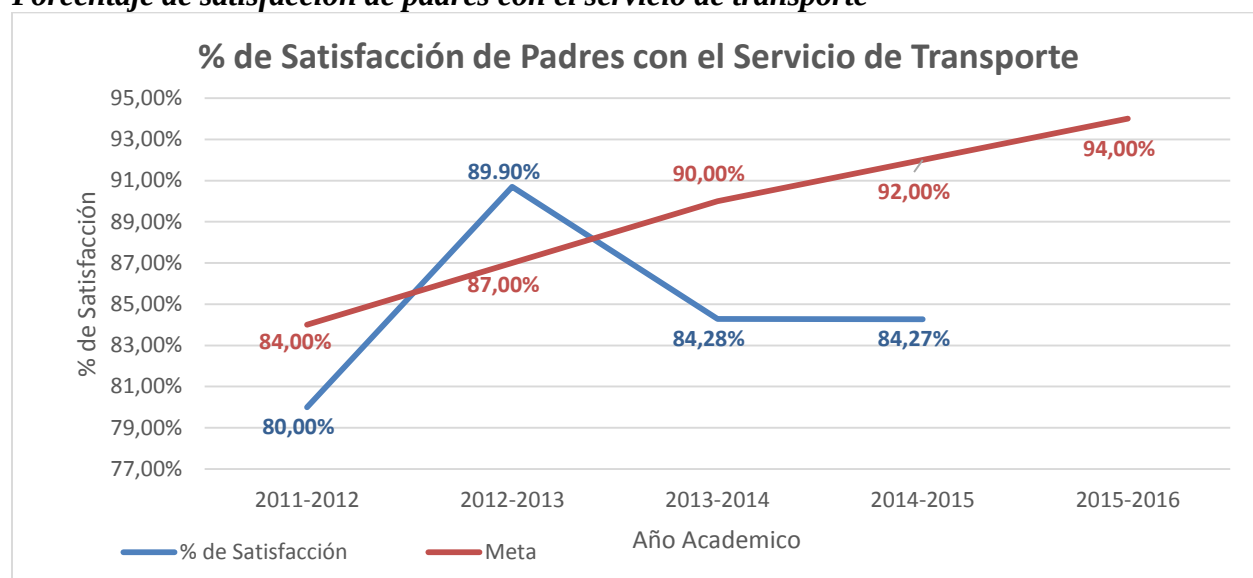
Por medio de la situación actual que se está presentando en la institución, se logró entender los problemas que se generaban en diferentes sectores de Bogotá. Un ejemplo de zona crítica se puede ver en el Chico, sector que comprende de la calle 77 a la 100 entre la carrera séptima y la Autopista Norte. En este sector de la ciudad se tienen 6 rutas diferentes, con horarios que van desde antes de las 6 de la mañana hasta faltando 10 minutos para las 7, como resultado de las actividades y el mal manejo de la información en el departamento de transporte. Con estos resultados se lograron evidencias las diversas falencias que hacen que el sistema de asignación de rutas sea poco efectivo.

Uno de los errores más críticos presentado por el colegio en el sistema de planeación de transporte actual es que en muchos casos se evidencia que más de una ruta está pasando por el mismo punto. Debido a esta repetición de recorridos, alumnos que vivían en la misma zona estaban

siendo recogidos en horarios diferentes lo cual estaba dando como resultado quejas de varios padres de familia debido a las horas en las cuales sus hijos se tienen que levantar frente a otros que viven cerca. Esta es una situación compleja debido a que no se debería presentar que alumnos que habitan en la misma zona, tengan un horario de ruta diferente.

Grafica 1

Porcentaje de satisfacción de padres con el servicio de transporte

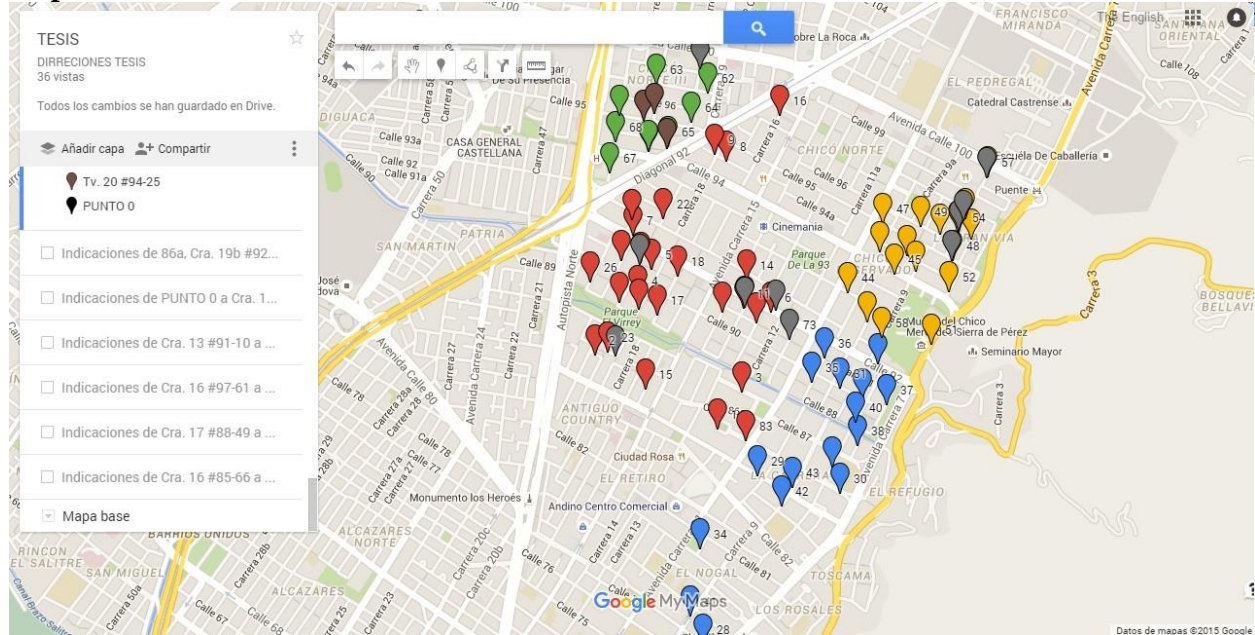


Fuente. Elaboración propia, en base al gráfico 6.A.3 de informe Gerencia EFQM TES-R4E

En la imagen que se muestran, se puede ver ilustrada la situación que fue mencionada anteriormente, cada color hace referencia a los paraderos que hacen parte de una ruta específica. (Ver imagen 4) Se puede ver que la ruta que recoge a los alumnos de los paraderos en gris, se cruza con los paraderos de las rutas en amarillo y en verde. Con esto, es posible entender a mayor cabalidad la situación que fue mencionada anteriormente, estas rutas tienen horas de salida diferentes y por este motivo estudiantes que viven cerca terminan siendo recogidos en diferentes momentos. En esta imagen también se puede ver que la distribución de rutas actual no es la más efectiva y con algunos cambios se podría llevar a que los recorridos fueran más equitativos.

En la siguiente imagen se puede ver la ruta que se toma como muestra, la cual está representada por los pines rojos, y el recorrido que esta realiza. (Ver imagen 5) En esta oportunidad se puede ver que esta hace un recorrido que la lleva a ser redundante en las vueltas que da y por este motivo pasa por los mismos lugares más de una vez.

Imagen 4
Mapa de rutas actual

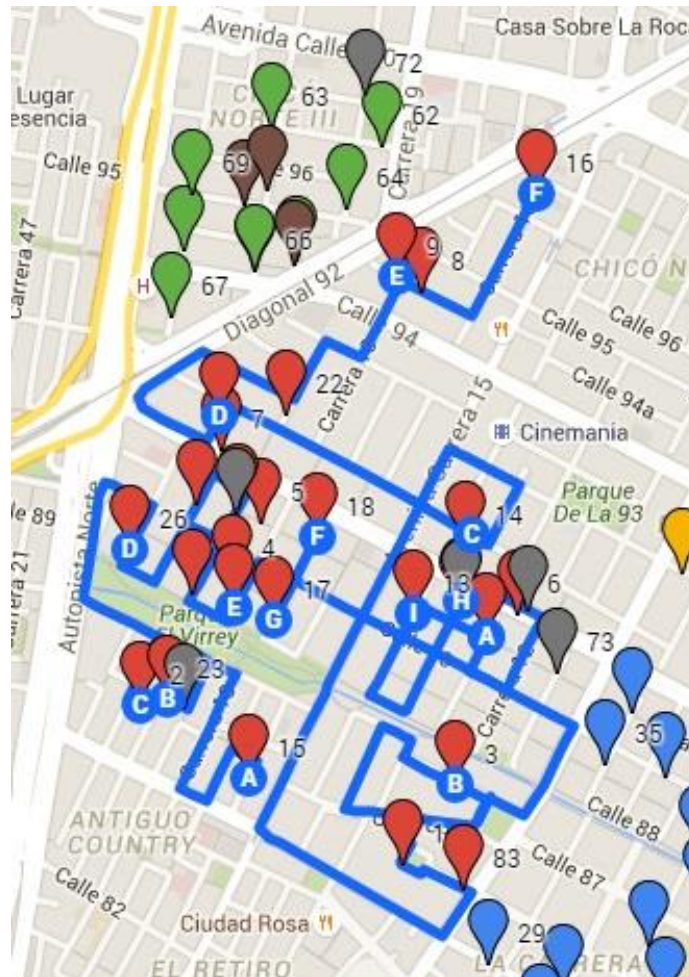


Fuente: Elaboración propia, en base a los mapas de las rutas.

Al realizar el recorrido de esta forma, se lleva a que los estudiantes tengan que pasar más tiempo del debido dentro de la ruta escolar y el objetivo debería ser minimizar esta situación. Por otro lado, se puede ver que esta ruta deja de cubrir algunos paraderos por los cuales pasa debido a que los mismos fueron asignados a otra ruta. Esta situación hace que el transporte escolar no sea muy eficiente debido a que hace que la flota que contratan no sea distribuida de la mejor manera.

En la siguiente tabla se pueden ver las horas de inicio y las de llegada promedio de cada una de las rutas con las que cuenta la institución en la actualidad. (Ver tabla 4) Con esta información se puede ver que la variabilidad que hay en estas dependiendo de la ruta es muy alta, por lo cual la satisfacción de los estudiantes varía de acuerdo a la ruta en la cual vayan. Viendo la situación en general, se puede ver que las rutas inician a las 5:57 en promedio y llegan al colegio a las 7:15am teniendo un tiempo aproximado de 1 hora y 18 minutos de duración. Con esto se evidencia que el sistema de distribución de rutas actual no está generando un valor agregado real a los estudiantes debido a que el tiempo estimado en la ruta es muy alto.

Imagen 5
Mapa de ruta de muestra actual



Fuente: Elaboración propia, en base a los mapas de las rutas.

Tabla 4
Horas de inicio y llegada de las rutas con su respectiva capacidad

RUTA	INICIO	LLEGADA PROMEDIO	CAPACIDAD BUS
01	6:30:00	7:09:28	40
02	6:00:00	7:08:05	40
03	6:00:00	7:15:33	40
04	6:15:00	7:13:22	40
05	5:45:00	7:05:50	24
06	6:15:00	7:14:07	40
07	5:50:00	7:17:28	37
08	5:50:00	7:20:26	40
09	5:45:00	7:18:25	33

Continúa en la siguiente página

RUTA	INICIO	LLEGADA PROMEDIO	CAPACIDAD BUS
10	6:00:00	7:09:22	40
11	5:30:00	7:11:38	33
12	5:50:00	7:15:57	40
13	6:20:00	7:17:29	40
14	6:10:00	7:10:26	40
15	6:15:00	7:12:38	40
16	5:50:00	7:16:41	33
17	5:50:00	7:24:04	37
18	5:40:00	7:10:19	37
19	5:50:00	7:14:25	33
20	6:10:00	7:11:22	37
21	6:10:00	7:11:16	40
22	6:05:00	7:04:05	40
23	6:05:00	7:17:54	24
24	6:00:00	7:13:36	40
25	5:40:00	7:19:13	40
26	5:15:00	7:18:00	33
27	6:00:00	7:16:38	40
28	6:30:00	7:19:37	37
29	5:50:00	7:24:52	33
30	6:20:00	7:17:26	40
42	5:55:00	7:13:24	16
43	6:20:00	7:23:31	16
44	5:40:00	7:17:59	16
45	6:00:00	7:18:28	21
46	6:15:00	7:23:05	21
47	5:55:00	7:21:47	21
48	6:05:00	7:18:15	16
49	6:00:00	7:15:28	16
50	6:10:00	7:21:49	16
51	6:00:00	7:20:18	16
52	5:55:00	7:17:41	16
53	5:50:00	7:22:38	16
54	5:30:00	7:07:52	16
55	6:00:00	7:09:05	24
PROMEDIO	5:56:27	7:14:58	1725

Fuente: Elaboración propia, en base a los mapas de las rutas y las tablas de registro

4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN BAJO LA METODOLOGÍA DE VECINO MÁS PRÓXIMO EN EL COLEGIO DE INGLATERRA – *THE ENGLISH SCHOOL*

4.1. Diseño del sistema de optimización de tiempos basado en el método de vecino más próximo

Como ha sido mencionado anteriormente, el diseño de este proyecto está basado en el sistema de optimización del Vecino Más Próximo. Para que este proyecto tenga mejores resultados se han definido las necesidades del colegio *The English School* de forma clara, con el fin de que el proyecto las pueda cubrir a mayor cabalidad. La institución está buscando maneras en las cuales se puedan mejorar los tiempos de recorrido de las rutas logrando que esto se refleje en que los estudiantes permanezcan el menor tiempo posible en el bus escolar. Para realizar este modelo se debe tener en cuenta que el sistema de organización de rutas es una actividad que se realiza una vez al año ya que antes de que las clases inicien ya se debe tener el rutero establecido. Por lo mencionado anteriormente, el sistema debe ser modificable y debe permitir calcular los tiempos de la ruta para cualquier momento de forma tal que, si hay ingresos o cambios de paraderos durante el transcurso del año, la información se pueda conocer de forma precisa.

Para poder dar inicio al proyecto, es necesario elegir una muestra dentro de las diferentes rutas que tiene el colegio en la actualidad ya que es necesario ir de lo más pequeño a lo más grande para que al tener un sistema claro, este pueda ser aplicado a todo el transporte escolar de la institución. Para comenzar, se debió tener en cuenta la cantidad de rutas que pasaban por ciertos puntos para definir cuál era la zona que debía ser controlada a la mayor brevedad posible. También se debió tener en consideración la variación de los tiempos de recogida de las rutas que hacían parte del sector ya que de esto dependía en gran medida la indisposición de los padres de familia. Con estas dos variables se llegó a concluir cuál sería la zona estudiada a profundidad. Para continuar, se seleccionó la variable del tiempo final de recorrido de cada ruta que hacía parte de la zona y con este elemento de decisión se encontró la ruta con la cual se realiza este proyecto.

Como puede ser visto, para realizar un proceso adecuado a la hora de seleccionar la muestra para el proyecto, se seleccionaron ciertas variables con el fin de llegar a encontrar los recorridos que eran más críticos. Al realizar el análisis correspondiente de las variables mencionadas en el párrafo anterior respecto a la variación de los tiempos, la cantidad de paraderos y la cantidad de rutas, se encontró que la zona más crítica de la ciudad era la de Chico. En este sector se generaba mucha redundancia en las rutas ya que una cantidad importante pasaba por los mismos puntos, haciendo que la variación de tiempos de recogida entre los estudiantes fuera muy alta.

Luego de tener claridad acerca del sector en el cual se debía enfocar el sistema, se buscó llegar a un detalle más alto para poder tener una información más minuciosa. Al ver las rutas del sector, se seleccionó el recorrido que generaba el mayor problema debido al alto tiempo existente desde el inicio del mismo hasta el final. Para realizar este análisis fue necesario tener en cuenta la información que la institución brindó para el proyecto respecto a los tiempos de recorrido de cada una de las rutas que hacen parte de la flota del horario de la mañana.

Debido a que la prioridad principal del colegio es reducir los tiempos de los recorridos, se plantea diseñar un sistema donde los tiempos sean la primera variable, las distancias la segunda, los tamaños del bus la tercera y los costos asociados la cuarta. Para esto, se debe entender que los costos asociados son los que se generan por la flota de transporte y la carga nominal de la asistente de disciplina que acompaña cada ruta. Este sistema debe tener la capacidad de asociar la dirección de cada estudiante a algún sistema de geo localización existente como lo puede ser a la aplicación *Google Maps®*, *Waze®*. Al lograr esta comunicación entre el sistema y la aplicación, se podrán calcular de forma directa los tiempos y las distancias entre los paraderos de la ruta. Estas dos variables deben ser registradas en tablas que relacionen todos los paraderos entre ellos.

Ambas herramientas de geo localización; *Google Maps®*, *Waze®*, son muy buenas y fácil de usar pero es importante para el proyecto resaltar las diferencias que existen entre las dos y razón por la cual se decidió escoger una sobre la otra. *Google Maps®*, tiene más de 15 años de conocimiento sobre las vías y tráfico de las ciudades fue de las primeras aplicaciones de geo localización creadas para el público, razón por la cual las personas se familiarizan muy bien con la herramienta, generando así una mayor confianza por parte de los usuarios. Debido a ser una empresa con tanta experiencia y grandes facilidades la herramienta de mapas es actualizada

constantemente por lo que en caso de variaciones en las vías o cerramientos por obras esta se actualiza muy rápidamente. *Waze®* por su parte es una plataforma mucho más reciente y a pesar que ha tenido gran acogida debido su efectividad en ocasiones aun presenta problemas, esto se debe a que a diferencia de *Google Maps®* que funciona con señales satelitales para el control del tráfico, *Waze®* depende directamente de sus usuarios para conocer el estado del tráfico ya que este se alimenta de la experiencia de estos. Razón por la cual en ocasiones no entrega información 100% correcto ya que hay usuarios que no entregan la información de forma verídica. Debido a estas razones y principalmente a que *Google Maps®* tiene acceso de las computadores y dispositivos móviles, mientras que *Waze®* solo lo tiene desde los dispositivos móviles fue que para este proyecto se seleccionó como herramienta para trabajar *Google Maps®*.

Por facilidad para la institución y con el fin de que se le pueda dar un manejo fácil a la propuesta, se decidió que la mejor forma para entregarle un sistema al colegio sería por medio de un archivo de tipo *Excel®* que se maneje a través de macros y el cual recopile toda la información en dos tablas y esté directamente asociado a *Google Maps®* para conocer los tiempos y distancias entre paraderos. Adicionalmente, con las macros el sistema será capaz de identificar los tiempos mínimos entre los paraderos para que de esta forma se trace el mejor recorrido para la ruta. Debido a que la primera variable que incide en la decisión es el tiempo y puede haber los mismos tiempos de un paradero hacia dos diferentes puntos, la macro podrá tomar en cuenta la distancia entre los mismos para tomar la decisión final. El objetivo de esto es que se pueda tomar una decisión más acertada y que el sistema realmente disminuya los tiempos y los recorridos de las rutas.

Como lo menciona una reconocida página de internet en el manejo de *Excel®*: “Las macros de Excel nos permiten automatizar tareas que realizamos cotidianamente de manera que podamos ser más eficientes en nuestro trabajo. Una macro no es más que una serie de comandos o instrucciones que permanecen almacenados dentro de *Excel®* y que podemos ejecutar cuando sea necesario y cuantas veces lo deseemos” (Introducción a los Macros, s.f). Con esto es posible afirmar que, al momento de juntar la tarea de optimización con los datos reales entre paraderos, se logrará obtener un sistema útil y de fácil manejo para el colegio. Adicional a esto, el sistema podrá entregar tablas que muestren el orden en el que se debe visitar cada paradero y los tiempos de

recogida y del trayecto entre los paraderos con el fin de que las personas responsables de la planeación puedan analizar y comprender de forma eficaz la información de la ruta.

La macro de Excel estará dividida en 6 grandes procesos, los cuales serán explicados a continuación:

1. Recopilación de la información. En este primer paso se busca conocer quiénes son los estudiantes de la ruta, cuál es su dirección y su código de identificación, El código se necesita debido a que, por facilidad de manejo de la herramienta, no se va a hacer uso de los nombres de cada estudiante.
2. Registro de las direcciones en la herramienta para que se calculen los tiempos entre los paraderos. A través de *Google Maps*® la macro va a buscar los tiempos y las distancias que hay entre la dirección del primer alumno y la del primer paradero. Luego el sistema calculará el tiempo de la dirección del primer estudiante con la del segundo paradero y así continuará hasta tener todos los tiempos que hay entre el paradero del primer alumno y los demás que hacen parte de la ruta.
3. Luego la herramienta continuará con el proceso para completarlo para cada uno de los estudiantes que hace parte de la ruta. Este punto es en el cual las direcciones deben ser ingresadas en la herramienta de forma manual.
4. Simultaneo al proceso de recopilación de tiempos y distancias, el sistema almacena la información en una tabla en la cual se relacionan todos los alumnos. Los tiempos van a quedar almacenados en una hoja del archivo de Excel y las distancias en otra.
5. Cuando los dos procesos anteriores estén completos, se dejará correr la macro para que esta calcule el primer alumno que se debe recoger tomando en cuenta el paradero al cual se toma el menor tiempo posible en ir desde el punto de origen. En caso de que exista un mismo tiempo hacia dos paraderos, la macro decidirá el siguiente alumno que se debe recoger de acuerdo a la distancia que se deba recorrer. Este proceso se llevará a cabo por medio de la metodología de Vecino Más Próximo hasta que se complete el recorrido total de la ruta. A lo largo del proceso la macro va a eliminar todos los datos que no son utilizados y solo dejará reflejados en la tabla aquellos por donde la ruta deba pasar.

6. A lo largo de esto, en otra hoja del archivo de Excel la información se va a almacenar y a juntar en una hoja que sea legible y fácil de entender dónde aparecerá en qué punto debe iniciar la ruta hasta el último paradero. Logrando entender todo el recorrido que debe hacer y cómo se va a hacer.

4.2. Implementación del sistema de optimización, para reducir los tiempos de desplazamiento de las rutas.

4.2.1. Planeación de la macro

Como fue mencionado anteriormente, el sistema de transporte es un tema crucial para el colegio *The English School* debido a que hace parte de su funcionamiento diario y es un elemento de gran incidencia en el bienestar de sus estudiantes. En la actualidad el sistema de transporte con el que cuenta la institución está compuesto por 53 buses escolares, los cuales deben cubrir todos los paraderos de los estudiantes que utilizan el servicio. Para realizar la optimización del transporte escolar que tiene la institución hoy en día, se seleccionó la ruta más crítica como muestra para el desarrollo de una simulación que se realizó en este proyecto. El factor crítico que se evaluó para seleccionar la muestra fue el del tiempo que se demora el vehículo en completar el recorrido diario. Al realizar un análisis de los tiempos de recorrido de las diferentes rutas, se encontró que la ruta 1 se tarda 138 minutos en la actualidad, siendo el tiempo más alto en el recorrido de las rutas, por lo cual se eligió como muestra del proyecto.

Para realizar la simulación se utilizó una adaptación el modelo de transporte de VMP, con el fin de encontrar el recorrido óptimo para que la ruta reduzca el tiempo en el cual cubre todos los paraderos. La variación con respecto al modelo original consiste en que este método tiende a suponer que la distancia y/o tiempo que toma para llegar del punto A al B es exactamente el mismo al realizar la ruta en sentido contrario, de tal forma que una matriz de este tipo estaría reflejada, siendo $AB=BA$. Para nuestro caso no se puede considerar esto como una premisa válida dado que en las rutas tomadas en Bogotá se deben contemplar calles de una sola vía, semáforos adicionales

e incluso la propia tendencia de tráfico en cada uno de los sentidos de la vía, entre muchos otros factores que adicionan tiempo y distancia a alguna de las dos rutas.

Para comenzar, se realizó una matriz de 26 X 26 en el programa *Excel*® en la cual las filas y las columnas representan cada uno de los paraderos que debe cubrir la ruta. Aunque el tamaño de la matriz podrá ser modificable dependiendo de la ruta que se vaya analizar. Para comenzar a completar las celdas de la matriz, se le asignó un número del 0 al 24 a cada paradero con el fin de acomodarlos en la matriz, siendo 0 la ubicación del colegio representado como punto de origen y de destino de todo el sistema. Luego de esto, se procedió al llenado de la matriz poniendo los números del 0 al 24 en la primera fila y columna, en orden descendente. Para continuar se buscaron los datos de tiempo y distancia por recorrido entre cada uno de los paraderos. Con los datos hallados, se procede a completar la matriz poniendo el dato en la celda que corresponde a los dos puntos que se buscaron. Al realizar este proceso de búsqueda de tiempo entre cada uno de los paraderos, se obtuvo la matriz completa y de esta forma se puede dar inicio a la simulación.

Para encontrar los tiempos y distancias entre los paraderos fue necesario hacer uso de la herramienta de *Google Maps*®. Este servicio del buscador les permite a los usuarios saber el tiempo y la distancia que existe entre un punto origen y uno destino. Para encontrar los tiempos se seleccionaba un paradero como punto A y luego en punto B se iban ingresando las direcciones de los otros paraderos para llenar la matriz. Esta operación se realizó con cada paradero como origen hasta que se completó la matriz, este es un proceso en el cual se deben ingresar las direcciones manualmente.

En la tabla que se construye con los tiempos, se presenta una situación en la cual dos paraderos pueden ser los “vecinos más próximos” para un solo origen, por este motivo se debió generar una segunda matriz con las distancias entre los puntos. Esta segunda matriz se construye de la misma manera en la cual se llevó a cabo la primera, pero en esta ocasión se eligen las distancias arrojadas por *Google Maps*®. El funcionamiento de esta matriz es igual al primero que fue explicado, con el fin de funcionar como soporte para tener información más completa al seleccionar el paradero. De este modo se ubica el paradero más cercano al origen cuando se presenta el caso en el que dos o más “vecinos más próximos” tienen el mismo tiempo desde el origen.

4.2.2. Creación de la marco

1. Se crean las variables de la macro como valores íntegros, es decir, numéricos que pueden cambiar en cualquier momento.
2. Se asigna a todas las variables el valor 0 como predeterminado con el fin de que cada momento que la macro corra, estos datos estén en cero y no haya problemas de error excepto a la variable *intFilaVerifica* que se asigna con un valor predeterminado de 2.
3. En la hoja Profundidad se toma el campo B1 que debe contener el número de paraderos en la ruta. En esa casilla debe existir un número de valor entero. Este número se asigna a la variable *intProfundidad*
4. Se asigna la variable *intMenor* igual a la variable *intProfundidad*
5. La hoja donde se tiene toda la información de los paraderos se llena con la letra “X” la interacción de cada paradero es decir donde cruza el dato de la comuna 1 con la fila 1. Este proceso se repite hasta completar todas las intersecciones de la hoja de datos. Que para que funcione la macro se llama una hoja con el mismo nombre.
6. Luego inicia todo el procedimiento de encontrar lo valores mínimos. Siempre inicia en la fila 0 y va buscar el valor menor de esa fila, la cual lo buscará y guardará con la variable *intMenor* al mismo tiempo se captura en que columna está el dato para poder proseguir con la matriz. El almacenamiento de la columna se hace con la variable *ColumnaMenor*. Igualmente también guarda la posición del dato en el cual recopila la información de la columna y fila para que este no sea borrado, esto se hace con la variable *PosMenor*.
7. Después borra todos los datos de la fila y los datos de la columna donde encontró el valor menor de esa fila. Estos se hace remplazando todos los datos por vacío, que se encontrará con la expresión “ ”.
8. Inicia la repetición de encontrar el siguiente dato ubicándose en el numero la fila que correspondió a la columna donde está el menor dato es decir se ubica en la fila de *ColumnaMenor*.
9. Se repiten los pasos 6,7 y 8 hasta completar todas las columnas, se sabe el número que se debe repetir la operación por el número que está guardado en la variable *intProfundidad*.

4.2.3. Ejecución del macro

Al tener las matrices completas, fue necesario programar los comandos para que el simulador diseñado en Excel corriera con éxito. Al finalizar el simulador, se puso a correr con el fin de que encontrara el recorrido óptimo. Lo que hace esta herramienta, es tomar el punto origen en la fila y buscar el paradero de menor tiempo en las columnas, luego lo selecciona como el primero al que se debe dirigir el vehículo. Cuando se encuentra el “vecino más próximo” se eliminan tanto la fila como la columna correspondiente al origen para que no se tenga en cuenta posteriormente en el sistema, de esta forma aseguramos que cada punto será tomado una única vez. En el momento en el cual se pone a correr el simulador, las dos matrices hacen parte del proceso ya que son complementarias. Al momento que se eliminan tanto la fila como la columna de la matriz de tiempos, desaparecen las mismas en la de distancia. Luego de esto el simulador toma el paradero que resultó como el vecino más próximo, en la fila, y busca el siguiente más cercano. En este caso se eliminan también la fila y la columna que fueron utilizadas. Este proceso continúa hasta que las matrices estén vacías y se halla la solución de optimización.

Con este simulador se busca encontrar el resultado del mejor recorrido para la ruta. En este proyecto se realiza la simulación para una sola ruta que, como ya fue mencionado anteriormente, era la más crítica para el sistema de transporte escolar del colegio *The English School*. A pesar de esto, el simulador ha sido diseñado y estandarizado de tal forma que el proceso pueda llevarse a cabo con cada una de las rutas con las que cuenta la institución.

5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN BASO EN EL VECINO MÁS PRÓXIMO

5.1. Presentación de resultados

Con la implementación del sistema de optimización del transporte escolar de la Fundación Colegio de Inglaterra – The English School, se obtuvieron resultados importantes para la institución. Para comenzar, se llegó a un tiempo promedio de las rutas de 1:17:22 cuando se toman los promedios de cada una y se les saca el mismo a esas. Con el nuevo sistema de transporte, la flota de transporte total está compuesta por 49 vehículos y con esto el número total de puestos que se contratan es de 1.623. Con los cambios que se han generado en el colegio, se cuenta actualmente con 1.386 estudiantes que hacen uso del servicio de transporte que ofrece la institución educativa, generando un índice de ocupación del 85,4%.

El sistema de optimización para el transporte escolar de la institución se implementó en la zona del Chicó, debido a que las rutas de esta eran las más relevantes en términos de tiempos promedio de duración del recorrido. Al analizar las rutas, se debió implementar en la número 17 debido a que esta era la que más tardaba en cumplir el recorrido que le correspondía. Luego de la implementación de este proyecto, se cuenta con 4 rutas en esta zona crítica las cuales pueden ser observadas en siguiente tabla. (Ver tabla 5)

Tabla 5
Tiempos de duración de recorrido de los vehículos actuales

VEHÍCULO	DURACIÓN
RUTA 17	1:25:00
RUTA 18	1:03:00
RUTA 19	1:17:00
RUTA 20	1:03:00

Fuente: Elaboración propia en base a los datos actuales de las rutas.

Con los tiempos que se muestran en la tabla 5, la satisfacción del cliente está en 92,2% luego de una encuesta realizada por la institución para conocer lo que los padres de familia sienten respecto al servicio prestado. Esta satisfacción se generó afectando a 37 estudiantes que hacían

parte de la ruta 17 al momento de aplicar el sistema de optimización de transporte propuesto por medio de este proyecto. Además, con la implementación de mejora fue posible eliminar dos rutas que ya no eran necesarias para el sistema las cuales acumulaban tiempos de 1h 20m y 1h 13m.

Sumándose a los cambios que se generaron en los tiempos se pueden ver los cambios significativos que se presentaron en términos de costos de la operación. Con la implementación del sistema de transporte propuesto, los costos en 2015 fueron de \$131.978.044 para agosto y de \$293.999.292 para el mes de septiembre. Es importante tener en cuenta que estos costos corresponden a 12 y 22 días de operación.

En la tabla 6 se pueden ver los costos que se generaron para la Fundación Colegio de Inglaterra – The English School en agosto y septiembre de 2015 por el servicio de transporte. El incremento que se puede percibir en la facturación total entre agosto y septiembre se genera debido a los 10 días más de servicio prestado en el segundo mes. Cuando se ve el costo promedio diario, se puede percibir que el incremento no fue tan alto como en el acumulado ya que en este caso se incrementa en \$2.365.434. (Ver tabla 6)

Tabla 6
Facturación agosto y septiembre 2015

MESES	COSTO FACTURA 2015	COSTO PROMEDIO DÍA 2015
TOTAL AGOSTO	\$131.978.044	\$10.998.170
TOTAL SEPTIEMBRE	\$293.999.292	\$13.363.604

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de la facturación de TESCOTUR LTDA para la Fundación Educativa de Inglaterra

Al comparar los costos del último año sin el incremento en la tarifa contra los costos del 2014 se evidencia el ahorro que se ha alcanzado con relación al costo promedio por día. Al eliminar el incremento de la tarifa los decrecimientos en los costos son bastante significativos, generando un ahorro aproximado del 11% sobre la tarifa base del 2014. Estos beneficios obtenidos a partir de realizar el ejercicio únicamente sobre la muestra evidencian el potencial que tiene la herramienta, en términos de reducción de costos, al utilizarla para la planeación de cada una de las rutas que sean necesarias para el periodo escolar.

5.2. Análisis de los resultados

Al iniciar el proyecto, la Fundación Colegio de Inglaterra – The English School contaba con 55 rutas en la mañana con un tiempo promedio de recorrido de 1:18:31. Con la implementación de la propuesta de optimización, como ya fue mencionado anteriormente, este tiempo promedio se vio reducido a 1:17:22. Con esto, se puede ver que se generó una reducción de 01:09 en los tiempos promedio de duración del recorrido de las rutas en la mañana con una variación de -1%. A pesar de que la variación total no fue tan alta, esto generó un cambio importante en la percepción del cliente y esto se pudo medir por medio del indicador de nivel de servicio. Anteriormente el nivel de servicio era de 84,27% cuando se realizó la encuesta a los clientes contando con el sistema de transporte antiguo, con las modificaciones se logró llevar el indicador al 92,2% alcanzando la meta inicial que había sido impuesta por la institución. Con esto se puede ver que se generó un aumento de 8% quedando así a menos de 2 puntos de la nueva meta impuesta por el colegio la cual es de 94%. En el pasado, con el 84,27% de satisfacción de los clientes el indicador se encontraba a 7,73% del objetivo impuesto que era de 92%.

Con el sistema que usaba la institución en el pasado, se tenían contratados 1.725 puestos para prestar el servicio de transporte pero de estos solo se utilizaban 1.326 los cuales correspondían al 77%. En la actualidad 1.386 alumnos hacen uso del servicio prestado por la institución y esta tiene contratados 1.623 puestos para este fin. Con esto se puede ver que se pasó de hacer uso de solo el 77% de la capacidad contratada en las rutas al 85% con la optimización propuesta.

Como ya fue mencionado anteriormente, la muestra seleccionada fue la correspondiente a la zona del Chicó donde se encontraban 83 paraderos y tenía 6 rutas asignadas. A pesar de que todas las rutas tardaban mucho en completar su recorrido, fue necesario seleccionar la que más problemas presentaba y por este motivo la muestra que se tomó fue la ruta 17. Antes de los cambios que se generaron con el sistema propuesto en este proyecto, la ruta tenía un tiempo promedio de 1:34:00, contaba con 37 estudiantes y el recorrido era de 14km. La tabla 7 muestra los tiempos promedio de recorrido de todas las rutas que hacían parte de la zona de Chicó.

Tabla 7***Tiempos de duración de recorrido de los vehículos antes de la implementación***

VEHÍCULO	DURACIÓN
RUTA 17	1:34:00
RUTA 18	1:30:00
RUTA 3	1:15:00
RUTA 20	1:01:00
RUTA 51	1:20:00
RUTA 48	1:13:00

Fuente: Elaboración propia en base a los datos actuales de las rutas.

Como se puede ver en la tabla 7, esta zona tenía tiempos promedio superiores al promedio general de la flota de transporte total. Con la implementación del sistema de optimización propuesto, se generaron bastantes cambios en la zona y los tiempos de duración cambiaron positivamente. (Ver tabla 8)

Tabla 8***Cambios en las rutas del sistema de transporte escolar con nuevo tiempo promedio***

VEHÍCULO ANTERIOR	VEHÍCULO NUEVO	DURACIÓN ANTERIOR	DURACIÓN NUEVAS
RUTA 17	RUTA 19	1:34:00	1:34:00
RUTA 18	RUTA 18	1:30:00	1:30:00
RUTA 3	RUTA 17	1:15:00	1:15:00
RUTA 20	RUTA 20	1:01:00	1:01:00
RUTA 51	DESAPARECIÓ	1:20:00	1:20:00
RUTA 48	DESAPARECIÓ	1:13:00	1:13:00

Fuente: Elaboración propia en base a los datos actuales y después de los cambios de las rutas.

Este sistema tenía como foco mejorar la eficiencia de la ruta 17 y esto se logró en 27 minutos y también se logró dar inicio a la ruta a las 6am, dando 10 minutos adicionales a los estudiantes para estar en su hogar. Con este tiempo adicional, a pesar de que no es muy alto, los estudiantes tienen una mejor calidad de vida debido a que pueden extender su horario de sueño. Con 10 minutos más de sueño, los estudiantes perciben un mejor descanso y se puede afirmar que están más satisfechos con su hora de recogida. Por otro lado, se puede ver que es un caso de alto éxito debido a que anteriormente la ruta contaba con 37 estudiantes y en la actualidad 40 hacen uso de la misma. Finalmente, en el caso de la ruta 17 se bajó el recorrido a 12km, bajándolo 2km respecto al anterior.

En la comparación entre los tiempos de recorrido de algunas rutas se puede ver que en algunos casos se presentó un aumento, esto se debe a que en la mayoría de las rutas se generó un aumento en la cantidad de estudiantes que hacen parte de las mismas. Por otro lado, en la tabla 8 los aumentos que se dan respecto al sistema anterior se pueden ver debido a que dos rutas desaparecieron y fue necesario hacer una redistribución.

A pesar de que el enfoque que se propuso para esta optimización fue en términos de tiempo, es importante tener en consideración la variación que se presentó año a año en términos de costos con los cambios que fueron implementados.

En la tabla 9 se pueden ver los costos de facturación de agosto y septiembre para el año 2015. Al comparar esta figura con la tabla 6 que fue presentada anteriormente, se puede encontrar que los costos presentados son diferentes a pesar de que son de las mismas fechas. El motivo para que se presente este cambio entre tablas es que del año 2014 al 2015 se presentó un incremento de tarifas de 5,13%, en la tabla 6 se mostraron los resultados con este incremento mientras que en la tabla 9 se les restó este porcentaje a los valores originales con el fin de lograr un análisis más apropiado.

Tabla 9
Costos facturación 2015 sin incremento

MESES	DÍAS HABILES SERVICIO PRESTADO 2015	COSTO FACTURA	COSTO PROMEDIO DÍA
TOTAL AGOSTO	12	\$125.207.570	\$10.443.964
TOTAL SEPTIEMBRE	22	\$278.917.128	\$12.678.051

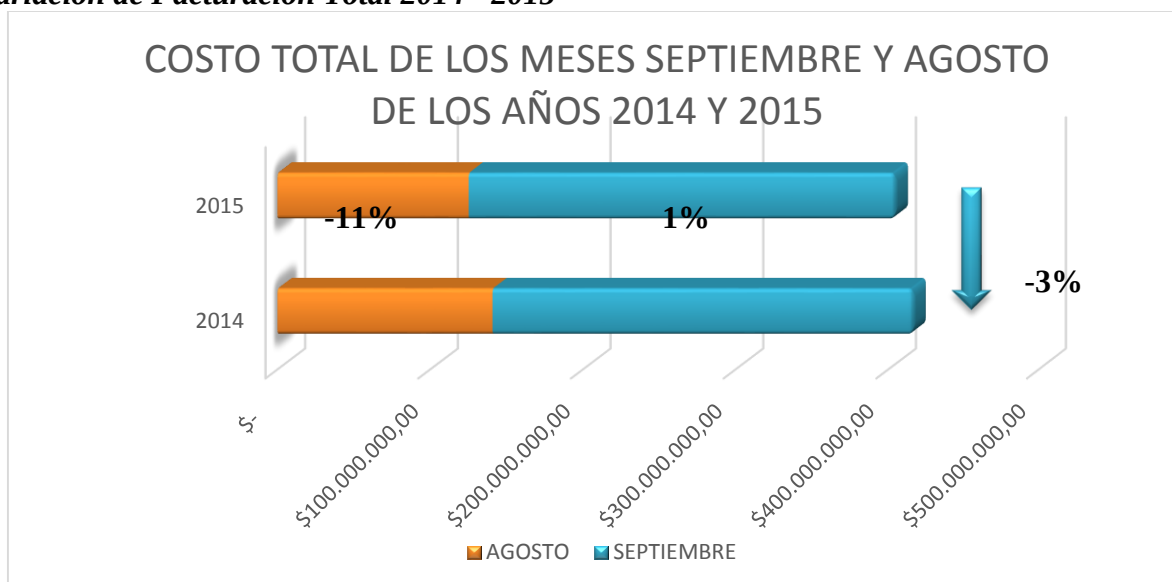
Fuente: Elaboración propia en base a los datos actuales de la facturación

Para analizar de forma detallada los costos, es necesario ver la variación de los mismos en los meses y años en los cuales fueron tomados en consideración. Para comenzar, se puede ver la Gráfica 2 que está mostrando la variación porcentual del total de la facturación mensual de agosto y septiembre para 2014 y 2015. Al ver esta gráfica se puede ver que la variación más alta se presentó de agosto de 2014 al mismo mes de 2015 la cual corresponde a un decrecimiento de 11% en costos. En el mes de septiembre no se dio un cambio notorio ya que se generó un incremento de un 1% comparando los 2 años. A pesar del pequeño crecimiento que se presentó en el segundo mes, es importante tomar en consideración la variación porcentual que se registró con la suma de

la facturación total de los dos meses en cada uno de los años estudiados. Al tener en cuenta esta variación se puede ver que se presenta un decrecimiento de 3%.

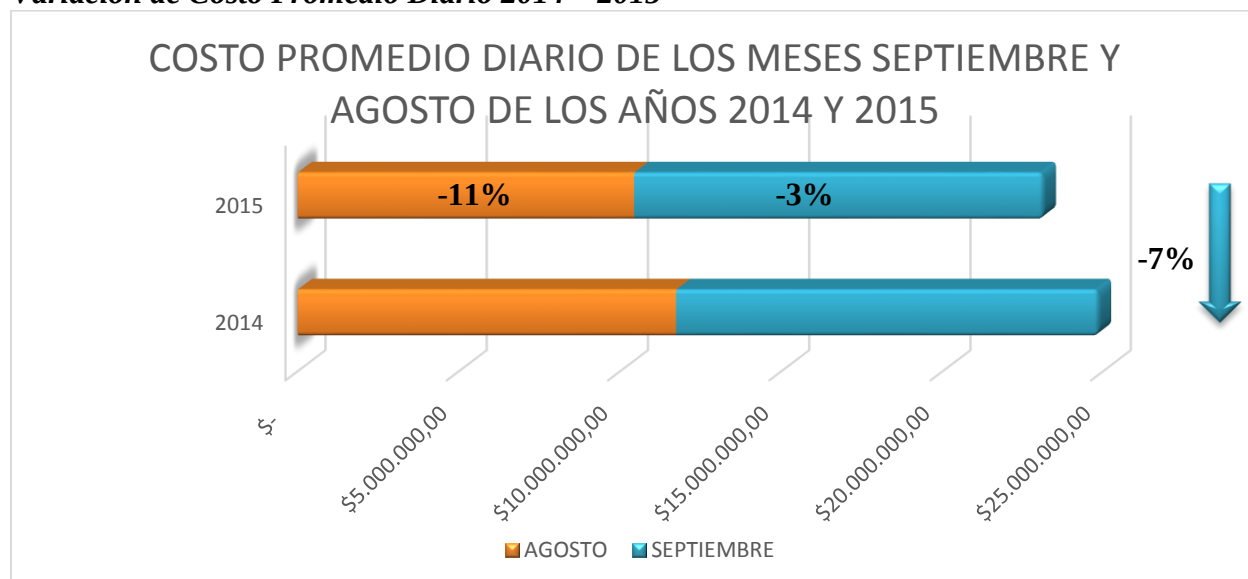
A pesar de que en la facturación total se evidencian los cambios de costos que se presentan gracias a la implementación del sistema propuesto, los avances en dinero se ven más claro en la gráfica 3. En este diagrama se están mostrando las variaciones porcentuales de acuerdo al costo diario promedio de cada mes. Para comenzar, se puede evidenciar que el costo diario promedio de agosto 2014 al mismo mes en 2015 tuvo un decrecimiento de 11% el cual coincidió con el de la facturación total. Al realizar un análisis del mes de septiembre, se puede evidenciar que en este caso si se presenta un decrecimiento y es de 3%, contrario al momento de tomar la facturación total del mes en donde se generó un incremento de 1%. Finalmente, al tomar la suma de los promedios diarios de agosto y septiembre en 2014 y 2015 se puede ver que la variación presentada fue de -7% lo cual demuestra el gran impacto que tuvo esta implementación.

Gráfica 2
Variación de Facturación Total 2014 - 2015



Fuente: Elaboración propia en base a los datos de la facturación de 2014 y 2015 de los meses agosto y septiembre de por los servicios prestados dela empresa TESCOTUR LTDA.

Gráfica 3
Variación de Costo Promedio Diario 2014 – 2015



Fuente: Elaboración propia en base a los datos de la facturación de 2014 y 2015 de los meses agosto y septiembre de por los servicios prestados dela empresa TESCOTUR LTDA.

Si bien es cierto que los cambios más impactantes se dieron en lo referente a los recorridos como tal, también es importante ver los cambios que se generaron en términos operativos. Para comenzar, se pasó de la recolección manual de la información a un sistema que es completamente computarizado. Este cambio hace que la información sea más precisa y esté en tiempo real al alcance de todas las personas que lo necesitan. Por otro lado, en el pasado se hacía uso de un mapa físico para que se pudieran trazar los recorridos manualmente. En la actualidad, por medio de *Google Maps®* se generó un mapa digital para que se pueda aplicar la optimización con una mayor facilidad con los cambios que se den por ingresos o salidas de estudiantes de la institución.

Con la optimización del sistema de transporte también se pudieron ver cambios en la nómina que corresponde a esta actividad del colegio. En el pasado se contaba con 57 asistentes de disciplina para cubrir la flota de transporte que se estaba manejando. Con los cambios que se dieron en el sistema de transporte se logró reducir este número a 53, logrando una reducción de costos importante.

Efectividad vs esquema anterior: Según la macro los tiempos de la ruta debería ser de 51 minutos desde el primer estudiante hasta el último, sin tener en consideración el recorrido del paradero final al colegio. *Google Maps*® dice que la ruta se debe demorar 1:02 minutos haciendo el recorrido del primer al último paradero. Esto se debe a que cuando se extrajeron los datos al *Excel*® no se tuvieron en cuenta datos picos es decir todos los tiempos entre los paraderos son cortos pero el tiempo hasta el colegio podía implicar de 18 a 22 minutos por eso en la matriz no se tienen en cuenta el último paradero como si fuera el colegio sino el último estudiante. Entonces por eso cuando se traza la información en *Google Maps*® y se comprara con la información del macro se tiene una diferencia de 11 minutos puesto que en este ya se incluye el tiempo de desplazamiento hasta el colegio.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

A lo largo de este trabajo se obtuvo un diagnóstico preciso de la situación actual en la que se encontraba el sistema de transporte en el colegio. Para comenzar, se pudo encontrar que a pesar de que el colegio estaba teniendo la capacidad de cumplir con transportar a los estudiantes en los trayectos requeridos, esta actividad se estaba llevando a cabo de una forma completamente ineficiente. Durante los años en los cuales se venía prestando el servicio de transporte para los estudiantes, estos se estaban viendo afectados por la falta de sistematización de la planeación ya que no se estaba alcanzando el nivel de servicio deseado.

Por otro lado, se encontró que la institución educativa que fue estudiada por medio de este trabajo estaba generando procesos dobles debido a la forma en la cual se recolectaba la información. Al tener que buscar en diferentes medios, los procesos se demoraban más de lo normal y se debían repetir en caso de que no se encontrara el resultado en la primera búsqueda. Además de esto, con la información obtenida es posible afirmar que se estaban generando errores en la planeación debido a que al ser completamente manual, el error humano estaba latente a la hora de realizar el mapeo.

Al ver esto y compararlo con los resultados que se presentaron cuando se logró implementar el sistema de optimización en el funcionamiento del servicio de transporte, se puede ver que los cambios generan impactos positivos en el manejo del mismo. Para comenzar, se puede concluir que al aplicar el sistema propuesto en todo el servicio se van a generar mejoras de gran evidencia, las cuales permitirán que cada día la percepción del cliente sea mejor. Por otro lado, también se puede concluir que, al tomar como referencia los resultados obtenidos al optimizar solo una ruta, los costos para el colegio van a llegar a los deseados al aplicar el sistema de optimización en todo el transporte escolar.

Con estos resultados, se puede concluir que el diseño y la implementación de este sistema se hicieron bajo un esquema que se apegaba a las necesidades del Colegio de Inglaterra – *The English*

School. Luego de entender cada inconveniente que estaba teniendo el plantel y explorar las posibilidades, la solución planteada se ajustó a sus oportunidades y por este motivo los resultados obtenidos fueron los esperados.

Para finalizar, se puede concluir que el sistema de optimización de transporte que se planteó a través de este trabajo fue exitoso debido a la forma en la cual permitió cumplir los objetivos planteados para el mismo. A través de este estudio se logró diseñar un sistema de transporte que minimizó los tiempos de recorrido de la ruta escolar a la que fue aplicado. Al ver esto, se concluye que al aplicarlo en la generalidad de las rutas se va a obtener una minimización total de los tiempos de recorrido durante el turno de la mañana.

6.2. Recomendaciones

El objetivo principal de este proyecto era darle al Colegio de Inglaterra – *The English School* – un sistema que le permitiera optimizar el sistema de transporte con el que contaba en el momento en que se estudió. Como ya fue mencionado anteriormente este objetivo se logró debido a que se ofreció una alternativa mediante la cual la institución puede llevar a cabo una mejora en su funcionamiento del transporte. A pesar de este cumplimiento, es posible afirmar que existen algunas recomendaciones que puede tener en cuenta el colegio con el fin de que cada día tenga un incremento en las mejoras en la prestación del servicio.

Para comenzar, es recomendable que el colegio mencionado aplique el sistema propuesto en la totalidad de las rutas divididas por zonas. Debido a que este proyecto era una propuesta, el sistema de optimización se aplicó a una muestra seleccionada por lo crítica de la condición. Para que el proyecto tenga el alcance necesario y de la solución óptima a la totalidad del sistema de transporte del Colegio de Inglaterra – *The English School* – es necesario que las mejoras se hagan en cada una de las rutas. Con la implementación del nuevo sistema en todos los elementos de transporte del colegio se va a lograr obtener la mejora en la totalidad y así llegar a los resultados deseados.

Para continuar, es posible afirmar que el colegio puede optar por una mejora en el modelo incluyendo una cantidad mayor de elementos con el fin de poder ver el espectro de forma total. Para el planteamiento del sistema de optimización propuesto en este proyecto, se tuvieron en cuenta los errores humanos que se estaban cometiendo en la institución, sin embargo, para tener un resultado más preciso se podrían tomar en consideración otros elementos y así ampliar el modelo. Dentro de las variables se puede considerar la capacidad de cada ruta con el fin de poder ampliar la reducción de costos y optimizar la contratación que se lleva a cabo. Al tener una mayor claridad de las variables que son externas al factor humano, se estaría llegando más a fondo de la oportunidad presentada en la institución y de esta forma la optimización sería más efectiva.

Además de lo mencionado anteriormente también se puede buscar generar una mayor profundización en el modelo de VPN. Con esta profundización, llegarían a aplicar el modelo más avanzado y con esto lograrían encontrar la ubicación para cada nuevo punto con mayor precisión. Al tener un modelo más profundo de la teoría aplicada, se puede obtener un avance más cercano al deseado en términos de optimización en el colegio.

Finalmente, el colegio debe considerar la implementación de sistemas más avanzados con el fin de poder tener una automatización total de los procesos. Al estar a la vanguardia de la tecnología, el Colegio de Inglaterra – *The English School* – va a poder llegar a un nivel de procesamiento de datos tan específico que va a llegar al punto en el cual las modificaciones en el sistema de transporte serán automáticas al ingresar la dirección. Con esta última modificación el colegio va a tener mayor facilidad y menor margen de error al momento de manejar la prestación del servicio de transporte.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Algoritmo para la Asignación de Rutas. (s.f). Universidad Pública de Navarra. Consultado el 2 de noviembre de 2015, de http://www.imac.unavarra.es/web_imac/pages/investigacion/proyectos_investigacion/ForoVerde/retornos/Informe_retornos_01.pdf
- Arias Rojas, J.S. (2010). *Aplicación de un Modelo de Optimización en la Planeación de Rutas de los Buses Escolares del Colegio Liceo de Cervantes Norte*. (Trabajo de Grado para Ingeniería Industrial). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Arias, R. J., Jiménez, J. F., & Montoya, J. R. (2012). Solving of School Bus Routing Problem by Ant Colony Optimization. *Revista EIA*, (17), 193 – 208.
- Ballou, R.H. (2004). *Logística: Administración de la Cadena de Suministro*. México: Pearson Educación.
- Barajas Mora, W.N. (2009). Desarrollo de un Algoritmo Heurístico para Establecer las Rutas de Transporte Escolar de la Secretaría de Educación de Bogotá. (Tesis de Magíster en Ingeniería de Sistemas y Computación). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Bektas, T., & Elmas, S., (2007) Solving School Bus Routing Problems Through Integer Programming. *The Journal of the Operational Research Society*, 58(12), 1599 – 1604.
- Belles Samperaa, J., Ventura Pedret, S., Gomis Castellvi, Magda., & March Amengual, J. M. (2011). Rutas de Recogida de Muestras y Error en el Proceso Analítico. *Revista del Laboratorio Clínico*, 5(1), 10 – 17.
- Alcaldía Bogotá. (2015) *Decreto 348 de 2015* Consultado el 7 de marzo de 2015, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=60962#98>
- Calmaestra, L. B. (2005). Descartes 2D. Consultado el 21 de abril de 2015, de http://recursostic.educacion.es/descartes/web/materiales_didacticos/prog_lineal_lbc/historia_pl.htm.

- Colegio de Inglaterra (2014). *Datos y Perfil- Cantidad de Alumnos Transporte*. Consultado el 11 de noviembre de 2014, de <http://www.englishschool.edu.co/es/nuestra-identidad-4/datos-y-perfil>.
- Colegio de Inglaterra (2014). *Nuestra Filosofía Misión, Visión, Objetivos Clave*. Consultado el 11 de noviembre de 2014, de <http://www.englishschool.edu.co/es/nuestra-identidad-4/nuestra-filosofia>.
- Consultores, T. (2014). *Tencologica Consultores*. Consultado el 14 de marzo de 2015, de <http://www.tecnologicaconsultores.com/2008/03/sistemas-de-informacion-en-procesos-logisticos/>.
- Contreras Pinto, C.M., & Díaz Delgado. M.F. (2010). *Métodos Heurísticos para la Solución de Problemas de Ruteo de Vehículos con Capacidad (CVRP)*. (Trabajo de Grado de Ingeniería Industrial). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Decreto 348 de 2015. República de Colombia. Ministerio de Transporte (2015) *Por el cual se reglamenta el servicio público de transporte terrestre automotor especial y se adoptan otras disposiciones*. Consultado el 11 de marzo de 2015, de <http://wp.presidencia.gov.co/sitios/normativa/decretos/2015/Decretos2015/DECRETO%20348%20DEL%2025%20DE%20FEBRERO%20DE%202015.pdf>.
- Euchi, J., & Mraihi, R. (2011). *The urban bus routing problem in the Tunisian case by the hybrid artificial ant colony algorithm*. Swarm and Evolutionary Computation, (2), 15-24.
- Introducción a los Macros*. (s.f). Excel Total. Consultado el 9 de noviembre de 2015, de <https://exceltotal.com/introduccion-a-las-macros/>.
- Johnson, D.S., Gutin, G., McGeoch, L.A., Yeo, A., Zhang, W., & Zverovitch, A. (2007). *Experimental Analysis of Heuristics for the ATSP*. En G. Gutin & A. P. Punnen (Eds.), *The Traveling Salesman Problem and Its Variations*. (pp. 445 – 487). Springer US.
- L. Y. O. Li & Z (2002) *The School Bus Routing Problem: A Case Study*. The Journal of the Operational Research Society, 53(5), 552 – 558.

- Marín Chamia, A. (2013). *El Problema de Ruteo de Vehículos de Transporte Escolar: Una Revisión Bibliográfica*. Consultado el 7 de marzo de 2015, de http://www.academia.edu/5439931/El_Problema_de_Ruteo_de_Veh%C3%ADculos_de_Transporte_Escolar.
- MATLAB. (2015). Optimization Toolbox. The MathWorks, Inc. Consultado el 5 de mayo de 2015, de <http://www.mathworks.com/products/optimization/>.
- Nisbet, R., Elder, J., & Miner, G. (2009). *Handbook of Statistical Analysis & Data Mining Applications*. Canada: ELSEVIER.
- Papadopoulos, A.N., & Manolopoulos, Y. (2005). *Nearest Neighbor Search. A Database Perspective*. New York, NY, Springer.
- Park, J., & Kim, B. (2010). *The School Bus Routing Problem: A Review*. European Journal of Operational Research. 202(2), 311 – 319.
- Problema del Agente Viajero – TSP* (s.f). Ingeniería Industrial Online. Consultado el 2 de noviembre de 2015, de <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigaci%C3%B3n-de-operaciones/problema-del-agente-viajero-tsp/>.
- ¿Qué son Google Maps y Earth?* (s.f). Consultado el 2 de noviembre de 2015, de <http://e-forma.kzgunea.net/mod/book/view.php?id=1355>.
- Resolución 1565 de 2014. República de Colombia. Ministerio de Transporte (2014). *Por la cual se expide la Guía metodológica para la elaboración del Plan Estratégico de Seguridad Vial (Vol. 0001565)*. Bogotá, Colombia. Consultado el 9 de enero de 2015, de <http://www.rentingcolombia.com/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheadname1=content-type&blobheadname2=Content-Disposition&blobheadname3=MDT-Type&blobheadvalue1=application%2Fpdf&blobheadvalue2=inline%3B+filename%3Dmyfile&blobheadvalue3=abinary%253B%2Bcharset%253DUTF-8&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1266524319529&ssbinary=true>.

- Riera, J., & Salazar, J., (2012) *Solving School Bus Routing Using the Multiple Vehicle Traveling Purchaser Problem: A Branch-and-Cut Approach*. El Sevier, (39) 391 – 404.
- Robusté Antón, F. (2005). *Logística del Transporte*. Catalunya: Ediciones UPS
- Tecnología Consultores. (2008). *Sistemas de Información en Procesos Logísticos*. Consultado el 11 de noviembre de 2014, de <http://www.tecnologisticaconsultores.com/2008/03/sistemas-de-informacion-en-procesos-logisticos/>.
- The Nearest Neighbor Algorithm*. (s.f). Austin Community College District. Consultado el 2 de noviembre de 2015, de <http://www.austincc.edu/powens/+Topics/HTML/06-5/06-5.htm>.
- Williams, M. & Ornelas, C. (2007). *Optimización y la Programación Lineal: Una Introducción. (Reporte de Investigación)*. Consultado en marzo de 2015, de <http://fglongatt.org/OLD/Reportes/RPT2007-07.pdf>.
- Yamada. T., & Febri, Z. (2015) *Freight Transport Network Design Using Particle Swarm Optimization in Supply Chain – Transport Supernetwork Equilibrium*. El Sevier, (75) 164 – 187.