

**APLICACIÓN DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN EN LA PLANEACIÓN DE  
RUTAS DE LOS BUSES ESCOLARES DEL COLEGIO LICEO DE CERVANTES  
NORTE**

**TRABAJO DE GRADO**  
Presentado como requisito parcial para la obtención del título de  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR:**  
**JUAN SEBASTIÁN ARIAS ROJAS**

**DIRECTOR:**  
**ING. JOSÉ FERNANDO JIMÉNEZ**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE PROCESOS PRODUCTIVOS**  
**BOGOTÁ**  
**2010**

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 OBJETIVOS.....	6
1.1.1 Objetivo General .....	6
1.1.2 Objetivos Específicos.....	6
1.2 MOTIVACIÓN .....	7
1.3 ALCANCE .....	8
1.4 PLAN DE LECTURA.....	8
2. MARCO TEÓRICO .....	10
2.1 LOGÍSTICA, DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE.....	10
2.2 PROBLEMAS DE PLANEACIÓN DE RUTAS.....	10
2.2.1 El problema del agente viajero (TSP) .....	10
2.2.2 Planeación de rutas para vehículos con capacidad (CVRP) .....	11
2.3 MÉTODOS DE SOLUCIÓN .....	12
2.4 OPTIMIZACIÓN POR COLONIA DE HORMIGAS (ACO) .....	13
2.5 REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	15
2.5.1 Aplicación de modelos ACO en problemas de ruteo.....	15
2.5.2 Planeación de rutas de escolares.....	15
3. DEFINICIÓN DEL SISTEMA.....	16
3.1 DESCRIPCIÓN DEL COLEGIO.....	16
3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRANSPORTE ESCOLAR .....	16
3.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE PLANEACIÓN DE RUTAS PARA VEHÍCULOS .....	18
3.3.1 Variables .....	19
3.3.2 Restricciones.....	19
3.4 COMPARACIÓN ENTRE EL PROCESO DE TRANSPORTE ESCOLAR Y EL PROBLEMA CVRP .....	19
3.4.1 Variables .....	19
3.4.2 Restricciones.....	20
3.5 SISTEMA A TRABAJAR.....	21
3.6 SITUACIÓN DE LA RUTA ACTUAL .....	21
3.7 FORMULACIÓN MATEMÁTICA.....	27
4. DESARROLLO DEL MODELO DE SOLUCIÓN.....	30
4.1 ASIGNACIÓN .....	30
4.2 RUTEO.....	31
4.2.1 Algoritmo de solución .....	31
4.2.2 Codificación de algoritmo.....	35

5.	EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS .....	40
5.1	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE EJECUCIÓN .....	40
5.2	RESULTADOS .....	41
5.3	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	48
5.4	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....	48
5.5	ANÁLISIS FINANCIERO .....	53
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	56
6.1	CONCLUSIONES.....	56
6.2	RECOMENDACIONES.....	57
	BIBLIOGRAFÍA.....	58
	ANEXOS.....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Correspondencia entre las variables del problema CVRP y las del proceso de transporte escolar. ....	20
Tabla 2. Ruta inicial de la mañana. ....	22
Tabla 3. Resumen de la ruta inicial de la mañana.....	24
Tabla 4. Ruta inicial de la tarde.....	25
Tabla 5. Resumen de la ruta inicial de la tarde. ....	27
Tabla 6. Parámetros de ejecución del modelo. ....	41
Tabla 7. Resultados de la ejecución ruta de la mañana .....	42
Tabla 8. Resultados de la ejecución ruta de la tarde.....	42
Tabla 9. Ruta propuesta de la mañana. ....	43
Tabla 10. Resumen de la ruta propuesta de la mañana.....	45
Tabla 11. Ruta propuesta de la tarde.....	46
Tabla 12. Resumen de la ruta propuesta de la mañana.....	48
Tabla 13. Comparación de distancias recorridas. Ruta inicial vs. ruta propuesta. ....	48
Tabla 14. Consumo diario de combustible en la ruta inicial.....	54
Tabla 15. Consumo de combustible proyectado para la ruta propuesta de la mañana.....	54
Tabla 16. Consumo de combustible proyectado para la ruta propuesta de la tarde. ....	55
Tabla 17. Ahorro anual proyectado de la ruta propuesta.....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variables y restricciones del proceso de transporte escolar.....	18
Figura 2. Diagrama de flujo de modelo de ACS para la etapa de ruteo.....	33
Figura 3. Código de la función “Información del programa” del algoritmo de solución para la etapa de ruteo.....	35
Figura 4. Código de la función “Archivo de datos” del algoritmo de solución para la etapa de ruteo. ....	36
Figura 5. Código de la función “Posición inicial” del algoritmo de solución para la etapa de ruteo. ....	36
Figura 6. Código de la función “Ciclo de hormiga” del algoritmo de solución para la etapa de ruteo. ....	37
Figura 7. Código de la función “Distancia recorrida” del algoritmo de solución para la etapa de ruteo. ....	37
Figura 8. Código de la función “Actualización global de la feromona” del algoritmo de solución para la etapa de ruteo.....	38
Figura 9. Código de la función “Ejecución del programa” del algoritmo de solución para la etapa de ruteo.....	38
Figura 10. Análisis de sensibilidad del parámetro $l$ . ....	49
Figura 11. Análisis de sensibilidad del parámetro $K$ . ....	50
Figura 12. Análisis de sensibilidad del parámetro $q_0$ . ....	51
Figura 13. Análisis de sensibilidad del parámetro $\beta$ . ....	51
Figura 14. Análisis de sensibilidad del parámetro $\rho$ . ....	52
Figura 15. Análisis de sensibilidad del parámetro $\tau_0$ . ....	53

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo propone el desarrollo de un modelo de optimización basado en la meta-heurística optimización por colonia de hormigas (ACO) para el proceso de planeación de rutas para los buses escolares del colegio Liceo de Cervantes Norte.

El proceso de transporte escolar se adapta a uno de los problemas logísticos más conocidos y estudiados: Planeación de rutas para vehículos con capacidad (CVRP). El ruteo de vehículos es un reto importante al que deben enfrentarse actualmente las empresas que cuentan con procesos de distribución. En términos generales, el problema se puede definir como la forma en que se asigna una flota de vehículos similares para transportar una cantidad determinada de productos desde un centro de distribución a un número  $n$  de puntos de destino distribuidos geográficamente y volver al punto de origen. Análogamente, la planeación de rutas escolares asigna una flota de buses para recoger un número de alumnos en diferentes paradas distribuidas en la ciudad y llevarlos al colegio y, de la misma forma, llevarlos de vuelta a sus casas una vez terminan las clases. El objetivo es encontrar la ruta mínimo costo.

Los problemas de CVRP son considerados de tipo *NP-Hard*. Esto significa, en teoría computacional, que para problemas de tamaño mediano o grande no es posible encontrar una respuesta óptima en un intervalo de tiempo razonable. Por esta razón, los algoritmos de optimización tradicionales son ineficaces para atacar este tipo de problemas. Sin embargo, los modelos heurísticos y meta-heurísticos permiten encontrar en un tiempo considerablemente corto una solución que, aunque no garantiza ser óptima, tiene muy buenos resultados en la práctica.

Optimización por colonia de hormigas (ACO) es un método meta-heurístico que, a pesar de ser relativamente nuevo, ha sido muy utilizado para resolver problemas *NP-Hard*. La literatura provee varias investigaciones que evidencian que el ACO tiene un desempeño particularmente bueno en problemas de ruteo de vehículos. La aplicación de este procedimiento en la planeación de las rutas de los buses pretende mejorar teóricamente la eficiencia del proceso de transporte escolar del colegio Liceo de Cervantes Norte. Los objetivos del trabajo se detallan a continuación.

### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 Objetivo General

Diseñar una propuesta de planeación de rutas para los buses escolares del colegio Liceo de Cervantes Norte a través del desarrollo de un modelo de optimización, que permita reducir los costos involucrados y mejorar la eficiencia del proceso.

#### 1.1.2 Objetivos Específicos

A. Definir el sistema a trabajar con el fin de realizar la modelación matemática del problema y determinar su situación actual.

- B. Desarrollar un modelo de solución basado en la meta-heurística Optimización por colonia de hormigas (ACO) para resolver el problema de ruteo de los buses escolares.
- C. Seleccionar la ruta propuesta a través de la ejecución del modelo y explorar el resultado por medio de un análisis de sensibilidad.
- D. Realizar una evaluación económica para determinar la efectividad del modelo propuesto, a través una comparación entre los resultados obtenidos y la situación inicial del proceso.

## 1.2 MOTIVACIÓN

Con el correr de los años, el uso de herramientas tecnológicas se ha vuelto común en la búsqueda de eficiencia en los procesos de las empresas de cualquier sector. Establecer una ventaja competitiva en términos de reducción de costos puede marcar la diferencia entre ser el líder de una industria y desaparecer del mercado y, por esta razón, la investigación de operaciones ha empezado a desempeñar un papel muy importante no sólo en el diseño de productos, sino también de procesos. No es extraño encontrar ejemplos de compañías que gracias a la aplicación de modelos matemáticos consiguieron mejorar procesos ineficientes que antes se administraban únicamente basados en la experiencia y la intuición.

La planeación de las rutas de los buses del Liceo de Cervantes es uno de esos procesos que se diseñan con base en experiencia e intuición. Por esta razón, la idea de este trabajo es desarrollar un modelo de optimización que permita resolver el problema de ruteo y entregar una solución factible que recorra la menor distancia posible. Esta solución servirá como una herramienta de toma de decisiones que, junto con el conocimiento empírico, permitirá diseñar una ruta más eficiente que siga cumpliendo con los requerimientos de los estudiantes y del colegio.

Encontrar una ruta más corta traerá enormes beneficios: En primer lugar, recorrer una menor distancia implica consumir una menor cantidad de combustible y, teniendo en cuenta el alto precio de la gasolina en Colombia, esta reducción produciría un impacto muy positivo en las finanzas del colegio. En segundo lugar, minimizar los trayectos reducirá también el desgaste del vehículo, lo que permitirá ampliar los intervalos entre cada mantenimiento y prolongar su vida útil. En tercer lugar, el problema del transporte no es sólo un asunto de costos que impacta a una empresa; También es un asunto ambiental. El consumo de energía del sector del transporte es la tercera parte de la energía consumida en Estados Unidos, y el 85 por ciento de esa energía es utilizada en el transporte terrestre (Waters, 2003 P 240). Por lo tanto, reducir el consumo de combustible de los buses ayudará a reducir en alguna medida la contaminación del aire, problema que ya es bastante grave en una ciudad como Bogotá.

Generalmente, las empresas que ven el de ruteo de vehículos como un problema de ingeniería son aquellas que cuentan con flotas de cientos de camiones y distribuyen toneladas de mercancía y productos dentro de una vasta región geográfica. Empresas especializadas en mensajería, o las dedicadas a la producción de bebidas gaseosas y cerveza son el tipo de organizaciones para las que tener una ruta eficiente para sus

vehículos es fundamental es la reducción de costos y la satisfacción del cliente. Por esta razón, la mayoría de trabajos de aplicación se enfocan en este tipo de empresas.

Sin embargo, la literatura provee algunos trabajos de optimización de rutas escolares, principalmente en Estados Unidos. En estos trabajos, el problema se plantea como un CVRP, utilizando diferentes modelos de optimización para obtener una solución. La razón para que el tema de las rutas escolares haya llamado la atención de los investigadores es que en las ciudades americanas es una tarea de enormes proporciones. Según Braca, en la ciudad de Nueva York, 83.000 estudiantes deben ser recogidos y dejados en 19.000 paradas de bus, para ser llevados a uno de los 750 colegios por alguno de los 1.150 buses escolares disponibles. Esto involucra un presupuesto anual cercano a los 100 millones de dólares (Braca et al., 1997 P 693). Los buenos resultados de estos trabajos motivan a seguir investigando sobre el tema, buscando nuevos métodos de solución para resolver el problema.

### 1.3 ALCANCE

El problema CRVP da una muy buena aproximación al contexto real de transporte de estudiantes en buses escolares. Sin embargo, en el proceso real intervienen una gran cantidad de variables y no todas pueden ser tenidas en cuenta en el modelo matemático. Un modelo de la investigación de operaciones se define como una representación idealizada (simplificada) de un sistema de la vida real (Bernabé, 2009 P 4). Por lo tanto, es necesario definir el sistema que se va a trabajar con las variables que se usarán en la modelación matemática, y probablemente algunos factores reales no podrán ser tenidos en cuenta en la modelación del sistema, ya sea porque son complejos de cuantificar o medir, o porque levantar esta información tomaría demasiado tiempo.

Al no poder modelar todas las variables reales, la ruta propuesta entregada por el modelo no garantizará ser la ideal en todos los tramos del recorrido real. La ruta ideal deberá integrar la solución de un modelo científico con el conocimiento empírico del proceso. El trabajo de grado pretender entregar la parte científica, determinando una ruta propuesta que optimice las variables modeladas, y que sirva como punto de partida para ser analizada y modificada por el coordinador de rutas y de esta forma establecer la ruta que será implementada en la práctica.

Debido a que el ACO es una estrategia de solución heurística y no exacta, no se puede garantizar que las respuestas obtenidas serán las óptimas globales del problema.

### 1.4 PLAN DE LECTURA

El trabajo está distribuido de la siguiente forma:

En la sección 2 se presenta el marco teórico que fundamenta el trabajo. Primero desarrolla los conceptos básicos de logística, distribución y el problema específico de ruteo de vehículos, exponiendo los métodos existentes para solucionarlo. Posteriormente presenta el modelo de solución ACO y reseña algunos trabajos previos encontrados en la literatura.



En la sección 3 se describe el proceso de transporte escolar del colegio, comparándolo con el problema CVRP. Esto permite definir el sistema a trabajar y realizar la modelación matemática del problema.

La sección 4 presenta la estrategia de solución con base en la meta-heurística ACO desarrollada para determinar la ruta propuesta.

La sección 5 muestra la ruta propuesta para los buses determinada a través de la experimentación con el algoritmo. Además, se explica el comportamiento del modelo por medio de un análisis de sensibilidad.

Finalmente, la sección 6 expone las conclusiones generales del trabajo y se presentan algunas recomendaciones para proyectos futuros.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 LOGÍSTICA, DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE

La logística puede ser definida como “la planeación y organización del suministro y movimiento de materias o bienes desde la fuente original a través de las etapas de producción, ensamble, embalaje, almacenamiento, manejo y distribución al cliente final (Lowe, 2002 P 147). Además del flujo de materia desde el proveedor hasta el cliente final, la logística también maneja un flujo de información en sentido inverso, desde el cliente final hasta el proveedor.

La logística entonces busca administrar de forma eficiente toda la cadena de abastecimiento, minimizando los tiempos y costos involucrados y maximizando la utilidad y la satisfacción del cliente. Y la distribución es una etapa crítica. Se ha demostrado que el 90% del total del tiempo de ciclo de la cadena corresponde a tiempos de movimiento y/o espera, con lo que la reducción de este tiempo constituye en el reto más importante de la función logística [...] De ahí resalta la importancia de administrar efectivamente el proceso de distribución o entrega a nuestros clientes ya sean internos o externos (El lenguaje global de los negocios Año 6 No. 11, 2005).

La llegada de la globalización ha redefinido la forma en la que las empresas administran y toman decisiones logísticas. Las oportunidades de acceder a la demanda internacional y obtener ingresos en nuevos mercados implican grandes desafíos, sobre todo para las empresas pequeñas. Y con el aumento de la demanda viene un aumento del volumen de producción y de distribución. En el caso de productos manufacturados, el aumento de la producción conllevará inevitablemente a un aumento en el volumen de material que debe ser transportado, tanto del producto terminado, como de la materia prima para fabricarlo. Con la globalización, el número de clientes será mucho mayor, y además muchos de ellos estarán muy lejos, algunos, probablemente al otro lado del mundo. Entonces, el reto de la distribución crece por el número de lugares a los que se debe llegar y la distancia que hay que recorrer para alcanzarlos. Si el objetivo es hacerlo al menor costo posible, tener rutas eficientes para los vehículos será vital para lograrlo.

### 2.2 PROBLEMAS DE PLANEACIÓN DE RUTAS

#### 2.2.1 El problema del agente viajero (TSP)

El estudio científico de la planeación de rutas inició en 1959 con la publicación de “The Truck Dispatching Problem” por Dantzig y Ramser. Después de esto, se formuló el muy conocido y ampliamente estudiado problema de agente viajero (TSP). El enunciado es sencillo: una persona debe partir desde una ciudad, visitar un número determinado de ciudades geográficamente distribuidas, y volver a la ciudad inicial. El objetivo es determinar la ruta de mínimo costo que visite todas las ciudades una vez y vuelva al punto de partida.

Aunque el problema tiene pocas variables y restricciones, y es en apariencia sencillo, su solución práctica es sumamente difícil debido al astronómico número de combinaciones

de las rutas posibles. Por esto, en la teoría computacional, es un problema de gran complejidad por el tiempo que se tarda en ser resuelto. Éste puede solucionarse con una gran cantidad de métodos, desde algoritmos manuales sencillos, como el vecino más próximo, hasta complejos modelos computacionales. Ésta es la razón por la que el TSP tiene tanta importancia dentro de la literatura y la gran mayoría de algoritmos disponibles lo han atacado.

Si bien el TSP es un problema teórico de gran complejidad, éste no es muy aplicable en una situación real de distribución de mercancía. Si los clientes que debe visitar el agente viajero demandan una cantidad determinada de producto, éste debería tener una capacidad ilimitada para transportar producto, o al menos una capacidad superior a la suma de todas las demandas de los clientes. Por lo tanto, si un sólo agente no tiene capacidad para suplir la demanda de todos los clientes, es necesario un grupo de agentes para poder entregarla cantidad demandada a todos los clientes.

### 2.2.2 Planeación de rutas para vehículos con capacidad (CVRP)

El problema CVRP agrega una nueva variable al TSP: la cantidad de producto, tanto para la demanda de los clientes como para la capacidad de los vehículos.

Las características del problema CVRP son las siguientes: Se tiene un grupo de clientes distribuidos geográficamente en una zona definida. Además, se tiene un depósito que abastecerá de un único producto a todos los clientes. Los clientes están separados, entre sí y con el depósito, por una distancia conocida. Cada cliente tiene una demanda constante de producto conocida, y deben ser visitados por una flota de vehículos idénticos con una capacidad limitada. Los vehículos están ubicados inicialmente en el depósito donde inicia cada una de las rutas, después visitar un subgrupo de clientes y finalmente volver al depósito. El subgrupo de clientes que visitará cada vehículo está restringido por su capacidad limitada, es decir, que la suma de las demandas de los clientes que visita un vehículo debe ser igual o menor a la capacidad de dicho vehículo. Cada cliente debe ser visitado por un solo vehículo. Además, se asume que el depósito cuenta con una oferta "ilimitada" del producto, es decir, que la cantidad de producto disponible en el depósito es igual o mayor que la suma de las demandas de todos los clientes. Adicionalmente, asume que la flota de vehículos es lo suficientemente grande como para satisfacer la demanda de todos los clientes, es decir, que la suma de las capacidades de todos los vehículos es mayor o igual que la suma de las demandas de todos los clientes. Esto significa que todos los clientes serán satisfechos en la totalidad de su demanda. En el Anexo 1 se encuentra la formulación matemática del CVRP.

Cuando al CVRP se le agregan diferentes variables y restricciones reales de transporte, se generan distintos tipos de problemas. Éstos se pueden clasificar con base en la combinación de muchas características. Estas son algunas de ellas: único o múltiples depósitos, flota heterogénea (vehículos con diferentes capacidades), periódicos (los clientes pueden ser servidos únicamente en días específicos de la semana), ventanas de tiempo (cada cliente puede ser atendido sólo en ciertas horas del día), pick-up and delivery (además de entregar mercancía, también se puede recoger) y 11plit delivery (un

cliente puede ser atendido por más de un vehículo). Pero sin importar cuales de estas variables deban ser incluidas en el problema, el objetivo siempre será resolver la siguiente pregunta: ¿Cuál es la ruta de menor costo?

El costo de la ruta puede tomar diferentes formas: El tiempo, la distancia, el consumo de combustible, entre otras. Sin embargo, el fin siempre será minimizarlo.

### 2.3 MÉTODOS DE SOLUCIÓN

El objetivo del CVRP es minimizar el costo de la ruta. En otras palabras, optimizar las rutas de los vehículos. Por esto, la optimización es la metodología de investigación de operaciones en donde se encuentra la mayoría de los métodos de solución para este problema.

La optimización nace de la necesidad de buscar eficiencia en las actividades económicas cotidianas. Los factores de un proceso productivo se cuantifican en variables numéricas para buscar la minimización de los costos o maximización de su utilidad. Para problemas pequeños se puede utilizar herramientas como la programación lineal, programación entera mixta o programación dinámica, que permiten encontrar rápidamente respuestas óptimas con un correcto desarrollo del modelo. Sin embargo, cuando los problemas son más grandes y el número de variables y restricciones aumenta, el conjunto de soluciones factibles crece hasta tal punto que no es posible encontrar el óptimo en un intervalo razonable de tiempo. Por lo tanto, un modelo de solución efectivo debe estar basado tanto en la calidad de la respuesta como en el tiempo de procesamiento que se requiere para alcanzarla.

Como se mencionó anteriormente, los problemas de CVRP son de tipo *NP-Hard*, por lo que las mejores soluciones se obtienen a través de modelos heurísticos y meta-heurísticos,

El término “heurístico” proviene del griego *heuriskein*, que significa “descubrir”. Su definición es la siguiente: Un método heurístico es un procedimiento para resolver un problema de optimización bien definido mediante una aproximación intuitiva, en la que la estructura del problema se utiliza de forma inteligente para obtener una buena solución (Marti, 2003 P 2).

Los métodos heurísticos son utilizados cuando los problemas son tan grandes que no se conoce su solución óptima, y en caso de existir, su procesamiento computacional es excesivamente costoso o toma demasiado tiempo. También pueden ser utilizados como parte de un proceso global de solución óptima, en etapas iniciales o intermedias, para después buscar mejores soluciones con otros métodos de optimización combinatoria. Sin embargo, las aproximaciones de los métodos heurísticos son muchas veces estancamientos en óptimos locales y sus resultados pueden estar demasiado lejos del óptimo global.

El prefijo “meta” significa *más allá*. Esto es precisamente lo que buscan los meta-heurísticos: trascender las soluciones obtenidas con los heurísticos tradicionales. El

término fue acuñado por Glover en 1986. Los modelos meta-heurísticos apuntan a resolver problemas a los que los heurísticos tradicionales no dan soluciones convincentes.

El mismo Glover los define de la siguiente manera: “Meta-heurísticos, en su definición original, son métodos de solución que facilitan una interacción entre procedimientos de mejora locales y estrategias de más alto nivel, para crear un proceso capaz de evitar estancamientos en óptimos locales y así realizar una búsqueda robusta dentro espacio de solución (Glover, 2003 P 12).

Éstas características tan importantes que diferencian los heurísticos de los meta-heurísticos han incentivado en los últimos años el desarrollo de nuevos modelos de este tipo y su aplicación para resolver problemas de Investigación de Operaciones.

#### 2.4 OPTIMIZACIÓN POR COLONIA DE HORMIGAS (ACO)

La meta-heurística Optimización por colonia de hormigas fue implementada por Dorigo y Di Caro en 1990 para ser utilizado en la resolución problemas muy complejos de optimización combinatoria. Al igual que otros meta-heurísticos, como el algoritmo genético, está inspirado en analogías biológicas que se encuentran en la naturaleza. Su método de búsqueda de soluciones está basado, como su nombre lo indica, en el comportamiento de las hormigas para encontrar alimento. Cuando una hormiga encuentra un camino corto entre su hormiguero y una fuente de alimento, deja a su paso una feromona de rastreo que es percibida por las demás hormigas que la rodean. Si la ruta hacia el alimento es buena, cada vez más y más hormigas pasarán por el camino, dejando su feromona y haciendo que la señal química se intensifique. Si por el contrario el camino no es muy bueno, las demás hormigas no lo tomarán y la feromona se evaporará. En la práctica, la elección entre distintos caminos toma lugar cuando varios caminos se cruzan. Entonces, las hormigas eligen el camino a seguir con una decisión probabilística sesgada por la cantidad de feromona: cuanto más fuerte es el rastro de feromona, mayor es la probabilidad de elegirlo (Alonso et al., P 4). El proceso finaliza en el momento en el que todas las hormigas de la colonia converjan al camino más corto de todos los posibles.

Análogamente, el ACO utiliza “hormigas” artificiales representadas por agentes algorítmicos que se comunican entre sí con una “feromona artificial”. Cada hormiga determina su camino a través de un grafo de construcción dado, denotado  $G=(N, A)$ , en donde  $N$  representa todos los nodos del grafo, y  $A$ , los arcos que los conectan. Cada arco  $(i, j)$  tiene asociada una variable  $\tau_{ij}$ , que es el rastro de feromona presente en el arco, el cual se actualizan constantemente dependiendo del número de hormigas que tomen este camino. De esta forma, la feromona artificial mide la “deseabilidad” aprendida de ir del nodo  $i$  al nodo  $j$ . Entre más hormigas tomen este camino, aumentará el valor de la feromona  $\tau_{ij}$  y la probabilidad de que en el futuro las demás hormigas viajen por este arco será mayor. Por el contrario, si el camino no es bueno el rastro de feromona presente se evaporará y la probabilidad de que éste sea tomado se reducirá.

Dorigo y Stützle (2004) explican el funcionamiento del algoritmo ACO de la siguiente forma:

Una hormiga  $k$  construye una solución iniciando su recorrido en el nodo fuente y viajando de un nodo a otro hasta llegar al nodo de destino. En cada paso, la hormiga  $k$  escoge su siguiente movimiento con base en una decisión probabilística calculada de la siguiente forma:

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha}{\sum_{l \in N_i^k} \tau_{il}^\alpha} & \text{para } j \in N_i^k \\ 0 & \text{para } j \notin N_i^k \end{cases} .$$

$N_i^k$  es el vecindario de la hormiga  $k$  cuando está en el nodo  $i$ , es decir, los el sub-grupo de nodos que están conectados directamente con  $i$ .  $\alpha$  es un parámetro.

La hormiga  $k$  ejecuta esta política de decisión paso a paso hasta llegar al nodo de destino. En ese momento, se tiene una solución completa de la hormiga  $k$ . Una vez allí, inicia el camino de vuelta hasta la fuente para actualizar la feromona.

En el camino de vuelta, la hormiga pasa exactamente por los mismos arcos que tomó durante la construcción de la solución y actualiza su rastro de feromona. La hormiga deposita una cantidad  $\Delta\tau^k$  en cada arco  $(i, j)$  que visitó. Entonces, el valor de la feromona cambia así:

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \Delta\tau^k$$

El valor de  $\Delta\tau^k$  puede ser constante o una función que depende de la calidad de la solución obtenida por la hormiga. (Según un experimento descrito por Dorigo y Stützle, un valor de  $\Delta\tau^k$  basado en la solución permite una más rápida convergencia del algoritmo).

Adicionalmente, la evaporación reduce el rastro de feromona en todos los arcos del grafo con la siguiente ecuación:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}$$

$\rho \in [0,1]$  es un parámetro. Esta evaporación evita que los niveles de feromonas crezcan demasiado en las primeras instancias del proceso de búsqueda, lo que causaría que una convergencia demasiado rápido en soluciones sub-óptimas (Dorigo & Stützle, 2004 P 12 – 15).

Entonces, una iteración del algoritmo ACO consta de estas tres acciones: movimiento de la hormiga, evaporación de feromona y depósito de feromona.

La optimización por colonia de hormigas basa sus buenos resultados en el comportamiento cooperativo de los agentes que generan las soluciones del algoritmo. El poder compartir información entre las hormigas permite una búsqueda robusta basada en la calidad de las soluciones y la evaporación de la feromona evita que el algoritmo caiga

en óptimos locales, logrando así respuestas satisfactorias en tiempos de procesamiento razonable.

## 2.5 REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 2.5.1 Aplicación de modelos ACO en problemas de ruteo

Bullnheimer, Hartl y Strauss (1999) realizaron la implementación del modelo de ACO para resolver el problema VRP. Posteriormente, el mismo grupo de autores mejoró el modelo complementándolo con una función heurística local con el fin de construir soluciones más robustas. Gambardella (1999) realizó una de las implementaciones con mejores resultados demostrados en solución de problemas VRP con ventanas de tiempo, a través de un modelo multi-objetivo que basado en dos colonias de hormigas. Este modelo es conocido como el MACS-VRPTW. Guntzsch, Middendorf y Schmeck (2001) utilizaron un modelo ACO para resolver el problema TSP dinámico, en el cual algunas de las ciudades son borradas y otras nuevas son insertadas en intervalos de tiempo determinados. Hermosilla y Barán (2003) implementaron un sistema de colonia de hormigas para resolver el problema VRP y compararon los resultados con los obtenidos a través de una estrategia evolutiva. Gajpal y Abad (2009) utilizaron el ACO para resolver el problema de VRP con “pick-up and delivery” simultáneos, en el que los vehículos además de dejar productos donde los clientes, también deben recogerlos.

### 2.5.2 Planeación de rutas de escolares

La literatura también provee varios trabajos sobre ruteo de buses escolares. Inicialmente, Newton y Thomas (1969) resolvieron el problema para un solo colegio utilizando el modelo del agente viajero. Una vez obtuvieron la ruta de menor distancia, la dividieron en rutas individuales para cada bus de acuerdo a su capacidad. Bodin y Breman (1979) resolvieron el problema para un área suburbana de 13.000 alumnos distribuidos en 25 colegios. A través de dos componentes que permitían modificar ligeramente la secuencia inicial de los nodos y dividir las paradas de bus en paradas más pequeñas lograron un ahorro del 20% en los costos.

Braca y otros (1995) implementaron un modelo para resolver el problema de rutas escolares en uno de los distritos escolares más grande del mundo: el de la ciudad de Nueva York. Después de realizar una detallada descripción de las características del problema VRP orientada hacia las rutas escolares, Braca corre el algoritmo específicamente para las escuelas del distrito de Manhattan compuesto por 838 paradas de bus y 73 colegios, con el objetivo de minimizar el número de buses que se deben utilizar en el recorrido completo.

En Colombia se encuentra el trabajo de grado de Vargas (2005), quien resolvió el problema para las rutas de transporte escolar de la Secretaria de Educación Distrital en la localidad de Usaquén.

### 3. DEFINICIÓN DEL SISTEMA

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL COLEGIO

El Liceo de Cervantes Norte es una institución educativa de padres agustinos que ofrece los niveles de educación preescolar, básica y media. Sus inicios se remontan al año 1934 en el centro de Bogotá, pero es en el año 1976 cuando se trasladan a su actual sede en la calle 153 No 19 – 39. El colegio es reconocido a nivel nacional por su excelencia académica gracias a sus destacados resultados en los exámenes de estado, además de su formación en valores y educación integral. Actualmente estudian 1.538 alumnos en el colegio. Cuenta con modernas instalaciones dotadas con laboratorios, salas de informática, coliseo, campos deportivos, una amplia cafetería y buses propios.

El colegio presta directamente el servicio de transporte escolar a 538 estudiantes con una flota de 11 buses de su propiedad. Diariamente, los buses realizan dos recorridos. En la mañana recogen a los estudiantes en sus casas y los llevan al colegio. En la tarde, los estudiantes toman los buses en el colegio y son llevados de vuelta a sus casas. Como los buses pertenecen al colegio, son administrados directamente y no se involucra ninguna empresa de transporte para apoyar el proceso, como sucede en muchos de los colegios privados de Bogotá. Por lo tanto, es a la administración del colegio a quien le corresponde asignar cuáles son los alumnos que viajarán en cada bus y la secuencia en la que serán visitados.

#### 3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRANSPORTE ESCOLAR

Para poder desarrollar un modelo de solución para el ruteo de los buses escolares, es necesario definir primero el sistema del problema que se va a trabajar. Para esto se hace una descripción de las características del proceso real de transporte escolar y definir cómo éstas serán representadas en un modelo matemático en forma de variables y restricciones.

Cuando se planea el recorrido que debe realizar un bus para recoger o dejar a los estudiantes, el tiempo es el factor más importante. La razón es que entre menos tiempo pasen los estudiantes dentro del bus viajando desde sus casas hacia el colegio, más satisfechos se sentirán sus padres y, por ende, la administración del colegio. Si la ruta matutina de un bus es muy extensa los estudiantes deberán despertarse más temprano. Si la ruta de la tarde es muy extensa, podría dificultar las actividades que realizan después de clases. El tiempo que pasan los estudiantes, y cualquier otra persona, transportándose dentro de la ciudad es tiempo inutilizado y, por lo tanto, no es difícil entender por qué es importante reducirlo al máximo.

Entonces, el objetivo principal al asignar y planear las rutas es minimizar el tiempo del recorrido de cada uno de los buses. El tiempo es una variable fácil de medir y esto lo hace ideal para determinar la calidad de la ruta escogida. Para comparar dos rutas diferentes que recorren los mismos nodos, la forma más sencilla es calcular el tiempo que tomó cada una y escoger la más corta. El tiempo que tarda un recorrido entre dos puntos es



una relación entre dos parámetros: la distancia que se recorre y la velocidad a la que se mueve el vehículo.

Para determinar la ruta más rápida lo más lógico es pensar, en un principio, en la ruta más corta en términos de distancia. Cuando se viaja a velocidad constante, el tiempo y la distancia son variables directamente proporcionales. Por esta razón, es necesario conocer la malla vial de la ciudad para saber cuál es el recorrido más corto entre dos puntos. Entre menos distancia recorra la ruta, menor será el tiempo que pasen los estudiantes dentro del bus. La distancia entre dos puntos es un parámetro constante y por lo que es una información confiable en el tema de las rutas.

Si la velocidad fuera constante en toda la malla vial, la ruta de menor distancia sería con seguridad la que menor tiempo tomaría recorrer. Sin embargo, en el contexto real, las características de las vías que hacen que la velocidad difiera entre los diferentes tramos de las rutas posibles de un recorrido, lo que implica que la ruta más corta no necesariamente es la más rápida.

Las características de los tramos de la malla vial son las siguientes:

- Tráfico: Éste representa el volumen de vehículos que transitan por los diferentes tramos de un recorrido en un intervalo de tiempo. Si una vía tiene un tráfico alto, ésta se congestiona y se reduce la velocidad a la que se puede transitar. Por el contrario, si la vía no tiene mucho tráfico, es posible transitarla más rápidamente.
- Semaforización: La cantidad los semáforos que se encuentran en un recorrido entre dos puntos, y la duración de éstos indican momentos en el que el bus deberá detenerse por completo. Entre mayor sea el tiempo que debe permanecer el bus detenido en semáforos, menor será la velocidad promedio en este tramo.
- Estado de las vías: Para principios de 2009, solamente el 38% de la red vial de Bogotá se encuentra en buen estado (El Tiempo 31 de enero de 2009). Cuando las vías no están en el mejor estado buses deben transitarlas más despacio, no sólo porque puede ser peligroso, sino porque el vehículo puede deteriorarse. En algunos casos, las vías llegan a ser intransitables para los buses, debido a que no están muy estropeadas o a que son tan estrechas que el bus no puede transitar por ellas.

Estas tres variables determinan en gran medida la velocidad a la que se puede mover el bus en el recorrido entre dos paradas. Además, el proceso de transporte escolar está restringido de la siguiente forma:

- Capacidad de los vehículos: Los buses escolares del Liceo de Cervantes Norte tienen una capacidad de 54 pasajeros, por lo que éste es el número máximo que puede transportar cada bus tanto en el recorrido de la mañana como en el de la tarde. Como cada bus debe, por ley, llevar una monitora de ruta, se le pueden asignar un máximo de 54 pasajeros por ruta a cada bus.

- Tamaño de la flota: El bus cuenta con 11 buses para realizar el proceso de transporte de estudiantes. El colegio no tiene intenciones de ampliar su flota, por lo que el máximo número de estudiantes que puede transportar son 594.
- Hora de inicio de clases: Debido a que las clases inician a las 6:45 a.m., todos los buses deben llegar a más tardar a las 6:40 a.m. Por lo tanto, los buses deben salir con suficiente antelación como para completar su recorrido y no llegar tarde.
- Límite de velocidad: Según la legislación, la velocidad máxima de los vehículos que prestan servicio de rutas escolares es de 40 Km/h (Proyecto de acuerdo No. 449 DE 2007). Esta restricción pretende minimizar el riesgo de accidentes y proteger así la integridad de los niños y niñas que viajan en los buses.

La figura 1 muestra un diagrama representativo de la forma cómo interactúan las variables y restricciones identificadas en el proceso de transporte de estudiantes en los buses escolares. Las variables están en verde y las restricciones, en rojo.

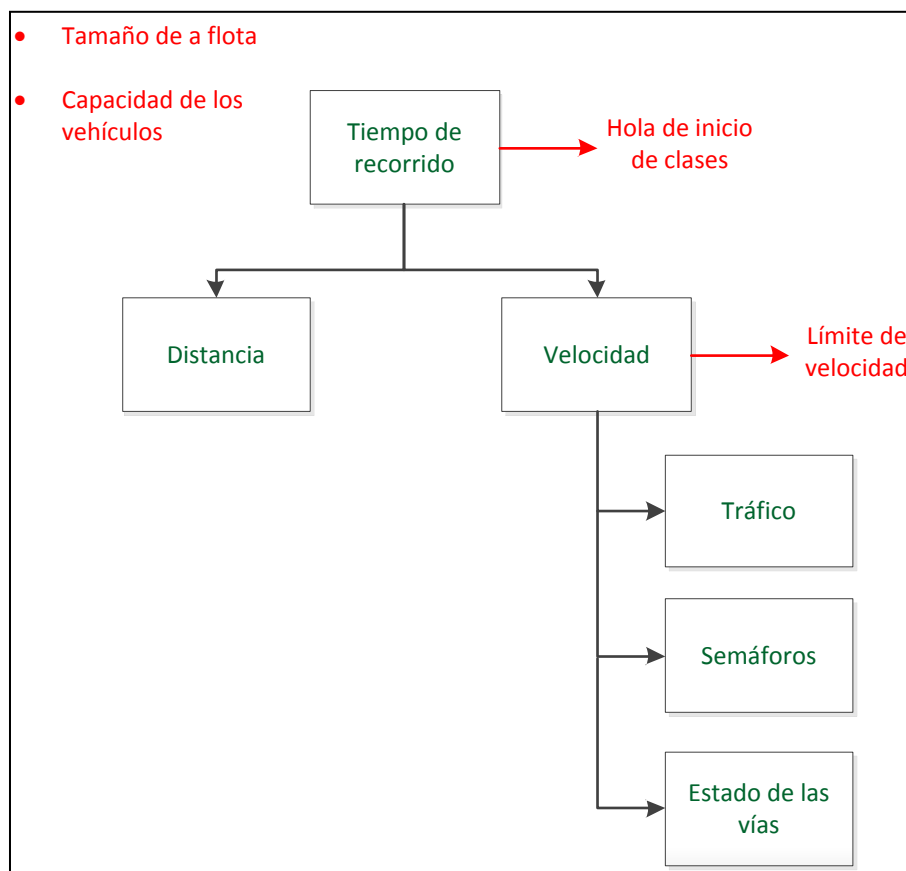


Figura 1. Variables y restricciones del proceso de transporte escolar.

### 3.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE PLANEACIÓN DE RUTAS PARA VEHÍCULOS

Según Braca y otros, los problemas de ruteo de buses escolares caen dentro del clásico problema de transporte VRP (Vehicle Route Planning) (Braca et al., 1997 P694). Los problemas VRP consisten en atender un grupo de clientes geográficamente distribuidos desde un depósito inicial. Cuando los vehículos que visitan los clientes tienen una

capacidad limitada, como en el caso de los buses escolares, el problema se vuelve CVRP (Capacitated Vehicle Route Planning).

### 3.3.1 Variables

La información requerida en el CVRP es la siguiente:

- Un conjunto de nodos de tamaño  $N$  que incluye el depósito inicial.
- Un conjunto de arcos que conectan cada par de nodos, de tal forma que cada uno de los nodos tiene  $N$  arcos asociados.
- Una matriz de costos de tamaño  $N \times N$  asociada a cada arco. De esta forma, se tiene un costo asociado a viajar desde y hacia cualquiera de los nodos del sistema.
- Cada uno de los clientes demanda una cantidad específica de un único producto.
- Se cuenta con una flota de vehículos con una capacidad limitada, ubicada inicialmente en el depósito.

### 3.3.2 Restricciones

El problema se restringe de la siguiente forma:

- No se puede exceder el número de vehículo, ni la capacidad máxima que estos pueden transportar. Además, cada cliente puede ser visitado únicamente por un vehículo.

El objetivo es encontrar la ruta de menor costo que visite a todos los clientes y vuelva al punto de origen.

La formulación matemática del problema CVRP puede encontrarse en el Anexo 1.

Al analizar las variables y restricciones del CVRP se puede ver la gran similitud con la planeación de rutas de buses escolares del Liceo de Cervantes Norte. Con base en la comparación realizada en la sección 3.4, se determinará el sistema que se trabajará en el proyecto.

## 3.4 COMPARACIÓN ENTRE EL PROCESO DE TRANSPORTE ESCOLAR Y EL PROBLEMA CVRP

### 3.4.1 Variables

La tabla 1 muestra la correspondencia entre las variables del CVRP y las del proceso de transporte de estudiantes en los buses escolares

CVRP	Transporte en buses escolares
Depósito Inicial	Colegio
Nodos o clientes	Paradas donde se suben o bajan los estudiantes (en la mayoría de los casos son sus casas)
Costo asociado a cada arco entre un par de nodos	Costo asociado a viajar entre un par de paradas del bus.
Demanda asociada a cada nodo o cliente	Número de estudiantes que suben o bajan del bus en cada parada (en algunos conjuntos residenciales se suben dos o más estudiantes)
Flota de vehículos con capacidad limitada	Flota de 11 buses propios del colegio

Tabla 1. Correspondencia entre las variables del problema CVRP y las del proceso de transporte escolar.

- Matriz de Costos

La matriz de costos es la información que definirá en gran medida el camino que tomará la solución del problema. Ésta se puede definir de la siguiente manera: En la matriz  $C = (c_{ij})$  de tamaño  $N \times N$ , cada valor  $c_{ij}$  indica lo que cuesta transitar del nodo  $i$  al nodo  $j$ . Lo más común es que este costo se asuma como tiempo, distancia o consumo de combustible.

En este trabajo se asumirá como costo la distancia euclidiana entre los nodos. La decisión se basa en el tiempo y esfuerzo que tomará el levantamiento de los datos.

La distancia es una medida fija. La distancia que hay que recorrer para llegar de un punto a otro no varía, siempre que se tome la misma ruta. Por lo contrario, el tiempo es una medida que depende de la velocidad del vehículo, por lo que sería necesario tomar varias medidas con el fin de tener un tamaño de muestra estadísticamente confiable y obtener el promedio. Comparativamente con la distancia, obtener datos de tiempo de recorrido es mucho más largo y dispendioso. Debido al corto tiempo que se dispone para realizar el trabajo y a la cantidad de nodos que tiene el sistema, se decidió por la distancia como la variable de costo para la matriz. Además, la distancia permite calcular el ahorro económico teniendo en cuenta el consumo promedio de combustible de los buses.

### 3.4.2 Restricciones

Cada bus puede transportar un máximo de 54 estudiantes. Además, la flota de 11 vehículos no puede ser excedida, ya que el colegio no tiene entre sus planes ampliar la flota. Por lo tanto, el máximo número de estudiantes que pueden ser transportados son 594. Al igual que en el CVRP, cada una de las paradas donde se recogen los alumnos puede ser visitado solamente por un bus.

### 3.5 SISTEMA A TRABAJAR

El problema bajo estudio requiere la solución de dos problemas de rutas: el de la mañana y el de la tarde. Las soluciones se obtendrán a partir de la minimización del costo total de las rutas de cada bus, el cual está representado por la distancia entre las paradas, distribuidas en un plano cartesiano. Para asignar el par de coordenadas  $(x, y)$  de cada parada, se utilizaron las coordenadas geográficas de la tierra. Bogotá se encuentra entre las coordenadas  $4^{\circ}29'$  y  $4^{\circ}47'$  latitud norte y las coordenadas  $74^{\circ}01'$  y  $74^{\circ}12'$  longitud oeste. Por medio del programa Google Earth y el mapa callejero de la Alcaldía Mayor de Bogotá<sup>1</sup> se ubicaron las paradas en el mapa y se tomaron los datos de minutos y segundos de las coordenadas de cada una. Como las coordenadas geográficas se expresan en grados sexagesimales, éstas se transformaron a coordenadas en unidades de metros, quedando como el nodo  $(0, 0)$  el colegio. Un minuto latitudinal es equivalente a 1.855,3 m. y un minuto longitudinal equivale a 1.852,2 m. La información de la dirección y las coordenadas de cada parada de la mañana y de la tarde se encuentran en los Anexos 2 y 3 respectivamente.

Las variables del sistema a trabajar se definen a continuación.

- Ruta de la mañana  
Paradas: 367  
  
Estudiantes transportados: 466  
  
Tamaño de la flota: 11 buses  
  
Capacidad de la flota: 54 estudiantes
- Ruta de la tarde  
Paradas: 398  
  
Estudiantes transportados: 521  
  
Tamaño de la flota: 11 buses  
  
Capacidad de la flota: 54 estudiantes

### 3.6 SITUACIÓN DE LA RUTA ACTUAL

Con el fin de establecer un punto de partida para comparar los resultados de la aplicación del modelo de optimización, se presentan los datos de las rutas actuales de la mañana y la tarde. Las tablas 2 y 4 muestran las paradas en el orden en el que son visitadas y el número de estudiantes recogidos o dejados en cada una. Los Anexos 4 y 5 contienen información más detallada de las distancias recorridas por las rutas actuales.

---

<sup>1</sup> Disponible en <http://www.bogota.gov.co/mad/buscador.php>

- Ruta de la Mañana

Orden	BUS 1		BUS 2		BUS 3		BUS 4		BUS 5		BUS 6	
	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.
0	0		0		0		0		0		0	
1	1	1	40	2	142	1	182	1	75	1	110	1
2	2	1	41	1	143	1	183	1	76	1	111	1
3	3	1	42	1	144	1	184	1	77	1	112	1
4	4	1	43	1	145	1	185	1	78	1	113	1
5	5	1	44	1	146	1	186	1	79	1	114	1
6	6	1	45	1	147	1	187	3	80	1	115	1
7	7	1	46	1	148	1	188	1	81	1	116	1
8	8	2	47	1	149	1	189	1	82	2	117	1
9	9	1	48	1	150	1	190	1	83	1	118	1
10	10	1	49	1	151	1	191	1	84	1	119	1
11	11	2	50	1	152	2	192	1	85	1	120	1
12	12	2	51	1	153	1	193	2	86	1	121	1
13	13	1	52	1	154	1	194	1	87	1	122	1
14	14	1	53	2	155	1	195	2	88	1	123	1
15	15	1	54	1	156	1	196	1	89	1	124	1
16	16	1	55	2	157	2	197	1	90	1	125	1
17	17	1	56	1	158	1	198	1	91	1	126	1
18	18	1	57	1	159	1	199	2	92	1	127	1
19	19	1	58	1	160	1	200	1	93	1	128	2
20	20	1	59	1	161	1	201	3	94	1	129	1
21	21	1	60	1	162	2	202	4	95	1	130	2
22	22	1	61	1	163	1	203	1	96	2	131	1
23	23	1	62	1	164	1	204	1	97	1	132	1
24	24	1	63	2	165	2	205	1	98	1	133	1
25	25	1	64	1	166	1	206	1	99	3	134	1
26	26	1	65	2	167	1	207	2	100	1	135	3
27	27	1	66	3	168	1	208	1	101	1	136	1
28	28	1	67	1	169	1	209	1	102	2	137	6
29	29	1	68	2	170	1	210	1	103	2	138	1
30	30	1	69	2	171	1	211	1	104	1	139	1
31	31	2	70	1	172	1	212	1	105	1	140	1
32	32	1	71	1	173	1	0		106	1	141	1
33	33	1	72	1	174	1			107	1	0	
34	34	1	73	1	175	1			108	1		
35	35	1	74	1	176	1			109	1		
36	36	1	0		177	3			0			
37	37	1			178	1						
38	38	1			179	1						
39	39	1			180	1						
40	0				181	1						
41					0							
42												
43												
Total	39	43	35	44	40	46	31	42	35	41	32	41

Tabla 2. Ruta inicial de la mañana.

Orden	BUS 7		BUS 8		BUS 9		BUS 10		BUS 11	
	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.
0	0		0		0		0		0	
1	213	1	269	2	301	1	343	3	236	1
2	214	1	270	1	302	1	344	1	237	1
3	215	3	271	1	303	2	345	1	238	1
4	216	1	272	1	304	1	346	1	239	1
5	217	1	273	1	305	1	347	2	240	1
6	218	1	274	1	306	2	348	1	241	1
7	219	1	275	1	307	1	349	2	242	1
8	220	2	276	1	308	2	350	1	243	1
9	221	2	277	1	309	1	351	1	244	1
10	222	1	278	1	310	1	352	1	245	1
11	223	1	279	2	311	1	353	1	246	1
12	224	2	280	1	312	1	354	2	247	1
13	225	1	281	2	313	1	355	1	248	1
14	226	1	282	1	314	1	356	1	249	1
15	227	1	283	1	315	1	357	1	250	1
16	228	1	284	1	316	2	358	1	251	1
17	229	2	285	2	317	1	359	1	252	2
18	230	2	286	2	318	1	360	2	253	1
19	231	3	287	1	319	3	361	2	254	1
20	232	1	288	1	320	2	362	1	255	1
21	233	2	289	1	321	1	363	1	256	1
22	234	4	290	3	322	1	364	1	257	1
23	235	1	291	2	323	1	365	1	258	2
24	0		292	1	324	1	366	5	259	1
25			293	1	325	1	367	4	260	1
26			294	3	326	2	0		261	1
27			295	3	327	1			262	1
28			296	2	328	1			263	1
29			297	1	329	1			264	1
30			298	1	330	1			265	1
31			299	1	331	1			266	1
32			300	1	332	1			267	1
33			0		333	2			268	1
34					334	1			0	
35					335	2				
36					336	2				
37					337	1				
38					338	1				
39					339	1				
40					340	2				
41					341	1				
42					342	1				
43					0					
Total	23	36	32	45	42	54	25	39	33	34

Tabla 2. Ruta inicial de la mañana..

La tabla 3 resume la información de la ruta actual de cada bus: el total de paradas visitadas, el total de estudiantes recogidos y el total de la distancia recorrida de la ruta inicial de la mañana.

<b>Bus</b>	<b>Total Paradas</b>	<b>Total estudiantes</b>	<b>Distancia recorrida</b>
Bus 1	39	43	12.319,0 m.
Bus 2	35	44	22.124,1 m.
Bus 3	35	41	20.236,0 m.
Bus 4	32	41	33.087,5 m.
Bus 5	40	46	24.099,4 m.
Bus 6	31	42	20.336,2 m.
Bus 7	23	36	11.934,4 m.
Bus 8	33	35	22.190,4 m.
Bus 9	32	45	31.884,5 m.
Bus 10	42	54	14.324,4 m.
Bus 11	25	39	11.028,0 m.
<b>Total</b>	<b>367</b>	<b>466</b>	<b>223.563,9 m.</b>

Tabla 3. Resumen de la ruta inicial de la mañana.



- Ruta de la Tarde

Orden	BUS 1		BUS 2		BUS 3		BUS 4		BUS 5		BUS 6	
	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.
0	0		0		0		0		0		0	
1	1	1	48	1	158	1	204	1	88	1	124	1
2	2	1	49	3	159	1	205	2	89	2	125	1
3	3	1	50	1	160	1	206	1	90	2	126	1
4	4	1	51	2	161	2	207	1	91	1	127	1
5	5	1	52	1	162	1	208	1	92	1	128	1
6	6	2	53	1	163	1	209	1	93	1	129	1
7	7	1	54	2	164	1	210	1	94	1	130	1
8	8	1	55	2	165	1	211	2	95	2	131	1
9	9	1	56	1	166	1	212	1	96	1	132	1
10	10	1	57	2	167	1	213	3	97	1	133	1
11	11	1	58	1	168	1	214	4	98	1	134	1
12	12	1	59	1	169	1	215	1	99	3	135	1
13	13	1	60	1	170	1	216	1	100	1	136	1
14	14	1	61	3	171	1	217	1	101	1	137	1
15	15	1	62	2	172	1	218	1	102	3	138	1
16	16	1	63	1	173	1	219	1	103	1	139	1
17	17	2	64	1	174	1	220	1	104	1	140	2
18	18	1	65	1	175	1	221	3	105	1	141	1
19	19	1	66	1	176	1	222	1	106	1	142	1
20	20	1	67	1	177	2	223	1	107	1	143	1
21	21	1	68	1	178	1	224	1	108	1	144	3
22	22	1	69	1	179	1	225	1	109	1	145	1
23	23	1	70	1	180	1	226	1	110	1	146	1
24	24	1	71	1	181	4	227	1	111	1	147	2
25	25	1	72	1	182	2	228	1	112	1	148	1
26	26	1	73	1	183	1	229	3	113	1	149	1
27	27	1	74	1	184	1	230	2	114	1	150	1
28	28	1	75	1	185	1	231	1	115	1	151	1
29	29	1	76	2	186	1	232	2	116	2	152	3
30	30	1	77	2	187	1	233	1	117	1	153	1
31	31	1	78	1	188	1	234	1	118	1	154	1
32	32	2	79	1	189	1	235	1	119	1	155	5
33	33	1	80	2	190	1	236	1	120	1	156	1
34	34	1	81	1	191	1	0		121	1	157	1
35	35	1	82	1	192	1			122	1	0	
36	36	1	83	1	193	1			123	1		
37	37	1	84	1	194	2			0			
38	38	1	85	1	195	1						
39	39	2	86	1	196	1						
40	40	3	87	1	197	1						
41	41	1	0		198	2						
42	42	1			199	1						
43	43	2			200	1						
44	44	1			201	1						
45	45	1			202	1						
46	46	1			203	1						
47	47	1			0							
48	0											
Total	47	54	39	52	45	54	32	46	35	44	33	44

Tabla 4. Ruta inicial de la tarde.

Orden	BUS 7		BUS 8		BUS 9		BUS 10		BUS 11	
	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.
0	0		0		0		0		0	
1	237	1	301	1	333	2	369	1	265	1
2	238	2	302	1	334	1	370	1	266	1
3	239	4	303	1	335	1	371	1	267	1
4	240	1	304	1	336	2	372	1	268	1
5	241	1	305	1	337	2	373	1	269	1
6	242	2	306	1	338	2	374	1	270	1
7	243	1	307	2	339	1	375	2	271	1
8	244	3	308	2	340	1	376	2	272	1
9	245	1	309	1	341	1	377	1	273	1
10	246	3	310	1	342	3	378	2	274	1
11	247	2	311	1	343	1	379	1	275	1
12	248	2	312	1	344	1	380	1	276	1
13	249	1	313	1	345	1	381	3	277	1
14	250	1	314	1	346	1	382	1	278	1
15	251	1	315	2	347	1	383	1	279	1
16	252	2	316	1	348	1	384	1	280	1
17	253	1	317	1	349	1	385	1	281	1
18	254	3	318	1	350	3	386	3	282	1
19	255	1	319	1	351	1	387	3	283	1
20	256	1	320	1	352	1	388	1	284	1
21	257	3	321	1	353	1	389	1	285	1
22	258	2	322	2	354	1	390	1	286	1
23	259	2	323	2	355	2	391	2	287	1
24	260	1	324	1	356	1	392	4	288	2
25	261	2	325	1	357	1	393	1	289	1
26	262	1	326	3	358	1	394	2	290	1
27	263	1	327	2	359	2	395	1	291	1
28	264	1	328	1	360	1	396	1	292	1
29	0		329	1	361	2	397	1	293	1
30			330	3	362	1	398	1	294	1
31			331	3	363	2	0		295	1
32			332	2	364	2			296	1
33			0		365	1			297	2
34					366	1			298	1
35					367	4			299	1
36					368	1			300	2
37					0				0	
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
Total	27	47	31	45	35	52	29	44	35	39

Tabla 4. Ruta inicial de la tarde.

La tabla 5 resume la información de la ruta actual de cada bus: el total de paradas visitadas, el total de estudiantes recogidos y el total de la distancia recorrida de la ruta inicial de la tarde.

Bus	Total Paradas	Total estudiantes	Distancia recorrida
Bus 1	47	54	13.945,6 m.
Bus 2	40	52	18.367,8 m.
Bus 3	36	44	24.568,4 m.
Bus 4	34	44	33.546,2 m.
Bus 5	46	54	41.552,3 m.
Bus 6	33	46	26.795,0 m.
Bus 7	28	47	11.957,0 m.
Bus 8	36	39	20.599,8 m.
Bus 9	32	45	32.556,1 m.
Bus 10	36	52	13.537,2 m.
Bus 11	30	44	13.196,4 m.
Total	398	521	250.621,7 m.

Tabla 5. Resumen de la ruta inicial de la tarde.

Sumando las distancias recorridas durante la mañana y la tarde se obtiene que la distancia total del recorrido diario de la ruta inicial de los buses escolares es de 474.185,6 m.

### 3.7 FORMULACIÓN MATEMÁTICA

A continuación se realizará la formulación matemática de los sistemas a trabajar que permitirá modelar y resolver el problema. Esta formulación se basa en la formulación matemática del problema CVRP que se encuentra en el Anexo 1.

- Ruta de la mañana

Función objetivo:

$$\min \sum_{i=0} \sum_{j=0} \sum_{k=1} c_{ij} \cdot x_{ijk}$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^{11} \sum_{j=1}^{367} x_{ijk} \leq 11 \quad i = 0$$

$$\sum_{k=1}^{11} \sum_{j=0}^{367} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in [1, 367]$$

$$\sum_{j=1}^{367} x_{ijk} = \sum_{i=1}^{367} x_{ijk} \quad \forall k \in \{1, 11\} \\ i = 0$$

$$\sum_{i=0}^{367} \sum_{j=0}^{367} p_i \cdot x_{ijk} \leq 54 \quad \forall k \in \{1, 11\}$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \in S}}^{367} \sum_{\substack{j=1 \\ j \in S}}^{367} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq (V - \{0\}) \\ |S| \geq 2 \\ k \in \{1, 11\}$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in [1, 367] \\ \forall k \in \{1, 11\}$$

- Ruta de la tarde

Función objetivo:

$$\min \sum_{i=0} \sum_{j=0} \sum_{k=1} c_{ij} \cdot x_{ijk}$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^{11} \sum_{j=1}^{398} x_{ijk} \leq 11 \quad i = 0$$

$$\sum_{k=1}^{11} \sum_{j=0}^{398} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in [1, 398]$$

$$\sum_{j=1}^{398} x_{ijk} = \sum_{i=1}^{398} x_{ijk} \quad \forall k \in \{1, 11\} \\ i = 0$$

$$\sum_{i=0}^{398} \sum_{j=0}^{398} p_i \cdot x_{ijk} \leq 54 \quad \forall k \in \{1, 11\}$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \in S}}^{398} \sum_{\substack{j=1 \\ j \in S}}^{398} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq (V - \{0\})$$

$$|S| \geq 2$$

$$k \in \{1,11\}$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}$$

$$\forall i, j \in [1,398]$$

$$\forall k \in \{1,11\}$$

De esta forma el sistema a trabajar queda definido y modelado matemáticamente. La siguiente sección presenta el desarrollo de la estrategia de solución para encontrar la ruta propuesta con base en este sistema.

## 4. DESARROLLO DEL MODELO DE SOLUCIÓN

Para desarrollar el modelo de solución se utilizó una estrategia conocida como “agrupar primero, rutear después”, encontrada en trabajos como el de Thangiah (Thangiah, 1995). Ésta consiste en dividir el problema CVRP en dos sub-problema. En primera instancia los nodos se agrupan y se asignan a un vehículo. Después, se toma cada subgrupo de nodos y se resuelve como un problema TSP.

En la etapa de agrupación, los subgrupos definidos deben respetar las restricciones de tamaño de la flota y capacidad máxima de los vehículos. En la etapa de ruteo se debe garantizar que cada nodo sea visitado una sola vez.

Si se realizara un solo ruteo para todos los nodos, es posible que por la característica de aleatoriedad presente en la decisión probabilística del ACO, algunas soluciones conectarán nodos lejanos. Esto frenaría al algoritmo en su búsqueda de altos niveles de optimalidad. En cambio, al realizar ruteos más pequeños con subgrupos de nodos cercanos previamente agrupados, se evitan estas conexiones lejanas y se aprovecha al máximo el procesamiento del algoritmo. Otro punto a favor de esta estrategia es que permite impedir que pares de nodos que no deben ser visitados por el mismo vehículo, por alguna razón diferente a las restricciones del problema, sean agrupados por el algoritmo. Esta ventaja es importante en el caso bajo estudio y será expuesta en la sección 4.1

Para encontrar la ruta propuesta de los buses escolares las paradas se dividirán manualmente en 11 grupos, uno para cada bus. Posteriormente, se obtendrá la ruta de cada bus utilizando un algoritmo de solución basado en ACO para el problema TSP simétrico.

### 4.1 ASIGNACIÓN

La asignación de las paradas de cada bus se realizó agrupando los nodos cercanos por sectores de la ciudad de forma manual, utilizando como criterio la delimitación de las vías principales de la ciudad, buscando evitar que los buses las crucen durante su recorrido. Las avenidas principales, a diferencia de las secundarias y de las calles entre barrios, sólo pueden ser atravesadas en puntos específicos de la ciudad. Esto implica que para viajar entre un par de nodos separados por una avenida se deba realizar un recorrido mucho más largo que la distancia euclidiana utilizada por el algoritmo.

El proceso de agrupación se realizó ordenando las paradas de norte a sur y de occidente a oriente y se utilizaron filtros de Excel para hacer la delimitación de las vías. Después, se iban tomando las paradas consecutivamente, cuidando que cada una fuera asignada a un único bus, y cumpliendo las restricciones de capacidad máxima, tamaño de la flota y que cada parada sea visitada por un solo vehículo.

Las asignaciones de los buses para los recorridos de la mañana y de la tarde se encuentran en los Anexos 6 y 7.

## 4.2 RUTEO

Para encontrar la ruta propuesta de cada uno de los buses, se utilizó un procedimiento basado en la meta-heurística optimización por colonia de hormigas conocido como ant colony system (ACS). Éste fue propuesto por Dorigo y Gambardella para resolver problemas TSP simétricos y asimétricos (Dorigo & Gambardella, 1996). El modelo utiliza las funciones básicas de movimiento de la hormiga, actualización de la feromona y evaporación de la feromona para encontrar el orden en el que las paradas de cada bus deben ser visitadas de tal forma que el recorrido sea lo más corto posible. La etapa de ruteo debe garantizar que cada parada sea visitada una sola vez y que todas las paradas sean visitadas. De esta forma, todas las restricciones de un problema CVRP son cumplidas por la estrategia de solución.

### 4.2.1 Algoritmo de solución

Dado el conjunto de nodos  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$  definido como el subgrupo de de  $N$  paradas asignadas a un bus y  $E = \{(i, j), i, j \in V\}$  el conjunto de arcos entre cada par de nodos. Sea  $d_{ij}$  la distancia euclidiana asociada a cada arco  $(i, j)$ . Sea  $K$  el número de hormigas de cada ciclo e  $I$  el número de ciclos realizados por el algoritmo. Sea la matriz heurística de tamaño  $N \times N$  donde cada  $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$  corresponde a nivel de deseabilidad de ir desde el nodo  $i$  al nodo  $j$ . Sea la matriz de feromonas de tamaño  $N \times N$  donde cada  $\tau_{ij}$  corresponde al nivel de rastro de feromona presente en el arco  $(i, j)$ . Los valores de la matriz heurística son constantes, mientras que los de la matriz de feromonas se actualizan a lo largo de la construcción de la solución cuyo valor inicial  $\tau_{ij} = \tau_0$  es dado.

Cada hormiga parte del colegio y debe recorrer todas las paradas de  $V$  y volver al colegio. La hormiga construye la ruta a partir de una decisión probabilística paso a paso, basada en las ecuaciones 1 y 2, descritas a continuación:

$$s = \begin{cases} \arg\_max_{u \in J_k(i)} \{(\tau_{ij}) \cdot (\eta_{ij})^\beta\} & \text{si } q < q_0 \text{ (exploración)} \\ S & \text{en otro caso (explotación)} \end{cases} \quad (1)$$

donde  $q$  es un valor aleatorio de una distribución uniforme  $[0,1]$  y  $q_0$  ( $0 \leq q_0 \leq 1$ ) es un parámetro dado. El termino exploración se refiere a la preferencia de una hormiga por escoger rutas que no han sido recorridas, mientras que la explotación utiliza las rutas más recorridas con altos niveles de feromonas.  $J_k(i)$  se refiere al conjunto de paradas a las que puede ir la hormiga  $k$  cuando se encuentra en la parada  $i$ , es decir, las paradas que aún no se han visitado. El parámetro  $\beta$  determina la importancia relativa de la función heurística con respecto al rastro de feromona en el momento de la decisión. El valor  $S$  está definido por la siguiente distribución probabilística.

$$p_k(i, j) = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij}) \cdot (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{z \in J_k(i)} (\tau_{iz}) \cdot (\eta_{iz})^\beta} & \text{si } s \in J_k(i) \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (2)$$

En cada parada, la hormiga escoge su siguiente movimiento con el cálculo de estas dos fórmulas. Una vez llega al último nodo, vuelve al colegio, calcula la distancia recorrida y actualiza localmente la matriz de feromonas utilizando la siguiente ecuación.

$$\tau_{ij} := (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \tau_0 \quad (3)$$

Cuando todas las hormigas del ciclo han realizado el recorrido se escoge la ruta más corta de todas y se premia el recorrido con la actualización global de la feromona, con la siguiente ecuación.

$$\tau_{ij} := (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot (L_{mc})^{-1} \quad (4)$$

donde  $L_{mc}$  corresponde a la mejor ruta del ciclo.

Las ecuaciones 3 y 4 actualizan el rastro de la matriz de feromonas agregando feromona a las rutas recorridas y evaporando la feromona de todos los demás caminos. El valor  $\rho$  corresponde al coeficiente de evaporación de feromona.

Este proceso se realiza en todos los ciclos del algoritmo. Al finalizar el último ciclo, se escoge la ruta más corta entre las  $L_{mc}$  de cada ciclo, la que será la solución final del algoritmo.

Para un mejor entendimiento, la figura 2 muestra el diagrama de flujo del funcionamiento del modelo.



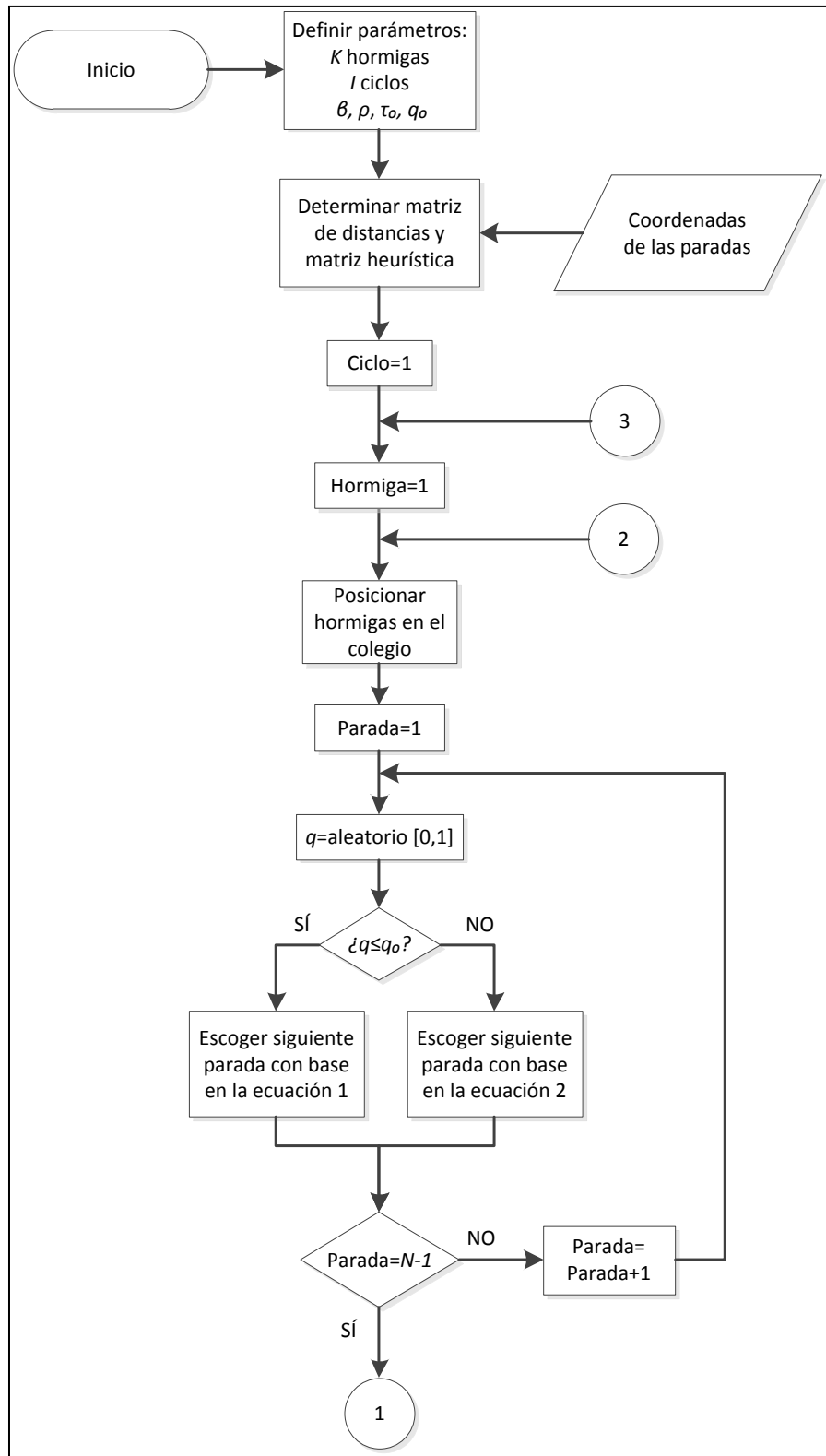


Figura 2. Diagrama de flujo de modelo de ACS para la etapa de ruteo.

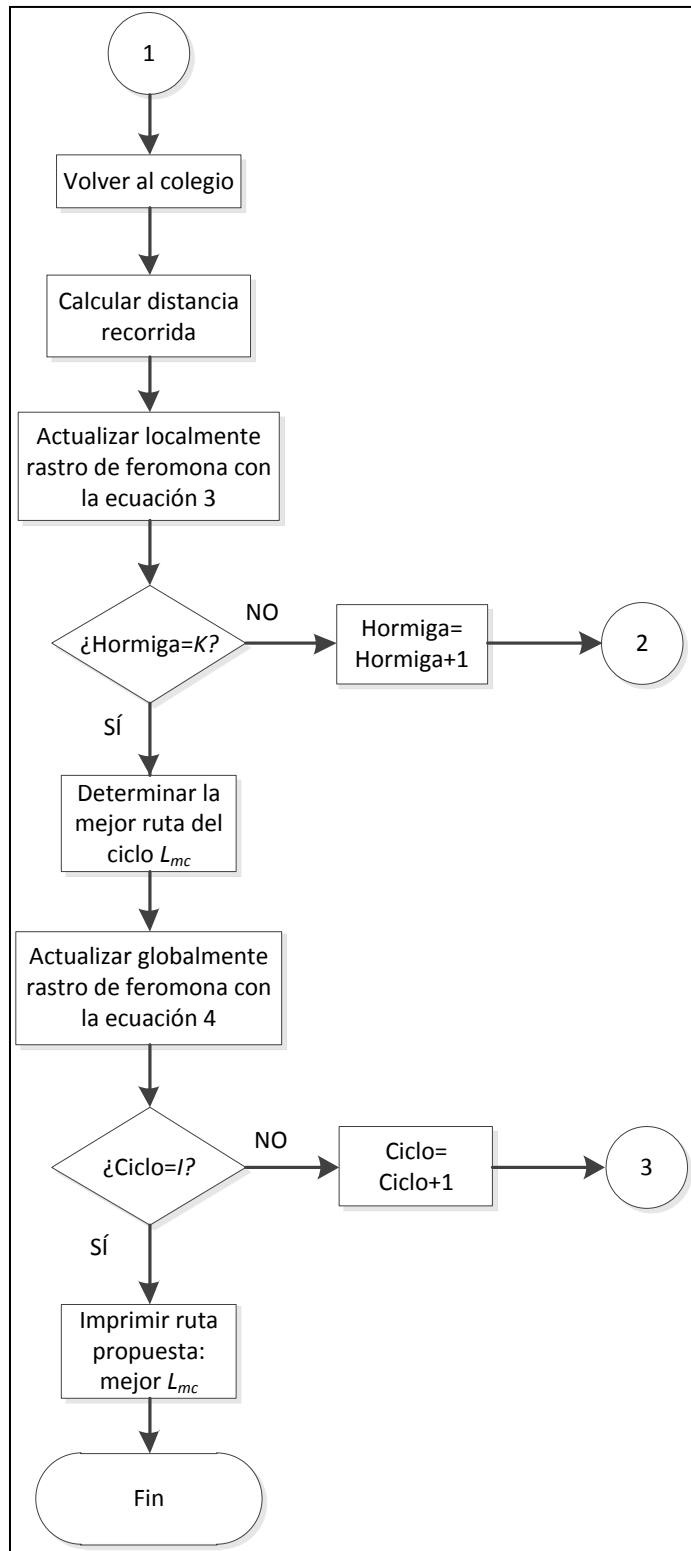


Figura 2. Diagrama de flujo de modelo de ACS para la etapa de ruteo.

## 4.2.2 Codificación de algoritmo

Para la codificación del algoritmo del procedimiento de ruteo se utilizó el programa Matlab R2009A. Matlab es un software computacional basado en un ambiente matricial. Su interfaz es bastante amigable, permite ejecutar varias operaciones con un solo comando y facilita la implementación de algoritmos. El problema presentado en este trabajo se basa en un grafo de nodos y arcos, por lo que las variables más importantes, como la distancia, la función heurística y el rastro de feromonas están representadas por matrices. Por esta razón, Matlab es un programa ideal para el desarrollo de este modelo de solución. Su ambiente matricial permite una fácil codificación de las funciones y un tiempo de procesamiento eficiente.

El código está dividido en siete funciones que se ejecutan desde la pantalla principal del programa. A continuación se describe cada una con su respectivo código fuente.

### 1. Información del programa

```
Información del programa
function
[longitud,latitud,matrizdedistancias,rastrodeferomona,matrizheuristica,nu
merodeiteraciones,observacion,rastro,coeficientede evaporacion,numerodehor
migas,numerodenodos,primeraparada]=informacionprograma;
numerodeiteraciones=200;%número de ciclos.
numerodehormigas=200;%número de hormigas.
[longitud,latitud]=archivodedatos('T4.tsp');%Comando que importa el
archivo con la información de los nodos, latitud y longitud.
numerodenodos=length(longitud);%Comando que establece el número de nodos.
for i=1:numerodenodos%Generación de la matriz de distancias.
    for j=1:numerodenodos
        matrizdedistancias(i,j)=sqrt((longitud(i)-
longitud(j))^2+(latitud(i)-latitud(j))^2);% Cálculo de la distancia
euclidiana entre los nodos.
    end
end
coeficientede evaporacion=.1;%coeficiente de evaporación de la feromona.
observacion=2;% Beta importancia de la función heurística en la decisión.
rastro=1;%Importancia del rastro de feromona en la decisión.
for i=1:numerodenodos%Generación de la matriz heurística.
    for j=1:numerodenodos
        if matrizdedistancias(i,j)==0
            matrizheuristica(i,j)=0;
        else
            matrizheuristica(i,j)=1/matrizdedistancias(i,j);
        end
    end
end
rastrodeferomona=0.0001*ones(numerenodos);%Generación de la matriz de
feromonas inicial.
```

Figura 3. Código de la función “Información del programa” del algoritmo de solución para la etapa de ruteo.

La función “Información del programa” determina los parámetros del problema. Número de ciclos, número de hormigas, número de nodos y el valor de  $\alpha$  y  $\beta$ . También importa el archivo con la información de las coordenadas de las paradas, que permite calcular los

valores  $d_{ij}$  de la matriz de distancias y  $\eta_{ij}$  de la matriz heurística. Finalmente, genera la matriz de feromonas inicial con valor  $\tau_{ij} = \tau_0$ .

## 2. Archivo de datos

```

Archivo de datos
function [longitud,latitud]=archivodedatos(inputfile)%Comando que permite
extraer las coordenadas de las paradas del archivo importado
fid=fopen(inputfile,'r');% nodes = textscan(fid,'%n%n%n%n',
'headerlines', 6);
fclose(fid);
longitud=(nodes{2})';
latitud=(nodes{3})';

```

Figura 4. Código de la función “Archivo de datos” del algoritmo de solución para la etapa de ruteo.

La función “Archivo de datos” permite extraer las coordenadas de las paradas de un archivo de texto. Los archivos con las coordenadas se crean en bloc de notas y después se modifica su nombre de .txt a .tsp para poder ser leído. Esto evita que sea necesario ingresar las coordenadas directamente en el código de Matlab.

## 3. Posición Inicial

```

Posición Inicial
function
[posicioninicialdelashormigas]=posicioninicial(numerodehormigas,numerodenodos,primeraparada);
for i=1:numerodehormigas
    posicioninicialdelashormigas(i,1)=1;%Posición inicial de las
hormigas.
    posicioninicialdelashormigas(i,2)=primeraparada;%Posición inicial de
las hormigas.
end

```

Figura 5. Código de la función “Posición inicial” del algoritmo de solución para la etapa de ruteo.

La función “Posición inicial” ubica primeramente a las hormigas del ciclo en el primero nodo, el colegio. Todas las hormigas deben partir del colegio y volver a él después de la última parada.

## 4. Ciclo de hormiga

```

Ciclo de hormiga
function
[construccion,rastrodeferomona]=ciclodecadahormiga(posiciondelashormigas,numerodehormigas,numerodenodos,matrizheuristica,rastrodeferomona,observacion,rastro,coeficientede evaporacion);
for i=1:numerodehormigas
    mh=matrizheuristica;
    for j=1:numerodenodos-1%Proceso de decisión paso a paso de las
hormigas
        c=posiciondelashormigas(i,j);
        mh(:,c)=0;
        temp=(rastrodeferomona(c,:).^rastro).*(mh(c,:).^observacion);
        s=(sum(temp));
        p=(1/s).*temp;%Ecuación 2 explotación
    end
end

```

```

r=rand;%Valor q
s=0.9;%Valor q sub cero
for k=1:numero de nodos
    s=s+p(k);
    if r<=s
        posiciondelashormigas(i,j+1)=k;%Ecuación 1 exploración
        break
    end
end
rastrodeferomona(posiciondelashormigas(i,j),posiciondelashormigas(i,j+1))
=(1-
coeficientede evaporacion)*rastrodeferomona(posiciondelashormigas(i,j),pos
iciondelashormigas(i,j+1))+coeficientede evaporacion*0.0001;%Actualización
local de la feromona ecuación 3
end
end
construccion=posiciondelashormigas;%Generación de la ruta de cada hormiga

```

Figura 6. Código de la función “Ciclo de hormiga” del algoritmo de solución para la etapa de ruteo.

La función “Ciclo de hormiga” realiza la construcción de las rutas de cada hormiga con base en la decisión probabilística de las ecuaciones 1 y 2. La función guarda los trayectos que va tomando la hormiga en cada paso. Después se realiza la actualización local de la feromona con la ecuación 3. Este proceso se repite hasta llegar a la última hormiga del ciclo.

## 5. Distancia recorrida

```

Distancia recorrida
function
[distancia]=distanciarecorrida(numero de hormigas, numero de nodos, matriz de dis
tancias, construccion);
for i=1:numero de hormigas
    s=0;
    for j=1:numero de nodos-1
        s=s+matriz de distancias(construccion(i,j),construccion(i,j+1));
    end
    distancia(i)=s;
end
end

```

Figura 7. Código de la función “Distancia recorrida” del algoritmo de solución para la etapa de ruteo.

La función “Distancia recorrida” calcula la distancia recorrida por cada hormiga con base en los trayectos escogidos y la matriz de distancia.

## 6. Actualización global de la feromona

```

Actualización global de la feromona
function
[rastrodeferomona]=actualizacionde la feromona(numero de hormigas, numero de nodos,
rastrodeferomona, mejor trayecto, i, distancia, numero, coeficientede evaporacion);
for j=1:numero de nodos-1
    dt=1/distancia(numero);
    rastrodeferomona(mejor trayecto(i,j),mejor trayecto(i,j+1))=(1-
coeficientede evaporacion)*rastrodeferomona(mejor trayecto(i,j),mejor trayec

```

```
to(i,j+1))+dt;%Actualización global de la feromona ecuación 4.
end
```

Figura 8. Código de la función “Actualización global de la feromona” del algoritmo de solución para la etapa de ruteo.

La función “Actualización global de la feromona” computa la nueva matriz de feromonas al terminar el ciclo con base en la mejor ruta del ciclo  $L_{mc}$  y la ecuación

## 7. Ejecución del programa

```
Ejecución del programa
[longitud,latitud,matrizdedistancias,rastrodeferomona,matrizheuristica,numerodeiteraciones,observacion,rastro,coeficientede evaporacion,numerodehormigas,numerodenodos,primeraparada]=informacionprograma;
for i=1:numerodeiteraciones

[posicioninicialdelashormigas]=posicioninicial (numerodehormigas,numerodenodos,primeraparada);

[construccion,rastrodeferomona]=ciclodecadahormiga (posicioninicialdelashormigas,numerodehormigas,numerodenodos,matrizheuristica,rastrodeferomona,observacion,rastro,coeficientede evaporacion);
    construccion=horzcat (construccion,construccion (:,1));

[distancia]=distanciarecorrida (numerodehormigas,numerodenodos,matrizdedistancias,construccion);
    [minimadistancia(i),numero]=min (distancia);
    mejortrayecto (i,:)=construccion (numero,:);

[rastrodeferomona]=actualizaciondelaferomona (numerodehormigas,numerodenodos,rastrodeferomona,mejortrayecto,i,distancia,numero,coeficientede evaporacion);
end
[k,l]=min (minimadistancia);
l
for i=1:numerodenodos+1
    X(i)=longitud (mejortrayecto (l,i));
    Y(i)=latitud (mejortrayecto (l,i));
end
plot (X,Y,'--rs','LineWidth',2,...
        'MarkerEdgeColor','k',...
        'MarkerFaceColor','g',...
        'MarkerSize',10)
xlabel ('X');ylabel ('y');axis ('equal');
for i=1:numerodenodos
    text (X(i)+.5,Y(i),['\leftarrow node ',num2str (mejortrayecto (l,i))]);
end
title (['Distancia optima de ',num2str (k)]);
```

Figura 9. Código de la función “Ejecución del programa” del algoritmo de solución para la etapa de ruteo.

“Ejecución del programa” es la función principal. Ésta controla las demás funciones del programa ejecutándolas tantas veces como el número de ciclos establecidos. También archiva las mejores rutas de cada ciclo para determinar al final la más corta de todas e imprimirla como la ruta propuesta del algoritmo.

La definición de los parámetros de ejecución del programa, así como los resultados obtenidos y el análisis de sensibilidad se describen en la siguiente sección.

## 5. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

A continuación se presentan la información de los experimentos realizados con el algoritmo, los resultados obtenidos y la definición de la ruta propuesta de cada bus. También se muestra el análisis de sensibilidad que explica el comportamiento del modelo.

### 5.1 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE EJECUCIÓN

Para la determinar los valores de los parámetros a utilizar en la etapa experimentación, se partió de los sugeridos por Dorigo y Gambardella para los problemas TSP simétricos (Dorigo & Gambardella, 1996 P 4) y se realizaron algunas pruebas rápidas que permitieran validar su buen desempeño.

- Número de rutas generadas  $I \cdot K$ : Corresponde al número de ciclos que realiza el algoritmo multiplicado por el número de hormigas de cada ciclo, es decir el número total de soluciones que calcula el programa. El valor sugerido por Dorigo y Gambardella es 10.000 rutas generadas por cada nodo del problema. Para esta experimentación, se utilizará un número de 200 hormigas por ciclo y  $N \cdot 50$  ciclos.
- $q_0$ : Corresponde a un valor entre  $[0, 1]$  que determina la preferencia de las hormigas por escoger la exploración antes que la explotación. El valor utilizado por Dorigo y Gambardella es  $q_0=0,9$ .
- $\beta$ : Corresponde a la importancia relativa entre la función heurística y el rastro de feromona. Debido a que para ambas matrices  $[0 \leq \eta_{ij} \leq 1]$  y  $[0 \leq \tau_{ij} \leq 1]$  en todo momento, al aumentar el valor de  $\beta$  se reducirá el valor de  $\eta_{ij}$  con relación a  $\tau_{ij}$  o, en otras palabras, mayor será la importancia del rastro de feromona frente a la función heurística en el momento de la decisión.  
El valor de  $\beta$  utilizado por Dorigo y Gambardella es 2. Sin embargo, durante la validación del algoritmo se identificó que la calidad de las respuestas cambiaba considerablemente al modificar este parámetro. Por esta razón, se realizaron unas pruebas rápidas que permitieron determinar a  $\beta=5$  como el valor a utilizar durante la experimentación. Los detalles de estas pruebas se pueden apreciar en el Anexo 8.
- $\rho$ : Corresponde al nivel de evaporación de la feromona. El valor utilizado por Dorigo y Gambardella es  $\rho=0,1$  y se utilizará el mismo.
- $\tau_0$ : Corresponde al nivel inicial del rastro de feromona. Dorigo y Gambardella sugieren utilizar un valor muy pequeño, y para determinarlo se basan en la solución entregada por el algoritmo del vecino más próximo<sup>2</sup>. Sin embargo, implementar este algoritmo únicamente para calcular este parámetro sería demasiado dispendioso. Por esta razón, se probaron algunos valores constantes y se escogió  $\tau_0=0,0001$ .

---

<sup>2</sup> El valor es  $\tau_0 = (N \cdot L_{nn})^{-1}$ , donde  $L_{nn}$  es la distancia de la ruta utilizando el algoritmo del vecino más próximo.



La tabla 6 resume los parámetros que se utilizarán durante la experimentación.

Parámetro	Valor
Número de ciclos ( $I$ )	50*N
Número de hormigas ( $K$ )	200
$q_0$	0,9
$\beta$	5
$\rho$	0,1
$\tau_0$	0,0001

Tabla 6. Parámetros de ejecución del modelo.

Estos parámetros serán modificados en la sección 5.4 para efectuar un análisis de sensibilidad que permita un mejor entendimiento del comportamiento del algoritmo.

## 5.2 RESULTADOS

Para determinar la ruta propuesta, se realizaron 10 ejecuciones por cada uno de los 11 grupos de cada bus, tanto de la mañana como de la tarde. Las tabla 7 y 8 muestran los resultados de las ejecuciones y resalta los resultados máximo, promedio y mínimo. Además, indica el tiempo de ejecución de la primera corrida del algoritmo para cada grupo. La ruta propuesta entrega el orden de visita de las paradas y la distancia total recorrida de la mejor ejecución, es decir la de la mínima distancia recorrida. En las tablas 9 y 11 se encuentra la información de las rutas propuestas, el orden para visitar las paradas y el número de estudiantes recogidos o dejados en cada una. Para un mayor detalle de los resultados obtenidos por medio del modelo, los Anexos 9 y 10 muestran las distancias recorridas por las rutas propuestas.

- Ejecución ruta de la mañana

	Tiempo de ejecución	Máx.	Prom	Mín.
M1	10:28	17772,98	17301,27	16402,76
M2	04:32	13665,58	13593,05	13557,48
M3	06:27	10245,71	10163,17	10105,15
M4	07:16	15197,21	15034,14	14884,56
M5	09:25	8203,93	8147,82	8065,37
M6	04:53	14585,71	14215,41	14041,45
M7	09:21	18818,65	18576,80	18401,71
M8	01:02	26139,65	26139,65	26139,65
M9	02:37	27303,27	27303,27	27303,27
M10	04:51	30703,39	30650,80	30585,09
M11	04:32	25720,84	25663,24	25606,02
<b>Total</b>		<b>208.356,92</b>	<b>206.788,62</b>	<b>205.092,52</b>

Tabla 7. Resultados de la ejecución ruta de la mañana

- Ejecución ruta de la tarde

	Tiempo de ejecución	Máx.	Prom	Mín.
T1	09:02	19774,30	19657,11	19576,08
T2	06:58	12500,37	12460,34	12426,82
T3	08:57	9954,33	9137,11	8846,89
T4	10:06	15186,30	15008,67	14861,94
T5	05:22	6394,84	6256,60	5737,23
T6	06:23	12002,48	11949,01	11876,97
T7	08:25	18026,02	17165,83	15809,05
T8	09:16	29059,08	28894,32	28767,73
T9	03:31	29294,57	29273,89	29271,55
T10	05:48	23272,09	22639,02	22141,81
T11	03:06	27917,56	27768,27	27708,90
<b>Total</b>		<b>203.381,92</b>	<b>200.210,17</b>	<b>197.024,96</b>

Tabla 8. Resultados de la ejecución ruta de la tarde

- Ruta propuesta de la mañana

Orden	BUS 1		BUS 2		BUS 3		BUS 4		BUS 5		BUS 6	
	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.
0	0		0		0		0		0		0	
1	341	1	69	2	39	1	22	1	340	2	213	1
2	342	1	68	2	38	1	23	1	326	2	235	1
3	324	1	67	1	37	1	25	1	327	1	233	2
4	314	1	66	3	31	2	24	1	338	1	234	4
5	220	2	65	2	33	1	14	1	339	1	214	1
6	221	2	365	1	32	1	16	1	337	1	216	1
7	222	1	364	1	30	1	19	1	336	2	302	1
8	180	1	359	1	29	1	18	1	334	1	231	3
9	178	1	358	1	35	1	5	1	335	2	225	1
10	177	3	356	1	34	1	13	1	333	2	230	2
11	176	1	357	1	36	1	6	1	328	1	229	2
12	179	1	355	1	72	1	7	1	329	1	228	1
13	172	1	361	2	73	1	8	2	330	1	227	1
14	173	1	362	1	71	1	9	1	331	1	226	1
15	174	1	353	1	62	1	11	2	332	1	224	2
16	175	1	354	2	70	1	10	1	323	1	215	3
17	167	1	363	1	63	2	48	1	311	1	238	1
18	166	1	360	2	27	1	49	1	325	1	236	1
19	171	1	352	1	26	1	51	1	312	1	237	1
20	170	1	351	1	28	1	50	1	316	2	210	1
21	169	1	350	1	60	1	12	2	315	1	211	1
22	181	1	344	1	59	1	52	1	313	1	301	1
23	168	1	345	1	58	1	53	2	219	1	209	1
24	154	1	347	2	57	1	55	2	318	1	208	1
25	153	1	346	1	15	1	54	1	317	1	206	1
26	152	2	349	2	21	1	56	1	319	3	207	2
27	150	1	348	1	20	1	74	1	320	2	98	1
28	151	1	343	3	17	1	212	1	321	1	99	3
29	149	1	143	1	64	1	109	1	322	1	97	1
30	148	1	144	1	4	1	108	1	305	1	96	2
31	146	1	147	1	61	1	107	1	308	2	95	1
32	142	1	0		3	1	106	1	307	1	100	1
33	145	1			2	1	103	2	310	1	0	
34	155	1			1	1	102	2	309	1		
35	156	1			366	5	101	1	306	2		
36	157	2			367	4	104	1	218	1		
37	158	1			0		105	1	304	1		
38	164	1					43	1	217	1		
39	163	1					0		232	1		
40	165	2							303	2		
41	162	2							223	1		
42	159	1							0			
43	160	1										
44	161	1										
45	0											
Total	44	52	31	43	36	45	38	45	41	53	32	47

Tabla 9. Ruta propuesta de la mañana.

Orden	BUS 7		BUS 8		BUS 9		BUS 10		BUS 11	
	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.
0	0		0		0		0		0	
1	239	1	195	2	113	1	299	1	44	1
2	240	1	187	3	136	1	300	1	45	1
3	241	1	186	1	125	1	194	1	46	1
4	250	1	184	1	127	1	297	1	47	1
5	242	1	185	1	126	1	298	1	41	1
6	246	1	191	1	129	1	139	1	40	2
7	245	1	190	1	128	2	138	1	79	1
8	244	1	189	1	131	1	137	6	78	1
9	243	1	188	1	132	1	110	1	42	1
10	247	1	278	1	130	2	111	1	77	1
11	248	1	277	1	135	3	112	1	76	1
12	263	1	279	2	134	1	295	3	75	1
13	249	1	283	1	133	1	294	3	94	1
14	262	1	284	1	124	1	293	1	93	1
15	261	1	285	2	123	1	291	2	91	1
16	264	1	286	2	121	1	290	3	90	1
17	265	1	0		122	1	292	1	89	1
18	267	1			120	1	289	1	87	1
19	266	1			119	1	288	1	88	1
20	268	1			115	1	296	2	86	1
21	92	1			117	1	287	1	85	1
22	251	1			114	1	273	1	84	1
23	252	2			118	1	282	1	80	1
24	254	1			116	1	280	1	81	1
25	253	1			0		281	2	83	1
26	260	1					275	1	82	2
27	259	1					276	1	140	1
28	193	2					270	1	141	1
29	192	1					269	2	196	1
30	258	2					272	1	198	1
31	257	1					274	1	197	1
32	255	1					271	1	0	
33	256	1					0			
34	199	2								
35	200	1								
36	201	3								
37	202	4								
38	203	1								
39	204	1								
40	205	1								
41	182	1								
42	183	1								
43	0									
44										
45										
Total	42	51	16	22	24	28	32	47	31	33

Tabla 9. Ruta propuesta de la mañana.

La tabla 10 resume para cada bus el total de paradas visitadas, el total de estudiantes recogidos y el total de la distancia recorrida de la ruta propuesta de la mañana.

<b>Bus</b>	<b>Total Paradas</b>	<b>Total estudiantes</b>	<b>Distancia recorrida</b>
Bus 1	44	52	16.403,17 m.
Bus 2	31	43	13.557,25 m.
Bus 3	36	45	10.105,15 m.
Bus 4	38	45	14.884,60 m.
Bus 5	41	53	8.065,33 m.
Bus 6	32	47	14.041,21 m.
Bus 7	42	51	18.401,71 m.
Bus 8	16	22	26.139,55 m.
Bus 9	24	28	27.303,30 m.
Bus 10	32	47	30.585,27 m.
Bus 11	31	33	25.606,10 m.
<b>Total</b>	<b>367</b>	<b>466</b>	<b>205.092,63 m.</b>

Tabla 10. Resumen de la ruta propuesta de la mañana.

- Ruta propuesta de la tarde

Orden	BUS 1		BUS 2		BUS 3		BUS 4		BUS 5		BUS 6	
	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Orden	Parada
0	0		0		0		0		0		0	
1	173	1	369	1	334	1	66	1	343	1	335	1
2	174	1	382	1	1	1	67	1	344	1	351	1
3	169	1	370	1	16	1	68	1	333	2	364	2
4	170	1	372	1	5	1	69	1	342	3	365	1
5	171	1	371	1	4	1	71	1	340	1	366	1
6	172	1	373	1	6	2	70	1	339	1	255	1
7	168	1	374	1	15	1	74	1	336	2	263	1
8	164	1	380	1	14	1	73	1	337	2	262	1
9	167	1	378	2	9	1	72	1	338	2	261	2
10	166	1	379	1	8	1	95	2	341	1	241	1
11	165	1	383	1	7	1	97	1	345	1	264	1
12	162	1	384	1	11	1	13	1	346	1	243	1
13	163	1	385	1	12	1	20	1	348	1	245	1
14	203	1	377	1	10	1	19	1	347	1	244	3
15	161	2	376	2	3	1	17	2	349	1	239	4
16	159	1	375	2	2	1	18	1	350	3	238	2
17	160	1	49	3	65	1	22	1	352	1	237	1
18	158	1	50	1	64	1	21	1	355	2	240	1
19	198	2	397	1	63	1	23	1	356	1	271	1
20	197	1	396	1	57	2	47	1	357	1	268	1
21	199	1	395	1	56	1	46	1	363	2	269	1
22	196	1	393	1	381	3	24	1	361	2	270	1
23	195	1	394	2	48	1	25	1	360	1	265	1
24	201	1	391	2	55	2	26	1	358	1	266	1
25	200	1	392	4	53	1	27	1	256	1	267	1
26	202	1	390	1	54	2	28	1	257	3	246	3
27	175	1	389	1	51	2	29	1	367	4	242	2
28	191	1	386	3	52	1	45	1	362	1	260	1
29	176	1	388	1	34	1	37	1	259	2	254	3
30	190	1	387	3	32	2	38	1	258	2	249	1
31	189	1	398	1	33	1	43	2	359	2	248	2
32	177	2	178	1	35	1	42	1	354	1	247	2
33	188	1	181	4	36	1	40	3	353	1	252	2
34	182	2	186	1	31	1	41	1	0		253	1
35	183	1	180	1	30	1	39	2			251	1
36	184	1	179	1	58	1	44	1			250	1
37	185	1	0		59	1	75	1			0	
38	187	1			60	1	77	2				
39	192	1			61	3	76	2				
40	193	1			62	2	79	1				
41	194	2			0		78	1				
42	0						86	1				
43							87	1				
44							0					
Total	41	46	36	53	40	51	43	51	33	52	36	52

Tabla 11. Ruta propuesta de la tarde.

Orden	BUS 7		BUS 8		BUS 9		BUS 10		BUS 11	
	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.	Parada	# Est.
0	0		0		0		0		0	
1	103	1	104	1	313	1	96	1	126	1
2	99	3	292	1	314	1	88	1	125	1
3	102	3	293	1	315	2	89	2	124	1
4	100	1	298	1	312	1	90	2	130	1
5	101	1	300	2	311	1	91	1	131	1
6	279	1	299	1	316	1	94	1	134	1
7	277	1	225	1	309	1	92	1	133	1
8	278	1	302	1	317	1	93	1	135	1
9	276	1	231	1	318	1	84	1	132	1
10	275	1	234	1	308	2	82	1	137	1
11	274	1	233	1	307	2	83	1	136	1
12	98	1	232	2	306	1	85	1	140	2
13	272	1	235	1	319	1	80	2	139	1
14	286	1	230	2	310	1	81	1	138	1
15	285	1	226	1	320	1	111	1	141	1
16	273	1	227	1	321	1	112	1	142	1
17	282	1	229	3	322	2	113	1	145	1
18	281	1	228	1	323	2	115	1	143	1
19	280	1	296	1	305	1	117	1	146	1
20	283	1	297	2	332	2	116	2	144	3
21	290	1	294	1	324	1	119	1	148	1
22	291	1	295	1	325	1	118	1	149	1
23	288	2	216	1	328	1	114	1	147	2
24	287	1	236	1	326	3	109	1	152	3
25	289	1	219	1	327	2	110	1	151	1
26	214	4	223	1	331	3	108	1	150	1
27	213	3	224	1	330	3	107	1	0	
28	212	1	218	1	329	1	106	1		
29	211	2	222	1	0		120	1		
30	210	1	220	1			121	1		
31	217	1	221	3			105	1		
32	284	1	303	1			122	1		
33	215	1	304	1			123	1		
34	209	1	156	1			301	1		
35	208	1	154	1			0			
36	205	2	155	5						
37	204	1	127	1						
38	206	1	157	1						
39	207	1	128	1						
40	368	1	129	1						
41	0		153	1						
42			0							
43										
44										
Total	40	52	41	53	28	41	34	38	26	32

Tabla 11. Ruta propuesta de la tarde.

La tabla 12 resume para cada bus el total de paradas visitadas, el total de estudiantes recogidos y el total de la distancia recorrida de la ruta propuesta de la tarde.

Bus	Total Paradas	Total estudiantes	Distancia recorrida
Bus 1	41	46	19.576,22 m.
Bus 2	36	53	12.426,65 m.
Bus 3	40	51	8.847,18 m.
Bus 4	43	51	14.861,57 m.
Bus 5	33	52	5.737,45 m.
Bus 6	36	52	11.876,79 m.
Bus 7	40	52	15.808,70 m.
Bus 8	41	53	28.768,20 m.
Bus 9	28	41	29.271,54 m.
Bus 10	34	38	22.142,08 m.
Bus 11	26	32	27.708,88 m.
<b>Total</b>	<b>398</b>	<b>521</b>	<b>197.025,26 m.</b>

Tabla 12. Resumen de la ruta propuesta de la mañana.

### 5.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La tabla 13 muestra una comparación entre la distancia diaria recorrida de la ruta inicial y la ruta propuesta.

	Ruta Inicial	Ruta Propuesta	Diferencia
Mañana	223.563,9 m.	205.092,6 m.	-8,3%
Tarde	250.621,7 m.	197.025,3 m.	-21,4%
<b>Total</b>	<b>474.185,6 m.</b>	<b>402.117,9 m.</b>	<b>-15,2%</b>

Tabla 13. Comparación de distancias recorridas. Ruta inicial vs. ruta propuesta.

La ruta propuesta obtenida por medio del modelo de solución ACO muestra una reducción del 8,3% en el recorrido de la mañana y de 21,4% en el recorrido de la tarde. La reducción total del recorrido es del 15,2%. Esta reducción de la distancia recorrida conllevará a una reducción en el tiempo de viaje, lo que será más confortable para los estudiantes y conductores, y en una reducción del consumo de combustible, que beneficiará las finanzas del colegio y el medio ambiente de la ciudad. En la sección 5.5 se amplía el aspecto económico de la propuesta por medio de un análisis financiero de los resultados obtenidos.

### 5.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Con el fin de entender mejor el comportamiento del modelo de solución ACO, se realizó un análisis de sensibilidad que muestra cuál es el impacto de la variación de los



parámetros en los resultados arrojados por el algoritmo. Para este análisis se escogieron tres de los 22 grupos de nodos, tomando como criterio el número de paradas: M1 (45 paradas), el grupo con mayor cantidad de paradas. T2 (37 paradas), que corresponde al valor de la mediana. Y M11 (32 paradas), que es el segundo grupo con menor número de paradas. M7 (17 paradas) no fue tenido en cuenta debido a que su solución ya convergía un valor con los parámetros de ejecución establecidos, por lo que sus datos no serían útiles para este análisis.

Para el análisis de cada parámetro, todos los demás valores se dejaron constantes en el mismo valor de la ejecución del modelo.

- Número de ciclos ( $l$ )

El valor utilizado en la experimentación fue  $50*N$ , donde  $N$  representa el número de paradas del problema. Para el análisis de sensibilidad se utilizaron los valores  $30*N$  y  $70*N$ . Las variaciones se ilustran en la figura 11.

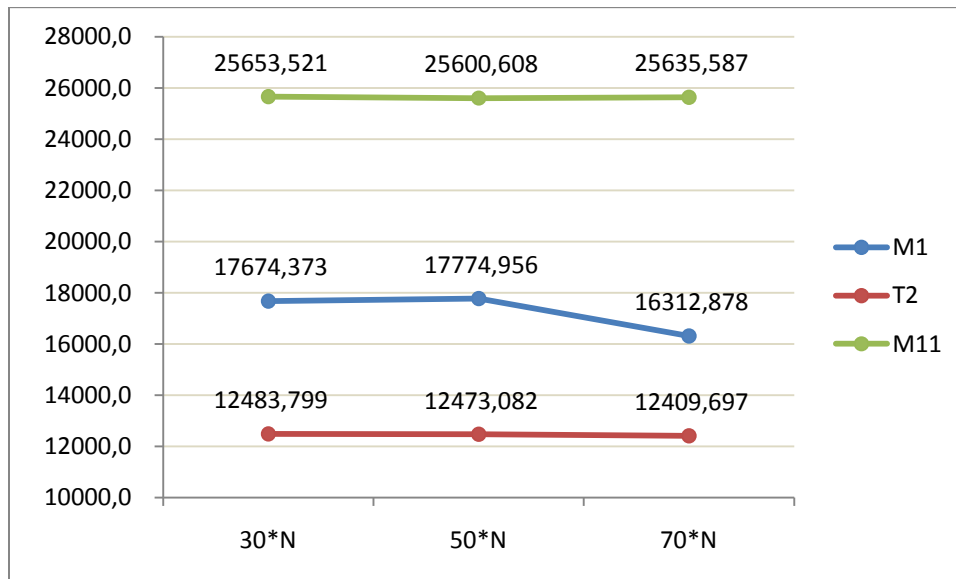


Figura 10. Análisis de sensibilidad del parámetro  $l$ .

Es lógico pensar que aumentar el número de soluciones generadas por el algoritmo, mayor será la probabilidad de encontrar una solución más cercana al óptimo. Sin embargo, al llegar a un número considerable de soluciones, los resultados tienden a converger hacia un valor y no presentan mejoras significativas. Este caso es representado por las líneas de T2 y M11, en los cuales las mejores soluciones para  $30*N$ ,  $50*N$  y  $70*N$  ciclos no varía significativamente. Por el contrario, para el caso de la ruta M1, las soluciones se estancan en un óptimo local en  $30*N$  y  $50*N$  número de ciclos. Al llegar a los  $70*N$  ciclos, la solución mejora drásticamente, 1.462,08 m. menos que la distancia para  $50*N$ . M1 es la ruta con mayor número de paradas. Esto permite corroborar que entre mayor sea el número de nodos, mayor será el número de soluciones posibles y, por tanto, mayor será el número de ciclos necesarios para que el problema converja.

- Número de hormigas ( $K$ )

El valor utilizado en la experimentación fue 200 hormigas por ciclo. Para el análisis de sensibilidad se utilizaron 100 y 300 hormigas. Las variaciones se ilustran en figura 12.

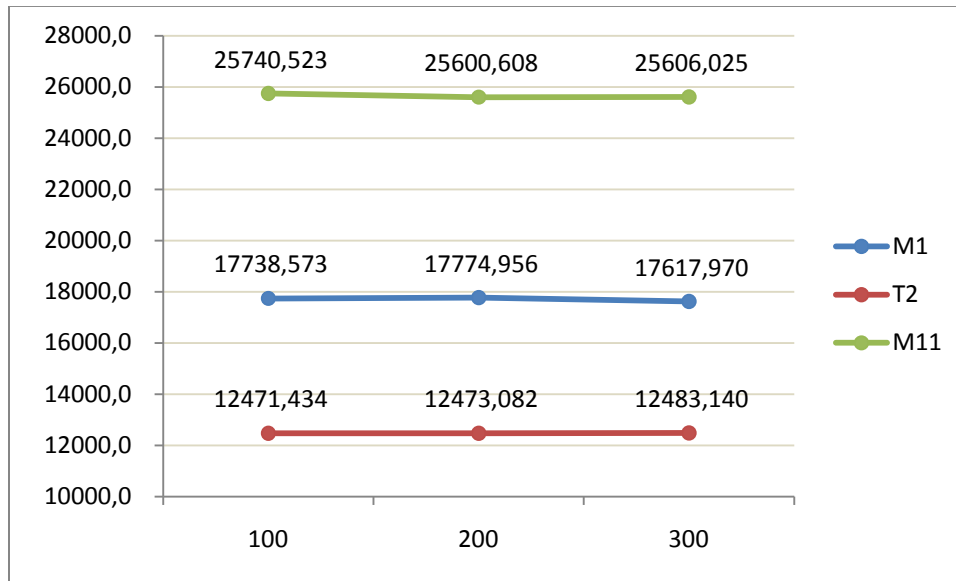


Figura 11. Análisis de sensibilidad del parámetro  $K$ .

Junto con el número de ciclos ejecutados, el número de hormigas por ciclo es el parámetro que determina la cantidad de soluciones generadas y por lo tanto se espera que al aumentarlo, la calidad de la mejor ruta mejore. Al igual que en el análisis anterior, las soluciones de T2 y M11 no tienen cambios considerables al ir de 100 a 300 hormigas. Sin embargo, en el caso de M1 la calidad de la solución no mejora, como ocurrió al aumentar el número de ciclos. Entonces, es pertinente preguntar por qué la solución de M1 mejora al aumentar el número de ciclos pero no lo hace al aumentar el número de hormigas.

La explicación puede estar en la actualización del rastro de feromona. En la sección 2 se menciona que, según Dorigo & Stützle, cuando la actualización del rastro se hace con base en la calidad de la solución entregada, el algoritmo converge más rápidamente que cuando se hace con un valor constante (Dorigo & Stützle, 2004 P 14). En el modelo desarrollado en este trabajo la actualización local realizada cada vez que una hormiga termina el recorrido se hace con base en un valor constante  $\tau_0$ . Pero la actualización global realizada al concluir un ciclo se calcula con base en la distancia recorrida por la mejor hormiga del ciclo ( $L_{mc}$ ). Esto permite validar la afirmación de Dorigo & Stützle y concluir que, para el caso de este algoritmo en particular, es mejor aumentar el número de ciclos que el número de hormigas si se quiere ejecutar el programa con un mayor número de soluciones generadas.

- $q_0$

El valor utilizado en la experimentación fue 0,9. Para el análisis de sensibilidad se utilizaron valores de 0,8 y 0,95. Las variaciones se ilustran en la figura 13.

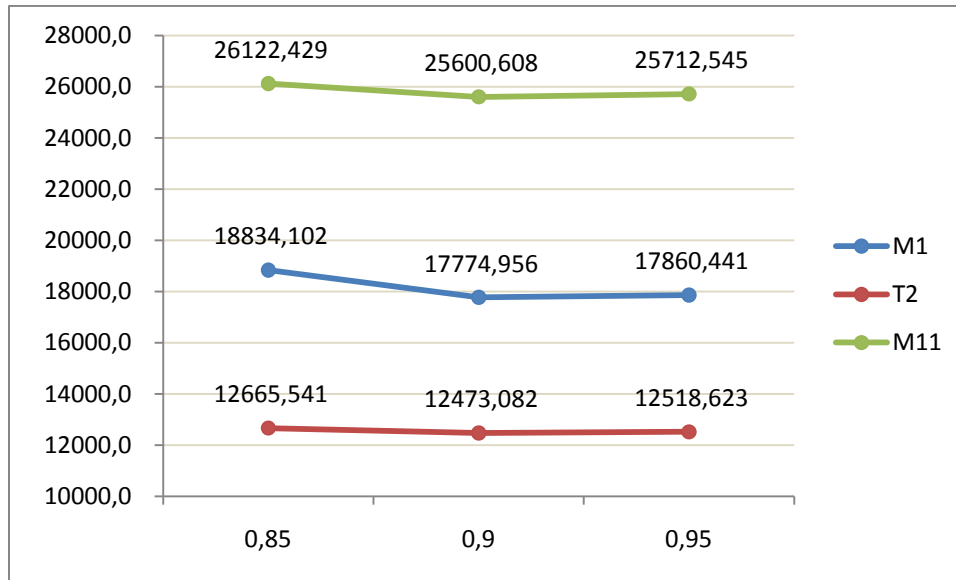


Figura 12. Análisis de sensibilidad del parámetro  $q_0$ .

La gráfica muestra que aunque los cambios no son muy grandes,  $q_0=0,9$  entrega la mejor solución para las tres rutas. Esto evidencia que la tendencia a preferir la exploración antes que la explotación produce mejores resultados en el algoritmo.

- $\beta$

Durante la determinación de los parámetros, se explicó por qué el aumento del valor  $\beta$  mejora los resultados, al darle mayor importancia al rastro de feromona que a la función heurística. El Anexo 8 muestra más detalladamente el comportamiento de las soluciones con diferentes valores de  $\beta$ . Sin embargo, para hacerlo consistente con el análisis de sensibilidad de los demás parámetros se hizo un análisis con los valores  $\beta=4$  y  $\beta=6$ , en comparación con  $\beta=5$ , valor utilizado en la experimentación. La figura 14 muestra los resultados de las variaciones.

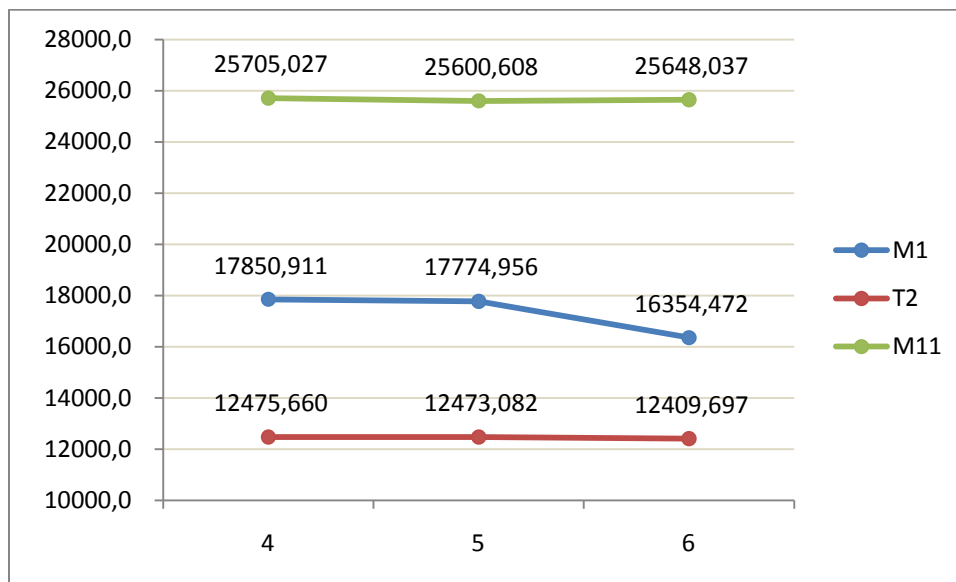


Figura 13. Análisis de sensibilidad del parámetro  $\beta$ .

La tabla muestra que en el caso de T2 y M11 los resultados no varían significativamente con valores de  $\beta$  de 4, 5 y 6. Sin embargo, el comportamiento de M1 para  $\beta=6$  deja de nuevo en evidencia la posibilidad de estancamientos en óptimos locales. La reducción de 1.420,48 m. entre  $\beta=5$  y  $\beta=6$  muestra que entre mayor sea el número de paradas del problema, mayor será el impacto del rastro de feromonas en relación a la función heurística.

- $\rho$

El valor utilizado en la experimentación fue de 0,1. Para el análisis de sensibilidad se utilizaron valores de 0,01 y 0,2. Las variaciones se ilustran en la figura 15.

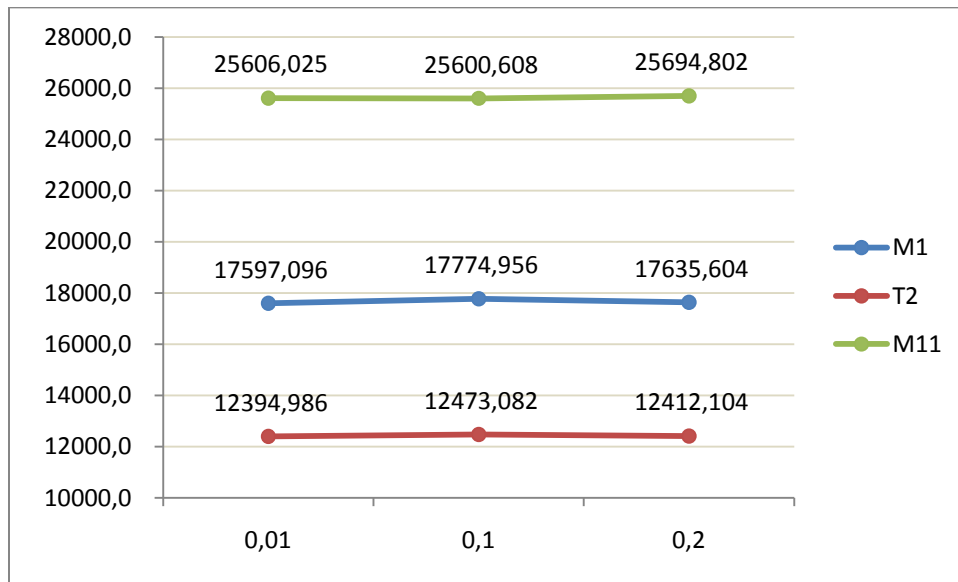


Figura 14. Análisis de sensibilidad del parámetro  $\rho$ .

El valor de  $\rho$  determina la velocidad a la que el rastro de feromona se evapora de los arcos que no son utilizados por las hormigas. Si su valor es muy grande, la feromona se evaporará rápidamente y el algoritmo convergerá a una solución en las primeras instancias de la ejecución. Como la gráfica no muestra variaciones significativas entre 0,01 y 0,2, se puede afirmar que el modelo tiene un comportamiento consistente para un espectro amplio de valores de  $\rho$ .

- $\tau_0$

El valor utilizado en la experimentación fue de 0,0001. Para el análisis de sensibilidad se utilizaron valores de 0,001 y 0,0001. Las variaciones se ilustran en la figura 16.

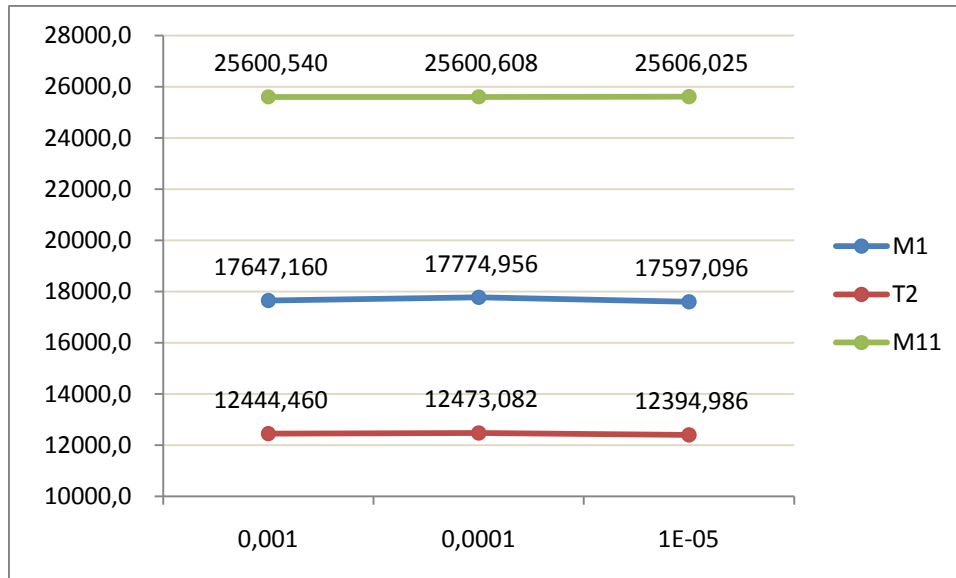


Figura 15. Análisis de sensibilidad del parámetro  $\tau_0$ .

Al igual que  $\rho$ , un valor muy alto de  $\tau_0$  lleva al algoritmo a converger rápidamente, ya que aumentaría drásticamente el nivel de feromona de los arcos visitados por las hormigas. La gráfica muestra que las soluciones presentan un comportamiento consistente con valores  $\tau_0$  relativamente cercanos.

El análisis de sensibilidad muestra que algunos parámetros tienen un mayor impacto en la calidad de las rutas que otros. Es evidente que aumentar los valores de  $l$  y  $K$  disminuyen las distancias de las rutas entregadas, pero a su vez aumentan el tiempo de procesamiento del algoritmo. Cuando se limita el número de soluciones generadas, el valor de  $\beta$  toma gran importancia. Los análisis realizados en esta sección y en el Anexo 8 evidencian que su variación tiene un gran impacto sobre la calidad de las respuestas. Esto es particularmente interesante ya que comprueba que la función de rastro de feromona, que es la base de la meta-heurística ACO, mejora significativamente los resultados. El parámetro  $q_0$  mostró que en este tipo de modelos la exploración debe tener mayor importancia que la explotación. En cuanto a los parámetros  $\rho$  y  $\tau_0$ , mostraron tener una mayor consistencia frente a las variaciones que los demás parámetros.

## 5.5 ANÁLISIS FINANCIERO

Para medir el impacto financiero de la ruta propuesta se realizó una comparación entre el consumo de combustible de la ruta inicial y el de la ruta propuesta. Inicialmente se recolectó la información del gasto en consumo de combustible de los buses en la situación inicial.

La tabla 14 muestra el valor aproximado en pesos que gasta cada bus diariamente en combustible ACPM. Esta información fue suministrada por el coordinador de rutas y los conductores. La columna de consumo por gl. se determinó con base en un precio de

\$6.780 COP, costo actual aproximado del galón de ACPM en Bogotá. La columna m./gl. muestra el rendimiento por galón, una relación entre la distancia recorrida y el consumo en gl. de cada bus. Es pertinente aclarar que este rendimiento teórico se basa en las distancias euclidianas de la ruta inicial calculadas en la sección 3.6, y no al recorrido real de los buses.

Bus	Ruta Mañana	Ruta Tarde	Distancia total	Consumo en COP	Consumo en gl.	m./gl.
Bus 1	12.319,00	13.945,60	26.264,60	\$ 45.000	6,64	3.957,20
Bus 2	22.124,10	18.367,80	40.491,90	\$ 55.000	8,11	4.991,55
Bus 3	20.236,00	24.568,40	44.804,40	\$ 60.000	8,85	5.062,90
Bus 4	33.087,50	33.546,20	66.633,70	\$ 90.000	13,27	5.019,74
Bus 5	24.099,40	41.552,30	65.651,70	\$ 85.000	12,54	5.236,69
Bus 6	20.336,20	26.795,00	47.131,20	\$ 65.000	9,59	4.916,15
Bus 7	11.934,40	11.957,00	23.891,40	\$ 40.000	5,90	4.049,59
Bus 8	22.190,40	20.599,80	42.790,20	\$ 60.000	8,85	4.835,29
Bus 9	31.884,50	32.556,10	64.440,60	\$ 85.000	12,54	5.140,09
Bus 10	14.324,40	13.537,20	27.861,60	\$ 45.000	6,64	4.197,81
Bus 11	11.028,00	13.196,40	24.224,40	\$ 40.000	5,90	4.106,04
<b>Total</b>	<b>223.563,90</b>	<b>250.621,80</b>	<b>474.185,70</b>	<b>\$ 670.000</b>	<b>98,82</b>	<b>4.798,48</b>

Tabla 14. Consumo diario de combustible en la ruta inicial.

De la tabla se obtienen el total del costo diario del combustible utilizado en la ruta inicial, que es de \$670.000 COP, y el valor promedio del rendimiento teórico de los buses en la ruta inicial, que corresponde a 4.798,48 m./gl. Este rendimiento promedio permite determinar el costo diario del combustible de la ruta propuesta. Las tablas 15 y 16 muestran el consumo de combustible proyectado de cada bus en la ruta propuesta.

- Ruta de la mañana

Bus	Dist. Euclidiana	Prom m./gl.	Consumo en gl.	Consumo en COP
Bus 1	16.403,17	4.798,48	3,42	\$ 23.177
Bus 2	13.557,25	4.798,48	2,83	\$ 19.156
Bus 3	10.105,15	4.798,48	2,11	\$ 14.278
Bus 4	14.884,60	4.798,48	3,10	\$ 21.031
Bus 5	8.065,33	4.798,48	1,68	\$ 11.396
Bus 6	14.041,21	4.798,48	2,93	\$ 19.840
Bus 7	18.401,71	4.798,48	3,83	\$ 26.001
Bus 8	26.139,55	4.798,48	5,45	\$ 36.934
Bus 9	27.303,30	4.798,48	5,69	\$ 38.578
Bus 10	30.585,27	4.798,48	6,37	\$ 43.215
Bus 11	25.606,10	4.798,48	5,34	\$ 36.180
<b>Total</b>	<b>205.092,63</b>	<b>4.798,48</b>	<b>42,74</b>	<b>\$ 289.785</b>

Tabla 15. Consumo de combustible proyectado para la ruta propuesta de la mañana.

- Ruta de la tarde

Bus	Dist. Euclidiana	Consumo en COP	Consumo en gl.	Consumo en COP
Bus 1	19.576,22	4.798,48	4,08	\$ 27.660
Bus 2	12.426,65	4.798,48	2,59	\$ 17.558
Bus 3	8.847,18	4.798,48	1,84	\$ 12.501
Bus 4	14.861,57	4.798,48	3,10	\$ 20.999
Bus 5	5.737,45	4.798,48	1,20	\$ 8.107
Bus 6	11.876,79	4.798,48	2,48	\$ 16.781
Bus 7	15.808,70	4.798,48	3,29	\$ 22.337
Bus 8	28.768,20	4.798,48	6,00	\$ 40.648
Bus 9	29.271,54	4.798,48	6,10	\$ 41.359
Bus 10	22.142,08	4.798,48	4,61	\$ 31.286
Bus 11	27.708,88	4.798,48	5,77	\$ 39.151
<b>Total</b>	<b>197.025,26</b>	<b>4.798,48</b>	<b>41,06</b>	<b>\$ 278.387</b>

Tabla 16. Consumo de combustible proyectado para la ruta propuesta de la tarde.

El costo total del consumo diario de combustible de la ruta propuesta es de \$568.172 COP. Al comparar este valor con el de la ruta inicial, se obtiene el ahorro diario de la ruta propuesta. Considerando que el año escolar 2010 tiene 171 días de clases, se estimó el ahorro anual que puede traer la ruta propuesta. La información se puede apreciar en la tabla 16.

	Ruta inicial	Ruta Propuesta	Ahorro
Consumo diario	\$ 670.000	\$ 568.172	\$ 101.828
Consumo anual	\$ 114.570.000	\$ 97.157.393	\$ 17.412.607

Tabla 17. Ahorro anual proyectado de la ruta propuesta.

El ahorro total anual de la ruta propuesta obtenida por medio del modelo de solución ACO es de \$17.412.607 COP, que corresponde a una reducción del 17,9% comparado con los costos de combustible de la ruta inicial.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó una propuesta de aplicación de un modelo de optimización basado en la meta-heurística Optimización por Colonia de Hormigas (ACO) para el proceso de planeación de rutas para los buses escolares del colegio Liceo de Cervantes Norte. El modelo permite encontrar la ruta más posible para cada bus en un intervalo de tiempo razonable. En la definición del sistema se explora el proceso de transporte escolar del colegio Liceo de Cervantes y se analizan sus características comparándolas con las variables y restricciones del problema de planeación de rutas para vehículos con capacidad (CVRP). Esto permitió realizar una representación simplificada del proceso y modelarlo matemáticamente.

Para encontrar las rutas propuestas se desarrolló una estrategia de solución de dos etapas. La primera etapa agrupa, con base en las direcciones, las paradas más cercanas en 11 subgrupos, uno para cada bus. La segunda etapa toma cada subgrupo de nodos y determina la ruta propuesta resolviendo el problema como un TSP simétrico. Para lograrlo, se desarrollo un modelo de solución basado en colonia de hormigas. Este modelo, conocido como ACS, fue codificado y ejecutado en el software Matlab. Matlab mostró ser un programa de fácil codificación y ejecución, y tener un procesamiento eficiente en modelos con variables matriciales.

Durante la ejecución del modelo y el análisis de sensibilidad se pudo apreciar dos características interesantes. En primer lugar, una mayor importancia a la función de rastro de feromona con relación a la función heurística, por medio del aumento del parámetro  $\beta$ , mejora significativamente la calidad de las soluciones encontradas. En segundo lugar, tener un mayor número de ciclos frente al número de hormigas por ciclo permite actualizar la feromona con base en la calidad de las soluciones anteriores y, de esta forma, lograr que el algoritmo converja más rápidamente hacia rutas más cortas. Esto evidencia que la matriz de feromonas es fundamental en la consecución de buenas soluciones en intervalos cortos de tiempo y permite validar que el modelo desarrollado Dorigo y Di Caro en 1990 tiene un muy buen desempeño en la resolución de problemas de planeación de rutas.

Si bien la reducción de la distancia total del recorrido en la ruta propuesta es sólo del 15,2%, se debe tener en cuenta que la ruta inicial fue determinada con base en la experiencia y el conocimiento de personas que trabajan diariamente en el transporte escolar. Esto evidencia que la utilización de herramientas científicas puede mejorar aún más procesos basados en la intuición y en experiencia empírica.

El análisis financiero permitió visualizar la magnitud del costo del proceso de transporte y proyectar el ahorro que implicaría la reducción de la ruta.

El transporte escolar es un proceso muy importante, no sólo para el colegio, sino para la comunidad en general. Tener rutas eficientes para los buses beneficia a los estudiantes,



quienes deben pasar menos tiempo en los buses. A la ciudad, ya que ayuda a reducir el tráfico en las vías. Al colegio, ya que reduce el costo del combustible y alarga la vida útil de los buses. Y al ambiente, ya que reduce la contaminación emitida por los buses. A pesar de su importancia, y de ser un problema que en países como Estados Unidos es trabajado con mucha seriedad, en Colombia ha sido muy poco estudiado.

## 6.2 RECOMENDACIONES

Durante la etapa de validación del código del algoritmo se hicieron pruebas para escoger los valores de los parámetros que se utilizaron en la ejecución que determinó las rutas propuestas de los buses. Sin embargo, el análisis de sensibilidad dejó entrever que es posible encontrar rutas más cortas modificando algunos parámetros. Es posible que haciendo pruebas más exhaustivas de los valores, en especial del parámetro  $\beta$  y de la proporción entre el número de ciclos  $I$  y el número de hormigas  $K$  se logren soluciones de mejor calidad que reduzcan en un mayor porcentaje el recorrido total de los buses.

El desarrollo y los resultados de este trabajo son de carácter teórico, ya que se basó en un modelación simplificada del problema real de transporte escolar. Sin embargo, el modelo de solución puede ser utilizado por los colegios como una herramienta de toma de decisiones, que sumada a la experiencia empírica y al conocimiento de las vías de los conductores y los coordinadores de ruta, permita encontrar rutas más eficientes en el proceso real.

Finalmente, en la definición del sistema a trabajar se estableció que el costo asociado a los arcos entre cada par de nodos sería la distancia euclidiana. Aunque la distancia euclidiana, es una buena aproximación para establecer rutas cortas, es claro que se dejan de lado muchas de las características reales de las calles. Una mejora interesante para este trabajo sería poder utilizar las distancias de los trayectos reales entre las paradas. El uso de programas GPS, junto con alguna herramienta automatizada que permita levantar la esta información de manera eficiente, entregaría resultados mucho más cercanos a la realidad.

## BIBIOGRAFÍA

- ALONSO, Sergio, CORDÓN, Oscar, FERNÁNDEZ, Iñaki Y HERRERA, Francisco. La Meta-heurística de Optimización Basada en Colonias de Hormigas: Modelos y Nuevos Enfoques. Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, E.T.S. Granada, España.
- BERNABÉ Juan, HILDA, Alicia. Desarrollo de la investigación de operaciones. El Cid. 2009. Pág. 4.
- BRACA, Jeffrey. BRAMEL, Julien, POSNER, Bruce y SIMCHI-LEVI, David. A computerized approach to the New York City school bus routing problem. IIE Transactions. New York, New York, 1997. Pág 693.
- BULLNHEIMER, Bernd, HARTI, Richard y STRAUSS, Christine. Applying the Ant System to the vehicle routing problem. Meta-heuristics: Advances and trends in local search paradigms for optimization pp. 109C120. Boston: Kluwer. 1999.
- DANTZIG, G B y RAMSER, J. The Truck Dispatching Problem. Management Science. 1959.
- DAZA, Julio, MONTOYA, Jairo y NARDUCCI, Francesco. Resolución del problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases. Revista EIA. Medellín, 2009.
- DORIGO, MARCO y GAMBARDELLA, Luca. Solving Symmetric and Asymmetric TSPs by Ant Colonies. IEEE. Nagoya, Japón, 1996.
- DORIGO, Marco y STÜTZLE, Thomas. Ant Colony Optimization. MIT Press. USA, 2004. Pág. 12-15.
- EL LENGUAJE GLOBAL DE LOS NEGOCIOS. Año 6, No. 11. Noviembre de 2005. La distribución: proceso clave en la cadena de suministro. En GS1 Panamá. Disponible en: <http://www.gs1pa.org/boletin/2005/noviembre/boletin-nov05-art2.html>
- El Tiempo, 31 de enero de 2009. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-3294799>
- GAJPAL, Yuvraj , ABAD, Prakash. An ant colony system (ACS) for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup. Research Journal. Hamilton, Canada. 2009.
- GAMBARDELLA, Luca, TAILLARD, Éric y AGAZZI, Giovani. MACS-VRPTW: a multiple ant colony system for vehicle routing problems with time windows. McGraw-Hill Advanced Topics In Computer Science Series. 1999.
- GLOVER, Fred. Handbook of Metaheuristics. Kluwer Academic Publishers. Secaucus, NJ, USA: 2003. Pág. 12.
- GUNTSCH, Michael, MIDDENDORF, Martin y SCHMECK, Hartmut. An Ant Colony Optimization Approach to Dynamic TSP. Morgan Kaufmann Publishers San Francisco, California. 2001.
- HERMOSILLA, Augusto y BARÁN, Benjamín. Comparación de un sistema de colonias de hormigas y una estrategia evolutiva para un problema multiobjetivo de

- ruteo de vehículos con ventanas de tiempo. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, Paraguay, 2003.
- LOWE, David. Dictionary of Transport and Logistics. Kogan Page. London, 2002. Pág. 147.
  - MARTÍ, Rafael. Procedimientos Meta-heurísticos en Optimización Combinatoria. Universidad de Valencia, 2003. Pág. 2.
  - NEWTON, Rita y THOMAS, Warren. Design of school bus routes by computer. Socio-Economic Planning Sciences. Buffalo, New York, 1969.
  - PROYECTO DE ACUERDO No. 449 DE 2007. "Por medio del cual se dictan disposiciones en materia de seguridad para el transporte escolar" Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisiur/normas/Norma1.jsp?i=26804>
  - SIMCHI-LEVI, David, CHEN, Xin y BRAMEL, Julien. The logic of logistics. New York. Springer, 2005.
  - SUN, Kai, YANG, Gen-Ke y CHEN, Yu-Wang. Hybrid Scatter Search with Extremal Optimization for Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem. Shanghai Jiaotong University. Shanghai, 2008.
  - THANGIAH, Sam. Vehicle Routing with Time Windows using Genetic Algorithms. Artificial Intelligence and Robotics Laboratory, Slippery Rock University. Slippery Rock, Pennsylvania, 1995.
  - VARGAS, Carlos Andrés. Aplicación del problema del transporte al sistema de rutas de transporte escolar de la Secretaria de Educación Distrital en la localidad de Usaquén. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2005.
  - WATERS, Donald. Global Logistics and Distribution Planning. Kogan Page. Londres, 2003. Pág. 240.

ANEXOS

## ANEXO 1 FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL PROBLEMA CVRP

Dado el grafo  $G = (V, E)$  donde  $V$  es el conjunto de nodos que representan los clientes o paradas, y  $E$  es el conjunto de arcos que los conectan.

Sea  $C = (c_{ij})$  la matriz de costos de tamaño  $N \times N$  asociada al conjunto de arcos  $E$ , donde cada arco tiene asociado un costo  $c_{ij}$ .

$D$  es un arreglo de la forma  $(p_i)$  que especifica la demanda de cada cliente  $i$ .

$F$  es un arreglo de la forma  $(P_k)$  que contiene los datos de capacidad máxima de los vehículos. La flota está compuesta por  $M$  vehículos, es decir,  $1 \leq k \leq M$ .

El objetivo es encontrar una matriz  $X = (x_{ijk})$  de tamaño  $N \times N \times M$ , donde las variables binarias  $x_{ijk}$  indican si el arco  $(i, j)$  se utiliza en la solución para ser visitado por  $k$ .

La función objetivo es:

$$\min \sum_{i=0} \sum_{j=0} \sum_{k=1} c_{ij} \cdot x_{ijk}$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ijk} \leq M \quad i = 0 \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^M \sum_{j=0}^N x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in [1, N] \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ijk} = \sum_{i=1}^N x_{ijk} \quad \forall k \in \{1, M\} \quad i = 0 \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N p_i \cdot x_{ijk} \leq P_k \quad \forall k \in \{1, M\} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \begin{array}{l} \forall S \subseteq (V - \{0\}) \\ |S| \geq 2 \\ k \in \{1, M\} \end{array} \quad (5)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \begin{array}{l} \forall i, j \in [1, N] \\ \forall k \in \{1, M\} \end{array} \quad (6)$$

Las restricciones (1) indican que del centro de distribución deben partir máximo  $M$  vehículos. Las restricciones (2) y (3) garantizan que uno y solo un vehículo visite y abandone cada cliente. Las ecuaciones (4) garantizan que los vehículos no excedan su capacidad máxima. Finalmente los conjuntos de restricciones (5) y (6) establecen, respectivamente, la inexistencia de sub-rutas inconexas y los valores admisibles para las variables de decisión (Daza, Montoya & Narducci, 2009 P 28).

## ANEXO 2 INFORMACIÓN DE LAS PARADAS DE LA RUTA DE LA MAÑANA

Parada	Dirección	# Est.	Coordenadas	
			Lat (m)	Long (m)
0	CI 153 19-39		0,0	0,0
1	CI 152 7A-41	1	-1113,2	-2253,5
2	CI 152 7D-46	1	-989,5	-2006,6
3	CI 151 7H-60	1	-1020,4	-1852,2
4	ACI 147 7C-60	1	-1453,3	-1913,9
5	Cr 7F 145-58	1	-1607,9	-1728,7
6	Cr 7B 138-65	1	-2319,1	-1697,9
7	Cr 7B 135-52	1	-2473,7	-1667,0
8	Cr 7B 134B-11	2	-2566,5	-1605,2
9	Cr 7A 134B-50	1	-2597,4	-1697,9
10	CI 135 7-42	1	-2597,4	-1790,5
11	CI 135 7-76	2	-2566,5	-1759,6
12	Cr 7A 135-78	2	-2504,7	-1420,0
13	CI 141 7B-37	1	-2133,6	-1728,7
14	CI 142 12-97	1	-1638,8	-926,1
15	Cr 12 140-91	1	-1731,6	-987,8
16	CI 142 11-85	1	-1731,6	-1111,3
17	CI 144 11-90	1	-1577,0	-1203,9
18	CI 144 9-54	1	-1669,8	-1389,2
19	CI 142 11-40	1	-1762,5	-1203,9
20	CI 144 12-09	1	-1515,2	-1049,6
21	CI 144 12-27	1	-1515,2	-1018,7
22	CI 145 13A-88	1	-1236,9	-710,0
23	CI 145 13-61	1	-1298,7	-833,5
24	CI 145 12-45	1	-1391,5	-1049,6
25	CI 145 12-54	1	-1360,6	-987,8
26	CI 146 13-28	1	-1144,1	-864,4
27	CI 146 13-51	1	-1113,2	-833,5
28	CI 145A 13A-70	1	-1175,0	-771,8
29	CI 143A 19-13	1	-1298,7	154,4
30	CI 145 21-54	1	-1113,2	277,8
31	CI 145A 21-49	2	-1020,4	277,8
32	Cr 21 145A-30	1	-989,5	185,2
33	Cr 21 145-50	1	-1051,3	216,1
34	CI 145 19-79	1	-1051,3	-30,9
35	CI 145 19A-37	1	-1113,2	123,5
36	CI 146 19-92	1	-927,7	30,9
37	CI 146 21-55	1	-896,7	339,6
38	ACI 147 21-75	1	-773,0	308,7
39	Cr 23 148-71	1	-649,4	308,7
40	Av 9 117A-09	2	-4607,3	-1296,5
41	Cr 10 117A-19	1	-4514,6	-1142,2
42	Cr 14 117-15	1	-4452,7	-586,5
43	Cr 16 127-31	1	-3648,8	-123,5
44	Cr 11D 123-46	1	-3865,2	-926,1
45	Cr 11bis 123-10	1	-3988,9	-1234,8
46	Cr 11bis 124A-88	1	-3896,1	-1265,7
47	CI 126A 7C-18	1	-3834,3	-1543,5
48	CI 129 7-76	1	-3215,9	-1821,3
49	CI 127C 9-45	1	-3308,6	-1358,3
50	Cr 10 128-60	1	-2875,7	-1234,8
51	CI 131A 9A-16	1	-3061,2	-1265,7

52	Cl 134A 10A-61	1	-2535,6	-1173,1
53	Cl 134A 10B-33	2	-2473,7	-1080,5
54	Cl 138 10A-76	1	-2133,6	-1203,9
55	Cr 11B 134A-35	2	-2381,0	-926,1
56	Cr 16 135-35	1	-2009,9	-339,6
57	Cr 16 140-74	1	-1638,8	-432,2
58	Cr 17 141-61	1	-1484,2	-247,0
59	Cr 16A 143-05	1	-1329,6	-370,4
60	Cr 16A 143-48	1	-1298,7	-370,4
61	Cr 7H 150-36	1	-1113,2	-1821,3
62	Cr 17 145A-38	1	-1020,4	-277,8
63	ACI 147 13-67	2	-989,5	-895,2
64	ACI 147 9-60	1	-1236,9	-1481,8
65	Cl 151 11-32	2	-896,7	-1420,0
66	Cl 151 11-62	3	-896,7	-1389,2
67	Cl 152 12C-12	1	-649,4	-1203,9
68	Cl 152 13-26	2	-587,5	-1080,5
69	Cr 14A 151A-39	2	-556,6	-833,5
70	Cr 16 147-16	1	-773,0	-555,7
71	Cr 17 147-32	1	-773,0	-277,8
72	ACI 147 17-61	1	-804,0	-154,4
73	ACI 147 17-60	1	-804,0	-185,2
74	Cr 17 134A-84	1	-2040,8	-185,2
75	Cl 110 15-17	1	-4761,9	30,9
76	Cl 112 15-29	1	-4700,1	-61,7
77	Cl 116 14B-21	1	-4545,5	-370,4
78	Cl 116 11C-15	1	-4669,2	-833,5
79	Cr 9A 113-81	1	-4823,8	-1111,3
80	Cl 107A 8B-49	1	-5504,1	-987,8
81	Dg 106 Cr 7	1	-5689,6	-1111,3
82	Cl 94 9-44	2	-6926,5	-277,8
83	Cr 8 96-47	1	-6586,3	-524,8
84	Cr 13 101-45	1	-5720,5	-185,2
85	Cl 101 14-31	1	-5782,4	0,0
86	Cr 18A 103-50	1	-5349,4	493,9
87	Cl 103A 19A-75	1	-5256,7	679,1
88	Cl 101 19A-60	1	-5504,1	771,8
89	Cl 105 23-37	1	-4916,5	1018,7
90	Cl 105 21-82	1	-4916,5	926,1
91	Cr 21 106B-29	1	-4731,0	833,5
92	Cl 114Abis 45-15	1	-4267,2	1173,1
93	Cr 21 120-65	1	-4050,7	648,3
94	Cr 20 122-55	1	-3803,4	586,5
95	Cr 48 127-51	1	-3184,9	1049,6
96	CL 127A 49-67	2	-3030,3	1389,2
97	Cr 51A 127-49	1	-3123,1	1481,8
98	Cr 53A 127-30	1	-3092,2	1728,7
99	Cr 51A 127-75	3	-3123,1	1512,6
100	Cl 128 48-26	1	-2690,2	1142,2
101	Cl 127D 21-80	1	-2844,8	524,8
102	Cl 127D 19-93	2	-2875,7	432,2
103	Cl 127D 19-65	2	-2875,7	370,4
104	ACr 19 127B-53	1	-3123,1	277,8
105	ACr 19 127A-12	1	-3215,9	308,7
106	Cl 128 18-67	1	-2875,7	154,4
107	Cl 128 18-40	1	-2813,9	185,2

108	Av 19 131-40	1	-2473,7	154,4
109	Cl 132A 19-70	1	-2288,2	308,7
110	Cr 56B 65-63	1	-7885,0	4074,8
111	Cr 54 64A-45	1	-8287,0	3982,2
112	Cr 50B 64-43	1	-8410,7	3735,3
113	Cr 35bis 60-67	1	-9554,8	3704,4
114	Dg 54 24-73	1	-10266,0	2994,4
115	Cl 53B 25-04	1	-10420,6	3272,2
116	Cr 19 53-85	1	-10698,9	2654,8
117	Dg 53C 23-28	1	-10327,8	3056,1
118	Cr 25 52A-10	1	-10606,1	3056,1
119	Cr 35 53-48	1	-10389,7	3642,7
120	Cl 56 35A-22	1	-10111,4	3827,9
121	Cl 56 37A-52	1	-10049,5	3982,2
122	Cl 56 37A-41	1	-10080,5	3982,2
123	Cl 57 37A-38	1	-10018,6	4074,8
124	Cr 45 56-44	1	-10080,5	4167,5
125	Cr 45 57-07	1	-9802,2	4414,4
126	Cr 57A 57B-85	1	-9400,2	4754,0
127	Cl 57A 56-43	1	-9523,9	4723,1
128	Cr 57 53-50	2	-9647,6	4815,7
129	Cl 54 59-57	1	-9462,0	5000,9
130	Cr 53 45A-43	2	-10080,5	4692,2
131	Cr 54 45-34	1	-9956,8	4846,6
132	Cl 44C 55-89	1	-10018,6	4939,2
133	Cr 45 44-21	1	-10544,3	4383,5
134	Cl 44D 45-30	1	-10575,2	4692,2
135	Cr 45 45-71	3	-10389,7	4599,6
136	Cr 47 57A-24	1	-9802,2	4290,9
137	Cr 62 64-75	6	-7575,8	4445,3
138	Cr 66 67-12	1	-7142,9	4692,2
139	Cl 67B 63-08	1	-7173,8	4445,3
140	ACI 80 21-20	1	-7761,3	1728,7
141	ACI 80 23-86	1	-7606,7	1852,2
142	Cl 188 55A-61	1	3432,3	247,0
143	Cl 183 15-39	1	2597,4	-1018,7
144	Cr 18A 182-58	1	2628,3	-679,1
145	Cl 189 46-56	1	3370,5	-92,6
146	Cr 55A 188-41	1	3494,1	308,7
147	Cr 20 187-90	1	2999,4	-401,3
148	Cl 188 57-54	1	3339,5	463,1
149	Cr 55B 186-81	1	3246,8	463,1
150	Cr 54D 183-50	1	2937,6	370,4
151	Cl 185A 56-73	1	3154,0	432,2
152	Cl 182 45-45	2	2504,7	30,9
153	Cr 48 174B-67	1	2009,9	216,1
154	Cr 46 171-25	1	1824,4	185,2
155	Cr 72 181-55	1	3308,6	1728,7
156	Cr 76 175-50	1	3215,9	2006,6
157	Cr 78 170-25	2	2937,6	2531,3
158	Cl 169A 72-47	1	1917,1	2222,6
159	Cl 167 74-32	1	1607,9	2407,9
160	Cl 163 73-60	1	1205,9	2407,9
161	Cl 160 73-32	1	927,6	2407,9
162	Cl 167 73-45	2	1577,0	2315,3
163	Cr 67 169A-82	1	1917,1	1913,9



164	Cl 169 67-25	1	1886,2	1975,7
165	Cl 168 65-67	2	1700,7	1790,5
166	Cl 169A 55A-49	1	1638,8	1049,6
167	Cl 167 56-25	1	1329,6	1142,2
168	Cl 167 48-61	1	1267,8	277,8
169	Cl 166 48-21	1	1175,0	401,3
170	Cl 166 49-70	1	1205,9	524,8
171	Cr 52 165-58	1	1205,9	710,0
172	Cl 163 54-15	1	834,9	957,0
173	Cl 162 54-56	1	865,8	1049,6
174	Cr 55A 163-35	1	1082,3	1234,8
175	Cl 165 55A-81	1	1236,9	1142,2
176	Cr 56 159-36	1	587,5	1420,0
177	Cl 159 56-75	3	525,7	1420,0
178	Cr 56 153-84	1	432,9	1389,2
179	Cr 55C 159-19	1	556,6	1358,3
180	Cl 153 55-50	1	340,1	1389,2
181	Cr 46 163B-41	1	958,6	308,7
182	Cr 70Gbis 120-03	1	-3432,3	3241,4
183	Cl 117 70H-45	1	-4050,7	3334,0
184	Cl 97A 71A-27	1	-4576,4	3797,0
185	Cr 71D 95A-25	1	-4514,6	3766,1
186	Cl 95 71-45	1	-4761,9	3797,0
187	Cl 95 71-31	3	-4823,8	3797,0
188	Cl 97 70C- 89	1	-4669,2	3920,5
189	Cl 98bis 70C-39	1	-4514,6	3889,6
190	Cl 98B 70C-38	1	-4483,6	3889,6
191	Cl 99A 71A-45	1	-4390,9	3858,8
192	Cl 110 67-67	1	-4267,2	2562,2
193	Cr 67 106-60	2	-4360,0	2624,0
194	Cl 102A 67-39	1	-5071,2	2778,3
195	Cr 68 102-15	2	-5133,0	2747,4
196	Tv 48F 95-80	1	-5967,9	1821,3
197	Cr 65 96-66	1	-5535,0	2840,0
198	Cr 64 98-51	1	-5380,4	2562,2
199	Cl 117D 57-96	2	-3648,8	2685,7
200	Cr 57 117D-50	1	-3617,8	2624,0
201	Cl 119A 57-40	3	-3525,1	2531,3
202	Cl 119A 57-60	4	-3525,1	2593,1
203	Cr 58 119A-98	1	-3463,2	2716,6
204	Cr 58 125B-85	1	-2906,6	2716,6
205	Cr 56A 125A-91	1	-2937,6	2500,5
206	Cr 56B 127C-20	1	-2813,9	2500,5
207	Cl 127D 56A-28	2	-2906,6	2284,4
208	Cl 128B 56B-53	1	-2381,0	2438,7
209	Cr 58A 128B-26	1	-2257,3	2716,6
210	Cr 56A 129B-68	1	-1979,0	2377,0
211	Cl 129B 56A-63	1	-1979,0	2438,7
212	Cr 22 135-54	1	-1886,2	463,1
213	Cl 138 54-60	1	-1205,9	1327,4
214	Cl 136 56A-18	1	-1175,0	1852,2
215	Cr 57 134-20	3	-1453,3	2037,4
216	Cl 137 57-34	1	-1082,3	1883,1
217	Cr 57A 145-61	1	-618,4	1852,2
218	Cr 56 147-58	1	-556,6	1821,3
219	Cl 152 56-75	1	-61,8	1697,9

220	Cr 58C 152B-66	2	154,6	1512,6
221	Cl 152B 56-75	2	185,5	1605,2
222	Cl 153 56-50	1	432,9	1543,5
223	Cr 58C 144-15	1	-742,1	2160,9
224	Cl 137A 58-35	2	-1082,3	2160,9
225	Cr 59A 134-15	1	-865,8	2531,3
226	Cl 136 59A-43	1	-1051,3	2562,2
227	Cr 59A 136-25	1	-989,5	2500,5
228	Cr 74 138-69	1	-587,5	2932,7
229	Cl 137A 73-30	2	-804,0	2840,0
230	Cl 137A 72A-43	2	-865,8	2716,6
231	Cl 138 58D-01	3	-865,8	2315,3
232	Cr 56 145-51	1	-680,3	1852,2
233	Cr 54D 135-06	2	-1391,5	1543,5
234	Cr 54D 135-65	4	-1298,7	1512,6
235	Cr 54 135-35	1	-1360,6	1358,3
236	Cr 56A 130A-61	1	-1824,4	2099,2
237	Cl 129B 54-20	1	-1979,0	2346,1
238	Cl 131B 54-21	1	-1824,4	1821,3
239	Cl 126 49-21	1	-3370,5	1327,4
240	Cl 126 49-41	1	-3370,5	1358,3
241	Cl 126 51-12	1	-3339,5	1450,9
242	Cl 126A 52A-92	1	-3339,5	1636,1
243	Cl 123A 53B-65	1	-3463,2	1913,9
244	Cr 53 123A-24	1	-3494,1	1728,7
245	Cr 53 123-44	1	-3556,0	1728,7
246	Cr 52 123B-50	1	-3525,1	1605,2
247	Cl 121 54-51	1	-3617,8	1975,7
248	Cl 120 53A-77	1	-3710,6	1852,2
249	Cr 54 118-46	1	-3896,1	2006,6
250	Cl 126 52A-92	1	-3277,7	1605,2
251	Cl 104C 47-50	1	-4947,5	1481,8
252	Cl 104C 47-40	2	-4947,5	1450,9
253	Cr 52 106-32	1	-4792,9	1790,5
254	Cr 51 104B-14	1	-4854,7	1728,7
255	Tv 56 115A-25	1	-4081,7	2469,6
256	Cl 115bis 58-04	1	-4112,6	2562,2
257	Tv 56 114A-72	1	-4174,4	2469,6
258	Tr 56 114-27	2	-4174,4	2438,7
259	Cl 108 55-24	1	-4421,8	2099,2
260	Cr 53 107-40	1	-4452,7	1821,3
261	Cl 115 53-46	1	-4081,7	1883,1
262	Cl 116 54-70	1	-4019,8	2037,4
263	Cr 53B 118-63	1	-3927,1	1944,8
264	Cr 53 118-80	1	-3927,1	1821,3
265	Cl 121 50-75	1	-3741,5	1481,8
266	Cr 51 122-86	1	-3617,8	1543,5
267	Cr 50A 122-18	1	-3679,7	1512,6
268	Cr 46 123-55	1	-3679,7	1111,3
269	Cr 69D 24 - 15	2	-8998,2	7100,1
270	Cr 69D 24A-81	1	-8936,4	7007,5
271	Cr 69D 24A-78	1	-8689,0	7223,6
272	Cr 69B 24A-51	1	-8843,6	7131,0
273	Cr 69B 24B-56	1	-9245,6	6945,8
274	Cr 69B 24B-55	1	-8812,7	7100,1
275	Cr 69A 25-35	1	-8967,3	6760,5

276	Cr 68D 24B-48	1	-9029,1	6945,8
277	Cl 25 68B-47	1	-9091,0	6884,0
278	Cl 25 68B-27	1	-9091,0	6914,9
279	Cl 25 68A-49	2	-9214,7	6760,5
280	Cl 24B 68A-42	1	-9245,6	6760,5
281	Cl 25 68A-70	2	-9214,7	6729,7
282	Cr 68B 24A-23	1	-9245,6	6914,9
283	Cr 68B 23B-50	1	-9554,8	7161,8
284	Cr 68B 23-88	1	-9554,8	7192,7
285	Cr 68B 22A-71	2	-9616,6	7131,0
286	Cl 23 68-59	2	-9802,2	6945,8
287	Av. Cr 68 Av. ESPERANZA	1	-9709,4	6729,7
288	Cr 64 23A-49	1	-9987,7	6637,1
289	Cl 22B 64-26	1	-10080,5	6729,7
290	Cr 63 22A-41	3	-10173,2	6760,5
291	Cl 22B 60-51	2	-10266,0	6544,4
292	Cr 64A 22-41	1	-10080,5	6853,1
293	Cl 22B 59-31	1	-10451,5	6421,0
294	Cl 22B 58-60	3	-10637,1	6266,6
295	Cl 24A 59-59	3	-10204,2	6143,1
296	Cr 64 24-47	2	-9987,7	6390,1
297	Cr 68B 78-71	1	-5998,8	3982,2
298	Cr 68B 75A-17	1	-6277,1	4290,9
299	Cl 96 45A-40	1	-5813,3	1450,9
300	Cl 96 46-58	1	-5782,4	1543,5
301	Cl 128B 72-80	1	-1917,1	3334,0
302	Cr 57 138-66	1	-927,7	1821,3
303	Cl 145 57-36	2	-711,2	1852,2
304	Cl 145 57A-23	1	-587,5	1852,2
305	Cl 148 56A-11	1	-432,9	1450,9
306	Cr 56A 148-35	2	-494,7	1420,0
307	Cr 55 149-60	1	-371,1	1358,3
308	Cr 55 149-09	2	-402,0	1358,3
309	Cl 145C 54B-21	1	-680,3	1203,9
310	Cr 54A 149-29	1	-432,9	1173,1
311	Cr 55 151-90	1	-185,5	1327,4
312	Cr 55 152-40	1	-92,8	1420,0
313	Cl 152 58-51	1	-61,8	1605,2
314	Cl 152B 55-65	1	185,5	1389,2
315	Cr 56 152-42	1	-30,9	1543,5
316	Cr 56 152-37	2	-61,8	1543,5
317	Dg 152 56-72	1	185,5	1667,0
318	ACr 58 152-70	1	61,8	1728,7
319	Cl 152 58-50	3	247,4	1821,3
320	Cr 56 151-51	2	-185,5	1512,6
321	Cr 56A 148-86	1	-402,0	1512,6
322	Cr 56A 147-35	1	-432,9	1481,8
323	Cl 152 54-39	1	-123,7	1173,1
324	Cl 152A 54-38	1	92,8	1111,3
325	Cr 55 152-35	1	-92,8	1389,2
326	Cr 50 150A-50	2	-340,1	740,9
327	Cl 150A 50-07	1	-371,1	771,8
328	Cl 150A 50-30	1	-371,1	895,2
329	Cr 53A 150A-49	1	-309,2	957,0
330	Cr 54 150A-40	1	-309,2	1049,6
331	Cr 54 150-46	1	-371,1	1080,5

332	Cl 151 54-38	1	-278,3	1111,3
333	Cr 53 150-27	2	-432,9	926,1
334	Cl 149 50-57	1	-525,7	833,5
335	Cl 149 50-68	2	-556,6	895,2
336	Cl 149 50-37	2	-556,6	833,5
337	Cr 48A 147A-24	1	-649,4	710,0
338	Cl 150 50-38	1	-432,9	771,8
339	Cr 50 150-28	1	-432,9	740,9
340	Cl 151A 45-41	2	-309,2	463,1
341	Cl 152A 46-15	1	30,9	493,9
342	Cl 152A 46-60	1	30,9	586,5
343	Cl 169 16C-70	3	1298,7	-710,0
344	Cl 165 13C-55	1	711,2	-1296,5
345	Cr 13C 165B-41	1	834,9	-1358,3
346	Cl 166 9-15	1	834,9	-1543,5
347	Cl 166 9-24	2	865,8	-1450,9
348	Cl 168 9-71	1	1175,0	-1574,4
349	Cl 168 9-11	2	1113,2	-1543,5
350	Cl 166B 3-34	1	61,8	-2593,1
351	Cl 163A 7D-25	1	216,5	-2346,1
352	Cl 161A 7G-37	1	61,8	-2160,9
353	Cr 14B 161-49	1	309,2	-1111,3
354	Cr 13B 161-70	2	402,0	-1142,2
355	Cr 14 156-07	1	30,9	-926,1
356	Cl 157 13B-20	1	92,8	-1080,5
357	Cl 157 13B-30	1	123,7	-1049,6
358	Cr 13B 156-39	1	-61,8	-1080,5
359	Cr 13 155-51	1	-247,4	-1327,4
360	Cr 13 157-40	2	30,9	-1327,4
361	Cl 160 14B-42	2	216,5	-926,1
362	Cr 14C 157-91	1	247,4	-957,0
363	Cl 159A 13A-46	1	92,8	-1265,7
364	Cr 13 153-81	1	-371,1	-1234,8
365	Cr 13 153-80	1	-402,0	-1265,7
366	Cl 155 9-50	5	-340,1	-1574,4
367	Cl 155 9-45	4	-371,1	-1543,5

### ANEXO 3 INFORMACIÓN DE LAS PARADAS DE LA RUTA DE LA TARDE

Parada	Dirección	# Est.	Coordenadas	
			Lat (m)	Long (m)
0	Cl 153 19-39		0,0	0,0
1	Cr 23 148-71	1	-649,4	308,7
2	Cl 146 19-65	1	-927,7	0,0
3	Cl 146 19-92	1	-927,7	30,9
4	Cl 146 21-46	1	-927,7	277,8
5	Cl 146 21-55	1	-896,7	339,6
6	Cl 145A 21-49	2	-1020,4	277,8
7	Cr 21 145A-30	1	-989,5	185,2
8	Cr 21 145-50	1	-1051,3	216,1
9	Cr 21 145-37	1	-1082,3	216,1
10	Cl 145 19-79	1	-1051,3	-30,9
11	Cl 145 19A-37	1	-1113,2	123,5
12	Cl 145 19-37	1	-1113,2	30,9
13	Cl 143A 19-13	1	-1298,7	154,4
14	Cl 145 21-54	1	-1113,2	277,8
15	Cl 145 21-71	1	-1082,3	370,4
16	ACI 147 21-75	1	-773,0	308,7
17	Cl 145A 13A-70	2	-1175,0	-771,8
18	Cl 145 13-61	1	-1298,7	-833,5
19	Cl 145 13A-80	1	-1236,9	-740,9
20	Cl 145 13A-88	1	-1236,9	-710,0
21	Cl 145 12-45	1	-1391,5	-1049,6
22	Cl 145 12-54	1	-1360,6	-987,8
23	Cl 144 12-09	1	-1515,2	-1049,6
24	Cl 142 11-85	1	-1731,6	-1111,3
25	Cl 142 11-40	1	-1762,5	-1203,9
26	Cl 144 11-90	1	-1577,0	-1203,9
27	Cl 144 9-54	1	-1669,8	-1389,2
28	Cl 142 9-23	1	-1855,3	-1420,0
29	Cl 142 9-47	1	-1855,3	-1389,2
30	Cl 146 7D-13	1	-1577,0	-1790,5
31	ACI 147 7C-60	1	-1453,3	-1913,9
32	Cr 7H 150-36	2	-1113,2	-1821,3
33	Cl 151 7H-60	1	-1020,4	-1852,2
34	Cr 8A 151-95	1	-865,8	-1636,1
35	Cl 152 7D-46	1	-989,5	-2006,6
36	Cl 152 7A-41	1	-1113,2	-2253,5
37	Cr 7B 138-65	1	-2319,1	-1697,9
38	Cr 7B 135-52	1	-2473,7	-1667,0
39	Cr 7B 134B-11	2	-2566,5	-1605,2
40	Cl 135 7-41	3	-2597,4	-1821,3
41	Cr 7A 134B-50	1	-2597,4	-1697,9
42	Cl 135 7-42	1	-2597,4	-1790,5
43	Cl 135 7-76	2	-2566,5	-1759,6
44	Cr 7A 135-78	1	-2504,7	-1420,0
45	Cl 141 7B-37	1	-2133,6	-1728,7
46	Cr 12 140-91	1	-1731,6	-987,8
47	Cl 142 12-97	1	-1638,8	-926,1
48	Cr 13 153-81	1	-371,1	-1234,8
49	Cl 155 9-45	3	-371,1	-1543,5
50	Cl 155 9-50	1	-340,1	-1574,4
51	Cl 151 11-62	2	-896,7	-1389,2

52	CI 151 9-26	1	-927,7	-1481,8
53	CI 152 12C-12	1	-649,4	-1203,9
54	CI 151 11-32	2	-896,7	-1420,0
55	CI 152 13-26	2	-587,5	-1080,5
56	CI 152A 14A-36	1	-432,9	-895,2
57	Cr 14A 151A-39	2	-556,6	-833,5
58	ACI 147 9-60	1	-1236,9	-1481,8
59	ACI 147 11-64	1	-1205,9	-1420,0
60	CI 146 13-28	1	-1144,1	-864,4
61	CI 146 13-51	3	-1113,2	-833,5
62	ACI 147 13-67	2	-989,5	-895,2
63	Cr 16 147-16	1	-773,0	-555,7
64	ACI 147 17-60	1	-804,0	-185,2
65	ACI 147 17-61	1	-804,0	-154,4
66	Cr 17 145A-38	1	-1020,4	-277,8
67	Cr 16A 143-48	1	-1298,7	-370,4
68	Cr 16A 143-05	1	-1329,6	-370,4
69	Cr 17 141-61	1	-1484,2	-247,0
70	ACr 15 136-63	1	-1793,5	-493,9
71	Cr 16 140-74	1	-1638,8	-432,2
72	Cr 17 134A-84	1	-2040,8	-185,2
73	Cr 16 135-35	1	-2009,9	-339,6
74	Cr 13 135D-50	1	-1979,0	-617,4
75	CI 138 10A-76	1	-2133,6	-1203,9
76	CI 134A 10B-33	2	-2473,7	-1080,5
77	Cr 11B 134A-35	2	-2381,0	-926,1
78	CI 128 9A-60	1	-3184,9	-1203,9
79	CI 131A 9A-16	1	-3061,2	-1265,7
80	Av 9 117A-09	2	-4607,3	-1296,5
81	Cr 10 117A-19	1	-4514,6	-1142,2
82	Cr 11bis 123-10	1	-3988,9	-1234,8
83	Cr 11bis 124A-88	1	-3896,1	-1265,7
84	Cr 11D 123-46	1	-3896,1	-1018,7
85	CI 126A 7C-18	1	-3834,3	-1543,5
86	Cr 8 127C- 99	1	-3556,0	-1543,5
87	CI 129 7-76	1	-3215,9	-1821,3
88	CI 127D 21-80	1	-2844,8	524,8
89	CI 127D 19-93	2	-2875,7	432,2
90	CI 127D 19-65	2	-2875,7	370,4
91	CI 127D 19-25	1	-2906,6	308,7
92	ACr 19 127B-53	1	-3123,1	277,8
93	ACr 19 127A-12	1	-3215,9	308,7
94	CI 128 18-40	1	-2844,8	154,4
95	ACr 19 131-40	2	-2473,7	154,4
96	ACr 45 128D-40	1	-2381,0	679,1
97	Cr 22 135-54	1	-1824,4	432,2
98	Cr 48 127-51	1	-3184,9	1049,6
99	CL 127A 49-67	3	-3030,3	1389,2
100	Cr 51A 127-49	1	-3123,1	1481,8
101	Cr 53A 127-30	1	-3092,2	1728,7
102	Cr 51A 127-75	3	-3123,1	1512,6
103	CI 128 48-26	1	-2690,2	1142,2
104	CI 114Abis 45-15	1	-4267,2	1173,1
105	Cr 21 106B-29	1	-4731,0	833,5
106	CL 108 17A-65	1	-4823,8	277,8
107	CI 110 15-17	1	-4761,9	30,9

108	Cl 112 15-29	1	-4700,1	-61,7
109	Cl 116 14B-21	1	-4545,5	-370,4
110	Cr 14 117-15	1	-4452,7	-586,5
111	Cl 116 11C-15	1	-4638,3	-864,4
112	Cr 9A 113-81	1	-4885,6	-926,1
113	Cl 107A 8B-49	1	-5504,1	-987,8
114	Cl 106 14-36	1	-5225,8	-154,4
115	Dg 106 Cr7	1	-5751,4	-1142,2
116	Cl 94 9-44	2	-6926,5	-277,8
117	Cr 8 96-47	1	-6586,3	-524,8
118	Cr 13 101-45	1	-5751,4	-154,4
119	Cl 101 14-31	1	-5782,4	0,0
120	Cr 18A 103-50	1	-5349,4	493,9
121	Cl 103A 19A-75	1	-5256,7	679,1
122	Cl 105 21-82	1	-4916,5	926,1
123	Cl 105 23-37	1	-4916,5	987,8
124	ACI 80 21-20	1	-7761,3	1728,7
125	ACI 80 23-86	1	-7606,7	1852,2
126	Cr 23 80-72	1	-7575,8	1852,2
127	Cr 56B 65-63	1	-7885,0	4229,2
128	Cr 54 64A-45	1	-8287,0	3982,2
129	Cr 50B 64-43	1	-8410,7	3735,3
130	Tv 24 59-71	1	-10049,5	2963,5
131	Dg 54 24-73	1	-10266,0	2994,4
132	Cl 53B 25-04	1	-10420,6	3272,2
133	Cr 19 53-85	1	-10698,9	2654,8
134	Dg 53C 23-28	1	-10327,8	3056,1
135	Cr 25 52A-10	1	-10606,1	3056,1
136	Cr 35 53-48	1	-10389,7	3642,7
137	Cl 53 30-50	1	-10451,5	3642,7
138	Cl 57 37A-38	1	-10018,6	4074,8
139	Cl 56 37A-52	1	-10049,5	3982,2
140	Cl 56 37A-41	2	-10080,5	3982,2
141	Cr 45 56-44	1	-10080,5	4167,5
142	Cr 47 57A-24	1	-9802,2	4290,9
143	Cr 57A 57B-85	1	-9400,2	4754,0
144	Cr 57 53-50	3	-9647,6	4815,7
145	Cl 57A 56-43	1	-9523,9	4723,1
146	Cl 54 59-57	1	-9462,0	5000,9
147	Cr 53 45A-43	2	-10080,5	4692,2
148	Cr 54 45-34	1	-9956,8	4846,6
149	Cl 44C 55-89	1	-10018,6	4939,2
150	Cr 45 44-21	1	-10544,3	4383,5
151	Cl 44D 45-30	1	-10575,2	4692,2
152	Cr 45 45-71	3	-10389,7	4599,6
153	Cl 63 49 C. Alto Rendimiento	1	-9369,3	3982,2
154	Cr 62 64A-75	1	-7514,0	4445,3
155	Cr 62 64-75	5	-7575,8	4445,3
156	Cl 67B 63-08	1	-7173,8	4445,3
157	Cl 67B 57-50	1	-7637,7	3889,6
158	Cl 153 55-50	1	340,1	1389,2
159	Cr 55C 159-19	1	556,6	1358,3
160	Cr 56 153-84	1	432,9	1389,2
161	CL 159 56-75	2	525,7	1420,0
162	Cl 162 54-56	1	865,8	1049,6
163	Cl 163 54-15	1	834,9	957,0

164	CL 167 56-25	1	1329,6	1142,2
165	Cl 163 54C-34	1	989,5	1173,1
166	Cr 55A 163-35	1	1082,3	1234,8
167	Cl 165 55A-81	1	1236,9	1142,2
168	Cl 166bis 54-35	1	1298,7	895,2
169	Cl 167 48-61	1	1267,8	277,8
170	Cl 166 48-21	1	1175,0	401,3
171	Cl 166 49-70	1	1205,9	524,8
172	Cr 52 165-58	1	1205,9	710,0
173	Cr 52 165-25	1	1144,1	-1142,2
174	Cr 46 163B-41	1	958,6	308,7
175	Cr 58 169A-25	1	1731,6	1389,2
176	Cl 173 54B-69	1	2071,8	895,2
177	Cl 182 45-45	2	2504,7	30,9
178	Dg 182 20-17	1	2442,8	-308,7
179	Cl 183 15-39	1	2597,4	-1018,7
180	Cl 187 19A-85	1	3030,3	-586,5
181	Cr 23 187-09	4	2968,5	-308,7
182	Cr 54D 183-50	2	2937,6	370,4
183	Cl 185A 56-73	1	3154,0	432,2
184	Cr 55B 186-81	1	3246,8	463,1
185	Cl 188 57-54	1	3339,5	463,1
186	Cr 20 187-90	1	2999,4	-401,3
187	Cl 189 46-56	1	3370,5	-92,6
188	Cl 182 51-31	1	2659,3	308,7
189	Cr 48 174B-67	1	2009,9	216,1
190	Cr 46 171-25	1	1824,4	185,2
191	Cr 55 174-62	1	2226,4	926,1
192	Cr 72 181-55	1	3308,6	1728,7
193	Cr 76 175-50	1	3215,9	2006,6
194	Cr 78 170-25	2	2937,6	2531,3
195	Cl 169A 72-47	1	1917,1	2222,6
196	Cl 167 74-32	1	1607,9	2407,9
197	Cl 163 73-60	1	1205,9	2407,9
198	Cl 160 73-32	2	927,6	2407,9
199	Cl 167 73-45	1	1577,0	2315,3
200	Cr 67 169A-82	1	1917,1	1913,9
201	Cl 169 67-25	1	1886,2	1975,7
202	Cl 168 65-67	1	1700,7	1790,5
203	Cr 56 159-36	1	587,5	1420,0
204	Cr 56B 127C-20	1	-2813,9	2500,5
205	Cl 127D 56A-28	2	-2906,6	2284,4
206	Cl 128B 56B-53	1	-2381,0	2438,7
207	Cr 58A 128B-26	1	-2257,3	2716,6
208	Cr 56A 125A-9	1	-3030,3	2500,5
209	Cr 58 125B-85	1	-2937,6	2716,6
210	Cl 117D 58-50	1	-3710,6	2654,8
211	Cl 117D 57-96	2	-3679,7	2531,3
212	Cr 57 117D-50	1	-3617,8	2624,0
213	Cl 119A 57-40	3	-3525,1	2531,3
214	Cl 119A 57-60	4	-3525,1	2593,1
215	Cr 70Gbis 120-03	1	-3432,3	3241,4
216	Cr 70A 104-62	1	-4390,9	2870,9
217	Cl 117 70H-45	1	-4174,4	3303,1
218	Cl 99A 71A-45	1	-4390,9	3858,8
219	Cl 97A 71A-27	1	-4576,4	3797,0



220	CI 95 71-45	1	-4761,9	3797,0
221	CI 95 71-31	3	-4823,8	3797,0
222	CI 97 70C- 89	1	-4669,2	3920,5
223	CI 98bis 70C-39	1	-4514,6	3889,6
224	CI 98B 70C-38	1	-4483,6	3889,6
225	Tv 48 100-34	1	-5442,2	1821,3
226	CI 102A 67-39	1	-5040,2	2747,4
227	Cr 68A 105-49	1	-4514,6	2624,0
228	CI 110 67-67	1	-4267,2	2562,2
229	Cr 67 106-60	3	-4360,0	2624,0
230	Cr 68 102-15	2	-5133,0	2747,4
231	Tv 48F 95-80	1	-5875,1	1697,9
232	Cr 66 96-43	2	-5504,1	2840,0
233	Cr 65 96-66	1	-5535,0	2840,0
234	CI 94A 61-05	1	-5937,0	2315,3
235	Cr 64 98-51	1	-5411,3	2593,1
236	Cr 71D 95A-25	1	-4514,6	3766,1
237	CI 138 54-60	1	-1205,9	1327,4
238	Cr 54D 135-06	2	-1391,5	1543,5
239	Cr 54D 135-65	4	-1298,7	1512,6
240	Cr 54 135-35	1	-1360,6	1358,3
241	CI 145 55A-23	1	-742,1	1667,0
242	CI 137A 58-35	2	-1082,3	2160,9
243	CI 137 57-34	1	-1082,3	1883,1
244	CI 136 56A-03	3	-1205,9	1852,2
245	CI 136 56A-18	1	-1175,0	1852,2
246	Cr 57 134-20	3	-1453,3	2037,4
247	Cr 59A 134-15	2	-1205,9	2562,2
248	CI 136 59A-43	2	-1051,3	2562,2
249	Cr 59A 136-25	1	-989,5	2500,5
250	Cr 74 138-69	1	-587,5	2932,7
251	CI 137A 73-30	1	-804,0	2840,0
252	CI 137A 72A-43	2	-865,8	2716,6
253	CI 137A 72-30	1	-865,8	2654,8
254	CI 138 58D-01	3	-865,8	2315,3
255	Cr 56 147-58	1	-556,6	1821,3
256	CI 152 56-75	1	-61,8	1697,9
257	CI 152 58C-50	3	-61,8	1728,7
258	Cr 58C 152B-66	2	154,6	1512,6
259	CI 152B 56-75	2	185,5	1605,2
260	Cr 58C 144-15	1	-742,1	2160,9
261	CI 145 57-36	2	-711,2	1852,2
262	Cr 56 145-51	1	-680,3	1852,2
263	Cr 57A 145-61	1	-618,4	1852,2
264	Cr 57 138-66	1	-927,7	1821,3
265	Av Cr 58 130A- 78	1	-1793,5	2407,9
266	Cr 57A 131B-31	1	-1700,7	2222,6
267	Cr 56A 130A-61	1	-1824,4	2099,2
268	CI 129 54-20	1	-2257,3	1944,8
269	CI 129 56A-63	1	-2226,4	2068,3
270	Cr 56A 129-68	1	-2164,5	2191,8
271	CI 131B 54-21	1	-1824,4	1821,3
272	Cr 46 123-55	1	-3679,7	1111,3
273	Cr 50A 122-18	1	-3679,7	1512,6
274	CI 126 49-41	1	-3370,5	1327,4
275	CI 126 51-12	1	-3339,5	1450,9

276	CI 126 51-80	1	-3370,5	1481,8
277	CI 126 52A-96	1	-3339,5	1574,4
278	CI 125 52A-92	1	-3339,5	1543,5
279	CI 126 51A-80	1	-3370,5	1636,1
280	CI 123A 53B-65	1	-3463,2	1913,9
281	Cr 53 123A-24	1	-3494,1	1728,7
282	Cr 52 123B-50	1	-3525,1	1605,2
283	CI 121 54-51	1	-3617,8	1975,7
284	CI 120 53A-77	1	-3710,6	3395,7
285	CI 121 50-75	1	-3741,5	1481,8
286	CI 120 50-24	1	-3834,3	1481,8
287	Cr 53 118-80	1	-3927,1	1821,3
288	Cr 53A 118-41	2	-3927,1	1883,1
289	CI 116 54-70	1	-3988,9	1975,7
290	Cr 54 118-02	1	-3896,1	2006,6
291	Cr 53B 118-63	1	-3927,1	1944,8
292	CI 115 53-46	1	-4081,7	1883,1
293	CI 108 55-24	1	-4421,8	2099,2
294	Tv 56 115A-25	1	-4081,7	2500,5
295	CI 115bis 58-04	1	-4112,6	2562,2
296	Tv 56 114A-72	1	-4174,4	2469,6
297	Tv 56 114-27	2	-4205,3	2469,6
298	Cr 52 106-32	1	-4731,0	1728,7
299	CI 104C 47-50	1	-4947,5	1481,8
300	CI 104C 47-40	2	-4947,5	1450,9
301	CI 96 45A-40	1	-5813,3	1450,9
302	CI 96 46-58	1	-5782,4	1543,5
303	Cr 68B 78-71	1	-5998,8	3982,2
304	Cr 68B 75A-17	1	-6215,3	4290,9
305	Av. Cr 68 Av. ESPERANZA	1	-9709,4	6729,7
306	CI 24B 68A-42	1	-9245,6	6760,5
307	CI 25 68A-70	2	-9214,7	6729,7
308	CI 25 68A-49	2	-9183,7	6791,4
309	Cr 69A 25-35	1	-8967,3	6760,5
310	Cr 69B 24B-56	1	-9245,6	6945,8
311	Cr 69B 24B-55	1	-8812,7	7100,1
312	Cr 69B 24A-51	1	-8843,6	7131,0
313	Cr 69D 24A-81	1	-8658,1	7223,6
314	Cr 69D 24A-78	1	-8689,0	7223,6
315	Cr 69D 24 - 15	2	-8719,9	7223,6
316	Cr 68D 24B-48	1	-8874,5	6914,9
317	CI 25 68B-47	1	-9091,0	6884,0
318	CI 25 68B-27	1	-9121,9	6853,1
319	Cr 68B 24A-23	1	-9245,6	6914,9
320	Cr 68B 23B-50	1	-9554,8	7161,8
321	Cr 68B 23-88	1	-9554,8	7192,7
322	Cr 68B 22A-71	2	-9616,6	7131,0
323	CI 23 68-59	2	-9802,2	6945,8
324	Cr 64 23A-49	1	-9987,7	6637,1
325	CI 22B 64-26	1	-10080,5	6729,7
326	Cr 63 22A-41	3	-10173,2	6760,5
327	CI 22B 60-51	2	-10266,0	6544,4
328	Cr 64A 22-41	1	-10080,5	6853,1
329	CI 22B 59-31	1	-11348,3	6390,1
330	CI 22B 58-60	3	-10637,1	6266,6
331	CI 24A 59-59	3	-10204,2	6143,1

332	Cr 64 24-47	2	-9894,9	6451,8
333	Cl 151A 45-41	2	-309,2	463,1
334	Cl 149 45-46	1	-618,4	493,9
335	Cr 48A 147A-24	1	-649,4	710,0
336	Cl 149 50-37	2	-556,6	833,5
337	Cl 149 50-68	2	-556,6	895,2
338	Cr 53 150-27	2	-432,9	926,1
339	Cr 50 149-54	1	-525,7	771,8
340	Cr 50 150-28	1	-432,9	771,8
341	Cl 150A 50-30	1	-371,1	895,2
342	Cr 50 150A-50	3	-340,1	740,9
343	Cl 152A 46-15	1	30,9	493,9
344	Cl 152A 46-60	1	30,9	586,5
345	Cr 53A 150A-49	1	-309,2	957,0
346	Cr 54 150A-40	1	-309,2	1049,6
347	Cr 54 150-46	1	-371,1	1080,5
348	Cl 151 54-38	1	-278,3	1111,3
349	Cr 54A 149-29	1	-432,9	1173,1
350	Cr 55 149-09	3	-402,0	1358,3
351	Cr 55 149-60	1	-371,1	1358,3
352	Cr 55 151-90	1	-185,5	1327,4
353	Cl 152 54-39	1	-123,7	1173,1
354	Cl 152A 54-38	1	92,8	1111,3
355	Cr 55 152-35	2	-92,8	1389,2
356	Cr 55 152-40	1	-92,8	1420,0
357	Cl 152 55A-10	1	-92,8	1481,8
358	Cl 152 58-51	1	-61,8	1605,2
359	Cl 152B 55-65	2	185,5	1389,2
360	Cr 56 152-42	1	-30,9	1543,5
361	Cr 56 152-37	2	-61,8	1543,5
362	Dg 152 56-72	1	185,5	1667,0
363	Cr 56 151-51	2	-185,5	1512,6
364	Cr 56A 148-35	2	-494,7	1420,0
365	Cl 148 56A-11	1	-432,9	1450,9
366	Cr 56A 148-86	1	-402,0	1512,6
367	Cl 152 58-50	4	247,4	1821,3
368	Cl 128B 60-57	1	-2195,4	2840,0
369	Cr 16C 154-32	1	0,0	-524,8
370	Cr 14 156-07	1	30,9	-926,1
371	Cr 13B 156-39	1	-61,8	-1080,5
372	Cr 13B 156-65	1	-30,9	-1080,5
373	Cl 157 13B-20	1	92,8	-1080,5
374	Cl 157 13B-30	1	123,7	-1049,6
375	Cr 13 157-40	2	30,9	-1327,4
376	Cl 159A 13A-46	2	92,8	-1265,7
377	Cl 159B 14A-40	1	154,6	-1142,2
378	Cl 160 14B-42	2	216,5	-926,1
379	Cr 14C 157-91	1	247,4	-957,0
380	Cr 14C 157-80	1	185,5	-957,0
381	Cr 13 153-80	3	-402,0	-1234,8
382	Cr 15 159-43	1	123,7	-864,4
383	Cr 14B 161-49	1	309,2	-1111,3
384	Cr 13B 161-50	1	340,1	-1142,2
385	Cr 13B 161-70	1	402,0	-1142,2
386	Cl 169 16C-10	3	1236,9	-802,6
387	Cl 169 16C-70	3	1298,7	-710,0

388	Cl 169 16C-92	1	1267,8	-710,0
389	Cl 165 13C-55	1	711,2	-1296,5
390	Cr 13C 165B-41	1	834,9	-1358,3
391	Cl 166 9-15	2	834,9	-1543,5
392	CL 166 9-24	4	865,8	-1450,9
393	Cl 168 9-71	1	1175,0	-1574,4
394	Cl 168 9-11	2	1113,2	-1543,5
395	Cr 7 166-34	1	618,4	-2624,0
396	Cl 163A 7D-25	1	216,5	-2346,1
397	Cl 161A 7G-37	1	61,8	-2160,9
398	Cr 17A 175-82	1	2071,8	-493,9

## ANEXO 4 DISTANCIAS RECORRIDAS EN LA RUTA INICIAL DE LA MAÑANA

Orden	BUS 1					BUS 2				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	1	1	-1.113,2	-2.253,5	2.513,5	40	2	-4.607,3	-1.296,5	4.786,3
2	2	1	-989,5	-2.006,6	276,2	41	1	-4.514,6	-1.142,2	180,1
3	3	1	-1.020,4	-1.852,2	157,4	42	1	-4.452,7	-586,5	559,1
4	4	1	-1.453,3	-1.913,9	437,3	43	1	-3.648,8	-123,5	927,8
5	5	1	-1.607,9	-1.728,7	241,3	44	1	-3.865,2	-926,1	831,3
6	6	1	-2.319,1	-1.697,9	711,9	45	1	-3.988,9	-1.234,8	332,6
7	7	1	-2.473,7	-1.667,0	157,7	46	1	-3.896,1	-1.265,7	97,8
8	8	2	-2.566,5	-1.605,2	111,4	47	1	-3.834,3	-1.543,5	284,6
9	9	1	-2.597,4	-1.697,9	97,6	48	1	-3.215,9	-1.821,3	678,0
10	10	1	-2.597,4	-1.790,5	92,6	49	1	-3.308,6	-1.358,3	472,3
11	11	2	-2.566,5	-1.759,6	43,7	50	1	-2.875,7	-1.234,8	450,2
12	12	2	-2.504,7	-1.420,0	345,2	51	1	-3.061,2	-1.265,7	188,1
13	13	1	-2.133,6	-1.728,7	482,7	52	1	-2.535,6	-1.173,1	533,8
14	14	1	-1.638,8	-926,1	942,9	53	2	-2.473,7	-1.080,5	111,4
15	15	1	-1.731,6	-987,8	111,4	54	1	-2.133,6	-1.203,9	361,9
16	16	1	-1.731,6	-1.111,3	123,5	55	2	-2.381,0	-926,1	372,0
17	17	1	-1.577,0	-1.203,9	180,2	56	1	-2.009,9	-339,6	694,0
18	18	1	-1.669,8	-1.389,2	207,2	57	1	-1.638,8	-432,2	382,4
19	19	1	-1.762,5	-1.203,9	207,2	58	1	-1.484,2	-247,0	241,3
20	20	1	-1.515,2	-1.049,6	291,6	59	1	-1.329,6	-370,4	197,9
21	21	1	-1.515,2	-1.018,7	30,9	60	1	-1.298,7	-370,4	30,9
22	22	1	-1.236,9	-710,0	415,6	61	1	-1.113,2	-1.821,3	1.462,7
23	23	1	-1.298,7	-833,5	138,1	62	1	-1.020,4	-277,8	1.546,3
24	24	1	-1.391,5	-1.049,6	235,2	63	2	-989,5	-895,2	618,2
25	25	1	-1.360,6	-987,8	69,1	64	1	-1.236,9	-1.481,8	636,6
26	26	1	-1.144,1	-864,4	249,2	65	2	-896,7	-1.420,0	345,7
27	27	1	-1.113,2	-833,5	43,7	66	3	-896,7	-1.389,2	30,9
28	28	1	-1.175,0	-771,8	87,4	67	1	-649,4	-1.203,9	309,0
29	29	1	-1.298,7	154,4	934,3	68	2	-587,5	-1.080,5	138,1
30	30	1	-1.113,2	277,8	222,9	69	2	-556,6	-833,5	248,9
31	31	2	-1.020,4	277,8	92,8	70	1	-773,0	-555,7	352,2
32	32	1	-989,5	185,2	97,6	71	1	-773,0	-277,8	277,8
33	33	1	-1.051,3	216,1	69,1	72	1	-804,0	-154,4	127,3
34	34	1	-1.051,3	-30,9	247,0	73	1	-804,0	-185,2	30,9
35	35	1	-1.113,2	123,5	166,3	74	1	-2.040,8	-185,2	1.236,9
36	36	1	-927,7	30,9	207,4	0		0,0	0,0	2.049,2
37	37	1	-896,7	339,6	310,2					
38	38	1	-773,0	308,7	127,5					
39	39	1	-649,4	308,7	123,7					
40	0		0,0	0,0	719,0					
41										
42										
43										
<b>Total</b>	<b>39</b>	<b>43</b>			<b>12.319,0</b>	<b>35</b>	<b>44</b>			<b>22.124,1</b>

Orden	BUS 3					BUS 4				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	75	1	-4.761,9	30,9	4.762,0	110	1	-7.885,0	4.074,8	8.875,7
2	76	1	-4.700,1	-61,7	111,4	111	1	-8.287,0	3.982,2	412,5
3	77	1	-4.545,5	-370,4	345,3	112	1	-8.410,7	3.735,3	276,2
4	78	1	-4.669,2	-833,5	479,3	113	1	-9.554,8	3.704,4	1.144,5
5	79	1	-4.823,8	-1.111,3	318,0	114	1	-10.266,0	2.994,4	1.004,9
6	80	1	-5.504,1	-987,8	691,4	115	1	-10.420,6	3.272,2	318,0
7	81	1	-5.689,6	-1.111,3	222,9	116	1	-10.698,9	2.654,8	677,2
8	82	2	-6.926,5	-277,8	1.491,5	117	1	-10.327,8	3.056,1	546,6
9	83	1	-6.586,3	-524,8	420,3	118	1	-10.606,1	3.056,1	278,3
10	84	1	-5.720,5	-185,2	930,0	119	1	-10.389,7	3.642,7	625,2
11	85	1	-5.782,4	0,0	195,3	120	1	-10.111,4	3.827,9	334,3
12	86	1	-5.349,4	493,9	656,8	121	1	-10.049,5	3.982,2	166,3
13	87	1	-5.256,7	679,1	207,2	122	1	-10.080,5	3.982,2	30,9
14	88	1	-5.504,1	771,8	264,1	123	1	-10.018,6	4.074,8	111,4
15	89	1	-4.916,5	1.018,7	637,3	124	1	-10.080,5	4.167,5	111,4
16	90	1	-4.916,5	926,1	92,6	125	1	-9.802,2	4.414,4	372,1
17	91	1	-4.731,0	833,5	207,4	126	1	-9.400,2	4.754,0	526,2
18	92	1	-4.267,2	1.173,1	574,8	127	1	-9.523,9	4.723,1	127,5
19	93	1	-4.050,7	648,3	567,7	128	2	-9.647,6	4.815,7	154,5
20	94	1	-3.803,4	586,5	255,0	129	1	-9.462,0	5.000,9	262,2
21	95	1	-3.184,9	1.049,6	772,6	130	2	-10.080,5	4.692,2	691,2
22	96	2	-3.030,3	1.389,2	373,1	131	1	-9.956,8	4.846,6	197,8
23	97	1	-3.123,1	1.481,8	131,1	132	1	-10.018,6	4.939,2	111,4
24	98	1	-3.092,2	1.728,7	248,9	133	1	-10.544,3	4.383,5	764,9
25	99	3	-3.123,1	1.512,6	218,3	134	1	-10.575,2	4.692,2	310,2
26	100	1	-2.690,2	1.142,2	569,8	135	3	-10.389,7	4.599,6	207,4
27	101	1	-2.844,8	524,8	636,5	136	1	-9.802,2	4.290,9	663,7
28	102	2	-2.875,7	432,2	97,6	137	6	-7.575,8	4.445,3	2.231,7
29	103	2	-2.875,7	370,4	61,7	138	1	-7.142,9	4.692,2	498,4
30	104	1	-3.123,1	277,8	264,1	139	1	-7.173,8	4.445,3	248,9
31	105	1	-3.215,9	308,7	97,8	140	1	-7.761,3	1.728,7	2.779,4
32	106	1	-2.875,7	154,4	373,5	141	1	-7.606,7	1.852,2	197,9
33	107	1	-2.813,9	185,2	69,1	0		0,0	0,0	7.829,0
34	108	1	-2.473,7	154,4	341,5					
35	109	1	-2.288,2	308,7	241,3					
36	0		0,0	0,0	2.308,9					
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
Total	35	41			20.236,0	32	41			33.087,5

Orden	BUS 5					BUS 6				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	142	1	3.432,3	247,0	3.441,2	182	1	-3.432,3	3.241,4	4.720,9
2	143	1	2.597,4	-1.018,7	1.516,2	183	1	-4.050,7	3.334,0	625,3
3	144	1	2.628,3	-679,1	341,0	184	1	-4.576,4	3.797,0	700,5
4	145	1	3.370,5	-92,6	945,9	185	1	-4.514,6	3.766,1	69,1
5	146	1	3.494,1	308,7	419,9	186	1	-4.761,9	3.797,0	249,3
6	147	1	2.999,4	-401,3	865,4	187	3	-4.823,8	3.797,0	61,8
7	148	1	3.339,5	463,1	928,9	188	1	-4.669,2	3.920,5	197,9
8	149	1	3.246,8	463,1	92,8	189	1	-4.514,6	3.889,6	157,7
9	150	1	2.937,6	370,4	322,8	190	1	-4.483,6	3.889,6	30,9
10	151	1	3.154,0	432,2	225,1	191	1	-4.390,9	3.858,8	97,8
11	152	2	2.504,7	30,9	763,4	192	1	-4.267,2	2.562,2	1.302,4
12	153	1	2.009,9	216,1	528,3	193	2	-4.360,0	2.624,0	111,4
13	154	1	1.824,4	185,2	188,1	194	1	-5.071,2	2.778,3	727,8
14	155	1	3.308,6	1.728,7	2.141,3	195	2	-5.133,0	2.747,4	69,1
15	156	1	3.215,9	2.006,6	292,9	196	1	-5.967,9	1.821,3	1.246,9
16	157	2	2.937,6	2.531,3	594,0	197	1	-5.535,0	2.840,0	1.106,9
17	158	1	1.917,1	2.222,6	1.066,1	198	1	-5.380,4	2.562,2	318,0
18	159	1	1.607,9	2.407,9	360,4	199	2	-3.648,8	2.685,7	1.736,0
19	160	1	1.205,9	2.407,9	402,0	200	1	-3.617,8	2.624,0	69,1
20	161	1	927,6	2.407,9	278,3	201	3	-3.525,1	2.531,3	131,1
21	162	2	1.577,0	2.315,3	655,9	202	4	-3.525,1	2.593,1	61,7
22	163	1	1.917,1	1.913,9	526,1	203	1	-3.463,2	2.716,6	138,1
23	164	1	1.886,2	1.975,7	69,1	204	1	-2.906,6	2.716,6	556,6
24	165	2	1.700,7	1.790,5	262,2	205	1	-2.937,6	2.500,5	218,3
25	166	1	1.638,8	1.049,6	743,5	206	1	-2.813,9	2.500,5	123,7
26	167	1	1.329,6	1.142,2	322,8	207	2	-2.906,6	2.284,4	235,2
27	168	1	1.267,8	277,8	866,6	208	1	-2.381,0	2.438,7	547,9
28	169	1	1.175,0	401,3	154,4	209	1	-2.257,3	2.716,6	304,1
29	170	1	1.205,9	524,8	127,3	210	1	-1.979,0	2.377,0	439,0
30	171	1	1.205,9	710,0	185,2	211	1	-1.979,0	2.438,7	61,7
31	172	1	834,9	957,0	445,7	212	1	-1.886,2	463,1	1.977,9
32	173	1	865,8	1.049,6	97,6	0		0,0	0,0	1.942,2
33	174	1	1.082,3	1.234,8	284,9					
34	175	1	1.236,9	1.142,2	180,2					
35	176	1	587,5	1.420,0	706,3					
36	177	3	525,7	1.420,0	61,8					
37	178	1	432,9	1.389,2	97,8					
38	179	1	556,6	1.358,3	127,5					
39	180	1	340,1	1.389,2	218,6					
40	181	1	958,6	308,7	1.244,9					
41	0		0,0	0,0	1.007,1					
42										
43										
Total	40	46			24.099,4	31	42			20.336,2

Orden	BUS 7					BUS 8				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	213	1	-1.205,9	1.327,4	1.793,4	236	1	-1.824,4	2.099,2	2.781,2
2	214	1	-1.175,0	1.852,2	525,7	237	1	-1.979,0	2.346,1	291,4
3	215	3	-1.453,3	2.037,4	334,3	238	1	-1.824,4	1.821,3	547,1
4	216	1	-1.082,3	1.883,1	401,9	239	1	-3.370,5	1.327,4	1.623,1
5	217	1	-618,4	1.852,2	464,9	240	1	-3.370,5	1.358,3	30,9
6	218	1	-556,6	1.821,3	69,1	241	1	-3.339,5	1.450,9	97,6
7	219	1	-61,8	1.697,9	509,9	242	1	-3.339,5	1.636,1	185,2
8	220	2	154,6	1.512,6	284,9	243	1	-3.463,2	1.913,9	304,1
9	221	2	185,5	1.605,2	97,6	244	1	-3.494,1	1.728,7	187,8
10	222	1	432,9	1.543,5	255,0	245	1	-3.556,0	1.728,7	61,8
11	223	1	-742,1	2.160,9	1.327,4	246	1	-3.525,1	1.605,2	127,3
12	224	2	-1.082,3	2.160,9	340,1	247	1	-3.617,8	1.975,7	381,9
13	225	1	-865,8	2.531,3	429,0	248	1	-3.710,6	1.852,2	154,4
14	226	1	-1.051,3	2.562,2	188,1	249	1	-3.896,1	2.006,6	241,3
15	227	1	-989,5	2.500,5	87,4	250	1	-3.277,7	1.605,2	737,2
16	228	1	-587,5	2.932,7	590,2	251	1	-4.947,5	1.481,8	1.674,3
17	229	2	-804,0	2.840,0	235,4	252	2	-4.947,5	1.450,9	30,9
18	230	2	-865,8	2.716,6	138,1	253	1	-4.792,9	1.790,5	373,1
19	231	3	-865,8	2.315,3	401,3	254	1	-4.854,7	1.728,7	87,4
20	232	1	-680,3	1.852,2	498,8	255	1	-4.081,7	2.469,6	1.070,7
21	233	2	-1.391,5	1.543,5	775,3	256	1	-4.112,6	2.562,2	97,6
22	234	4	-1.298,7	1.512,6	97,8	257	1	-4.174,4	2.469,6	111,4
23	235	1	-1.360,6	1.358,3	166,3	258	2	-4.174,4	2.438,7	30,9
24	0		0,0	0,0	1.922,5	259	1	-4.421,8	2.099,2	420,1
25						260	1	-4.452,7	1.821,3	279,5
26						261	1	-4.081,7	1.883,1	376,2
27						262	1	-1.546,1	2.037,4	2.540,3
28						263	1	-3.927,1	1.944,8	2.382,8
29						264	1	-3.927,1	1.821,3	123,5
30						265	1	-3.741,5	1.481,8	386,9
31						266	1	-3.617,8	1.543,5	138,2
32						267	1	-3.679,7	1.512,6	69,1
33						268	1	-3.679,7	1.111,3	401,3
34						0		0,0	0,0	3.843,8
35										0,0
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
Total	23	36			11.934,4	33	35			22.190,4



Orden	BUS 9					BUS 10				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	269	2	-8.998,2	7.100,1	11.462,1	301	1	-1.917,1	3.334,0	3.845,9
2	270	1	-8.936,4	7.007,5	111,4	302	1	-927,7	1.821,3	1.807,5
3	271	1	-8.689,0	7.223,6	328,5	303	2	-711,2	1.852,2	218,6
4	272	1	-8.843,6	7.131,0	180,2	304	1	-587,5	1.852,2	123,7
5	273	1	-9.245,6	6.945,8	442,6	305	1	-432,9	1.450,9	430,1
6	274	1	-8.812,7	7.100,1	459,6	306	2	-494,7	1.420,0	69,1
7	275	1	-8.967,3	6.760,5	373,1	307	1	-371,1	1.358,3	138,2
8	276	1	-9.029,1	6.945,8	195,3	308	2	-402,0	1.358,3	30,9
9	277	1	-9.091,0	6.884,0	87,4	309	1	-680,3	1.203,9	318,2
10	278	1	-9.091,0	6.914,9	30,9	310	1	-432,9	1.173,1	249,3
11	279	2	-9.214,7	6.760,5	197,8	311	1	-185,5	1.327,4	291,6
12	280	1	-9.245,6	6.760,5	30,9	312	1	-92,8	1.420,0	131,1
13	281	2	-9.214,7	6.729,7	43,7	313	1	-61,8	1.605,2	187,8
14	282	1	-9.245,6	6.914,9	187,8	314	1	185,5	1.389,2	328,5
15	283	1	-9.554,8	7.161,8	395,7	315	1	-30,9	1.543,5	265,8
16	284	1	-9.554,8	7.192,7	30,9	316	2	-61,8	1.543,5	30,9
17	285	2	-9.616,6	7.131,0	87,4	317	1	185,5	1.667,0	276,5
18	286	2	-9.802,2	6.945,8	262,2	318	1	61,8	1.728,7	138,2
19	287	1	-9.709,4	6.729,7	235,2	319	3	247,4	1.821,3	207,4
20	288	1	-9.987,7	6.637,1	293,3	320	2	-185,5	1.512,6	531,7
21	289	1	-10.080,5	6.729,7	131,1	321	1	-402,0	1.512,6	216,5
22	290	3	-10.173,2	6.760,5	97,8	322	1	-432,9	1.481,8	43,7
23	291	2	-10.266,0	6.544,4	235,2	323	1	-123,7	1.173,1	436,9
24	292	1	-10.080,5	6.853,1	360,2	324	1	92,8	1.111,3	225,1
25	293	1	-10.451,5	6.421,0	569,6	325	1	-92,8	1.389,2	334,1
26	294	3	-10.637,1	6.266,6	241,3	326	2	-340,1	740,9	693,9
27	295	3	-10.204,2	6.143,1	450,2	327	1	-371,1	771,8	43,7
28	296	2	-9.987,7	6.390,1	328,4	328	1	-371,1	895,2	123,5
29	297	1	-5.998,8	3.982,2	4.659,3	329	1	-309,2	957,0	87,4
30	298	1	-6.277,1	4.290,9	415,6	330	1	-309,2	1.049,6	92,6
31	299	1	-5.813,3	1.450,9	2.877,7	331	1	-371,1	1.080,5	69,1
32	300	1	-5.782,4	1.543,5	97,6	332	1	-278,3	1.111,3	97,8
33	0		0,0	0,0	5.984,8	333	2	-432,9	926,1	241,3
34						334	1	-525,7	833,5	131,1
35						335	2	-556,6	895,2	69,1
36						336	2	-556,6	833,5	61,7
37						337	1	-649,4	710,0	154,4
38						338	1	-432,9	771,8	225,1
39						339	1	-432,9	740,9	30,9
40						340	2	-309,2	463,1	304,1
41						341	1	30,9	493,9	341,5
42						342	1	30,9	586,5	92,6
43						0		0,0	0,0	587,3
Total	32	45			31.884,5	42	54			14.324,4

BUS 11					
Orden	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0	
1	343	3	1.298,7	-710,0	1.480,1
2	344	1	711,2	-1.296,5	830,2
3	345	1	834,9	-1.358,3	138,2
4	346	1	834,9	-1.543,5	185,2
5	347	2	865,8	-1.450,9	97,6
6	348	1	1.175,0	-1.574,4	333,0
7	349	2	1.113,2	-1.543,5	69,1
8	350	1	61,8	-2.593,1	1.485,6
9	351	1	216,5	-2.346,1	291,4
10	352	1	61,8	-2.160,9	241,3
11	353	1	309,2	-1.111,3	1.078,3
12	354	2	402,0	-1.142,2	97,8
13	355	1	30,9	-926,1	429,4
14	356	1	92,8	-1.080,5	166,3
15	357	1	123,7	-1.049,6	43,7
16	358	1	-61,8	-1.080,5	188,1
17	359	1	-247,4	-1.327,4	308,9
18	360	2	30,9	-1.327,4	278,3
19	361	2	216,5	-926,1	442,1
20	362	1	247,4	-957,0	43,7
21	363	1	92,8	-1.265,7	345,3
22	364	1	-371,1	-1.234,8	464,9
23	365	1	-402,0	-1.265,7	43,7
24	366	5	-340,1	-1.574,4	314,8
25	367	4	-371,1	-1.543,5	43,7
26	0		0,0	0,0	1.587,5
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
Total	25	39			11.028,0

**ANEXO 5 DISTANCIAS RECORRIDAS EN LA RUTA INICIAL DE LA TARDE**

Orden	BUS 1					BUS 2				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	1	1	-649,4	308,7	719,0	48	1	-371,1	-1.234,8	1.289,3
2	2	1	-927,7	0,0	415,6	49	3	-371,1	-1.543,5	308,7
3	3	1	-927,7	30,9	30,9	50	1	-340,1	-1.574,4	43,7
4	4	1	-927,7	277,8	247,0	51	2	-896,7	-1.389,2	586,6
5	5	1	-896,7	339,6	69,1	52	1	-927,7	-1.481,8	97,6
6	6	2	-1.020,4	277,8	138,2	53	1	-649,4	-1.203,9	393,2
7	7	1	-989,5	185,2	97,6	54	2	-896,7	-1.420,0	328,5
8	8	1	-1.051,3	216,1	69,1	55	2	-587,5	-1.080,5	459,3
9	9	1	-1.082,3	216,1	30,9	56	1	-432,9	-895,2	241,3
10	10	1	-1.051,3	-30,9	248,9	57	2	-556,6	-833,5	138,2
11	11	1	-1.113,2	123,5	166,3	58	1	-1.236,9	-1.481,8	939,7
12	12	1	-1.113,2	30,9	92,6	59	1	-1.205,9	-1.420,0	69,1
13	13	1	-1.298,7	154,4	222,9	60	1	-1.144,1	-864,4	559,1
14	14	1	-1.113,2	277,8	222,9	61	3	-1.113,2	-833,5	43,7
15	15	1	-1.082,3	370,4	97,6	62	2	-989,5	-895,2	138,2
16	16	1	-773,0	308,7	315,3	63	1	-773,0	-555,7	402,7
17	17	2	-1.175,0	-771,8	1.152,8	64	1	-804,0	-185,2	371,7
18	18	1	-1.298,7	-833,5	138,2	65	1	-804,0	-154,4	30,9
19	19	1	-1.236,9	-740,9	111,4	66	1	-1.020,4	-277,8	249,2
20	20	1	-1.236,9	-710,0	30,9	67	1	-1.298,7	-370,4	293,3
21	21	1	-1.391,5	-1.049,6	373,1	68	1	-1.329,6	-370,4	30,9
22	22	1	-1.360,6	-987,8	69,1	69	1	-1.484,2	-247,0	197,9
23	23	1	-1.515,2	-1.049,6	166,5	70	1	-1.793,5	-493,9	395,7
24	24	1	-1.731,6	-1.111,3	225,1	71	1	-1.638,8	-432,2	166,5
25	25	1	-1.762,5	-1.203,9	97,6	72	1	-2.040,8	-185,2	471,8
26	26	1	-1.577,0	-1.203,9	185,5	73	1	-2.009,9	-339,6	157,4
27	27	1	-1.669,8	-1.389,2	207,2	74	1	-1.979,0	-617,4	279,5
28	28	1	-1.855,3	-1.420,0	188,1	75	1	-2.133,6	-1.203,9	606,6
29	29	1	-1.855,3	-1.389,2	30,9	76	2	-2.473,7	-1.080,5	361,9
30	30	1	-1.577,0	-1.790,5	488,4	77	2	-2.381,0	-926,1	180,1
31	31	1	-1.453,3	-1.913,9	174,8	78	1	-3.184,9	-1.203,9	850,6
32	32	2	-1.113,2	-1.821,3	352,5	79	1	-3.061,2	-1.265,7	138,2
33	33	1	-1.020,4	-1.852,2	97,8	80	2	-4.607,3	-1.296,5	1.546,4
34	34	1	-865,8	-1.636,1	265,7	81	1	-4.514,6	-1.142,2	180,1
35	35	1	-989,5	-2.006,6	390,5	82	1	-3.988,9	-1.234,8	533,8
36	36	1	-1.113,2	-2.253,5	276,2	83	1	-3.896,1	-1.265,7	97,8
37	37	1	-2.319,1	-1.697,9	1.327,8	84	1	-3.896,1	-1.018,7	247,0
38	38	1	-2.473,7	-1.667,0	157,7	85	1	-3.834,3	-1.543,5	528,4
39	39	2	-2.566,5	-1.605,2	111,4	86	1	-3.556,0	-1.543,5	278,3
40	40	3	-2.597,4	-1.821,3	218,3	87	1	-3.215,9	-1.821,3	439,2
41	41	1	-2.597,4	-1.697,9	123,5	0		0,0	0,0	3.695,8
42	42	1	-2.597,4	-1.790,5	92,6					
43	43	2	-2.566,5	-1.759,6	43,7					
44	44	1	-2.504,7	-1.420,0	345,2					
45	45	1	-2.133,6	-1.728,7	482,7					
46	46	1	-1.731,6	-987,8	842,9					
47	47	1	-1.638,8	-926,1	111,4					
48	0		0,0	0,0	1.882,4					
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>54</b>			<b>13.945,6</b>	<b>40</b>	<b>52</b>			<b>18.367,8</b>

Orden	BUS 3					BUS 4				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	88	1	-2.844,8	524,8	2.892,8	124	1	-7.761,3	1.728,7	7.951,5
2	89	2	-2.875,7	432,2	97,6	125	1	-7.606,7	1.852,2	197,9
3	90	2	-2.875,7	370,4	61,7	126	1	-7.575,8	1.852,2	30,9
4	91	1	-2.906,6	308,7	69,1	127	1	-7.885,0	4.229,2	2.397,0
5	92	1	-3.123,1	277,8	218,6	128	1	-8.287,0	3.982,2	471,8
6	93	1	-3.215,9	308,7	97,8	129	1	-8.410,7	3.735,3	276,2
7	94	1	-2.844,8	154,4	401,9	130	1	-10.049,5	2.963,5	1.811,5
8	95	2	-2.473,7	154,4	371,1	131	1	-10.266,0	2.994,4	218,6
9	96	1	-2.381,0	679,1	532,9	132	1	-10.420,6	3.272,2	318,0
10	97	1	-1.824,4	432,2	608,9	133	1	-10.698,9	2.654,8	677,2
11	98	1	-3.184,9	1.049,6	1.494,1	134	1	-10.327,8	3.056,1	546,6
12	99	3	-3.030,3	1.389,2	373,1	135	1	-10.606,1	3.056,1	278,3
13	100	1	-3.123,1	1.481,8	131,1	136	1	-10.389,7	3.642,7	625,2
14	101	1	-3.092,2	1.728,7	248,9	137	1	-10.451,5	3.642,7	61,8
15	102	3	-3.123,1	1.512,6	218,3	138	1	-10.018,6	4.074,8	611,7
16	103	1	-2.690,2	1.142,2	569,8	139	1	-10.049,5	3.982,2	97,6
17	104	1	-4.267,2	1.173,1	1.577,3	140	2	-10.080,5	3.982,2	30,9
18	105	1	-4.731,0	833,5	574,8	141	1	-10.080,5	4.167,5	185,2
19	106	1	-4.823,8	277,8	563,4	142	1	-9.802,2	4.290,9	304,5
20	107	1	-4.761,9	30,9	254,6	143	1	-9.400,2	4.754,0	613,2
21	108	1	-4.700,1	-61,7	111,4	144	3	-9.647,6	4.815,7	255,0
22	109	1	-4.545,5	-370,4	345,3	145	1	-9.523,9	4.723,1	154,5
23	110	1	-4.452,7	-586,5	235,2	146	1	-9.462,0	5.000,9	284,6
24	111	1	-4.638,3	-864,4	334,1	147	2	-10.080,5	4.692,2	691,2
25	112	1	-4.885,6	-926,1	255,0	148	1	-9.956,8	4.846,6	197,8
26	113	1	-5.504,1	-987,8	621,5	149	1	-10.018,6	4.939,2	111,4
27	114	1	-5.225,8	-154,4	878,7	150	1	-10.544,3	4.383,5	764,9
28	115	1	-5.751,4	-1.142,2	1.119,0	151	1	-10.575,2	4.692,2	310,2
29	116	2	-6.926,5	-277,8	1.458,7	152	3	-10.389,7	4.599,6	207,4
30	117	1	-6.586,3	-524,8	420,3	153	1	-9.369,3	3.982,2	1.192,7
31	118	1	-5.751,4	-154,4	913,4	154	1	-7.514,0	4.445,3	1.912,2
32	119	1	-5.782,4	0,0	157,4	155	5	-7.575,8	4.445,3	61,8
33	120	1	-5.349,4	493,9	656,8	156	1	-7.173,8	4.445,3	402,0
34	121	1	-5.256,7	679,1	207,2	157	1	-7.637,7	3.889,6	723,8
35	122	1	-4.916,5	926,1	420,3	0		0,0	0,0	8.571,0
36	123	1	-4.916,5	987,8	61,7					
37	0		0,0	0,0	5.014,8					
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
Total	36	44			24.568,4	34	44			33.546,2

Orden	BUS 5					BUS 6				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	158	1	340,1	1.389,2	1.430,2	204	1	-2.813,9	2.500,5	3.764,3
2	159	1	556,6	1.358,3	218,6	205	2	-2.906,6	2.284,4	235,2
3	160	1	432,9	1.389,2	127,5	206	1	-2.381,0	2.438,7	547,9
4	161	2	525,7	1.420,0	97,8	207	1	-2.257,3	2.716,6	304,1
5	162	1	865,8	1.049,6	502,9	208	1	-3.030,3	2.500,5	802,7
6	163	1	834,9	957,0	97,6	209	1	-2.937,6	2.716,6	235,2
7	164	1	1.329,6	1.142,2	528,3	210	1	-3.710,6	2.654,8	775,5
8	165	1	-6.431,7	1.173,1	7.761,4	211	2	-3.679,7	2.531,3	127,3
9	166	1	1.082,3	1.234,8	7.514,2	212	1	-3.617,8	2.624,0	111,4
10	167	1	1.236,9	1.142,2	180,2	213	3	-3.525,1	2.531,3	131,1
11	168	1	1.298,7	895,2	254,6	214	4	-3.525,1	2.593,1	61,7
12	169	1	1.267,8	277,8	618,2	215	1	-3.432,3	3.241,4	654,9
13	170	1	1.175,0	401,3	154,4	216	1	-4.390,9	2.870,9	1.027,7
14	171	1	1.205,9	524,8	127,3	217	1	-4.174,4	3.303,1	483,4
15	172	1	1.205,9	710,0	185,2	218	1	-4.390,9	3.858,8	596,3
16	173	1	1.144,1	-1.142,2	1.853,2	219	1	-4.576,4	3.797,0	195,5
17	174	1	958,6	308,7	1.462,7	220	1	-4.761,9	3.797,0	185,5
18	175	1	1.731,6	1.389,2	1.328,5	221	3	-4.823,8	3.797,0	61,8
19	176	1	2.071,8	895,2	599,7	222	1	-4.669,2	3.920,5	197,9
20	177	2	2.504,7	30,9	966,7	223	1	-4.514,6	3.889,6	157,7
21	178	1	2.442,8	-308,7	345,2	224	1	-4.483,6	3.889,6	30,9
22	179	1	2.597,4	-1.018,7	726,6	225	1	-5.442,2	1.821,3	2.279,6
23	180	1	3.030,3	-586,5	611,7	226	1	-5.040,2	2.747,4	1.009,6
24	181	4	2.968,5	-308,7	284,6	227	1	-4.514,6	2.624,0	540,0
25	182	2	2.937,6	370,4	679,8	228	1	-4.267,2	2.562,2	255,0
26	183	1	3.154,0	432,2	225,1	229	3	-4.360,0	2.624,0	111,4
27	184	1	3.246,8	463,1	97,8	230	2	-5.133,0	2.747,4	782,8
28	185	1	3.339,5	463,1	92,8	231	1	-5.875,1	1.697,9	1.285,4
29	186	1	2.999,4	-401,3	928,9	232	2	-5.504,1	2.840,0	1.201,0
30	187	1	3.370,5	-92,6	482,7	233	1	-5.535,0	2.840,0	30,9
31	188	1	2.659,3	308,7	816,6	234	1	-5.937,0	2.315,3	661,1
32	189	1	2.009,9	216,1	655,9	235	1	-5.411,3	2.593,1	594,6
33	190	1	1.824,4	185,2	188,1	236	1	-4.514,6	3.766,1	1.476,5
34	191	1	2.226,4	926,1	842,9	0		0,0	0,0	5.879,2
35	192	1	3.308,6	1.728,7	1.347,4					
36	193	1	3.215,9	2.006,6	292,9					
37	194	2	2.937,6	2.531,3	594,0					
38	195	1	1.917,1	2.222,6	1.066,1					
39	196	1	1.607,9	2.407,9	360,4					
40	197	1	1.205,9	2.407,9	402,0					
41	198	2	927,6	2.407,9	278,3					
42	199	1	1.577,0	2.315,3	655,9					
43	200	1	1.917,1	1.913,9	526,1					
44	201	1	1.886,2	1.975,7	69,1					
45	202	1	1.700,7	1.790,5	262,2					
46	203	1	587,5	1.420,0	1.173,2					
47	0		0,0	0,0	1.536,8					
48										
Total	46	54			41.552,3	33	46			26.795,0

Orden	BUS 7					BUS 8				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	237	1	-1.205,9	1.327,4	1.793,4	265	1	-1.793,5	2.407,9	3.002,4
2	238	2	-1.391,5	1.543,5	284,8	266	1	-1.700,7	2.222,6	207,2
3	239	4	-1.298,7	1.512,6	97,8	267	1	-1.824,4	2.099,2	174,8
4	240	1	-1.360,6	1.358,3	166,3	268	1	-2.257,3	1.944,8	459,6
5	241	1	-742,1	1.667,0	691,2	269	1	-2.226,4	2.068,3	127,3
6	242	2	-1.082,3	2.160,9	599,7	270	1	-2.164,5	2.191,8	138,1
7	243	1	-1.082,3	1.883,1	277,8	271	1	-1.824,4	1.821,3	502,9
8	244	3	-1.205,9	1.852,2	127,5	272	1	-3.679,7	1.111,3	1.986,5
9	245	1	-1.175,0	1.852,2	30,9	273	1	-3.679,7	1.512,6	401,3
10	246	3	-1.453,3	2.037,4	334,3	274	1	-3.370,5	1.327,4	360,4
11	247	2	-1.205,9	2.562,2	580,2	275	1	-3.339,5	1.450,9	127,3
12	248	2	-1.051,3	2.562,2	154,6	276	1	-3.370,5	1.481,8	43,7
13	249	1	-989,5	2.500,5	87,4	277	1	-3.339,5	1.574,4	97,6
14	250	1	-587,5	2.932,7	590,2	278	1	-3.339,5	1.543,5	30,9
15	251	1	-804,0	2.840,0	235,4	279	1	-3.370,5	1.636,1	97,6
16	252	2	-865,8	2.716,6	138,1	280	1	-3.463,2	1.913,9	292,9
17	253	1	-865,8	2.654,8	61,7	281	1	-3.494,1	1.728,7	187,8
18	254	3	-865,8	2.315,3	339,6	282	1	-3.525,1	1.605,2	127,3
19	255	1	-556,6	1.821,3	582,7	283	1	-3.617,8	1.975,7	381,9
20	256	1	-61,8	1.697,9	509,9	284	1	-3.710,6	3.395,7	1.423,0
21	257	3	-61,8	1.728,7	30,9	285	1	-3.741,5	1.481,8	1.914,2
22	258	2	154,6	1.512,6	305,9	286	1	-3.834,3	1.481,8	92,8
23	259	2	185,5	1.605,2	97,6	287	1	-3.927,1	1.821,3	352,0
24	260	1	-742,1	2.160,9	1.081,3	288	2	-3.927,1	1.883,1	61,7
25	261	2	-711,2	1.852,2	310,2	289	1	-3.988,9	1.975,7	111,4
26	262	1	-680,3	1.852,2	30,9	290	1	-3.896,1	2.006,6	97,8
27	263	1	-618,4	1.852,2	61,8	291	1	-3.927,1	1.944,8	69,1
28	264	1	-927,7	1.821,3	310,8	292	1	-4.081,7	1.883,1	166,5
29	0		0,0	0,0	2.044,0	293	1	-4.421,8	2.099,2	403,0
30						294	1	-4.081,7	2.500,5	526,1
31						295	1	-4.112,6	2.562,2	69,1
32						296	1	-4.174,4	2.469,6	111,4
33						297	2	-4.205,3	2.469,6	30,9
34						298	1	-4.731,0	1.728,7	908,4
35						299	1	-4.947,5	1.481,8	328,4
36						300	2	-4.947,5	1.450,9	30,9
37						0		0,0	0,0	5.155,8
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
Total	28	47			11.957,0	36	39			20.599,8

Orden	BUS 9					BUS 10				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	301	1	-5.813,3	1.450,9	5.991,6	333	2	-309,2	463,1	556,8
2	302	1	-5.782,4	1.543,5	97,6	334	1	-618,4	493,9	310,8
3	303	1	-5.998,8	3.982,2	2.448,3	335	1	-649,4	710,0	218,3
4	304	1	-6.215,3	4.290,9	377,0	336	2	-556,6	833,5	154,4
5	305	1	-9.709,4	6.729,7	4.261,0	337	2	-556,6	895,2	61,7
6	306	1	-9.245,6	6.760,5	464,9	338	2	-432,9	926,1	127,5
7	307	2	-9.214,7	6.729,7	43,7	339	1	-525,7	771,8	180,1
8	308	2	-9.183,7	6.791,4	69,1	340	1	-432,9	771,8	92,8
9	309	1	-8.967,3	6.760,5	218,6	341	1	-371,1	895,2	138,1
10	310	1	-9.245,6	6.945,8	334,3	342	3	-340,1	740,9	157,4
11	311	1	-8.812,7	7.100,1	459,6	343	1	30,9	493,9	445,7
12	312	1	-8.843,6	7.131,0	43,7	344	1	30,9	586,5	92,6
13	313	1	-8.658,1	7.223,6	207,4	345	1	-309,2	957,0	502,9
14	314	1	-8.689,0	7.223,6	30,9	346	1	-309,2	1.049,6	92,6
15	315	2	-8.719,9	7.223,6	30,9	347	1	-371,1	1.080,5	69,1
16	316	1	-8.874,5	6.914,9	345,3	348	1	-278,3	1.111,3	97,8
17	317	1	-9.091,0	6.884,0	218,6	349	1	-432,9	1.173,1	166,5
18	318	1	-9.121,9	6.853,1	43,7	350	3	-402,0	1.358,3	187,8
19	319	1	-9.245,6	6.914,9	138,2	351	1	-371,1	1.358,3	30,9
20	320	1	-9.554,8	7.161,8	395,7	352	1	-185,5	1.327,4	188,1
21	321	1	-9.554,8	7.192,7	30,9	353	1	-123,7	1.173,1	166,3
22	322	2	-9.616,6	7.131,0	87,4	354	1	92,8	1.111,3	225,1
23	323	2	-9.802,2	6.945,8	262,2	355	2	-92,8	1.389,2	334,1
24	324	1	-9.987,7	6.637,1	360,2	356	1	-92,8	1.420,0	30,9
25	325	1	-10.080,5	6.729,7	131,1	357	1	-92,8	1.481,8	61,7
26	326	3	-10.173,2	6.760,5	97,8	358	1	-61,8	1.605,2	127,3
27	327	2	-10.266,0	6.544,4	235,2	359	2	185,5	1.389,2	328,5
28	328	1	-10.080,5	6.853,1	360,2	360	1	-30,9	1.543,5	265,8
29	329	1	-11.348,3	6.390,1	1.349,7	361	2	-61,8	1.543,5	30,9
30	330	3	-10.637,1	6.266,6	721,8	362	1	185,5	1.667,0	276,5
31	331	3	-10.204,2	6.143,1	450,2	363	2	-185,5	1.512,6	401,9
32	332	2	-9.894,9	6.451,8	436,9	364	2	-494,7	1.420,0	322,8
33	0		0,0	0,0	11.812,5	365	1	-432,9	1.450,9	69,1
34						366	1	-402,0	1.512,6	69,1
35						367	4	247,4	1.821,3	719,0
36						368	1	-2.195,4	2.840,0	2.646,7
37						0		0,0	0,0	3.589,7
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
Total	32	45			32.556,1	36	52			13.537,2

BUS 11					
Orden	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0	
1	369	1	0,0	-524,8	524,8
2	370	1	30,9	-926,1	402,5
3	371	1	-61,8	-1.080,5	180,1
4	372	1	-30,9	-1.080,5	30,9
5	373	1	92,8	-1.080,5	123,7
6	374	1	123,7	-1.049,6	43,7
7	375	2	30,9	-1.327,4	292,9
8	376	2	92,8	-1.265,7	87,4
9	377	1	154,6	-1.142,2	138,1
10	378	2	216,5	-926,1	224,8
11	379	1	247,4	-957,0	43,7
12	380	1	185,5	-957,0	61,8
13	381	3	-402,0	-1.234,8	649,9
14	382	1	123,7	-864,4	643,1
15	383	1	309,2	-1.111,3	308,9
16	384	1	340,1	-1.142,2	43,7
17	385	1	402,0	-1.142,2	61,8
18	386	3	1.236,9	-802,6	901,3
19	387	3	1.298,7	-710,0	111,4
20	388	1	1.267,8	-710,0	30,9
21	389	1	711,2	-1.296,5	808,6
22	390	1	834,9	-1.358,3	138,2
23	391	2	834,9	-1.543,5	185,2
24	392	4	865,8	-1.450,9	97,6
25	393	1	1.175,0	-1.574,4	333,0
26	394	2	1.113,2	-1.543,5	69,1
27	395	1	618,4	-2.624,0	1.188,3
28	396	1	216,5	-2.346,1	488,6
29	397	1	61,8	-2.160,9	241,3
30	398	1	2.071,8	-493,9	2.611,2
31	0		0,0	0,0	2.129,8
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
Total	30	44			13.196,4



## ANEXO 6 ASIGNACIÓN PROPUESTA PARA LA RUTA DE LA MAÑANA

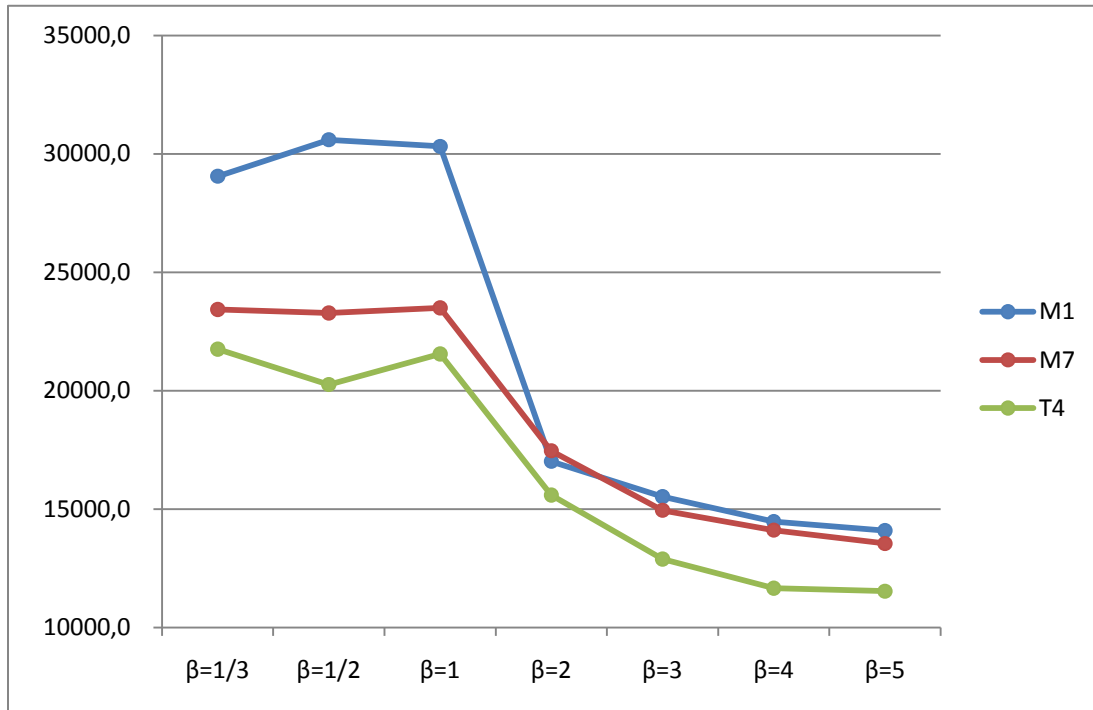
Paradas asignadas										
M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142	65	1	5	217	95	92	184	113	110	40
145	66	2	6	218	96	182	185	114	111	41
146	67	3	7	219	97	183	186	115	112	42
148	68	4	8	223	98	192	187	116	137	44
149	69	15	9	232	99	193	188	117	138	45
150	143	17	10	303	100	199	189	118	139	46
151	144	20	11	304	206	200	190	119	194	47
152	147	21	12	305	207	201	191	120	269	75
153	343	26	13	306	208	202	195	121	270	76
154	344	27	14	307	209	203	277	122	271	77
155	345	28	16	308	210	204	278	123	272	78
156	346	29	18	309	211	205	279	124	273	79
157	347	30	19	310	213	239	283	125	274	80
158	348	31	22	311	214	240	284	126	275	81
159	349	32	23	312	215	241	285	127	276	82
160	350	33	24	313	216	242	286	128	280	83
161	351	34	25	315	224	243		129	281	84
162	352	35	43	316	225	244		130	282	85
163	353	36	48	317	226	245		131	287	86
164	354	37	49	318	227	246		132	288	87
165	355	38	50	319	228	247		133	289	88
166	356	39	51	320	229	248		134	290	89
167	357	57	52	321	230	249		135	291	90
168	358	58	53	322	231	250		136	292	91
169	359	59	54	323	233	251			293	93
170	360	60	55	325	234	252			294	94
171	361	61	56	326	235	253			295	140
172	362	62	74	327	236	254			296	141
173	363	63	101	328	237	255			297	196
174	364	64	102	329	238	256			298	197
175	365	70	103	330	301	257			299	198
176		71	104	331	302	258			300	
177		72	105	332		259				
178		73	106	333		260				
179		366	107	334		261				
180		367	108	335		262				
181			109	336		263				
220			212	337		264				
221				338		265				
222				339		266				
314				340		267				
324						268				
341										
342										

## ANEXO 7 ASIGNACIÓN PROPUESTA PARA LA RUTA DE LA TARDE

Paradas asignadas										
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
158	49	1	13	256	237	98	104	305	80	124
159	50	2	17	257	238	99	127	306	81	125
160	178	3	18	258	239	100	128	307	82	126
161	179	4	19	259	240	101	129	308	83	130
162	180	5	20	333	241	102	153	309	84	131
163	181	6	21	336	242	103	154	310	85	132
164	186	7	22	337	243	204	155	311	88	133
165	369	8	23	338	244	205	156	312	89	134
166	370	9	24	339	245	206	157	313	90	135
167	371	10	25	340	246	207	216	314	91	136
168	372	11	26	341	247	208	218	315	92	137
169	373	12	27	342	248	209	219	316	93	138
170	374	14	28	343	249	210	220	317	94	139
171	375	15	29	344	250	211	221	318	96	140
172	376	16	37	345	251	212	222	319	105	141
173	377	30	38	346	252	213	223	320	106	142
174	378	31	39	347	253	214	224	321	107	143
175	379	32	40	348	254	215	225	322	108	144
176	380	33	41	349	255	217	226	323	109	145
177	382	34	42	350	260	272	227	324	110	146
182	383	35	43	352	261	273	228	325	111	147
183	384	36	44	353	262	274	229	326	112	148
184	385	48	45	354	263	275	230	327	113	149
185	386	51	46	355	264	276	231	328	114	150
187	387	52	47	356	265	277	232	329	115	151
188	388	53	66	357	266	278	233	330	116	152
189	389	54	67	358	267	279	234	331	117	
190	390	55	68	359	268	280	235	332	118	
191	391	56	69	360	269	281	236		119	
192	392	57	70	361	270	282	292		120	
193	393	58	71	362	271	283	293		121	
194	394	59	72	363	335	284	294		122	
195	395	60	73	367	351	285	295		123	
196	396	61	74		364	286	296		301	
197	397	62	75		365	287	297			
198	398	63	76		366	288	298			
199		64	77			289	299			
200		65	78			290	300			
201		334	79			291	302			
202		381	86			368	303			
203			87				304			
			95							
			97							

## ANEXO 8 PRUEBA DE DETERMINACIÓN DE PARÁMETRO $\beta$

La siguiente figura muestra la variación de los resultados obtenidos para diferentes valores del parámetro  $\beta$  utilizando la información de las asignaciones con mayor cantidad de paradas: M1 (45 paradas), T4 (44 paradas) y M7 (43 paradas)



La gráfica muestra un cambio drástico en la calidad de las soluciones entre los valores  $1/3$  y  $3$ . Entre los valores  $3$  y  $5$  la variación es menos significativa, por lo que se escogió  $\beta=5$  como el valor a utilizar en la etapa de experimentación.

ANEXO 9 DISTANCIAS RECORRIDAS EN LA RUTA PROPUESTA DE LA MAÑANA

Orden	BUS 1					BUS 2				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	341	1	30,9	493,9	494,9	69	2	-556,6	-833,5	1.002,2
2	342	1	30,9	586,5	92,6	68	2	-587,5	-1.080,5	248,9
3	324	1	92,8	1.111,3	528,4	67	1	-649,4	-1.203,9	138,1
4	314	1	185,5	1.389,2	292,9	66	3	-896,7	-1.389,2	309,0
5	220	2	154,6	1.512,6	127,3	65	2	-896,7	-1.420,0	30,9
6	221	2	185,5	1.605,2	97,6	365	1	-402,0	-1.265,7	518,3
7	222	1	432,9	1.543,5	255,0	364	1	-371,1	-1.234,8	43,7
8	180	1	340,1	1.389,2	180,1	359	1	-247,4	-1.327,4	154,5
9	178	1	432,9	1.389,2	92,8	358	1	-61,8	-1.080,5	308,9
10	177	3	525,7	1.420,0	97,8	356	1	92,8	-1.080,5	154,6
11	176	1	587,5	1.420,0	61,8	357	1	123,7	-1.049,6	43,7
12	179	1	556,6	1.358,3	69,1	355	1	30,9	-926,1	154,4
13	172	1	834,9	957,0	488,4	361	2	216,5	-926,1	185,5
14	173	1	865,8	1.049,6	97,6	362	1	247,4	-957,0	43,7
15	174	1	1.082,3	1.234,8	284,9	353	1	309,2	-1.111,3	166,3
16	175	1	1.236,9	1.142,2	180,2	354	2	402,0	-1.142,2	97,8
17	167	1	1.329,6	1.142,2	92,8	363	1	92,8	-1.265,7	333,0
18	166	1	1.638,8	1.049,6	322,8	360	2	30,9	-1.327,4	87,4
19	171	1	1.205,9	710,0	550,2	352	1	61,8	-2.160,9	834,1
20	170	1	1.205,9	524,8	185,2	351	1	216,5	-2.346,1	241,3
21	169	1	1.175,0	401,3	127,3	350	1	61,8	-2.593,1	291,4
22	181	1	958,6	308,7	235,4	344	1	711,2	-1.296,5	1.450,1
23	168	1	1.267,8	277,8	310,8	345	1	834,9	-1.358,3	138,2
24	154	1	1.824,4	185,2	564,2	347	2	865,8	-1.450,9	97,6
25	153	1	2.009,9	216,1	188,1	346	1	834,9	-1.543,5	97,6
26	152	2	2.504,7	30,9	528,3	349	2	1.113,2	-1.543,5	278,3
27	150	1	2.937,6	370,4	550,2	348	1	1.175,0	-1.574,4	69,1
28	151	1	3.154,0	432,2	225,1	343	3	1.298,7	-710,0	873,2
29	149	1	3.246,8	463,1	97,8	143	1	2.597,4	-1.018,7	1.334,9
30	148	1	3.339,5	463,1	92,8	144	1	2.628,3	-679,1	341,0
31	146	1	3.494,1	308,7	218,5	147	1	2.999,4	-401,3	463,5
32	142	1	3.432,3	247,0	87,4	0		0,0	0,0	3.026,1
33	145	1	3.370,5	-92,6	345,2					
34	155	1	3.308,6	1.728,7	1.822,4					
35	156	1	3.215,9	2.006,6	292,9					
36	157	2	2.937,6	2.531,3	594,0					
37	158	1	1.917,1	2.222,6	1.066,1					
38	164	1	1.886,2	1.975,7	248,9					
39	163	1	1.917,1	1.913,9	69,1					
40	165	2	1.700,7	1.790,5	249,2					
41	162	2	1.577,0	2.315,3	539,2					
42	159	1	1.607,9	2.407,9	97,6					
43	160	1	1.205,9	2.407,9	402,0					
44	161	1	927,6	2.407,9	278,3					
45	0		0,0	0,0	2.580,4					
Total	44	52			16.403,2	31	43			13.557,2

Orden	BUS 3					BUS 4				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	39	1	-649,4	308,7	719,0	22	1	-1.236,9	-710,0	1.426,2
2	38	1	-773,0	308,7	123,7	23	1	-1.298,7	-833,5	138,1
3	37	1	-896,7	339,6	127,5	25	1	-1.360,6	-987,8	166,3
4	31	2	-1.020,4	277,8	138,2	24	1	-1.391,5	-1.049,6	69,1
5	33	1	-1.051,3	216,1	69,1	14	1	-1.638,8	-926,1	276,5
6	32	1	-989,5	185,2	69,1	16	1	-1.731,6	-1.111,3	207,2
7	30	1	-1.113,2	277,8	154,5	19	1	-1.762,5	-1.203,9	97,6
8	29	1	-1.298,7	154,4	222,9	18	1	-1.669,8	-1.389,2	207,2
9	35	1	-1.113,2	123,5	188,1	5	1	-1.607,9	-1.728,7	345,2
10	34	1	-1.051,3	-30,9	166,3	13	1	-2.133,6	-1.728,7	525,7
11	36	1	-927,7	30,9	138,2	6	1	-2.319,1	-1.697,9	188,1
12	72	1	-804,0	-154,4	222,7	7	1	-2.473,7	-1.667,0	157,7
13	73	1	-804,0	-185,2	30,9	8	2	-2.566,5	-1.605,2	111,4
14	71	1	-773,0	-277,8	97,6	9	1	-2.597,4	-1.697,9	97,6
15	62	1	-1.020,4	-277,8	247,4	11	2	-2.566,5	-1.759,6	69,1
16	70	1	-773,0	-555,7	372,0	10	1	-2.597,4	-1.790,5	43,7
17	63	2	-989,5	-895,2	402,7	48	1	-3.215,9	-1.821,3	619,2
18	27	1	-1.113,2	-833,5	138,2	49	1	-3.308,6	-1.358,3	472,3
19	26	1	-1.144,1	-864,4	43,7	51	1	-3.061,2	-1.265,7	264,1
20	28	1	-1.175,0	-771,8	97,6	50	1	-2.875,7	-1.234,8	188,1
21	60	1	-1.298,7	-370,4	419,9	12	2	-2.504,7	-1.420,0	414,7
22	59	1	-1.329,6	-370,4	30,9	52	1	-2.535,6	-1.173,1	248,9
23	58	1	-1.484,2	-247,0	197,9	53	2	-2.473,7	-1.080,5	111,4
24	57	1	-1.638,8	-432,2	241,3	55	2	-2.381,0	-926,1	180,1
25	15	1	-1.731,6	-987,8	563,4	54	1	-2.133,6	-1.203,9	372,0
26	21	1	-1.515,2	-1.018,7	218,6	56	1	-2.009,9	-339,6	873,2
27	20	1	-1.515,2	-1.049,6	30,9	74	1	-2.040,8	-185,2	157,4
28	17	1	-1.577,0	-1.203,9	166,3	212	1	-1.886,2	463,1	666,5
29	64	1	-1.236,9	-1.481,8	439,2	109	1	-2.288,2	308,7	430,6
30	4	1	-1.453,3	-1.913,9	483,4	108	1	-2.473,7	154,4	241,3
31	61	1	-1.113,2	-1.821,3	352,5	107	1	-2.813,9	185,2	341,5
32	3	1	-1.020,4	-1.852,2	97,8	106	1	-2.875,7	154,4	69,1
33	2	1	-989,5	-2.006,6	157,4	103	2	-2.875,7	370,4	216,1
34	1	1	-1.113,2	-2.253,5	276,2	102	2	-2.875,7	432,2	61,7
35	366	5	-340,1	-1.574,4	1.029,0	101	1	-2.844,8	524,8	97,6
36	367	4	-371,1	-1.543,5	43,7	104	1	-3.123,1	277,8	372,1
37	0		0,0	0,0	1.587,5	105	1	-3.215,9	308,7	97,8
38						43	1	-3.648,8	-123,5	611,7
39						0		0,0	0,0	3.650,8
40										
41										
42										
43										
44										
45										
Total	36	45			10.105,2	38	45			14.884,6

Orden	BUS 5					BUS 6				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	340	2	-309,2	463,1	556,8	213	1	-1.205,9	1.327,4	1.793,4
2	326	2	-340,1	740,9	279,5	235	1	-1.360,6	1.358,3	157,7
3	327	1	-371,1	771,8	43,7	233	2	-1.391,5	1.543,5	187,8
4	338	1	-432,9	771,8	61,8	234	4	-1.298,7	1.512,6	97,8
5	339	1	-432,9	740,9	30,9	214	1	-1.175,0	1.852,2	361,4
6	337	1	-649,4	710,0	218,6	216	1	-1.082,3	1.883,1	97,8
7	336	2	-556,6	833,5	154,4	302	1	-927,7	1.821,3	166,5
8	334	1	-525,7	833,5	30,9	231	3	-865,8	2.315,3	497,8
9	335	2	-556,6	895,2	69,1	225	1	-865,8	2.531,3	216,1
10	333	2	-432,9	926,1	127,5	230	2	-865,8	2.716,6	185,2
11	328	1	-371,1	895,2	69,1	229	2	-804,0	2.840,0	138,1
12	329	1	-309,2	957,0	87,4	228	1	-587,5	2.932,7	235,4
13	330	1	-309,2	1.049,6	92,6	227	1	-989,5	2.500,5	590,2
14	331	1	-371,1	1.080,5	69,1	226	1	-1.051,3	2.562,2	87,4
15	332	1	-278,3	1.111,3	97,8	224	2	-1.082,3	2.160,9	402,5
16	323	1	-123,7	1.173,1	166,5	215	3	-1.453,3	2.037,4	391,1
17	311	1	-185,5	1.327,4	166,3	238	1	-1.824,4	1.821,3	429,4
18	325	1	-92,8	1.389,2	111,4	236	1	-1.824,4	2.099,2	277,8
19	312	1	-92,8	1.420,0	30,9	237	1	-1.979,0	2.346,1	291,4
20	316	2	-61,8	1.543,5	127,3	210	1	-1.979,0	2.377,0	30,9
21	315	1	-30,9	1.543,5	30,9	211	1	-1.979,0	2.438,7	61,7
22	313	1	-61,8	1.605,2	69,1	301	1	-1.917,1	3.334,0	897,4
23	219	1	-61,8	1.697,9	92,6	209	1	-2.257,3	2.716,6	704,9
24	318	1	61,8	1.728,7	127,5	208	1	-2.381,0	2.438,7	304,1
25	317	1	185,5	1.667,0	138,2	206	1	-2.813,9	2.500,5	437,3
26	319	3	247,4	1.821,3	166,3	207	2	-2.906,6	2.284,4	235,2
27	320	2	-185,5	1.512,6	531,7	98	1	-3.092,2	1.728,7	585,8
28	321	1	-402,0	1.512,6	216,5	99	3	-3.123,1	1.512,6	218,3
29	322	1	-432,9	1.481,8	43,7	97	1	-3.123,1	1.481,8	30,9
30	305	1	-432,9	1.450,9	30,9	96	2	-3.030,3	1.389,2	131,1
31	308	2	-402,0	1.358,3	97,6	95	1	-3.184,9	1.049,6	373,1
32	307	1	-371,1	1.358,3	30,9	100	1	-2.690,2	1.142,2	503,3
33	310	1	-432,9	1.173,1	195,3	0		0,0	0,0	2.922,6
34	309	1	-680,3	1.203,9	249,3					
35	306	2	-494,7	1.420,0	284,8					
36	218	1	-556,6	1.821,3	406,0					
37	304	1	-587,5	1.852,2	43,7					
38	217	1	-618,4	1.852,2	30,9					
39	232	1	-680,3	1.852,2	61,8					
40	303	2	-711,2	1.852,2	30,9					
41	223	1	-742,1	2.160,9	310,2					
42	0		0,0	0,0	2.284,8					
43										
44										
45										
Total	41	53			8.065,3	32	47			14.041,2

Orden	BUS 7					BUS 8				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	239	1	-3.370,5	1.327,4	3.622,4	195	2	-5.133,0	2.747,4	5.822,0
2	240	1	-3.370,5	1.358,3	30,9	187	3	-4.823,8	3.797,0	1.094,2
3	241	1	-3.339,5	1.450,9	97,6	186	1	-4.761,9	3.797,0	61,8
4	250	1	-3.277,7	1.605,2	166,3	184	1	-4.576,4	3.797,0	185,5
5	242	1	-3.339,5	1.636,1	69,1	185	1	-4.514,6	3.766,1	69,1
6	246	1	-3.525,1	1.605,2	188,1	191	1	-4.390,9	3.858,8	154,5
7	245	1	-3.556,0	1.728,7	127,3	190	1	-4.483,6	3.889,6	97,8
8	244	1	-3.494,1	1.728,7	61,8	189	1	-4.514,6	3.889,6	30,9
9	243	1	-3.463,2	1.913,9	187,8	188	1	-4.669,2	3.920,5	157,7
10	247	1	-3.617,8	1.975,7	166,5	278	1	-9.091,0	6.914,9	5.340,3
11	248	1	-3.710,6	1.852,2	154,4	277	1	-9.091,0	6.884,0	30,9
12	263	1	-3.927,1	1.944,8	235,4	279	2	-9.214,7	6.760,5	174,8
13	249	1	-3.896,1	2.006,6	69,1	283	1	-9.554,8	7.161,8	526,1
14	262	1	-4.019,8	2.037,4	127,5	284	1	-9.554,8	7.192,7	30,9
15	261	1	-4.081,7	1.883,1	166,3	285	2	-9.616,6	7.131,0	87,4
16	264	1	-3.927,1	1.821,3	166,5	286	2	-9.802,2	6.945,8	262,2
17	265	1	-3.741,5	1.481,8	386,9	0		0,0	0,0	12.013,6
18	267	1	-3.679,7	1.512,6	69,1					
19	266	1	-3.617,8	1.543,5	69,1					
20	268	1	-3.679,7	1.111,3	436,6					
21	92	1	-4.267,2	1.173,1	590,7					
22	251	1	-4.947,5	1.481,8	747,0					
23	252	2	-4.947,5	1.450,9	30,9					
24	254	1	-4.854,7	1.728,7	292,9					
25	253	1	-4.792,9	1.790,5	87,4					
26	260	1	-4.452,7	1.821,3	341,5					
27	259	1	-4.421,8	2.099,2	279,5					
28	193	2	-4.360,0	2.624,0	528,4					
29	192	1	-4.267,2	2.562,2	111,4					
30	258	2	-4.174,4	2.438,7	154,4					
31	257	1	-4.174,4	2.469,6	30,9					
32	255	1	-4.081,7	2.469,6	92,8					
33	256	1	-4.112,6	2.562,2	97,6					
34	199	2	-3.648,8	2.685,7	480,0					
35	200	1	-3.617,8	2.624,0	69,1					
36	201	3	-3.525,1	2.531,3	131,1					
37	202	4	-3.525,1	2.593,1	61,7					
38	203	1	-3.463,2	2.716,6	138,1					
39	204	1	-2.906,6	2.716,6	556,6					
40	205	1	-2.937,6	2.500,5	218,3					
41	182	1	-3.432,3	3.241,4	890,9					
42	183	1	-4.050,7	3.334,0	625,3					
43	0		0,0	0,0	5.246,3					
44										
45										
Total	42	51			18.401,7	16	22			26.139,6

Orden	BUS 9					BUS 10				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	113	1	-9.554,8	3.704,4	10.247,8	299	1	-5.813,3	1.450,9	5.991,6
2	136	1	-9.802,2	4.290,9	636,6	300	1	-5.782,4	1.543,5	97,6
3	125	1	-9.802,2	4.414,4	123,5	194	1	-5.071,2	2.778,3	1.425,0
4	127	1	-9.523,9	4.723,1	415,6	297	1	-5.998,8	3.982,2	1.519,9
5	126	1	-9.400,2	4.754,0	127,5	298	1	-6.277,1	4.290,9	415,6
6	129	1	-9.462,0	5.000,9	254,6	139	1	-7.173,8	4.445,3	909,9
7	128	2	-9.647,6	4.815,7	262,2	138	1	-7.142,9	4.692,2	248,9
8	131	1	-9.956,8	4.846,6	310,8	137	6	-7.575,8	4.445,3	498,4
9	132	1	-10.018,6	4.939,2	111,4	110	1	-7.885,0	4.074,8	482,5
10	130	2	-10.080,5	4.692,2	254,6	111	1	-8.287,0	3.982,2	412,5
11	135	3	-10.389,7	4.599,6	322,8	112	1	-8.410,7	3.735,3	276,2
12	134	1	-10.575,2	4.692,2	207,4	295	3	-10.204,2	6.143,1	3.002,4
13	133	1	-10.544,3	4.383,5	310,2	294	3	-10.637,1	6.266,6	450,2
14	124	1	-10.080,5	4.167,5	511,7	293	1	-10.451,5	6.421,0	241,3
15	123	1	-10.018,6	4.074,8	111,4	291	2	-10.266,0	6.544,4	222,9
16	121	1	-10.049,5	3.982,2	97,6	290	3	-10.173,2	6.760,5	235,2
17	122	1	-10.080,5	3.982,2	30,9	292	1	-10.080,5	6.853,1	131,1
18	120	1	-10.111,4	3.827,9	157,4	289	1	-10.080,5	6.729,7	123,5
19	119	1	-10.389,7	3.642,7	334,3	288	1	-9.987,7	6.637,1	131,1
20	115	1	-10.420,6	3.272,2	371,7	296	2	-9.987,7	6.390,1	247,0
21	117	1	-10.327,8	3.056,1	235,2	287	1	-9.709,4	6.729,7	439,0
22	114	1	-10.266,0	2.994,4	87,4	273	1	-9.245,6	6.945,8	511,7
23	118	1	-10.606,1	3.056,1	345,7	282	1	-9.245,6	6.914,9	30,9
24	116	1	-10.698,9	2.654,8	411,9	280	1	-9.245,6	6.760,5	154,3
25	0		0,0	0,0	11.023,4	281	2	-9.214,7	6.729,7	43,7
26						275	1	-8.967,3	6.760,5	249,3
27						276	1	-9.029,1	6.945,8	195,3
28						270	1	-8.936,4	7.007,5	111,4
29						269	2	-8.998,2	7.100,1	111,4
30						272	1	-8.843,6	7.131,0	157,7
31						274	1	-8.812,7	7.100,1	43,7
32						271	1	-8.689,0	7.223,6	174,8
33						0		0,0	0,0	11.299,5
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>28</b>			<b>27.303,3</b>	<b>32</b>	<b>47</b>			<b>30.585,3</b>



BUS 11					
Orden	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0	
1	44	1	-3.865,2	-926,1	3.974,6
2	45	1	-3.988,9	-1.234,8	332,6
3	46	1	-3.896,1	-1.265,7	97,8
4	47	1	-3.834,3	-1.543,5	284,6
5	41	1	-4.514,6	-1.142,2	789,8
6	40	2	-4.607,3	-1.296,5	180,1
7	79	1	-4.823,8	-1.111,3	284,9
8	78	1	-4.669,2	-833,5	318,0
9	42	1	-4.452,7	-586,5	328,4
10	77	1	-4.545,5	-370,4	235,2
11	76	1	-4.700,1	-61,7	345,3
12	75	1	-4.761,9	30,9	111,4
13	94	1	-3.803,4	586,5	1.108,0
14	93	1	-4.050,7	648,3	255,0
15	91	1	-4.731,0	833,5	705,0
16	90	1	-4.916,5	926,1	207,4
17	89	1	-4.916,5	1.018,7	92,6
18	87	1	-5.256,7	679,1	480,6
19	88	1	-5.504,1	771,8	264,1
20	86	1	-5.349,4	493,9	318,0
21	85	1	-5.782,4	0,0	656,8
22	84	1	-5.720,5	-185,2	195,3
23	80	1	-5.504,1	-987,8	831,3
24	81	1	-5.689,6	-1.111,3	222,9
25	83	1	-6.586,3	-524,8	1.071,5
26	82	2	-6.926,5	-277,8	420,3
27	140	1	-7.761,3	1.728,7	2.173,3
28	141	1	-7.606,7	1.852,2	197,9
29	196	1	-5.967,9	1.821,3	1.639,1
30	198	1	-5.380,4	2.562,2	945,6
31	197	1	-5.535,0	2.840,0	318,0
32	0		0,0	0,0	6.221,1
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
Total	31	33			25.606,1

ANEXO 10 DISTANCIAS RECORRIDAS EN LA RUTA PROPUESTA DE LA TARDE

Orden	BUS 1					BUS 2				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	173	1	1.144,1	-1.142,2	1.616,7	369	1	0,0	-524,8	524,8
2	174	1	958,6	308,7	1.462,7	382	1	123,7	-864,4	361,4
3	169	1	1.267,8	277,8	310,8	370	1	30,9	-926,1	111,4
4	170	1	1.175,0	401,3	154,4	372	1	-30,9	-1.080,5	166,3
5	171	1	1.205,9	524,8	127,3	371	1	-61,8	-1.080,5	30,9
6	172	1	1.205,9	710,0	185,2	373	1	92,8	-1.080,5	154,6
7	168	1	1.298,7	895,2	207,2	374	1	123,7	-1.049,6	43,7
8	164	1	1.329,6	1.142,2	248,9	380	1	185,5	-957,0	111,4
9	167	1	1.236,9	1.142,2	92,8	378	2	216,5	-926,1	43,7
10	166	1	1.082,3	1.234,8	180,2	379	1	247,4	-957,0	43,7
11	165	1	989,5	1.173,1	111,4	383	1	309,2	-1.111,3	166,3
12	162	1	865,8	1.049,6	174,8	384	1	340,1	-1.142,2	43,7
13	163	1	834,9	957,0	97,6	385	1	402,0	-1.142,2	61,8
14	203	1	587,5	1.420,0	525,0	377	1	154,6	-1.142,2	247,4
15	161	2	525,7	1.420,0	61,8	376	2	92,8	-1.265,7	138,1
16	159	1	556,6	1.358,3	69,1	375	2	30,9	-1.327,4	87,4
17	160	1	432,9	1.389,2	127,5	49	3	-371,1	-1.543,5	456,4
18	158	1	340,1	1.389,2	92,8	50	1	-340,1	-1.574,4	43,7
19	198	2	927,6	2.407,9	1.176,0	397	1	61,8	-2.160,9	711,1
20	197	1	1.205,9	2.407,9	278,3	396	1	216,5	-2.346,1	241,3
21	199	1	1.577,0	2.315,3	382,4	395	1	618,4	-2.624,0	488,6
22	196	1	1.607,9	2.407,9	97,6	393	1	1.175,0	-1.574,4	1.188,0
23	195	1	1.917,1	2.222,6	360,4	394	2	1.113,2	-1.543,5	69,1
24	201	1	1.886,2	1.975,7	248,9	391	2	834,9	-1.543,5	278,3
25	200	1	1.917,1	1.913,9	69,1	392	4	865,8	-1.450,9	97,6
26	202	1	1.700,7	1.790,5	249,2	390	1	834,9	-1.358,3	97,6
27	175	1	1.731,6	1.389,2	402,5	389	1	711,2	-1.296,5	138,2
28	191	1	2.226,4	926,1	677,6	386	3	1.236,9	-802,6	721,3
29	176	1	2.071,8	895,2	157,7	388	1	1.267,8	-710,0	97,6
30	190	1	1.824,4	185,2	751,9	387	3	1.298,7	-710,0	30,9
31	189	1	2.009,9	216,1	188,1	398	1	2.071,8	-493,9	802,7
32	177	2	2.504,7	30,9	528,3	178	1	2.442,8	-308,7	414,7
33	188	1	2.659,3	308,7	318,0	181	4	2.968,5	-308,7	525,7
34	182	2	2.937,6	370,4	285,1	186	1	2.999,4	-401,3	97,6
35	183	1	3.154,0	432,2	225,1	180	1	3.030,3	-586,5	187,8
36	184	1	3.246,8	463,1	97,8	179	1	2.597,4	-1.018,7	611,7
37	185	1	3.339,5	463,1	92,8	0		0,0	0,0	2.790,0
38	187	1	3.370,5	-92,6	556,5					
39	192	1	3.308,6	1.728,7	1.822,4					
40	193	1	3.215,9	2.006,6	292,9					
41	194	2	2.937,6	2.531,3	594,0					
42	0		0,0	0,0	3.877,7					
43										
44										
Total	41	46			19.576,2	36	53			12.426,7

Orden	BUS 3					BUS 4				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	334	1	-618,4	493,9	791,5	66	1	-1.020,4	-277,8	1.057,6
2	1	1	-649,4	308,7	187,8	67	1	-1.298,7	-370,4	293,3
3	16	1	-773,0	308,7	123,7	68	1	-1.329,6	-370,4	30,9
4	5	1	-896,7	339,6	127,5	69	1	-1.484,2	-247,0	197,9
5	4	1	-927,7	277,8	69,1	71	1	-1.638,8	-432,2	241,3
6	6	2	-1.020,4	277,8	92,8	70	1	-1.793,5	-493,9	166,5
7	15	1	-1.082,3	370,4	111,4	74	1	-1.979,0	-617,4	222,9
8	14	1	-1.113,2	277,8	97,6	73	1	-2.009,9	-339,6	279,5
9	9	1	-1.082,3	216,1	69,1	72	1	-2.040,8	-185,2	157,4
10	8	1	-1.051,3	216,1	30,9	95	2	-2.473,7	154,4	550,2
11	7	1	-989,5	185,2	69,1	97	1	-1.824,4	432,2	706,3
12	11	1	-1.113,2	123,5	138,2	13	1	-1.298,7	154,4	594,6
13	12	1	-1.113,2	30,9	92,6	20	1	-1.236,9	-710,0	866,6
14	10	1	-1.051,3	-30,9	87,4	19	1	-1.236,9	-740,9	30,9
15	3	1	-927,7	30,9	138,2	17	2	-1.175,0	-771,8	69,1
16	2	1	-927,7	0,0	30,9	18	1	-1.298,7	-833,5	138,2
17	65	1	-804,0	-154,4	197,8	22	1	-1.360,6	-987,8	166,3
18	64	1	-804,0	-185,2	30,9	21	1	-1.391,5	-1.049,6	69,1
19	63	1	-773,0	-555,7	371,7	23	1	-1.515,2	-1.049,6	123,7
20	57	2	-556,6	-833,5	352,2	47	1	-1.638,8	-926,1	174,8
21	56	1	-432,9	-895,2	138,2	46	1	-1.731,6	-987,8	111,4
22	381	3	-402,0	-1.234,8	341,0	24	1	-1.731,6	-1.111,3	123,5
23	48	1	-371,1	-1.234,8	30,9	25	1	-1.762,5	-1.203,9	97,6
24	55	2	-587,5	-1.080,5	265,8	26	1	-1.577,0	-1.203,9	185,5
25	53	1	-649,4	-1.203,9	138,1	27	1	-1.669,8	-1.389,2	207,2
26	54	2	-896,7	-1.420,0	328,5	28	1	-1.855,3	-1.420,0	188,1
27	51	2	-896,7	-1.389,2	30,9	29	1	-1.855,3	-1.389,2	30,9
28	52	1	-927,7	-1.481,8	97,6	45	1	-2.133,6	-1.728,7	439,0
29	34	1	-865,8	-1.636,1	166,3	37	1	-2.319,1	-1.697,9	188,1
30	32	2	-1.113,2	-1.821,3	309,0	38	1	-2.473,7	-1.667,0	157,7
31	33	1	-1.020,4	-1.852,2	97,8	43	2	-2.566,5	-1.759,6	131,1
32	35	1	-989,5	-2.006,6	157,4	42	1	-2.597,4	-1.790,5	43,7
33	36	1	-1.113,2	-2.253,5	276,2	40	3	-2.597,4	-1.821,3	30,9
34	31	1	-1.453,3	-1.913,9	480,6	41	1	-2.597,4	-1.697,9	123,5
35	30	1	-1.577,0	-1.790,5	174,8	39	2	-2.566,5	-1.605,2	97,6
36	58	1	-1.236,9	-1.481,8	459,3	44	1	-2.504,7	-1.420,0	195,3
37	59	1	-1.205,9	-1.420,0	69,1	75	1	-2.133,6	-1.203,9	429,4
38	60	1	-1.144,1	-864,4	559,1	77	2	-2.381,0	-926,1	372,0
39	61	3	-1.113,2	-833,5	43,7	76	2	-2.473,7	-1.080,5	180,1
40	62	2	-989,5	-895,2	138,2	79	1	-3.061,2	-1.265,7	616,0
41	0		0,0	0,0	1.334,4	78	1	-3.184,9	-1.203,9	138,2
42						86	1	-3.556,0	-1.543,5	503,0
43						87	1	-3.215,9	-1.821,3	439,2
44						0		0,0	0,0	3.695,8
Total	40	51			8.847,2	43	51			14.861,6

Orden	BUS 5					BUS 6				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	343	1	30,9	493,9	494,9	335	1	-649,4	710,0	962,2
2	344	1	30,9	586,5	92,6	351	1	-371,1	1.358,3	705,5
3	333	2	-309,2	463,1	361,9	364	2	-494,7	1.420,0	138,2
4	342	3	-340,1	740,9	279,5	365	1	-432,9	1.450,9	69,1
5	340	1	-432,9	771,8	97,8	366	1	-402,0	1.512,6	69,1
6	339	1	-525,7	771,8	92,8	255	1	-556,6	1.821,3	345,3
7	336	2	-556,6	833,5	69,1	263	1	-618,4	1.852,2	69,1
8	337	2	-556,6	895,2	61,7	262	1	-680,3	1.852,2	61,8
9	338	2	-432,9	926,1	127,5	261	2	-711,2	1.852,2	30,9
10	341	1	-371,1	895,2	69,1	241	1	-742,1	1.667,0	187,8
11	345	1	-309,2	957,0	87,4	264	1	-927,7	1.821,3	241,3
12	346	1	-309,2	1.049,6	92,6	243	1	-1.082,3	1.883,1	166,5
13	348	1	-278,3	1.111,3	69,1	245	1	-1.175,0	1.852,2	97,8
14	347	1	-371,1	1.080,5	97,8	244	3	-1.205,9	1.852,2	30,9
15	349	1	-432,9	1.173,1	111,4	239	4	-1.298,7	1.512,6	352,0
16	350	3	-402,0	1.358,3	187,8	238	2	-1.391,5	1.543,5	97,8
17	352	1	-185,5	1.327,4	218,6	237	1	-1.205,9	1.327,4	284,8
18	355	2	-92,8	1.389,2	111,4	240	1	-1.360,6	1.358,3	157,7
19	356	1	-92,8	1.420,0	30,9	271	1	-1.824,4	1.821,3	655,4
20	357	1	-92,8	1.481,8	61,7	268	1	-2.257,3	1.944,8	450,2
21	363	2	-185,5	1.512,6	97,8	269	1	-2.226,4	2.068,3	127,3
22	361	2	-61,8	1.543,5	127,5	270	1	-2.164,5	2.191,8	138,1
23	360	1	-30,9	1.543,5	30,9	265	1	-1.793,5	2.407,9	429,4
24	358	1	-61,8	1.605,2	69,1	266	1	-1.700,7	2.222,6	207,2
25	256	1	-61,8	1.697,9	92,6	267	1	-1.824,4	2.099,2	174,8
26	257	3	-61,8	1.728,7	30,9	246	3	-1.453,3	2.037,4	376,2
27	367	4	247,4	1.821,3	322,8	242	2	-1.082,3	2.160,9	391,1
28	362	1	185,5	1.667,0	166,3	260	1	-742,1	2.160,9	340,1
29	259	2	185,5	1.605,2	61,7	254	3	-865,8	2.315,3	197,8
30	258	2	154,6	1.512,6	97,6	249	1	-989,5	2.500,5	222,7
31	359	2	185,5	1.389,2	127,3	248	2	-1.051,3	2.562,2	87,4
32	354	1	92,8	1.111,3	292,9	247	2	-1.205,9	2.562,2	154,6
33	353	1	-123,7	1.173,1	225,1	252	2	-865,8	2.716,6	373,5
34	0		0,0	0,0	1.179,6	253	1	-865,8	2.654,8	61,7
35						251	1	-804,0	2.840,0	195,3
36						250	1	-587,5	2.932,7	235,4
37						0		0,0	0,0	2.990,9
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
Total	33	52			5.737,5	36	52			11.876,8

Orden	BUS 7					BUS 8				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	103	1	-2.690,2	1.142,2	2.922,6	104	1	-4.267,2	1.173,1	4.425,5
2	99	3	-3.030,3	1.389,2	420,3	292	1	-4.081,7	1.883,1	733,8
3	102	3	-3.123,1	1.512,6	154,4	293	1	-4.421,8	2.099,2	403,0
4	100	1	-3.123,1	1.481,8	30,9	298	1	-4.731,0	1.728,7	482,5
5	101	1	-3.092,2	1.728,7	248,9	300	2	-4.947,5	1.450,9	352,2
6	279	1	-3.370,5	1.636,1	293,3	299	1	-4.947,5	1.481,8	30,9
7	277	1	-3.339,5	1.574,4	69,1	225	1	-5.442,2	1.821,3	600,1
8	278	1	-3.339,5	1.543,5	30,9	302	1	-5.782,4	1.543,5	439,2
9	276	1	-3.370,5	1.481,8	69,1	231	1	-5.875,1	1.697,9	180,1
10	275	1	-3.339,5	1.450,9	43,7	234	1	-5.937,0	2.315,3	620,5
11	274	1	-3.370,5	1.327,4	127,3	233	1	-5.535,0	2.840,0	661,1
12	98	1	-3.184,9	1.049,6	334,1	232	2	-5.504,1	2.840,0	30,9
13	272	1	-3.679,7	1.111,3	498,6	235	1	-5.411,3	2.593,1	263,8
14	286	1	-3.834,3	1.481,8	401,4	230	2	-5.133,0	2.747,4	318,2
15	285	1	-3.741,5	1.481,8	92,8	226	1	-5.040,2	2.747,4	92,8
16	273	1	-3.679,7	1.512,6	69,1	227	1	-4.514,6	2.624,0	540,0
17	282	1	-3.525,1	1.605,2	180,2	229	3	-4.360,0	2.624,0	154,6
18	281	1	-3.494,1	1.728,7	127,3	228	1	-4.267,2	2.562,2	111,4
19	280	1	-3.463,2	1.913,9	187,8	296	1	-4.174,4	2.469,6	131,1
20	283	1	-3.617,8	1.975,7	166,5	297	2	-4.205,3	2.469,6	30,9
21	290	1	-3.896,1	2.006,6	280,0	294	1	-4.081,7	2.500,5	127,5
22	291	1	-3.927,1	1.944,8	69,1	295	1	-4.112,6	2.562,2	69,1
23	288	2	-3.927,1	1.883,1	61,7	216	1	-4.390,9	2.870,9	415,6
24	287	1	-3.927,1	1.821,3	61,7	236	1	-4.514,6	3.766,1	903,7
25	289	1	-3.988,9	1.975,7	166,3	219	1	-4.576,4	3.797,0	69,1
26	214	4	-3.525,1	2.593,1	772,2	223	1	-4.514,6	3.889,6	111,4
27	213	3	-3.525,1	2.531,3	61,7	224	1	-4.483,6	3.889,6	30,9
28	212	1	-3.617,8	2.624,0	131,1	218	1	-4.390,9	3.858,8	97,8
29	211	2	-3.679,7	2.531,3	111,4	222	1	-4.669,2	3.920,5	285,1
30	210	1	-3.710,6	2.654,8	127,3	220	1	-4.761,9	3.797,0	154,4
31	217	1	-4.174,4	3.303,1	797,1	221	3	-4.823,8	3.797,0	61,8
32	284	1	-3.710,6	3.395,7	473,0	303	1	-5.998,8	3.982,2	1.189,5
33	215	1	-3.432,3	3.241,4	318,2	304	1	-6.215,3	4.290,9	377,0
34	209	1	-2.937,6	2.716,6	721,2	156	1	-7.173,8	4.445,3	970,9
35	208	1	-3.030,3	2.500,5	235,2	154	1	-7.514,0	4.445,3	340,1
36	205	2	-2.906,6	2.284,4	249,0	155	5	-7.575,8	4.445,3	61,8
37	204	1	-2.813,9	2.500,5	235,2	127	1	-7.885,0	4.229,2	377,2
38	206	1	-2.381,0	2.438,7	437,3	157	1	-7.637,7	3.889,6	420,1
39	207	1	-2.257,3	2.716,6	304,1	128	1	-8.287,0	3.982,2	655,9
40	368	1	-2.195,4	2.840,0	138,1	129	1	-8.410,7	3.735,3	276,2
41	0		0,0	0,0	3.589,7	153	1	-9.369,3	3.982,2	989,9
42						0		0,0	0,0	10.180,4
43										
44										
Total	40	52			15.808,7	41	53			28.768,2

Orden	BUS 9					BUS 10				
	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.				Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0		0		0,0	0,0	
1	313	1	-8.658,1	7.223,6	11.275,7	96	1	-2.381,0	679,1	2.475,9
2	314	1	-8.689,0	7.223,6	30,9	88	1	-2.844,8	524,8	488,8
3	315	2	-8.719,9	7.223,6	30,9	89	2	-2.875,7	432,2	97,6
4	312	1	-8.843,6	7.131,0	154,5	90	2	-2.875,7	370,4	61,7
5	311	1	-8.812,7	7.100,1	43,7	91	1	-2.906,6	308,7	69,1
6	316	1	-8.874,5	6.914,9	195,3	94	1	-2.844,8	154,4	166,3
7	309	1	-8.967,3	6.760,5	180,1	92	1	-3.123,1	277,8	304,5
8	317	1	-9.091,0	6.884,0	174,8	93	1	-3.215,9	308,7	97,8
9	318	1	-9.121,9	6.853,1	43,7	84	1	-3.896,1	-1.018,7	1.491,6
10	308	2	-9.183,7	6.791,4	87,4	82	1	-3.988,9	-1.234,8	235,2
11	307	2	-9.214,7	6.729,7	69,1	83	1	-3.896,1	-1.265,7	97,8
12	306	1	-9.245,6	6.760,5	43,7	85	1	-3.834,3	-1.543,5	284,6
13	319	1	-9.245,6	6.914,9	154,3	80	2	-4.607,3	-1.296,5	811,5
14	310	1	-9.245,6	6.945,8	30,9	81	1	-4.514,6	-1.142,2	180,1
15	320	1	-9.554,8	7.161,8	377,2	111	1	-4.638,3	-864,4	304,1
16	321	1	-9.554,8	7.192,7	30,9	112	1	-4.885,6	-926,1	255,0
17	322	2	-9.616,6	7.131,0	87,4	113	1	-5.504,1	-987,8	621,5
18	323	2	-9.802,2	6.945,8	262,2	115	1	-5.751,4	-1.142,2	291,6
19	305	1	-9.709,4	6.729,7	235,2	117	1	-6.586,3	-524,8	1.038,4
20	332	2	-9.894,9	6.451,8	334,1	116	2	-6.926,5	-277,8	420,3
21	324	1	-9.987,7	6.637,1	207,2	119	1	-5.782,4	0,0	1.177,4
22	325	1	-10.080,5	6.729,7	131,1	118	1	-5.751,4	-154,4	157,4
23	328	1	-10.080,5	6.853,1	123,5	114	1	-5.225,8	-154,4	525,7
24	326	3	-10.173,2	6.760,5	131,1	109	1	-4.545,5	-370,4	713,8
25	327	2	-10.266,0	6.544,4	235,2	110	1	-4.452,7	-586,5	235,2
26	331	3	-10.204,2	6.143,1	406,0	108	1	-4.700,1	-61,7	580,2
27	330	3	-10.637,1	6.266,6	450,2	107	1	-4.761,9	30,9	111,4
28	329	1	-11.348,3	6.390,1	721,8	106	1	-4.823,8	277,8	254,6
29	0		0,0	0,0	13.023,7	120	1	-5.349,4	493,9	568,4
30						121	1	-5.256,7	679,1	207,2
31						105	1	-4.731,0	833,5	547,9
32						122	1	-4.916,5	926,1	207,4
33						123	1	-4.916,5	987,8	61,7
34						301	1	-5.813,3	1.450,9	1.009,2
35						0		0,0	0,0	5.991,6
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
Total	28	41			29.271,5	34	38			22.142,1

BUS 11					
Orden	Parada	# Est.	Coordenadas (m.)		Distancia (m.)
			Lat.	Lon.	
0	0		0,0	0,0	
1	126	1	-7.575,8	1.852,2	7.798,9
2	125	1	-7.606,7	1.852,2	30,9
3	124	1	-7.761,3	1.728,7	197,9
4	130	1	-10.049,5	2.963,5	2.600,1
5	131	1	-10.266,0	2.994,4	218,6
6	134	1	-10.327,8	3.056,1	87,4
7	133	1	-10.698,9	2.654,8	546,6
8	135	1	-10.606,1	3.056,1	411,9
9	132	1	-10.420,6	3.272,2	284,8
10	137	1	-10.451,5	3.642,7	371,7
11	136	1	-10.389,7	3.642,7	61,8
12	140	2	-10.080,5	3.982,2	459,3
13	139	1	-10.049,5	3.982,2	30,9
14	138	1	-10.018,6	4.074,8	97,6
15	141	1	-10.080,5	4.167,5	111,4
16	142	1	-9.802,2	4.290,9	304,5
17	145	1	-9.523,9	4.723,1	514,0
18	143	1	-9.400,2	4.754,0	127,5
19	146	1	-9.462,0	5.000,9	254,6
20	144	3	-9.647,6	4.815,7	262,2
21	148	1	-9.956,8	4.846,6	310,8
22	149	1	-10.018,6	4.939,2	111,4
23	147	2	-10.080,5	4.692,2	254,6
24	152	3	-10.389,7	4.599,6	322,8
25	151	1	-10.575,2	4.692,2	207,4
26	150	1	-10.544,3	4.383,5	310,2
27	0		0,0	0,0	11.419,2
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
Total	26	32			27.708,9