

Tesis de Licenciatura

# Optimización de la recolección de residuos en la zona sur de la Ciudad de Buenos Aires

Garbage Collection Optimization at the southern zone of Buenos Aires City

**Federico Larumbe**  
**flarumbe@dc.uba.ar**

Departamento de Computación  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad de Buenos Aires

## **Directores:**

Dra. Flavia Bonomo  
Dr. Guillermo A. Durán  
Dr. Javier Marengo

**Febrero de 2009**





*A mi familia. A mis amigos.*



---

## Agradecimientos

---

A Flavia, Javier y Willy, mis directores, y a Florencia por ser buenos compañeros y guías para el desarrollo de la tesis.

A mis hermanas, Martina, Maite y María, y a mis padres Liliana y Jorge, por el afecto y el apoyo incondicional.

A mis amigos, por estar siempre y por distraerme de tanta tesis.

A Esteban Feuerstein y a Valeria Leoni, los jurados, por las revisiones y correcciones útiles.

A Gonzalo Zabala, mi profesor de la secundaria graduado en esta misma facultad que incentivó mi curiosidad sobre la computación.

A William Cook, por responder a todas las dudas que me surgieron en el uso de Concorde y por hacerme sugerencias útiles.

A Jorge Takahashi (Unidad de Sistemas de Información Geográfica de la Ciudad de Buenos Aires) y a Julián Dunayevich (Dirección General De Sistemas de Información de la Ciudad de Buenos Aires), por brindarnos la información del mapa de la Ciudad de Buenos Aires.

A Daniel Iglesias (Ente de Higiene Urbana), por recibirnos y permitir el trabajo conjunto del EHU y la FCEN.

A los estudiantes, a los docentes y a todos los integrantes de la facultad, por crear este mundo dentro de otro mundo.



Se presenta una aplicación de la Optimización Combinatoria para optimizar el ruteo de vehículos en la Ciudad de Buenos Aires. Dada una zona con distintos puntos por los que el vehículo debe pasar exactamente una vez, el programa desarrollado devuelve un orden de los puntos para que la distancia sea mínima. Este problema se conoce como el Problema del Viajante de Comercio (Traveling Salesman Problem – TSP).

Nuestro problema particular consiste en optimizar la recolección de contenedores de residuos de la zona sur de la Ciudad de Buenos Aires, área que está a cargo del Ente de Higiene Urbana (EHU). Actualmente, los camiones de recolección de contenedores están fijados en 4 unidades y cada uno tiene una sub-zona asignada con contenedores en puntos ya determinados. Nuestro objetivo es encontrar una ruta óptima para cada camión que le permita, a partir del EHU, recolectar todos los contenedores de su sub-zona, ir al depósito y volver al EHU.

Se modela el mapa de la ciudad como un grafo y se implementa el algoritmo A\* para calcular recorridos mínimos entre puntos del mapa. El modelo y el algoritmo están planteados para que calcule un recorrido mínimo que puede realizar un vehículo, por lo que se consideran los sentidos de las calles y los giros según si hay semáforo o no en una intersección.

Se desarrolla un programa en VisualWorks SmallTalk que permite resolver las instancias de nuestro problema y presentar las rutas obtenidas en forma de listados de direcciones, de imágenes y de animaciones. Se utiliza una extensión llamada Takenoko que permite dibujar gráficos en una ventana. Se utiliza QuantumGIS para leer el mapa de la ciudad en archivos de formato Shapefile (SHP), una base de datos relacional PostgreSQL con extensiones geométricas PostGIS y un programa que resuelve el Problema del Viajante de Comercio en forma exacta llamado Concorde.

En esta aplicación, vemos resultados muy interesantes: la distancia de los itinerarios se reduce hasta un 39 % y el trabajo, que se calcula en cada tramo como el producto de la distancia recorrida por el peso transportado, también se redujo hasta un 43 %.



An application of Combinatorial Optimization is presented in order to optimize vehicles routing in Buenos Aires City. We have a zone with different points which the vehicle must cover once and only once. The developed program retrieves an order of the points in order to minimize the total distance. This problem is called the Traveling Salesman Problem (TSP).

In our particular problem we optimize the garbage containers collection at the southern zone in Buenos Aires City, area controlled by the Urban Department of Sanitation (Ente de Higiene Urbana – EHU). The collection trucks are fixed in 4 currently and each one has an assigned sub-zone with containers at points already defined. Our goal is to find an optimal route for each truck which allow it, from the EHU, collect all containers in its subzone, go to the depot and come back to the EHU.

The city map is modeled and the algorithm A\* is implemented in order to find minimum paths between points in the map. The model and the algorithm are designed in order to find a minimum path that a vehicle can follow, so the streets directions and the turns depending on if a semaphore is in an intersection are taken into account.

A program is developed in VisualWorks SmallTalk that allows to solve instances of our problem and to show the retrieved routes as addresses lists, as images and as animations. An extension called Takenoko is used in order to draw graphics in a window. QuantumGIS is used in order to read the city map from Shapefile (SHP) files, a relational database PostgreSQL with geometric extensions PostGIS and a program that solves the Traveling Salesman Problem in exact way called Concorde.

In this application, we see very interesting optimization results: the itineraries distances are reduced up to 39% and the mechanical work, calculated in each stretch as the product of the distance covered by the weight transported, also is reduced up to 43%.



<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Datos del problema . . . . .	4
1.2. Objetivo . . . . .	5
1.3. Definiciones . . . . .	5
1.4. Problema del Viajante de Comercio . . . . .	8
1.5. Problemas similares . . . . .	9
1.6. Problemas del recolector y del repartidor . . . . .	10
1.7. Programación lineal entera . . . . .	12
1.8. Estructura de la tesis . . . . .	13
<b>2. Modelo del mapa</b>	<b>15</b>
2.1. Modelo para recorrido a pie . . . . .	15
2.2. Modelo para recorrido en vehículo . . . . .	18
2.3. Giros prohibidos por semáforos . . . . .	22
2.4. Ubicación de contenedores . . . . .	23
2.5. Manejo de fallas del mapa . . . . .	25
<b>3. Estrategia de Resolución</b>	<b>27</b>
3.1. Recolección de contenedores . . . . .	28
3.2. Estrategia de solución . . . . .	32
3.3. Utilización de Concorde . . . . .	33
3.4. De camino hamiltoniano a circuito hamiltoniano . . . . .	34
3.5. De grafo dirigido a grafo no dirigido . . . . .	35
<b>4. Recorrido mínimo</b>	<b>37</b>
4.1. Algoritmos de Dijkstra y A* . . . . .	37
4.2. Vueltas en u . . . . .	39
4.3. Cambios en las manos de los contenedores . . . . .	40

<b>5. Descripción de la implementación</b>	<b>43</b>
5.1. Lectura de archivos Shapefile y PostGIS . . . . .	44
5.2. Construcción del mapa . . . . .	45
5.3. Contenedores del Ente de Higiene Urbana . . . . .	45
5.4. Imágenes y animaciones del mapa con Takenoko . . . . .	46
5.5. Camino Hamiltoniano Mínimo con Concorde . . . . .	48
5.6. Algoritmo de camino mínimo . . . . .	49
<b>6. Resultados y discusión</b>	<b>51</b>
6.1. Sub-zona 1: Mataderos . . . . .	51
6.2. Sub-zona 2: Villa Lugano y Villa Riachuelo . . . . .	56
6.3. Sub-zona 3: Liniers . . . . .	66
6.4. Sub-zona 4: Liniers y Mataderos . . . . .	70
6.5. Análisis . . . . .	74
6.6. Heurística para disminuir trabajo . . . . .	75
<b>7. Conclusiones y próximos pasos</b>	<b>77</b>
<b>A. Concorde</b>	<b>79</b>
A.1. Cota inferior: Zonas de control . . . . .	80
A.2. Grado 2 . . . . .	82
A.3. Eliminación de subtours . . . . .	82
A.4. Branch and Cut . . . . .	83
A.5. Branch and Bound . . . . .	84
A.6. Heurística Chained Lin-Kernighan . . . . .	85
<b>B. Itinerarios mínimos</b>	<b>89</b>
B.1. Mejor Tour 1: Mataderos . . . . .	89
B.1.1. Orden del itinerario . . . . .	89
B.1.2. Ruta completa . . . . .	90
B.2. Mejor Tour 2: Villa Lugano y Villa Riachuelo . . . . .	93
B.2.1. Orden del itinerario . . . . .	93
B.2.2. Ruta completa . . . . .	95
B.3. Mejor Tour 3: Liniers . . . . .	102
B.3.1. Orden del itinerario . . . . .	102
B.3.2. Ruta completa . . . . .	103
B.4. Mejor Tour 4: Liniers y Mataderos . . . . .	111
B.4.1. Orden del itinerario . . . . .	111
B.4.2. Ruta completa . . . . .	113
<b>Bibliografía</b>	<b>123</b>

# CAPÍTULO 1

---

## Introducción

---

En la Ciudad de Buenos Aires se planteó un nuevo sistema para la recolección de residuos que consiste en depositar las bolsas de basura habituales en contenedores (figura 1.1). La idea es que haya, por lo menos, un contenedor por cada cuadra cuyo contenido se recolecte dos veces por día. Los contenedores tienen 1.000 litros de capacidad y permiten ser enganchados al camión recolector que lo levanta y lo vacía.



Figura 1.1: Contenedor de residuos.

La ciudad se divide en 6 secciones (figura 1.2). En cada sección mostrada en la figura, se ven pintadas las zonas donde hay contenedores actualmente. Las secciones de 1 a 4 y 6 tienen asignadas una empresa cada una, cuya responsabilidad es gestionar la recolección de residuos en esa área. La sección 5 está asignada al Ente de Higiene Urbana (EHU), un organismo del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires con las mismas responsabilidades.

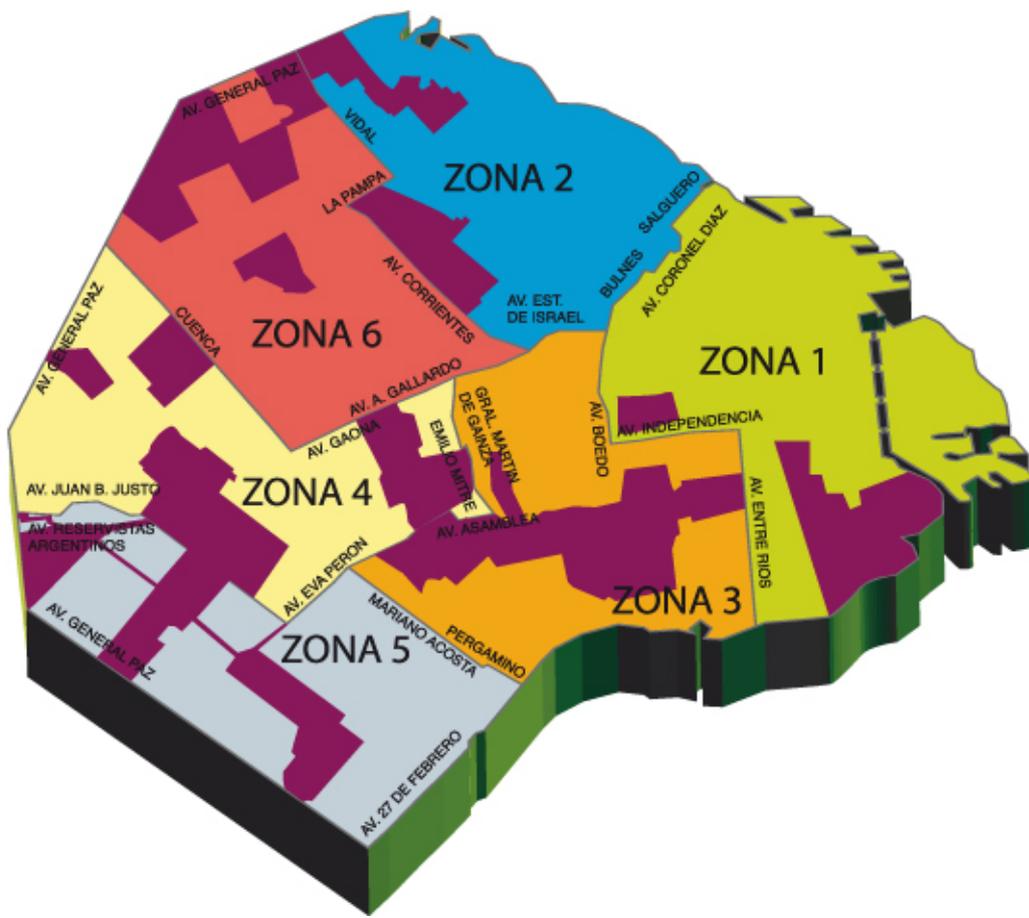


Figura 1.2: Secciones de recolección de residuos.

Como iniciativa de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN) de la Universidad de Buenos Aires, se propuso al EHU realizar un trabajo académico para analizar el ruteo de los camiones de recolección, utilizando técnicas de optimización combinatoria. Mediante reuniones en el EHU se analizó el sistema de recolección, las características del contexto y se resolvió trabajar con los contenedores ya disponibles en el área de recolección correspondiente al EHU. Los mismos están agrupados en 4 sub-zonas y cada una tiene un camión asignado<sup>1</sup>. Desde el EHU, manifestaron que los objetivos a mejorar estaban relacionados con la carga de los camiones, el tiempo y la distancia recorrida.

Se firmó un convenio entre la FCEN y el EHU que establece que el ente se compromete a brindar la información necesaria para la optimización y la facultad por su parte, se compromete a devolver un informe con los resultados obtenidos.

Por otro lado, la Unidad de Sistemas de Información Geográfica (USIG) del Gobierno de la Ciudad proveyó mapas de la ciudad en formato *Shapefile*<sup>2</sup>. Se trata de una base de datos que contiene la información de cada cuadra de la ciudad: calle, altura inicial, altura final, sentido de circulación y, además, los segmentos que la componen. Se dan las coordenadas de latitud y longitud de cada segmento. Esto permite calcular la longitud de cada cuadra y las intersecciones. La base de datos también contiene una capa con la posición de cada semáforo de la ciudad.

Con la información disponible, resolvimos optimizar la distancia de los recorridos y de esta forma obtener en consecuencia una mejora en el tiempo de recorrido y en el desgaste del vehículo. Para en un futuro optimizar la variable tiempo, habría que agregar una capa con las velocidades promedio de las calles.

Actualmente, la cantidad de camiones de recolección de contenedores está fijada en 4 unidades y cada uno tiene una sub-zona asignada con contenedores en puntos ya determinados. Nuestro objetivo es encontrar una ruta óptima para cada camión que le permita, a partir del EHU, recolectar todos los contenedores de su sub-zona, ir al depósito y volver al EHU.

El problema descrito puede modelarse como el Problema del Repartidor que describiremos en la sección 1.5. Al resolver este problema, se minimiza el desgaste del camión; sin embargo, como la prioridad es el tiempo y la distancia, reducimos nuestro problema al del Viajante de Comercio (sección 1.4).

Como parte de la resolución, decidimos utilizar el software Concorde[2] realizado en el Instituto de Tecnología de Georgia. El mismo resuelve instancias del Problema del Viajante de Comercio de hasta 1.000 elementos en forma muy eficiente. Nuestras instancias entran cómodamente en esta familia y en el capítulo 6 de Resultados se verán las grandes mejoras que se dan en la distancia de los itinerarios y en el desgaste del vehículo.

Para construir el modelo se utilizan grafos (sección 1.3) y para la resolución del Pro-

<sup>1</sup>Para información más detallada de los datos obtenidos en el EHU, leer la sección 1.1.

<sup>2</sup>El formato ESRI Shapefile (SHP) es un formato estándar de facto para el intercambio de información geográfica entre Sistemas de Información Geográfica[11].

blema del Viajante de Comercio, Concorde utiliza Programación Lineal Entera (sección 1.7).

### 1.1. Datos del problema

Presentamos los datos obtenidos a partir de las reuniones en el EHU.

La cantidad de camiones con la que cuenta el EHU es 25 en total: 4 camiones para recolectar contenedores, 1 con separación de residuos en origen y 20 para la recolección clásica en bolsas. A futuro se contará con 20 camiones de contenedores y 5 de separación en origen.

Cada uno de los 4 camiones de recolección de contenedores tiene una sub-zona asignada, hace su recorrido a la mañana y el mismo nuevamente a la tarde. El recorrido se inicia en el EHU, se dirige al primer contenedor, recolecta todos sus contenedores asignados, descarga en el depósito los residuos y vuelve al EHU. A la mañana, salen a las 7hs del EHU y vuelven a las 15hs. A la tarde, salen a las 18hs. Las sub-zonas tienen 47, 133, 134 y 161 contenedores cada una.

Los camiones tienen una capacidad aproximada de 140 contenedores por cada camión. Un contenedor tiene 1.000 litros de capacidad. En un camión entran 15.000Kg de residuos. Esto da un promedio de 107Kg por contenedor. A la mañana los camiones recolectan entre 10.000Kg y 15.000Kg y a la tarde cargan entre 2.500Kg y 5.000Kg.

Las esquinas críticas donde se depositan gran cantidad de residuos son: Ramón Falcón y Colectora (Ramón Falcón al 7300), Ramón Falcón y José León Suárez (Ramón Falcón al 7000), José León Suárez e Ibarrola (Ibarrola al 7200), Ventura Bosch y Colectora (V. Bosch al 7200) y José León Suárez al 200.

La descarga de los vehículos es en la intersección de las calles Varela y Ana María Janer (CEAMSE). En ese lugar, se compactan los residuos y un camión con mayor capacidad los lleva al cinturón ecológico. Los camiones salen del EHU que está en Varela al 555 y el final del recorrido es en el mismo lugar.

Los objetivos a mejorar están relacionados con la carga de los camiones, el tiempo y la distancia recorrida. Además, cuando el camión se encuentra cargado, existe un desgaste considerable de varias de sus partes, por eso es conveniente que el mismo no recorra una “gran distancia” con “mucho” peso. Los empleados cobran por jornada laboral de medio tiempo, por lo que la optimización no influye en el costo laboral. No influyen significativamente la cantidad de giros ya que como son camiones cortos, pueden realizar maniobras.

Aproximadamente, el camión tarda 3 minutos en recolectar un contenedor y limpiar el entorno donde se encuentra. Hay un camión de limpieza que pasa cada 10 días detrás del camión de recolección y limpia los contenedores vacíos.

Para zonificar, es importante qué tan dispersos están los contenedores y que las sub-zonas no se intersequen, es decir que no se crucen dos camiones en su recorrido.

El EHU tiene un sistema de control por GPS que indica en qué posición está el camión.

Los contenedores siempre están en una cuadra y los vecinos suelen mover el contenedor dentro de la misma. Un problema adicional que tiene el EHU, es el movimiento de contenedores y el robo de los mismos. El EHU se ocupa de recibir los reclamos y volver los contenedores a su posición original.

## 1.2. Objetivo

Los objetivos a optimizar están relacionados con la carga de los camiones, el tiempo y la distancia recorrida. En ese orden, el EHU prioriza las variables a mejorar. Además, cuando el camión va cargado se desgastan mucho los repuestos; por eso es conveniente que el camión no recorra mucha distancia muy cargado. Los empleados cobran por jornada laboral de medio tiempo, por lo que la optimización no influye en el costo laboral. No influyen significativamente la cantidad de giros ya que como son camiones cortos, pueden realizar maniobras fácilmente.

Como las sub-zonas ya están definidas, nuestra prioridad a optimizar es el tiempo y la distancia. Actualmente está disponible la capa de distancias, razón por la cual optimizamos la distancia del itinerario. Si agregáramos una capa de velocidades promedio de las calles, la resolución del itinerario más rápido es bastante directa a partir del problema que resolvimos. Para minimizar la variable desgaste, se propone una heurística en la sección 6.6.

## 1.3. Definiciones

En esta sección definiremos los conceptos sobre grafos y sobre complejidad computacional de problemas que utilizaremos en la tesis.

Denotaremos un *grafo*  $G$  por un par  $(V(G), E(G))$ , donde  $V(G)$  es un conjunto finito, el conjunto de *vértices* de  $G$ , y  $E(G)$  es un conjunto de pares no ordenados de vértices de  $G$ , llamados *aristas*. Sean  $n = |V(G)|$  y  $m = |E(G)|$ . Un grafo se dice *trivial* si tiene un solo vértice.

Un vértice  $v$  es *adyacente* a otro vértice  $w$  en  $G$  si  $(v, w) \in E(G)$ . Decimos que  $v$  y  $w$  son los extremos de la arista. El *vecindario* de un vértice  $v$  es el conjunto  $N(v)$  que consiste de todos los vértices adyacentes a  $v$ . El *vecindario cerrado* de  $v$  es  $N[v] = N(v) \cup \{v\}$ .

Un vértice  $v$  es *universal* cuando  $N(v) = V(G) - \{v\}$ . Un vértice  $v$  es *aislado* cuando  $N(v) = \emptyset$ . El *grado* de un vértice  $v$  es la cardinalidad del conjunto  $N(v)$  y se nota  $d(v)$ . Dado un grafo  $G$ , notamos  $\delta(G)$  al grado mínimo y  $\Delta(G)$  al grado máximo entre los vértices de  $G$ .

Un grafo  $H$  es un *subgrafo* de un grafo  $G$  si  $V(H) \subseteq V(G)$  y  $E(H) \subseteq E(G)$ . Si  $V(H) = V(G)$ , decimos que  $H$  es un *subgrafo generador* de  $G$ . Dado un conjunto de

vértices  $X \subseteq V(G)$ , el *subgrafo de  $G$  inducido por  $X$*  es el subgrafo  $H$  de  $G$  tal que  $V(H) = X$  y  $E(H)$  es el conjunto de aristas de  $G$  que tiene ambos extremos en  $X$ .

Un *camino* en un grafo  $G$  es una secuencia de vértices distintos  $P = v_1, v_2, \dots, v_k$ , donde  $(v_i, v_{i+1}) \in E(G)$ ,  $i = 1, \dots, k - 1$ . Una *cuerda* en  $P$  es una arista que une dos vértices no consecutivos de  $P$ . Un *camino inducido* es un camino sin cuerdas. Denotamos por  $P_k$  al camino inducido por  $k$  vértices.

Un grafo  $G$  es *conexo* si para todo par de vértices distintos  $v$  y  $w$  de  $G$  existe un camino de  $v$  a  $w$ .

La *distancia* entre dos vértices  $v$  y  $w$  en  $G$  es la longitud del camino más corto entre  $v$  y  $w$  (la longitud de un camino se mide por la cantidad de aristas que lo componen) y se nota  $d_G(v, w)$ . Si el contexto no es ambiguo, se abrevia  $d(v, w)$ .

Un *circuito* en un grafo  $G$  es una secuencia de vértices  $C = v_1, v_2, \dots, v_k$ , no necesariamente distintos, donde  $v_1 = v_k$  y  $(v_i, v_{i+1}) \in E(G)$ ,  $i = 1, \dots, k - 1$ .

Un grafo  $G$  es *completo* si cualquier par de vértices distintos de  $G$  son adyacentes. Llamamos  $K_n$  al grafo completo con  $n$  vértices.

Denotaremos un *grafo dirigido*  $G$  por un par  $(V(G), E(G))$ , donde  $V(G)$  es un conjunto finito, el conjunto de *nodos* de  $G$ , y  $E(G)$  es un conjunto de pares ordenados de nodos de  $G$ , llamados *arcos*. Sean  $n = |V(G)|$  y  $m = |E(G)|$ .

Los arcos de los grafos dirigidos son análogos a las aristas de los grafos no dirigidos, como los nodos son análogos a los vértices. Estos términos se pueden utilizar para ambos grafos en forma indistinguible. La notación  $(a, b)$  se utiliza para pares ordenados y para pares no ordenados según el contexto.

De esta forma, podemos definir la *adyacencia*, un *subgrafo inducido*, un *camino* y un *circuito* en un grafo dirigido de la misma forma que en un grafo no dirigido.

Un *grafo dirigido*  $G$  es *completo* si para cualquier par ordenado de vértices  $(v, w)$ , se cumple  $v \in V(G) \wedge w \in V(G) \wedge v \neq w \Rightarrow (v, w) \in E(G)$ . Llamamos  $K_n$  al grafo dirigido completo con  $n$  vértices.

Una *función de ponderación*  $w$  de  $G$  tiene como dominio  $E(G)$  y le asocia a cada arco un valor que lo llamaremos *peso* del arco. En nuestro problema, lo usaremos para asociar distancias en el mapa. Los grafos que tienen una función de ponderación asociada se llaman *grafos ponderados*.

La *distancia* de un camino en un grafo dirigido y ponderado  $G$  es la suma de los pesos de los arcos del camino. Un *camino mínimo* o *recorrido mínimo* entre  $v$  y  $w$  es uno cuya distancia es menor o igual que la de todos los caminos entre  $v$  y  $w$ . La *distancia* entre  $v$  y  $w$  es la distancia de un camino mínimo entre ambos. Lo abreviaremos  $d_r(v, w)$ .

Un *camino hamiltoniano* de  $v$  a  $w$  en un grafo dirigido  $G$  es un camino de  $v$  a  $w$  que pasa una única vez por todos los nodos de  $G$ . Un *camino hamiltoniano mínimo* es un camino hamiltoniano con distancia mínima.

Un *circuito hamiltoniano* en un grafo dirigido  $G$  es un circuito que pasa una única vez por todos los nodos de  $G$ . Un *circuito hamiltoniano mínimo* es un circuito hamiltoniano con distancia mínima.

Dado un grafo no dirigido  $G = (V, E)$ , un *corte* es una partición de los vértices en dos conjuntos  $S$  y  $T$ . Una arista  $(u, v) \in E$  con  $u \in S$  y  $v \in T$  se dice que cruza el corte y es una *arista de corte*.

El *tamaño de un corte* es la cantidad total de aristas que cruzan el corte. En los grafos ponderados, el tamaño de un corte es definido como la suma de los pesos de las aristas que cruzan el corte. Un *corte mínimo* se define como uno que tenga tamaño menor o igual que todos los cortes del grafo.

Ahora veremos un conjunto de definiciones que corresponden a problemas algorítmicos. Un *problema algorítmico*  $\pi(I, Q)$  consta de un conjunto  $I$  de todas las posibles entradas para el problema, llamado el conjunto de instancias, y de una pregunta  $Q$  sobre esas instancias. Resolver uno de estos problemas consiste en desarrollar un algoritmo cuya entrada es una instancia del problema y cuya salida es una respuesta a la pregunta del problema.

Decimos que un problema es de *decisión* cuando las posibles respuestas a la pregunta son SI ó NO. Por ejemplo,  $\pi$  podría ser el siguiente problema: “dado un grafo  $G$ , ¿es balanceado?”. El conjunto de instancias es el conjunto de todos los grafos y la pregunta es saber si el grafo dado es o no balanceado.

Un problema es de *optimización* cuando lo que se busca a través de la pregunta es la solución óptima para el problema formulado. Por ejemplo, “dado un grafo  $G$ , ¿cuál es la menor cantidad de colores necesaria para colorear a  $G$ ?”

Diremos que un algoritmo es *polinomial* cuando el número de operaciones que efectúa está acotado por una función polinomial en el tamaño de su entrada. Si el tamaño de la entrada es  $n$  y la función polinomial es  $f(n)$ , decimos que el algoritmo tiene *complejidad*  $O(f(n))$ . Los problemas de decisión para los que existen algoritmos polinomiales constituyen la *clase P* y son llamados *polinomiales*.

Un problema de decisión es *no-determinístico polinomial* cuando cualquier instancia que produce respuesta SI posee una comprobación de correctitud (también llamada certificado) verificable en tiempo polinomial en el tamaño de la instancia. Estos problemas de decisión pertenecen a la *clase NP*.

Claramente,  $P \subseteq NP$ . Sin embargo, no se sabe si esta inclusión es estricta: uno de los principales problemas abiertos en informática teórica es saber si  $P \neq NP$ .

Sean  $\pi_1(I_1, Q_1)$  y  $\pi_2(I_2, Q_2)$  dos problemas de decisión. Una *reducción* de  $\pi_1$  en  $\pi_2$  es una función  $f : I_1 \rightarrow I_2$  que satisface las siguientes dos condiciones:

1.  $f$  puede computarse en tiempo polinomial.
2. Para toda instancia  $D \in I_1$ ,  $D$  produce respuesta SI para  $\pi_1$  si y sólo si  $f(D)$  produce respuesta SI para  $\pi_2$ .

Una definición esencial en la teoría de complejidad es la definición de problema *NP-completo*. Un problema de decisión  $\pi$  pertenece a la clase NP-completo cuando se satisfacen las siguientes condiciones:

- $\pi \in \text{NP}$ .
- Para todo problema  $\pi' \in \text{NP}$ , existe una reducción de  $\pi'$  en  $\pi$ .

Un problema de decisión  $\pi$  pertenece a la clase *NP-hard* cuando se satisface la siguiente condición: para todo problema  $\pi' \in \text{NP}$ , existe una reducción de  $\pi'$  en  $\pi$ .

Un problema de optimización se dice *NP-hard* cuando su problema de decisión asociado es NP-completo o NP-hard.

## 1.4. Problema del Viajante de Comercio

En esta sección, describiremos el Problema del Viajante de Comercio, conocido en inglés como Traveling Salesman Problem (TSP), el cual es uno de los problemas más famosos y estudiados en el campo de la optimización combinatoria. A pesar de la aparente sencillez de su planteamiento, está demostrado que el TSP es un problema NP-hard[12]. En la sección siguiente explicaremos otros problemas similares. Sin embargo, por los requerimientos del problema que nos compete, nos llevan a modelarlo como el TSP.

*Problema:* Denotemos  $c_0, c_1, c_2, \dots, c_n$  clientes con  $n \in \mathbb{N}$ . Suponemos que se conocen las distancias entre todos los clientes. El objetivo es encontrar una ruta que, comenzando y terminando en  $c_0$ , pase una y sólo una vez por cada uno de los clientes y minimice la distancia recorrida por el viajante. Es decir, encontrar una permutación  $P = \{(c_{i_1}, c_{i_2}, \dots, c_{i_n}) : 1 \leq i_j \leq n, i_j \neq i_k \forall k \neq j\}$  tal que  $d_P = d(c_0, c_{i_1}) + d(c_{i_n}, c_0) + \sum_{j=1}^{n-1} d(c_{i_j}, c_{i_{j+1}})$  sea mínimo, donde  $d(x, y)$  representa la distancia entre el cliente  $x$  y el cliente  $y$ .

Podemos modelar el problema mediante la construcción de un grafo completo dirigido y ponderado  $G$  con los clientes como nodos y la distancia entre cada par como el peso de los arcos. Un Circuito Hamiltoniano Mínimo de  $G$  es una permutación de los nodos tal que el circuito generado por la misma tiene distancia mínima. De esta forma vemos que encontrar un Circuito Hamiltoniano Mínimo en  $G$  es equivalente a resolver el TSP.

En algunos casos, se considera como distancia entre clientes el tiempo en llegar de uno a otro. De esta manera, lo que se pretende minimizar es el tiempo total del recorrido.

Se puede demostrar que quitar el requerimiento de volver a la ciudad de partida no cambia la complejidad computacional del problema. Esto se desprende de que se puede reducir el problema de buscar un camino hamiltoniano mínimo al problema de encontrar un circuito hamiltoniano mínimo (TSP), como se verá en la sección 3.4.

La solución más directa es la que aplica la fuerza bruta: evaluar todas las posibles combinaciones de recorridos y quedarse con aquella cuyo trazado utiliza la menor distancia. El problema reside en el número de posibles combinaciones que está relacionado con el factorial del número de ciudades ( $\frac{(n-1)!}{2}$ ) para el caso simétrico y esto hace que la solución por fuerza bruta sea impracticable con los medios computacionales actualmente a nuestro alcance, para valores de  $n$  incluso moderados.

El Problema del Viajante de Comercio ha recibido gran atención por parte de la comunidad científica. Infinidad de trabajos se pueden encontrar en la literatura, abordando el problema de diferentes puntos de vista ([2], [3], [4], [9], [16], [25], [26], [31]). Instancias con cientos de clientes son resueltas satisfactoriamente por varias técnicas. En el apéndice A veremos una solución implementada que calcula estas instancias del TSP en forma muy eficiente.

## 1.5. Problemas similares

Hay distintos problemas de Ruteo de Vehículos relacionados con nuestro problema en los cuales se minimizan distintas variables. En esta sección describiremos un conocido problema llamado el *Problema del Repartidor* y definiremos uno nuevo llamado el *Problema del Recolector*.

El *Problema del Repartidor* consiste en encontrar un camino que, a partir de un punto, pase por un conjunto de clientes y minimice la espera de cada uno de los clientes. Entonces, la bondad del camino encontrado se mide por la suma de la espera que tuvo cada cliente desde el momento en que partió el camión.

El Problema del Repartidor, como otros problemas de Ruteo de Vehículos, están descritos por ejemplo en [36]. En ese trabajo, se realiza un estudio poliedral asociado al Problema del Repartidor y se desarrolla un algoritmo exacto tipo Branch and Cut para resolverlo.

Por otro lado, el camión a lo largo del recorrido realiza un trabajo que está relacionado con la distancia recorrida y con el peso de la carga que lleva en cada momento. El trabajo es una magnitud física que se calcula como el producto distancia recorrida por la fuerza realizada en esa dirección. La unidad básica de trabajo en el Sistema Internacional es el newton x metro que se denomina joule. En cada tramo del recorrido, el camión suma una cantidad de trabajo al trabajo total.

Por el planteo del problema, es útil disminuir esta variable porque está relacionada con

el desgaste del vehículo. Cuanto más cargado circula el camión en un tramo, mayor es el desgaste. Cuanto más distancia recorre el camión con una determinada carga, mayor es el desgaste. Esto hace que el trabajo que realiza el camión sea una buena medida del desgaste que tiene.

Definimos un nuevo problema llamado el *Problema del Recolector* que consiste en minimizar el trabajo que realiza el camión bajo las condiciones mencionadas. Demostraremos que el Problema del Recolector y el Problema del Repartidor se pueden reducir uno al otro en la sección 1.6.

Por los requerimientos del EHU, las prioridades son el tiempo y la distancia por lo que optamos por resolver el Problema del Viajante de Comercio. Con los datos de distancias que tenemos, resolver ese problema nos permite obtener un recorrido de distancia mínima. Si le agregáramos una capa de velocidades de cuadras al mapa, podríamos obtener un recorrido de tiempo mínimo con pocas modificaciones en el modelo.

## 1.6. Problemas del recolector y del repartidor

Ahora detallaremos los problemas que describimos en la sección anterior mediante ejemplos y demostraremos que cada uno se reduce al otro.

Un camión parte de  $c_1$ , recolecta 5 contenedores  $c_2, c_3, c_4, c_5$  y  $c_6$  de 10 Kg cada uno y descarga en el depósito  $c_7$ . El orden de los contenedores y la distancia entre cada elemento son los siguientes:

$$c_1 \xrightarrow{30m} c_5 \xrightarrow{20m} c_4 \xrightarrow{50m} c_6 \xrightarrow{70m} c_2 \xrightarrow{10m} c_3 \xrightarrow{10m} c_7$$

El trabajo que realiza el camión tiene en cuenta cuánto peso lleva en cada tramo. Del inicio al contenedor  $c_5$  no se lleva ningún contenedor. Por lo tanto, el costo en ese paso es 0. De  $c_5$  a  $c_4$ , lleva un contenedor y el costo es  $10\text{Kg} \cdot 1 \cdot 20\text{m}$ . De  $c_4$  a  $c_6$ , se llevan 2 contenedores y el costo es  $10\text{Kg} \cdot 2 \cdot 50\text{m}$ . Y así siguiendo, la suma de cada paso nos da el costo total:

$$\begin{aligned} \text{Trabajo (Kg*m)} &= 10 * 0 * 30 + 10 * 1 * 20 + 10 * 2 * 50 + 10 * 3 * 70 + 10 * 4 * 10 + \\ & 10 * 5 * 10 \\ &= 10 * (0 * 30 + 1 * 20 + 2 * 50 + 3 * 70 + 4 * 10 + 5 * 10) \\ &= 10 * 720 \\ &= 7200 \end{aligned}$$

Si tomamos  $n$  contenedores todos con contenido del mismo peso  $p$  y con las distancias entre cada uno de ellos, llamemos Problema del Recolector a elegir el orden de

recolección para minimizar la función trabajo.

Veamos el problema en general. Sea  $C = (c_{i_1}, \dots, c_{i_n})$  el camino que realiza el recolector, sujeto a que  $c_{i_1} = c_1$ , el origen y  $c_{i_n} = c_n$ , el depósito. Entonces, en el tramo  $j$  de  $c_{i_j}$  a  $c_{i_{j+1}}$  del recorrido, el peso de la carga que lleva es  $(j-1) * p$ . El trabajo que realiza en ese tramo es el peso de la carga por la distancia del mismo:  $(j-1) * p * d(c_{i_j}, c_{i_{j+1}})$ .

El trabajo que realiza el recolector en el camino es la suma de los trabajos de cada tramo:

$$T(c_{i_1}, \dots, c_{i_n}) = \sum_{1 < j < n} (j-1) * p * d(c_{i_j}, c_{i_{j+1}}) \quad (1.1)$$

$$= p * \sum_{1 < j < n} (j-1) * d(c_{i_j}, c_{i_{j+1}}) \quad (1.2)$$

Por otro lado, el Problema del Repartidor consiste en una persona que distribuye mercadería a clientes. El objetivo es encontrar un camino que minimice los tiempos de espera de los distintos clientes. Ahora veremos que cada problema se reduce a resolver el otro e invertir el camino obtenido.

En el Problema del Repartidor, el cliente  $j$  espera la suma de los tiempos de cada tramo anterior. En este caso, definamos  $d(x, y)$  como el tiempo que tarda el repartidor en ir del cliente  $x$  al cliente  $y$ .

Entonces, el tiempo de espera del cliente  $q$  es  $\sum_{1 \leq k < q} d(c_{i_k}, c_{i_{k+1}})$ . Luego, la suma de todos los tiempos de espera es:

$$E(c_{i_1}, \dots, c_{i_n}) = \sum_{1 \leq q < n} \sum_{1 \leq k < q} d(c_{i_k}, c_{i_{k+1}})$$

Si cambiamos el orden de los sumandos:

$$\begin{aligned} &= \sum_{1 \leq k < n-1} \sum_{k < q < n} d(c_{i_k}, c_{i_{k+1}}) \\ &= \sum_{1 \leq k < n-1} (n-k-1) * d(c_{i_k}, c_{i_{k+1}}) \end{aligned}$$

Si calculamos el tiempo de espera del camino inverso:

$$E(c_{i_n}, c_{i_{n-1}}, \dots, c_{i_1}) = \sum_{1 \leq k < n-1} (n-k-1) * d(c_{i_{n-k+1}}, c_{i_{n-k}})$$

Sea  $j = n - k$  :

$$\begin{aligned} &= \sum_{1 < j < n} (j-1) * d(c_{i_{j+1}}, c_{i_j}) \\ &= \sum_{1 < j < n} (j-1) * d(c_{i_j}, c_{i_{j+1}}) \end{aligned}$$

$$= \frac{T(c_{i_1}, \dots, c_{i_n})}{p} \quad (\text{por la ecuación 1.2})$$

Como  $p$  es positivo, si  $(c_{i_1}, \dots, c_{i_n})$  minimiza la función trabajo, entonces  $(c_{i_n}, c_{i_{n-1}}, \dots, c_{i_1})$  minimiza la función tiempo de espera y viceversa. De esta forma, si podemos obtener un camino que minimice un problema, al invertirlo minimiza el otro.

## 1.7. Programación lineal entera

Gran parte de los problemas de Optimización Combinatoria pueden plantearse como modelos de Programación Lineal Entera[35] de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} & \text{Minimizar } \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ & \text{sujeto a} \\ & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m \\ & x_j \in \mathbb{Z}_+, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Las soluciones factibles son las combinaciones de variables que satisfacen las restricciones. Si permitimos que las variables tomen valores no enteros, obtenemos el problema lineal relajado. Como las restricciones son desigualdades lineales, las soluciones factibles del problema lineal relajado definen un poliedro. Las soluciones factibles del problema original son el subconjunto de las factibles del problema lineal, pero cuyas variables son todas enteras.

Un método simple para obtener una solución óptima es enumerar todas las soluciones factibles y quedarse con una que minimice la función objetivo. El problema es que la cantidad de combinaciones suele ser exponencial en la cantidad de variables.

En el apéndice A, modelaremos el TSP como un problema de programación lineal entera. Además, veremos dos métodos generales para resolver programas de Programación Lineal Entera llamados *Branch and Cut* y *Branch and Bound*.

Se demostró que resolver problemas de programación lineal tiene complejidad polinomial[22] y existen implementaciones muy eficientes[19]. Los métodos utilizados para resolver problemas de Programación Lineal Entera que veremos en el apéndice A utilizan subproblemas de Programación Lineal.

## 1.8. Estructura de la tesis

En esta sección introduciremos cada uno de los siguientes capítulos que componen la tesis.

**Capítulo 2 Modelo del mapa.** Se verá cómo se construye un grafo que representa el mapa de la ciudad en base a la información recibida y que permitirá medir caminos en el mapa. Se analizarán los giros prohibidos por semáforos y la ubicación de los contenedores. Se explicará cómo se manejan las fallas de la base de datos del mapa.

**Capítulo 3 Estrategia de Resolución.** Se describirá en detalle los conceptos básicos itinerario, tramo, distancia, peso y trabajo y mostraremos la forma de llevar nuestro problema al Problema del Viajante de Comercio.

**Capítulo 4 Recorrido mínimo.** Se analizarán los algoritmos de camino mínimo de Dijkstra y A Estrella ( $A^*$ ) y se verá la conveniencia de utilizar  $A^*$  en nuestro caso. También se presentará un algoritmo goloso para posicionar los contenedores en el mapa.

**Capítulo 5 Descripción de la implementación.** Se verá la implementación de un programa en el lenguaje de programación *SmallTalk*[14] que realiza tareas de procesamiento del mapa, cálculo de itinerarios óptimos y visualización de los mismos mediante gráficos y animaciones.

**Capítulo 6 Resultados y discusión.** Se verán los resultados obtenidos al correr el programa con las instancias de nuestro problema. Se compararán las distancias del itinerario que utiliza actualmente el EHU con la distancia de un itinerario de distancia mínima proporcionada por nuestro programa. También se comparará el trabajo insu- mido en ambos itinerarios y se mostrarán mediciones de los tiempos de corrida del programa.

**Capítulo 7 Conclusiones y próximos pasos.** Se sintetizarán las conclusiones obtenidas en el trabajo y se señalarán posibles próximos pasos a seguir.

**Apéndice A: Concorde.** Se analizará a grandes rasgos el método que utiliza el programa Concorde para resolver el Problema del Viajante de Comercio en forma exacta y eficiente. Se planteará un modelo de Programación Lineal Entera y para resolverlo se utilizará el problema lineal relajado con variables no enteras. Al mismo se le agregarán cortes iterativamente mediante un algoritmo de Branch and Cut.

**Apéndice B: Itinerarios mínimos.** Para cada una de las 4 sub-zonas se mostrará una lista con un orden de los contenedores tal que la distancia del itinerario correspondiente es mínima. Son los mismos itinerarios que se analizarán en el capítulo de resultados. Además, para cada sub-zona se mostrará una lista de todas las cuadras de una ruta óptima.



## CAPÍTULO 2

---

### Modelo del mapa

---

La Unidad de Sistemas de Información geográfica (USIG) del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires proveyó el mapa de la ciudad en formato Shape (SHP). El archivo contiene una base de datos con cada cuadra de la ciudad. Por cada cuadra están los segmentos que la componen, la calle, la altura inicial, la altura final y el sentido. Por otro lado, hay una capa con la posición de los semáforos en la ciudad.

En este capítulo, veremos cómo se construye un grafo que representa el mapa de la ciudad en base a la información recibida. Primero, construiremos un grafo que nos permita calcular el camino mínimo entre dos puntos de la ciudad trasladándose a pie. Luego, construiremos otro grafo que nos permite calcular un recorrido mínimo que un vehículo puede realizar para ir de un punto de la ciudad a otro. Mencionaremos los giros permitidos y prohibidos de un vehículo en una intersección de calles donde hay un semáforo. Mostraremos cómo detectamos si hay un semáforo en base a la base de datos disponible y la ubicación de los contenedores en el mapa de la ciudad.

#### 2.1. Modelo para recorrido a pie

¿Cuál es el grafo asociado al mapa para calcular un recorrido a pie? La gran mayoría de las cuadras pueden representarse por un segmento entre sus dos esquinas. Sin embargo, hay cuadras que tienen una forma más compleja. Por ejemplo, la cuadra Yrupé al 6700 (figura 2.1) tiene forma de arco. Estas cuadras están representadas en el mapa por una lista de segmentos que se conectan entre sí de tal forma que la figura se asemeja a la forma de la cuadra. En cambio, Cosquín al 2900 está formada por un único segmento que va del punto que está en la esquina de Cosquín e Yrupé al punto de la esquina de Cosquín y Monte.

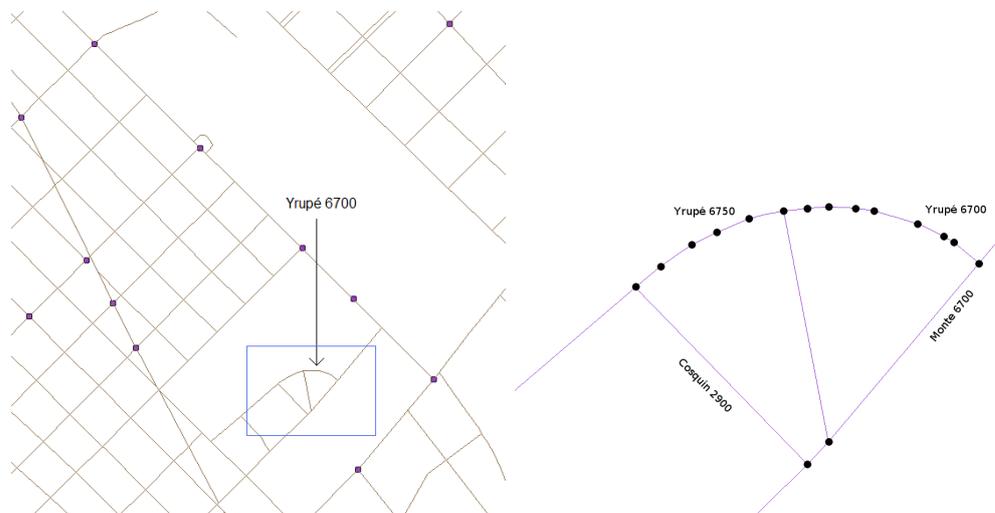


Figura 2.1: Yrupé al 6700

Los puntos que definen cada segmento están descritos en un eje cartesiano con origen en un punto arbitrario. Es importante destacar que las unidad de medida en este sistema es el metro, por lo que la longitud de un segmento mide la longitud de lo que éste representa.

Entonces, definimos un grafo con los puntos de los extremos de estos segmentos como vértices y los segmentos en sí como aristas. Al peso de cada arista, le asignamos la longitud de su segmento en metros. Puede verse un esquema que construimos sólo con el fin de comprender este modelo (figura 2.2). Algunas cuadras fueron agregadas arbitrariamente y no existen en la realidad.

En este esquema agregamos varios puntos en la cuadra de Rosario 401 para mostrar que una cuadra puede tener varios segmentos. Esto puede darse porque hay un objeto en la misma donde nos interesa posicionarnos o porque la cuadra tiene una forma que no es recta como vimos anteriormente.

La distancia de un camino en este grafo es la distancia de un recorrido a pie en la ciudad. Si utilizamos un algoritmo de camino mínimo, tenemos como resultado un recorrido mínimo entre dos puntos de la ciudad. En la figura 2.3 puede verse el camino mínimo entre  $(100, 100)$  y  $(300, 200)$ . El mismo pasa por la arista Av. Rivadavia 4901 y por la que va de  $(200, 100)$  a  $(300, 200)$ .

En la figura 2.4, puede verse un recorrido mínimo de Rosario al 401 a Rivadavia al 5099. El mismo pasa por las aristas de la cuadra Rosario 401, por  $(200, 200)$ - $(200, 110)$ , por  $(200, 110)$ -Rivadavia 5001 y por el segmento de la cuadra de Rivadavia 5001.

Llamamos a los puntos por sus direcciones porque una dirección puede transformarse en un punto en el mapa. Por ejemplo, Rivadavia 4901 es el primer extremo de esa cuadra y Rivadavia 4999, el otro extremo. Los puntos de las alturas intermedias se calculan en forma proporcional en el segmento correspondiente.

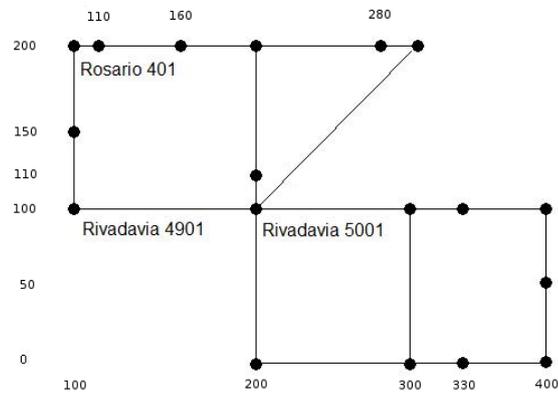


Figura 2.2: Grafo del mapa para recorrido a pie.

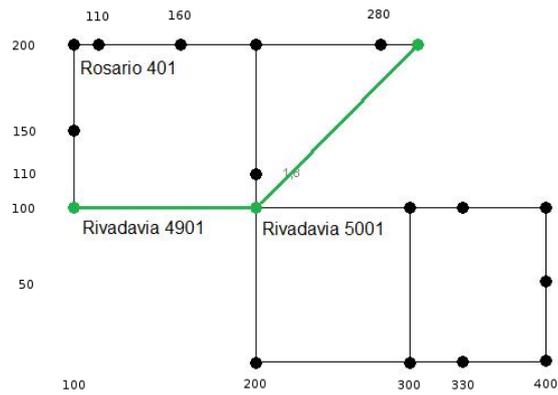


Figura 2.3: Recorrido a pie de  $(100, 100)$  a  $(300, 200)$ .

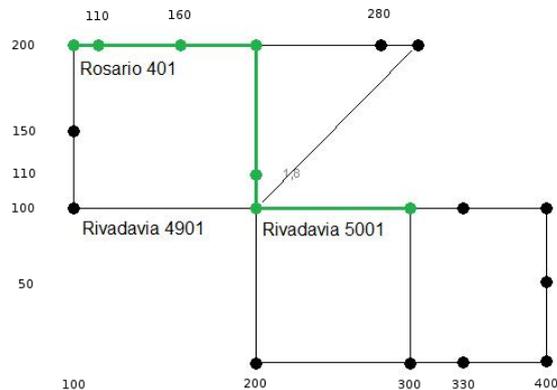


Figura 2.4: Recorrido a pie de Rosario 401 a Av. Rivadavia 5101.

## 2.2. Modelo para recorrido en vehículo

¿Cuál es el grafo asociado al mapa para calcular un recorrido en vehículo? En este caso necesitamos tener en cuenta el sentido de circulación en las cuadras. Por lo tanto, los arcos ahora son dirigidos según el sentido. Sin embargo, también cambia la definición de los nodos. Los nodos se definen como las distintas posiciones significativas donde puede ubicarse el vehículo. Cada camino en este nuevo grafo representará un recorrido válido de un vehículo en la ciudad.

Veremos un ejemplo que nos permitirá comprender las distintas posiciones en las que se puede encontrar un vehículo. En la figura 2.5 se ven seis vehículos en posiciones distintas. El vehículo rojo se encuentra en la cuadra Beauchef al 0, en el punto (200, 110). Un vehículo verde está en la cuadra de Av. José M. Moreno al 0, en el punto (100, 150) sobre la mano. El otro vehículo verde está en la misma cuadra, en el mismo punto, pero sobre la contramano. Los vehículos azules se encuentran todos en el punto (300, 100); sin embargo, uno está en la esquina de la cuadra de Rivadavia al 5000, el otro en la esquina de Rivadavia al 5100 y el otro en Viel al 201.

Si el vehículo está en una intersección de cuadras, como es el caso de los vehículos ilustrados de color azul, se diferencia como dos posiciones diferentes cuando está en una u otra cuadra de la intersección. Por otro lado, en las cuadras doble-mano, la posición del vehículo cambia si está en una mano de la cuadra o en la contramano (vehículos ilustrados con color verde). Luego, la posición del vehículo se define como la cuadra, la mano y el punto. Los nodos del grafo son las posiciones ubicadas sobre los extremos de los segmentos de las cuadras. Un arco va de la posición A a la posición B si un vehículo puede pasar directamente de una a otra.

En el grafo de recorrido a pie, un punto que está en una intersección representa un único vértice. Sin embargo, en el grafo de recorrido en vehículo, el mismo punto da origen a varios nodos, uno para cada cuadra que participa en la intersección. Análogamente, un

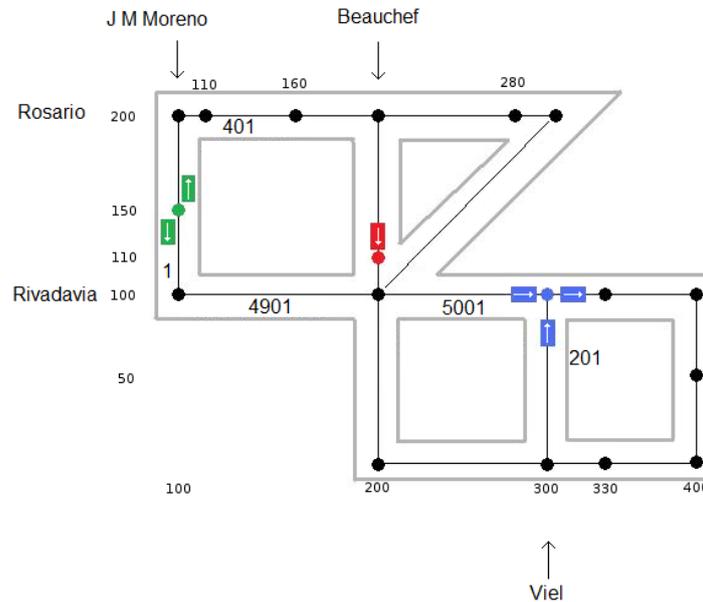


Figura 2.5: Posiciones de los vehículos en el mapa.

punto que se encuentra en una cuadra doble-mano da origen a un nodo que se encuentra en la mano y a otro que se encuentra en la contramano.

En la figura 2.6, se pueden ver distintas posiciones en la región del mapa delimitada por las calles Rosario, José María Moreno, Rivadavia y Beauchef. En (100, 200) hay 3 posiciones: una en Rosario 401, otra sobre la mano en José María Moreno 99 y otra sobre la contramano en José María Moreno 99. En la figura 2.7, se ve que el vehículo puede transitar por la mano de José María Moreno y también por la contramano. Se ve también que puede girar de Rosario a José María Moreno. En la figura 2.8, se pueden ver todos los arcos de esta región del mapa, definidos por las posibles trayectorias que puede realizar un vehículo.

Los nodos de este nuevo grafo representan posiciones donde puede encontrarse un vehículo y existe un arco entre dos nodos si y sólo si el vehículo puede transitar de una posición a la otra directamente. Por esta razón, un camino en el grafo representa un recorrido válido de un vehículo en la ciudad.

Si utilizamos un algoritmo de camino mínimo sobre este grafo, tenemos como resultado un recorrido mínimo que puede realizar un vehículo para ir de una posición a otra en la ciudad. Se puede ver en figura 2.9 el recorrido mínimo en vehículo para ir de Rosario 499 a Av. Rivadavia 4999. El vehículo va por la calle Rosario, gira a Av. José María Moreno, avanza una cuadra, gira a Av. Rivadavia al 4900 y avanza hasta el destino.

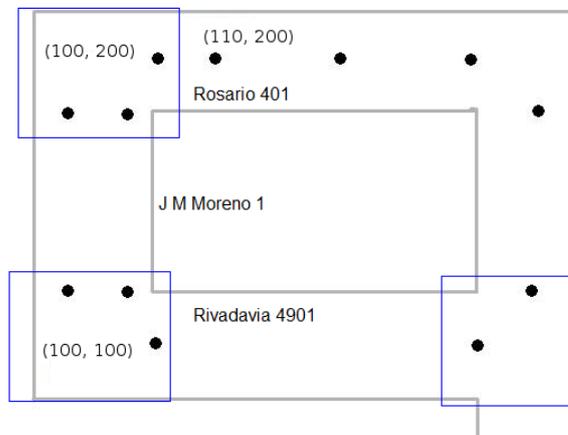


Figura 2.6: Posiciones en una región del mapa.

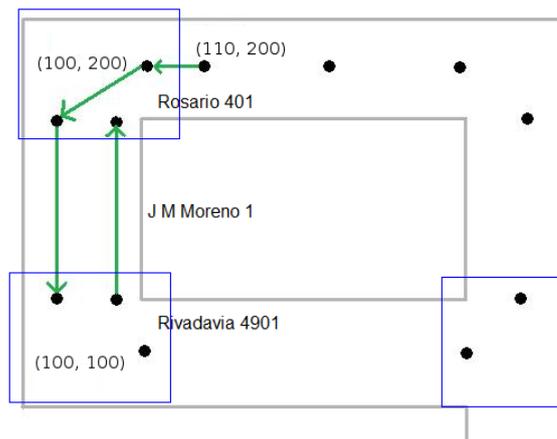


Figura 2.7: Algunos arcos del grafo para recorrido en vehículo.



### 2.3. Giros prohibidos por semáforos

En una intersección de dos calles doble-mano, tenemos entonces 8 posiciones: mano y contramano de cada una de las 4 cuadras. Si no hay giros prohibidos, estos puntos se conectan de forma que uno pueda girar para un lado y para el otro. Sin embargo, cuando hay un semáforo en la intersección, el vehículo no puede girar a la izquierda. En las figuras 2.10 y 2.11 se ve el caso donde una intersección hay un semáforo y el caso en que no lo hay respectivamente. En ambas figuras se ven los giros que un vehículo que va por la Av. Rivadavia puede realizar hacia Boyacá.

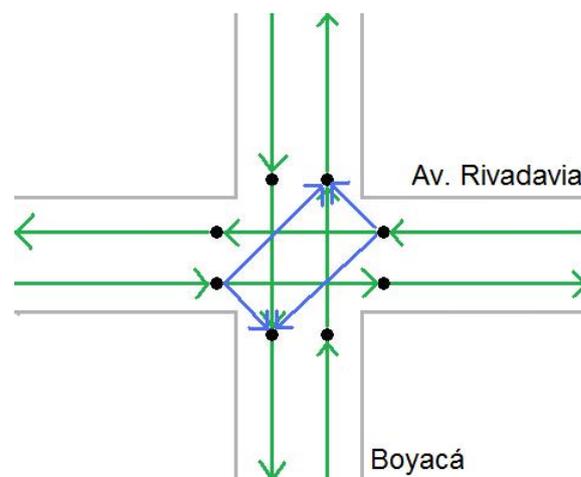


Figura 2.10: Arcos de giros de Av. Rivadavia a Boyacá sin semáforo.

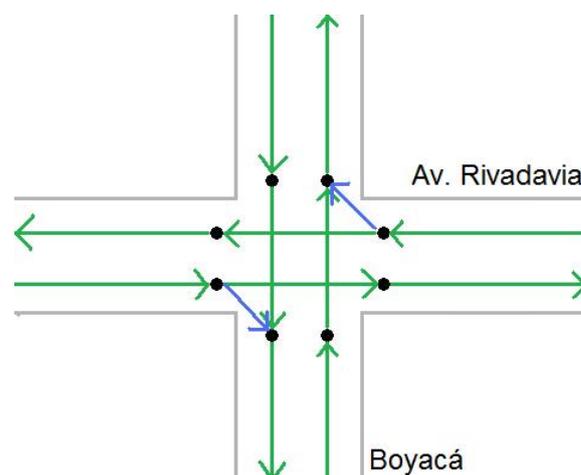


Figura 2.11: Arcos de giros de Av. Rivadavia a Boyacá con semáforo.

La capa Shapefile de los semáforos provista por la USIG contiene un punto geográfico por cada semáforo que indica dónde se encuentra el mismo aproximadamente. En la figura 2.12 se ven las capas de los semáforos y de las cuadras superpuestas. Si hay dos

calle  $c_1$  y  $c_2$  que se intersecan en el punto  $p$  y hay un semáforo en la intersección, en la capa de semáforos hay un punto cercano a  $p$ .

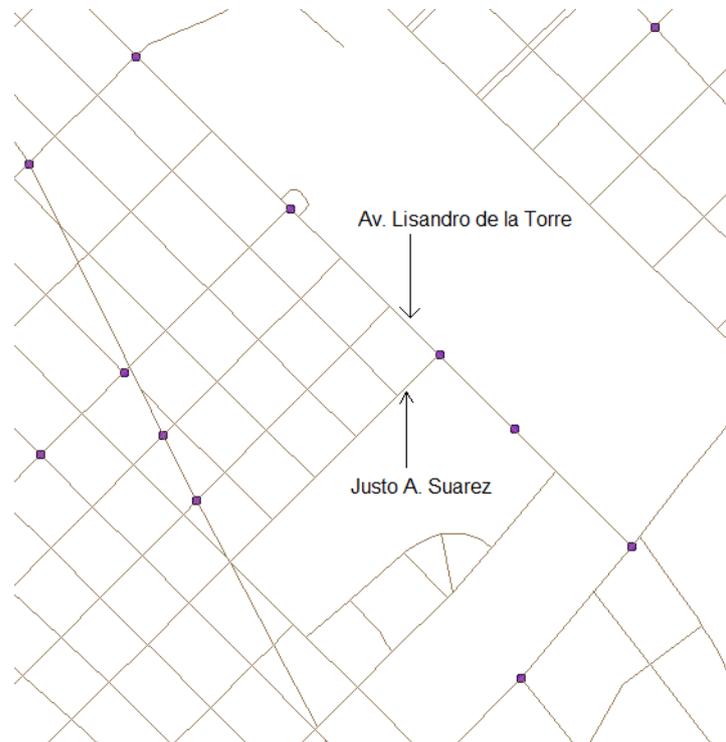


Figura 2.12: Capas de los semáforos y de las cuadras.

En nuestro modelo, necesitamos saber si en la intersección de  $c_1$  y  $c_2$  en  $p$  hay un semáforo. Para eso, buscamos si hay un punto en la capa de semáforos cuya distancia a  $p$  sea menor que un cierto valor  $k$ . Realizamos varias pruebas con distintos valores de  $k$  y encontramos que  $k = 3,5m$  detecta correctamente los semáforos.

Entonces, si hay un semáforo en una intersección de una avenida doble-mano quitamos del grafo los arcos que representan giros a la izquierda desde la avenida. Consideramos que los giros son a la izquierda cuándo el ángulo de giro es mayor que  $45^\circ$ .

## 2.4. Ubicación de contenedores

El EHU nos facilitó cuatro listas de direcciones de contenedores; cada una corresponde a una sub-zona y las direcciones están ordenadas de la forma en que se recorren actualmente. En la figura 2.13, pueden verse las cuatro sub-zonas de contenedores actuales.

Como las listas no estaban pensadas para ingresar a un sistema informático, las direcciones no estaban normalizadas. En algunos casos, una dirección se definía por alguna referencia del mapa, por ejemplo, “Dellepiane Estacionamiento Torres”; la cual se tradujo en una dirección aproximada, en este caso, Autopista Dellepiane 5301. A su vez,



Figura 2.13: Sub-zonas de contenedores actuales.

el nombre de cada calle podemos interpretarlo, aunque no coincide textualmente con el nombre que está en la base de datos. Se reemplazó cada nombre con su correspondiente en la base de datos.

El resultado de la traducción anterior son listas de direcciones de los contenedores dadas por nombre de la calle y altura, por ejemplo Murguiondo 4273; o por intersección de calles, por ejemplo Riestra y Larraya. Es necesario traducir cada dirección en una posición del mapa (*punto, cuadra, mano*).

Para una dirección por altura, se busca la cuadra de la calle cuyo intervalo [*altura inicial, altura final*] incluye la dirección en cuestión. En las cuadras doble-mano, se le asigna la mano que va en sentido creciente de altura o la otra mano según si la altura es impar o par respectivamente.

Para una dirección denotada por intersección de calles, se buscan las cuadras de ambas calles que se intersecan en un punto. En el caso más simple, hay cuatro cuadras que se intersecan en un punto: dos de una calle y dos de la otra. Es necesario elegir una de las cuatro cuadras para definir la posición del contenedor. El criterio que usó el EHU para confeccionar las listas es que la dirección nombra primero la calle sobre la cual está el contenedor y el mismo se encuentra antes de la intersección. Para desambiguar, cuando la primera calle es doble-mano, entre los dos puntos posibles (mano y contramano), se escoge el de menor  $x$  y si ambas componentes  $x$  son iguales, el de menor  $y$ . Este último criterio fue escogido arbitrariamente.

## 2.5. Manejo de fallas del mapa

Como toda base de datos que contiene información de la realidad, el mapa tiene fallas. Dentro del área de influencia de nuestro problema, encontramos que Av. Lisandro de la Torre tiene sentido decreciente cuando en realidad es creciente del 1 al 1799 y de ahí en adelante es doble-mano. Se verificaron muchas de las calles que están en las zonas donde hay contenedores para revisar los sentidos. Se revisaron especialmente las que se utilizan en los recorridos óptimos que encontramos.

Para eso se comparó con otros mapas como el del sitio de Clarín[7]. También se utilizó el sitio [mapa.buenosaires.gov.ar](http://mapa.buenosaires.gov.ar)[34] que tiene la misma base de datos que nos brindó la Unidad de Información Geográfica, con el agregado de fotos de las fachadas de las casas donde se pueden ver autos en uno u en otro sentido de las calles.

Además de el sentido de la Av. Lisandro de la Torre encontramos que son mano y contramano Cafayate entre 4800 y 5400 y Fernandez de la Cruz en toda su longitud.

Otra diferencia se encontró en un conjunto de calles cortadas. Hay contenedores que están en una cuadra que no continúa. El problema es que algunas de estas cuadras estaban definidas como mano única con lo cual un vehículo podría entrar y no podría salir. Para corregir esto se buscó todas las cuadras con estas condiciones, se las convirtió en doble-mano y se les agregaron dos segmentos que permitan al vehículo girar.



## CAPÍTULO 3

---

### Estrategia de Resolución

---

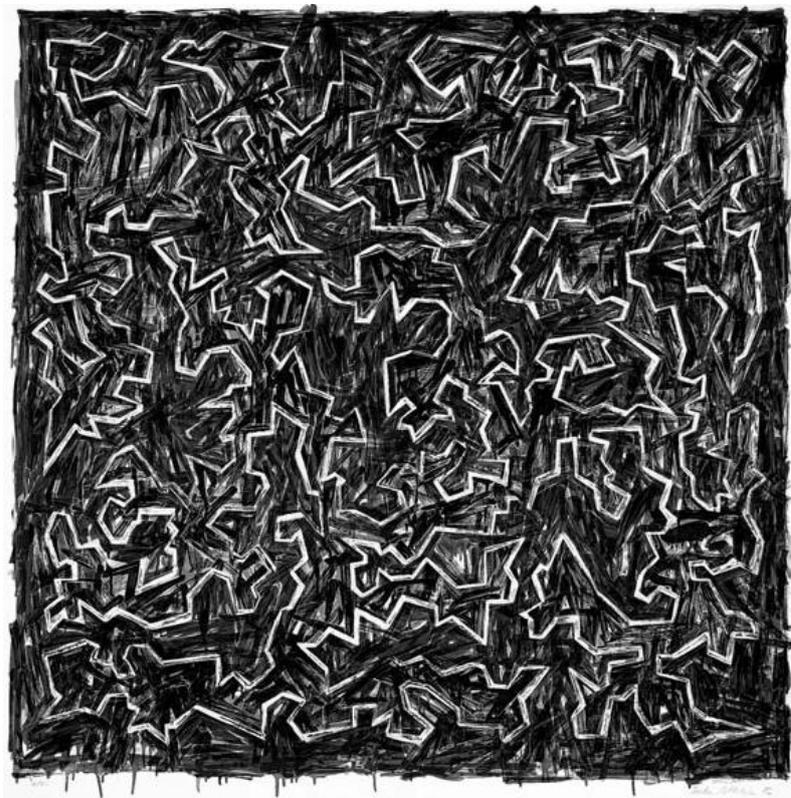


Figura 3.1: Traveling Salesman, por Julian Lethbridge

En este capítulo, describiremos en detalle los conceptos básicos itinerario, tramo, distancia, peso y trabajo y mostraremos la forma de llevar nuestro problema al Problema del Viajante de Comercio. El cálculo de un itinerario de distancia mínima de una sub-zona determinada se realizará mediante la búsqueda de un Camino Hamiltoniano Mínimo del EHU al depósito pasando por todos los contenedores de la sub-zona. Este problema, a su vez, se reducirá a calcular un Circuito Hamiltoniano Mínimo en un grafo dirigido completo. Como próximo paso, se reducirá a calcular un Circuito Hamiltoniano Mínimo en un grafo no dirigido completo. Éste es el Problema del Viajante de Comercio y estamos en condiciones de resolverlo utilizando el software Concorde en forma muy eficiente en nuestras instancias.

### 3.1. Recolección de contenedores

En esta sección explicaremos los conceptos básicos tramo, distancia, peso y trabajo aplicados en un itinerario con 47 contenedores. Se define un itinerario como una sucesión de elementos por donde el camión pasa. El camión parte del EHU en Varela 555, se dirige al primer contenedor, recolecta todos los contenedores, luego va hacia el depósito en Varela al 2400 donde vacía su contenido y vuelve al EHU. El itinerario es entonces (EHU,  $C_1, C_2, \dots, C_{47}$ , Depósito, EHU).

En la figura 3.2, el punto amarillo es el EHU y el punto rojo es el depósito. Se muestra en la figura el itinerario con 47 contenedores que recorre actualmente un camión del EHU. Para tener una idea del orden en que realiza el camión los distintos tramos, se colorean los tramos al principio en verde y al final en rojo. Para los tramos del medio se escoge el color en un degradé del verde al rojo.

La figura 3.3 muestra el recorrido entre los 47 contenedores. Además de que la línea pasa gradualmente de verde a rojo a medida de que se llena el camión, también lo hacen los círculos que representan los contenedores. Los primeros contenedores que recoge el camión son los de color verde claro y los últimos son los de color rojo fuerte. Se puede ver una animación de este itinerario en <http://picasaweb.google.com/federico.larumbe/Videos> graficada de la misma forma<sup>1</sup>.

Definimos el tramo  $i$  de un itinerario como el recorrido mínimo entre el elemento  $i$  y el siguiente. La distancia total del itinerario es la suma de las distancias de los tramos. La distancia total de este itinerario es de 27.010 m.

En base a los datos que nos proveyó el EHU (sección 1.1), sabemos que el peso promedio de los residuos de cada contenedor es 107 Kg. El EHU no posee información estadística del contenido de cada contenedor por lo que consideraremos en nuestra estimación que cada contenedor tiene el peso promedio.

Por otro lado, sí conocemos las posiciones críticas donde hay más de un contenedor. Esos casos los simplificamos con un contenedor con el peso igual a la suma de los pesos

---

<sup>1</sup>Ingresar en el explorador web <http://picasaweb.google.com/federico.larumbe/Videos>, hacer click en *Itinerario 1* y luego en *View HQ video*.

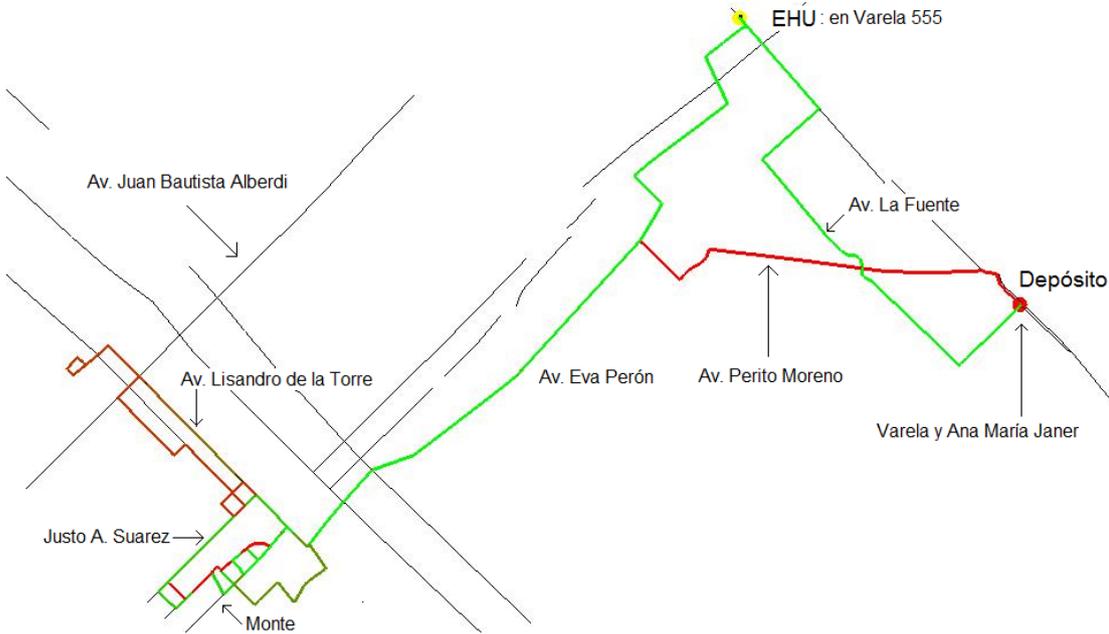


Figura 3.2: Itinerario 1 completo

de los distintos contenedores. Como los contenedores están en el mismo lugar, esta simplificación es equivalente al problema original.

El trabajo es una magnitud física que se calcula como el producto de la distancia recorrida por la fuerza realizada en esa dirección[20]. La unidad básica de trabajo en el Sistema Internacional es el newton x metro que se denomina joule (J). Suponemos que el camión siempre tiene una aceleración constante en todos los tramos. Es decir, que la fuerza resultante  $F_K$  es una constante por el peso bruto total del camión:  $F_K = k * P_B$ . Descomponemos la fuerza resultante en la fuerza de rozamiento y la fuerza que realiza el camión:  $F_K = F_M - F_R \Rightarrow F_M = F_K + F_R \Rightarrow F_M = k * P_B + F_R$ .

La fuerza de rozamiento en un tramo determinado se calcula como el producto de un coeficiente de rozamiento fijo por el peso bruto del camión:  $F_R = \mu * P_B \Rightarrow F_M = k * P_B + \mu * P_B$ . Luego, la fuerza que realiza el camión es una constante por el peso bruto:  $F_M = (k + \mu) * P_B$ .

En un tramo de distancia  $d$ , el trabajo realizado es  $T = F_M * d = (k + \mu) * P_B * d$ .

En un tramo  $i$  del itinerario, cuando el vehículo va del elemento  $i$  al  $i + 1$ , el trabajo que realiza el vehículo es el producto de la distancia  $d_i$  por el peso bruto del camión  $p_i$ :  $(k + \mu) * p_i * d_i$ .

Entonces, el trabajo total que realiza el camión es la suma de todos estos trabajos:



Figura 3.3: Itinerario 1 entre contenedores

$$\begin{aligned}\text{Trabajo} &= \sum_{i=1}^n (k + \mu) \cdot d_i \cdot p_i \\ &= (k + \mu) \cdot \sum_{i=1}^n d_i \cdot p_i\end{aligned}$$

Como el cálculo del trabajo nos interesa para comparar entre los distintos itinerarios en forma proporcional, al momento de calcular la relación se cancela el factor  $(k + \mu)$ . Por lo tanto, fijaremos  $(k + \mu) = 1$  para simplificar los cálculos.

$$\text{Trabajo} = \sum_{i=1}^n d_i \cdot p_i$$

Si consideramos que cada contenedor tiene un peso de 107 Kg y utilizamos las distancias de los tramos del itinerario que usamos como ejemplo, el cálculo del trabajo que realiza el camión en este itinerario da un resultado de  $6,08 \cdot 10^8 J$ .

En esta sección hemos explicado los conceptos básicos itinerario, tramo, distancia, peso y trabajo. Las dos variables que más nos interesan son la distancia y el trabajo de los itinerarios. La primera porque es la prioritaria a reducir según las necesidades del EHU. Al disminuir la distancia considerablemente, se reduce el tiempo de los itinerarios y los camiones están menos tiempo en el tránsito de la ciudad. El trabajo del camión es útil reducirlo porque es una buena medida del desgaste que tiene el camión. Cuanto mayor peso transporta el camión en un tramo del recorrido, mayor trabajo realiza y se desgasta más el mismo. Cuanto mayor distancia recorre el camión con un peso determinado, también mayor trabajo realiza y se desgasta más el mismo. Entonces, entre los itinerarios más cortos nos interesan aquellos en los que el camión realiza el menor trabajo.

En este proyecto, optimizamos la distancia del itinerario mediante la reducción de nuestro problema al Problema del Viajante de Comercio. Es decir, buscamos entre los itinerarios posibles, uno con distancia mínima. Como el trabajo de cada tramo tiene a la distancia como factor, en los cuatro itinerarios que analizamos, el trabajo se ve reducido en consecuencia. Además, la implementación que realizamos calcula distintas soluciones del TSP del mismo itinerario porque utiliza aleatoriedad. Obtenemos un conjunto de estas soluciones, calculamos el trabajo en cada una y nos quedamos con la que su trabajo es mínimo.

En el capítulo 6 se verán los cuatro itinerarios del EHU actuales y los itinerarios que optimizan la distancia. Se verá el porcentaje de mejora de la distancia y también del trabajo. La distancia tiene una mejora de hasta 33% y el trabajo de hasta 43% entre los itinerarios actuales y los itinerarios óptimos.

Aunque los resultados nos dieron una disminución importante en el trabajo, esto podría

no ser así porque no se tiene en cuenta que las distancias más largas conviene recorrerlas cuando el camión está más vacío.

Distintas soluciones pueden implementarse en el futuro para corregir esto. Una opción es, dado un itinerario mínimo, moverse alrededor de la distancia mínima con un cierto porcentaje de tolerancia y utilizar heurísticas para modificar el itinerario y obtener un trabajo menor. Otra opción es, luego de obtener un itinerario, agregarlo como itinerario prohibido y obtener uno nuevo. De esta forma, se pueden obtener un conjunto de itinerarios y elegir el de menor trabajo. En la sección 6.6, veremos una heurística que podría implementarse para disminuir el trabajo.

### 3.2. Estrategia de solución

Como veremos en el capítulo 4, estamos en condiciones de calcular las distancias entre los contenedores, entre el EHU y cada contenedor y entre cada contenedor y el depósito.

Para modelar nuestro problema como una instancia del Problema del Viajante de Comercio descrito en la introducción, construimos un digrafo completo con los contenedores como nodos. El peso de un arco del nodo  $A$  al nodo  $B$  se define como la distancia del recorrido mínimo en vehículo del contenedor  $A$  al contenedor  $B$ . Agregamos a este grafo el EHU y el Depósito. Agregamos un arco por cada contenedor del EHU al mismo y un arco por cada contenedor del mismo al depósito. Los pesos de estos arcos quedan definidos por la distancia del recorrido mínimo de un elemento al otro. Llamamos a este grafo  $G_1 = (V, A_1)$ . Puede verse un ejemplo en la figura 3.4.

$$\begin{aligned}
 G_1 &= (V, A_1) \\
 C &= \{c_1, \dots, c_n\} \text{ el conjunto de contenedores} \\
 V &= C \cup \{EHU, Deposito\} \\
 A_1 &= \{(EHU, c) : \forall c \in C\} \cup \\
 &\quad \{(c_1, c_2) : \forall c_1, c_2 \in C\} \cup \\
 &\quad \{(c, Deposito) : \forall c \in C\} \cup \\
 &\quad \{(Deposito, EHU)\} \\
 w_1 &: A_1 \rightarrow \mathbb{R} \\
 w_1((x, y)) &= d_r(x, y) \forall (x, y) \in A_1
 \end{aligned}$$

Nuestro objetivo es buscar un itinerario de distancia mínima sobre este grafo ponderado. Esto es equivalente a buscar un camino hamiltoniano mínimo del EHU al depósito en este grafo y al resultado agregarle el EHU como destino final.

El camino hamiltoniano tendrá como origen el EHU, pasará por todos los nodos internos, es decir el camión recolectará todos los contenedores, y se dirigirá al depósito.

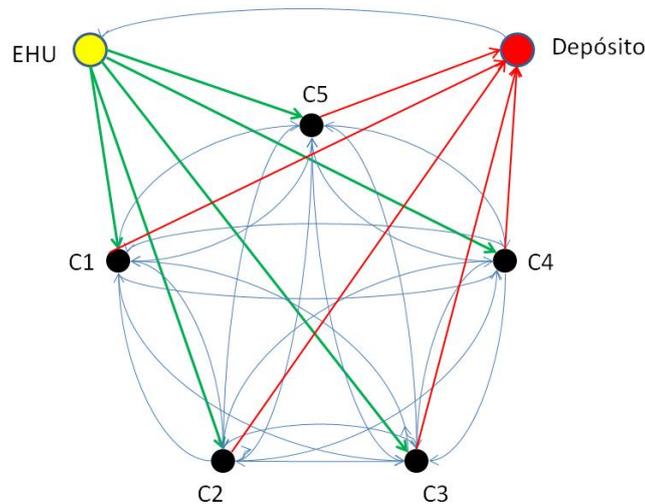


Figura 3.4:  $G_1$ . Grafo con el EHU, cinco contenedores y el depósito.

Como es mínimo, no hay otro camino que pase por todos los nodos con una distancia menor. A este camino le agregamos el EHU como nodo final y de esta forma obtenemos el circuito que queremos. El orden de los elementos en un itinerario de distancia mínima es el orden de este circuito.

A continuación veremos una implementación de la resolución de nuestro problema mediante la utilización de un programa llamado Concorde. También veremos una heurística simple para, además de optimizar la distancia, disminuir el trabajo del vehículo.

### 3.3. Utilización de Concorde

Concorde<sup>2</sup> es un programa realizado por David Applegate, Robert Bixby, Vasek Chvatal y William Cook en el Instituto de Tecnología de Georgia (Georgia Institute of Technology) que permite resolver instancias del TSP en forma exacta mediante programación lineal entera. Para esto se le adjunta un paquete para resolver problemas de programación lineal como Cplex[19] o también QSOpt (de libre uso y desarrollado por los mismos autores). Concorde puede resolver instancias de hasta 1000 elementos en forma eficiente. Por ejemplo, una instancia de nuestro problema con 98 nodos es resuelta en 200 ms en una computadora Intel Dual Core de 1.60 GHz.

Concorde también permite resolver el TSP mediante la heurística Chained Lin-Kernighan[26]. Para la instancia de 98 nodos, el circuito obtenido resulta ser el óptimo y el tiempo de ejecución es similar al de ejecutarlo en forma exacta.

En capítulos anteriores, modelamos nuestro problema como uno de búsqueda de camino hamiltoniano mínimo; sin embargo, Concorde resuelve el TSP, es decir un circuito

<sup>2</sup>Se puede descargar de <http://www.tsp.gatech.edu/concorde.html>

hamiltoniano mínimo no dirigido y recibe como entrada una matriz de distancias de un grafo completo. Por lo tanto, debemos traducir nuestro modelo de camino hamiltoniano mínimo dirigido a un circuito hamiltoniano mínimo no dirigido. Lo haremos en dos pasos: primero pasaremos de un camino dirigido a un circuito dirigido y luego de éste a un circuito no dirigido.

Por otro lado, como Concorde utiliza aleatoriedad para obtener una solución, si lo ejecutamos varias veces, nos da distintos itinerarios todos con la distancia mínima. Esta característica fue aprovechada para reducir el trabajo del vehículo. En cada subzona, se ejecutó 50 veces y se eligió el itinerario con menor trabajo.

### 3.4. De camino hamiltoniano a circuito hamiltoniano

Calcularemos el camino hamiltoniano mínimo en función del circuito hamiltoniano. Necesitamos que en este circuito luego del depósito se ubique el EHU. Es decir, a partir del nodo del EHU, se pase por todos los contenedores, luego por el depósito y nuevamente por el EHU. Además, queremos que el grafo sea completo.

Construimos el grafo  $G_2$  a partir de  $G_1$  de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 G_2 &= (V, A_2) \\
 A_2 &= V \times V \\
 w_2 : A_2 &\rightarrow \mathbb{R} \cup \{+\infty\} \\
 w_2((v_1, v_2)) &= \begin{cases} w_1((v_1, v_2)) & \text{si } (v_1, v_2) \in A_1 \\ +\infty & \text{si } (v_1, v_2) \notin A_1 \end{cases}
 \end{aligned}$$

De esta forma, si no hay un arco de A a B en  $G_1$ , agregamos un arco en  $G_2$  con peso infinito y así  $G_2$  es completo.

Definamos un circuito  $Q$  como (EHU,  $C_1, \dots, C_n$ , Depósito, EHU) para  $C_1, \dots, C_n \in C$ . Se ve que los arcos de  $Q$  están todos en  $G_1$ , por lo tanto en  $G_2$  todos tienen pesos finitos. De esta forma, la distancia del circuito es finita. Además, este circuito pasa por todos los nodos de  $C_2$  una única vez, por lo que  $Q$  es un circuito hamiltoniano de  $G_2$ .

Como sabemos que existe un circuito hamiltoniano con distancia finita, un camino hamiltoniano mínimo  $H$  también tendrá distancia finita. Esto implica que  $H$  no tiene ningún arco de peso infinito. Todos los arcos de  $H$  están en  $G_1$ . Como en  $G_1$  el único arco de salida del Depósito es el EHU, se deduce que luego del depósito irá al EHU y obtendremos el circuito que necesitamos.

### 3.5. De grafo dirigido a grafo no dirigido

En esta sección reduciremos el problema de encontrar un circuito hamiltoniano mínimo de un grafo dirigido, al problema de encontrar uno de un grafo no dirigido[23]. Para esto definimos  $G_3$  con un nodo ficticio y un nodo real por cada nodo de  $G_2$ :

$$\begin{aligned}
 G_3 &= (V_3, A_3) \\
 F &= \{f_1, \dots, f_n\} (f_i \text{ es el nodo ficticio de } v_i) \\
 V_3 &= V \cup F \\
 A_3 &= V_3 \times V_3 \\
 w_3 : A_3 &\rightarrow \mathbb{R} \cup \{+\infty\} \\
 w_3(x, y) &= \begin{cases} +\infty & \text{if } x \in V \wedge y \in V, \\ +\infty & \text{if } x \in F \wedge y \in F, \\ -M & \text{if } \exists i/x = v_i \wedge y = f_i, \\ w_2(v_i, v_j) & \exists i/x = v_i \wedge y = f_j \wedge i \neq j \end{cases} \\
 M &= \text{un valor suficientemente grande}
 \end{aligned}$$

En la figura 3.5 vemos un ejemplo donde se define un grafo no dirigido  $G_3$  a partir de un grafo dirigido  $G_2$ . En  $G_3$ , se ven 3 nodos reales y 3 nodos ficticios. Las aristas entre nodos reales tienen valor  $+\infty$ , lo que implica que los caminos mínimos no utilizarán esas aristas. Lo mismo para las aristas entre nodos ficticios. Un camino mínimo en este grafo siempre alternará nodos ficticios con reales. Además, como las aristas entre un real y su correspondiente ficticio tienen el valor -10000, los caminos mínimos siempre utilizarán esas aristas. Como el camino mínimo no contendrá los arcos con peso infinito y sí contendrá los que tienen peso negativo, a continuación de un nodo real, siempre aparecerá su nodo ficticio en un camino mínimo.

El peso de las aristas entre un nodo real  $v_i$  y uno ficticio  $f_j$  con  $i \neq j$  es el peso del arco que va de  $v_i$  a  $v_j$  en  $G_2$ . Esto implica que el conjunto de aristas del nodo real  $v_i$  en  $G_3$  representa los arcos de salida de  $v_i$  en  $G_2$ . Recíprocamente el conjunto de aristas del nodo ficticio  $f_j$  en  $G_3$  representa los arcos de entrada de  $v_j$  en  $G_2$ . Entonces, un camino  $(f_{i_1}, v_{i_1}, f_{i_2}, v_{i_2}, \dots, f_{i_k}, v_{i_k})$  en  $G_3$  se interpreta como un camino  $(v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_k})$  en  $G_2$ . Se puede ver un ejemplo en figura 3.6.

Entonces, pasamos de un grafo dirigido  $G_1$  al que le queremos calcular un camino hamiltoniano mínimo, a  $G_2$  un grafo dirigido completo tal que un circuito hamiltoniano mínimo nos permite calcular el camino hamiltoniano mínimo de  $G_1$ . Luego, pasamos a  $G_3$ , un grafo no dirigido completo. Si calculamos el circuito hamiltoniano mínimo de  $G_3$  podemos obtener fácilmente el circuito hamiltoniano mínimo de  $G_2$ . De esta forma reducimos nuestro problema al Problema del Viajante de Comercio en un completo no dirigido y podemos utilizar Concorde para obtener el resultado eficientemente.

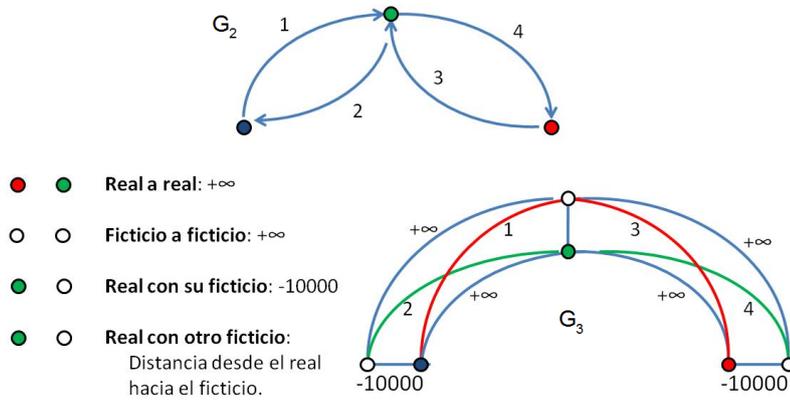
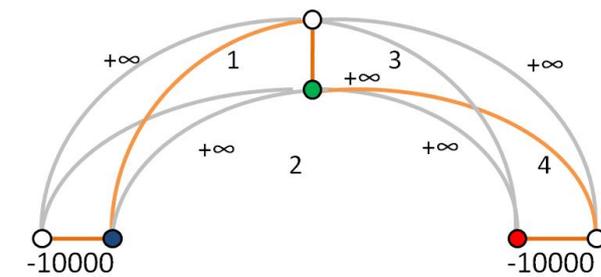


Figura 3.5: Modelo de grafo dirigido con un grafo no dirigido.



**Longitud del camino: -29995**  
**Longitud del camino sin arcos ficticios: 5**

Figura 3.6: Camino en un grafo no dirigido.

En este capítulo analizaremos los algoritmos de *Dijkstra*[8] y *A Estrella* ( $A^*$ [15]) para calcular recorridos mínimos entre distintas posiciones del mapa. Como vimos en el capítulo 3, necesitamos calcular un recorrido mínimo en vehículo del EHU a cada contenedor, uno entre cada par de contenedores, uno desde cada contenedor al depósito y uno desde el depósito hasta el EHU.

Como nuestro grafo cumple la propiedad que la distancia entre cada par de nodos es mayor o igual que la distancia euclídea entre ambos, veremos la conveniencia de utilizar el algoritmo  $A^*$  en lugar de Dijkstra.

Por otro lado, un cartero que camina por la ciudad puede ir por una cuadra hasta una casa, luego dar la media vuelta y volver por donde vino. Sin embargo, un vehículo no tiene permitido dar una vuelta en u. Si está en el medio de la cuadra, no debemos permitirle que gire y vuelva por donde vino. Describiremos cómo se comporta nuestro modelo para evitar una vuelta en u en un recorrido y agregaremos un criterio para ciertos casos especiales de avenidas doble-mano.

Además, se presentará un algoritmo goloso para posicionar los contenedores en los mapas y de esta forma corregir fallas en la información que recibimos sobre la dirección donde se encuentra cada contenedor actualmente.

#### 4.1. Algoritmos de Dijkstra y $A^*$

Una vez definido el grafo asociado al mapa de la ciudad aplicamos el algoritmo de Dijkstra[8] para obtener el camino mínimo a pie o en vehículo. El problema que surge al aplicar este algoritmo es que, al ejecutarlo, el conjunto de nodos pendientes de

analizar se expande en una forma similar a un rombo con el punto de origen como centro. Esto sucede porque el algoritmo de Dijkstra siempre elige el nodo más cercano al origen. Por cada nodo no analizado, mantiene la distancia del recorrido al mismo. Luego elige, entre los no analizados, el que tiene esta distancia menor.

Este comportamiento hace que sea menos eficiente, cuanto mayor sea la distancia entre los nodos a analizar. Por ejemplo, para calcular un recorrido mínimo entre dos puntos que dé como resultado 10 Km, calculará los caminos mínimos a todos los puntos que estén a menos de 10 Km del origen. En el grafo de la ciudad, este cálculo demora más de una hora realizado con una implementación en SmallTalk[14] en una computadora Intel Dual Core de 1.60 GHz.

La solución a este problema consiste en utilizar una variación del algoritmo de Dijkstra llamada A Estrella (A\*)[15]. Este algoritmo cambia la forma de elegir el siguiente nodo a analizar. En lugar de tener en cuenta sólo la distancia al origen, también tiene en cuenta la distancia al destino. Para que funcione correctamente, utiliza la propiedad de que la distancia del recorrido es siempre mayor o igual que la distancia euclidiana entre ambos puntos. Luego, en un punto intermedio del recorrido, al cual ya le calculó el recorrido mínimo, se deduce que la distancia del recorrido mínimo del origen al destino es mayor o igual que la suma de la distancia del recorrido del origen al intermedio, más la distancia euclidiana.

Consideramos para calcular el recorrido mínimo de  $A_0$  a  $A_n$ ,  $A_k$  un nodo intermedio que analiza el algoritmo A\*.

$$A_0 \longrightarrow A_1 \longrightarrow A_2 \longrightarrow \dots \longrightarrow A_k \longrightarrow \dots \longrightarrow A_n$$

$d_r(A_i, A_j)$  = es la distancia de un camino mínimo entre  $A_i$  y  $A_j$ .

$d_e(A_i, A_j)$  = es la distancia euclídea entre los puntos de los dos nodos.

Se cumple que  $d_e(A_k, A_n) \leq d_r(A_k, A_n)$

A su vez, si  $A_k$  es un nodo de un camino mínimo de  $A_0$  a  $A_n$ :

$$\Rightarrow d_r(A_0, A_n) = d_r(A_0, A_k) + d_r(A_k, A_n)$$

$$\Rightarrow d_r(A_0, A_n) \geq d_r(A_0, A_k) + d_e(A_k, A_n)$$

Entonces, en cada nodo intermedio analizado por A\* se mantiene la distancia del recorrido mínimo desde el origen  $d_r(A_0, A_k)$ , la distancia euclídea al destino  $d_e(A_k, A_n)$  y la suma de estos dos valores  $dd_k$ . Este valor resulta ser una cota inferior de la distancia del origen al destino en un camino mínimo, cuando el nodo elegido es un nodo intermedio del camino.

Para elegir el próximo nodo a analizar, entre los no analizados, se elige el que tiene menor valor de  $dd_k$ . De esta forma, el algoritmo A\* considera la distancia euclídea al destino al momento de elegir el siguiente nodo y por lo tanto los nodos no analizados son de caminos que se acercan al destino. Así, la cantidad de nodos intermedios analizados se reduce drásticamente y el cálculo es mucho más eficiente que en el algoritmo de

Dijkstra original. Por ejemplo, en un mapa cuyos nodos son puntos en una grilla y cuyos arcos conectan puntos consecutivos en forma horizontal o vertical (figura 4.1), la cantidad de recorridos analizados es aproximadamente  $1/8$  de la cantidad de recorridos analizados por el algoritmo de Dijkstra.

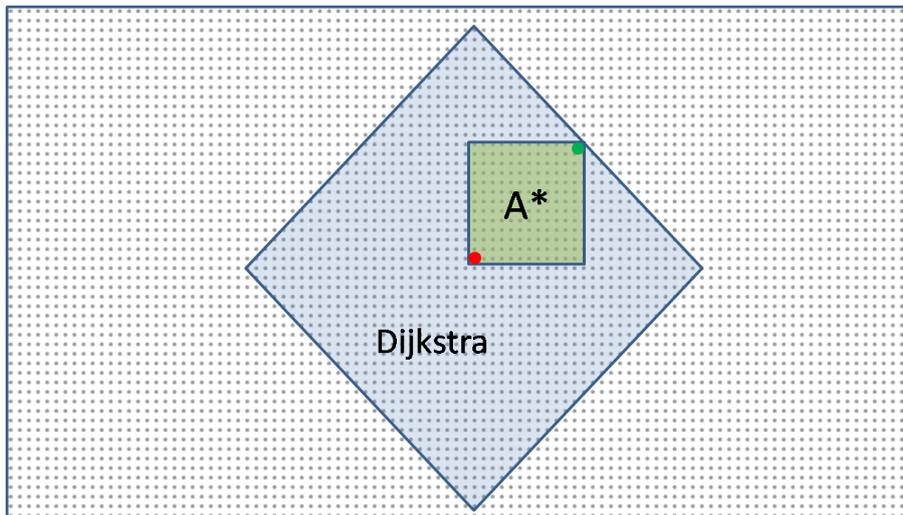


Figura 4.1: Nodos analizados por A\* y por Dijkstra.

## 4.2. Vueltas en u

El modelo que propusimos para el mapa contempla las vueltas en u y las resuelve satisfactoriamente. Como los puntos de la mano de una cuadra no están conectados con los puntos de la contramano, no hay un camino directo entre la mano y la contramano. De esta forma, evitamos el giro en u en las cuadras doble-mano.

Sin embargo, hay calles doble-mano que están representadas de otra forma en el mapa. Tomemos por ejemplo la cuadra de Av. Riestra al 5500. En lugar de haber una única cuadra, hay una cuadra con la mano impar con altura inicial 5501 y otra con la mano par con altura inicial 5502. Además, la calle que se cruza con Riestra al 5600 es Oleden, también doble mano.

Como se ve en la figura 4.2, esta calle tiene un segmento que une ambas manos. El modelo que consideramos hasta el momento permitiría el camino marcado en la figura. Al momento de realizar la búsqueda de recorrido mínimo, ese tipo de camino puede descartarse. Llamemos A a la cuadra Riestra 5501 (mano), C a la cuadra Riestra 5502 (contramano) y B al segmento de Oleden que une A y C. La cuadra B es la siguiente a la cuadra A en un camino posible que analiza el algoritmo. Cuando éste verifica si la cuadra C es adyacente a la cuadra B, detecta que la cuadra C y la cuadra B no son de la misma calle. En cambio, las cuadras A y C pertenecen a la misma calle. A partir de esta característica sumado a que el ángulo entre el vector de la cuadra A y el vector

de la cuadra C es mayor que  $135^\circ$ , se deduce que este camino hace una vuelta en u. Como este camino no es válido, lo desechamos y no lo tenemos en cuenta como camino intermedio para llegar al destino.

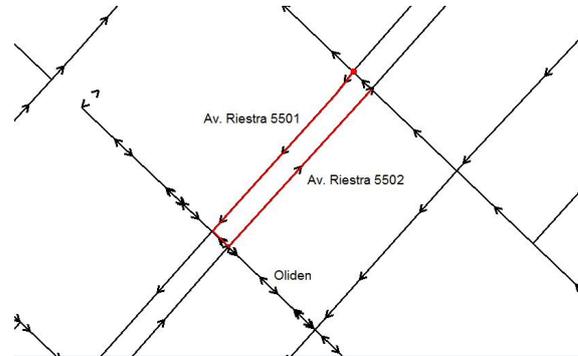


Figura 4.2: Avenida Riestra y Oliden

La condición que el ángulo entre los vectores de A y de C sea mayor a  $135^\circ$  para considerarlo una vuelta en u significa que la cuadra C está a más de  $45^\circ$  de la perpendicular de la dirección de A. Como también se pide la condición que A y C pertenezcan a la misma calle, es poco probable que la misma calle gire en un ángulo mayor a  $90^\circ$ . Por lo tanto, un valor en el intervalo  $[90^\circ, 135^\circ]$  es igualmente válido. Si no se pidiera esta condición, el algoritmo consideraría vuelta en u los caminos que tienen un codo. En la realidad, el codo se da cuando un vehículo va por una calle (cuadra A), gira y avanza pocos metros sobre una calle transversal (cuadra B), realiza el giro contrario y continúa por la misma calle que iba inicialmente (cuadra C). Este camino es válido para un vehículo. Como el ángulo entre los vectores de las cuadras A y C es cercano a 0, no se cumple la condición anterior, por lo tanto el camino está permitido.

### 4.3. Cambios en las manos de los contenedores

Aunque seguimos criterios que determinan las posiciones de los contenedores unívocamente (sección 2.4), hay contenedores que se recolectan en forma consecutiva que están uno en la mano y el otro en la contramano.

Por ejemplo, uno de los itinerarios que proveyó el EHU indica que el camión recolecta un contenedor que está en Av. Lisandro de la Torre 2760 (contenedor 22), luego uno que está en Av. Lisandro de la Torre 2730 (contenedor 23) y luego, uno en la altura 2629 (contenedor 24). Como es una avenida doble-mano, se utiliza la paridad de la altura para definir en qué mano se encuentra el contenedor. Las primeras dos alturas son pares por lo que los contenedores se ubican sobre el sentido decreciente de la cuadra. Como la tercera altura es impar, el contenedor se ubica en la otra mano. Entonces, del contenedor 22 al contenedor 23 el camino es directo; en cambio, el camión tiene que dar una vuelta a la manzana para ir del contenedor 23 al contenedor 24 porque este último está en el sentido contrario. Como los contenedores están presentados en la lista

en sentido decreciente es totalmente razonable cambiar el tercer contenedor a la mano decreciente.

Como esto sucede a lo largo de distintas calles, seguir tal recorrido implicaría dar vueltas innecesarias. Deducimos que existe un error en las direcciones y que en la realidad los contenedores se recolectan en el sentido de la calle.

Para corregir esta situación, se programó un *algoritmo goloso*[1] que cambia de mano los contenedores de modo que se reduzca la distancia recorrida. El algoritmo recorre la lista de contenedores de un itinerario de la siguiente forma:

1. Sea  $i = 1$ .
2. Analiza los tres contenedores consecutivos  $A$  (contenedor  $i - 1$  esimo),  $B$  (contenedor  $i + 1$ ) y  $C$  (contenedor  $i + 2$ ).
3. Calcula la suma de la distancia de  $A$  a  $B$  más la distancia de  $B$  a  $C$ .
4. Prueba las siguientes tres posibilidades: sólo cambiar de mano  $B$ , sólo cambiar de mano  $C$  y cambiar de mano  $B$  y  $C$ .
  - a) Calcula la suma de las dos distancias con los contenedores cambiados de mano.
  - b) Si la distancia es menor que la obtenida anteriormente, mantiene esta combinación de posiciones.
5. Avanza una posición en la lista de contenedores ( $i \leftarrow i + 1$ ) y repite el procedimiento desde el paso 2 hasta llegar al final de la lista.

De esta forma, corregimos los contenedores consecutivos en calles doble-mano que están alternados en la mano y en la contramano.



---

### Descripción de la implementación

---

En este capítulo veremos la implementación de un programa en el lenguaje de programación *SmallTalk*[14] que realiza tareas de procesamiento del mapa, cálculo de itinerarios óptimos y visualización de los mismos. *SmallTalk* provee un entorno de desarrollo orientado a objetos y es uno de los lenguajes que dio origen al paradigma de *Programación Orientada a Objetos*[14]. En este proyecto utilizamos la implementación *VisualWorks*[18] *NonCommercial*, 7.4.1 disponible sobre los sistemas operativos *Microsoft Windows XP/Vista* y *Linux*.

La metodología utilizada para desarrollar el programa es *Desarrollo Orientado por Test*[21][6] (*Test Driven Development – TDD*). La misma consiste en escribir requerimientos del programa en el mismo lenguaje de programación en forma de tests. Un test puede ser satisfactorio o fallido si el programa implementa el requerimiento correctamente o no. Una vez escritos, los tests pueden ser ejecutados en forma simple. Al realizar cambios al programa, se ejecutan todos los tests y de esta forma se revisa continuamente la consistencia de todas las funcionalidades ya programadas.

El programa consta de un conjunto de objetos, de clases y de métodos que modelan el mapa de la ciudad, el grafo de los contenedores, los algoritmos necesarios para calcular los caminos mínimos y los itinerarios mínimos. También incluye interfaces con una base de datos del mapa en *PostgreSQL*[10], con el programa de cálculo de Circuito Hamiltoniano Mínimo Concorde[2] y con el paquete de visualización gráfica *Takenoko*[5].

El sistema realiza las siguientes tareas para procesar la información, calcular los itinerarios mínimos y visualizarlos. Las mismas serán descriptas en las secciones que continúan.

1. Lee la base de datos del mapa de la ciudad.
2. Almacena las direcciones de los contenedores de cada itinerario.
3. Para cada una de las 4 sub-zonas realiza los siguientes pasos:
  - a) Calcula el recorrido mínimo en vehículo entre cada par de elementos: ente, contenedores y depósito.
  - b) Calcula la distancia y el trabajo del itinerario actual.
  - c) Construye el grafo  $G_1$  con las distancias entre los elementos.
  - d) Construye el grafo  $G_2$  a partir de  $G_1$  como vimos en la sección 3.4 “De camino hamiltoniano a circuito hamiltoniano”.
  - e) Construye el grafo completo  $G_3$  a partir de  $G_2$  como vimos en la 3.5 “De grafo dirigido a grafo no dirigido”.
  - f) Ejecuta Concorde con la matriz de distancias de  $G_3$ .
  - g) Interpreta el resultado para construir un itinerario de distancia mínima.
4. Además, para cada itinerario se permite:
  - a) Calcular su distancia.
  - b) Calcular su trabajo.
  - c) Generar una lista con el orden de los contenedores.
  - d) Generar una lista de las cuadras por las que pasa el camión.
  - e) Visualizar una imagen del mapa con el recorrido marcado.
  - f) Visualizar una animación del recorrido del camión sobre el mapa.

### 5.1. Lectura de archivos Shapefile y PostGIS

Los archivos del mapa de la ciudad provistos por la Unidad de Información Geográfica (USIG) están en formato Shapefile[11]. El programa *Quantum GIS*[32] permite convertir la información geográfica de formato Shapefile a una base de datos PostgreSQL. De esta forma se construye una base de datos relacional[29] con la información de cada cuadra del mapa de la ciudad y con la posición de cada semáforo.

La extensión *PostGIS*[28] para PostgreSQL permite realizar consultas por propiedades geométricas. De esta forma se pueden obtener, por ejemplo, las cuadras que se intersecan con una cuadra determinada o los semáforos cercanos a una esquina. Además, se tiene la posibilidad de realizar consultas *SQL*[27] clásicas como obtener todas las cuadras del mapa u obtener todas las cuadras de una calle determinada.

Todas las cuadras del mapa se almacenan en un objeto de la clase *AdministradorMapa*. En el mismo se realizan también procesos de corrección de la información, ya sea por diferencias del mapa con la realidad o por requerimientos específicos de este programa como fueron descriptos en la sección 2.5.

## 5.2. Construcción del mapa

Una característica del lenguaje SmallTalk es que el programa completo se almacena en un archivo *imagen*. En el paradigma de Programación Orientada a Objetos, un programa es un conjunto de objetos que interactúan entre sí mediante el envío de mensajes. En la imagen se almacenan todos los objetos y los mismos “viven” hasta el momento que no sean más referenciados. Entonces, creamos el mapa de la ciudad con todas sus estructuras auxiliares una única vez y queda almacenado en la imagen.

El Administrador del Mapa construye una instancia de la clase *Mapa* con todas las cuadras de la ciudad. Este nuevo objeto permite responder mensajes tales como *¿cuál es la cuadra de una dirección determinada?*, *¿cuál es el punto de una dirección determinada?*, *¿cuáles son las cuadras de una calle determinada?*, *¿cuáles son las cuadras con las que se interseca una cuadra?*, si *¿hay o no un semáforo en una intersección?*, si *¿se puede girar de una cuadra a otra?* o *¿cuál es el camino mínimo entre dos puntos del mapa?*.

Para responder los mensajes en forma eficiente, los métodos del objeto mapa utilizan estructuras de datos auxiliares tales como un *diccionario*[1] que tiene puntos como claves y un conjunto de cuadras que lo contienen. Entonces, dado un punto en una intersección se pueden obtener todas las cuadras que intervienen en la misma. También, un diccionario que tiene como claves los nombres de las calles y como valor las cuadras de la misma, lo que nos permite obtener todas las cuadras de una calle.

Para responder el mensaje de camino mínimo, lo delega a otro objeto que es una implementación de un algoritmo de camino mínimo. Este objeto es intercambiable, se puede utilizar una implementación del algoritmo de Dijkstra, una implementación del algoritmo de A\* o cualquier otro algoritmo que se ocupe de calcular el camino mínimo en el mapa.

El objeto mapa también responde al mensaje *¿cuál es el mejor itinerario para pasar por un conjunto de puntos que están en el mapa partiendo de un punto de origen hacia un punto de destino?*. Este mensaje es delegado a un objeto optimizador que se ocupa de obtener un camino hamiltoniano mínimo.

## 5.3. Contenedores del Ente de Higiene Urbana

Las listas de direcciones de los contenedores que administra el EHU están definidas en una instancia de la clase *EnteDeHigieneUrbana*. Este objeto se ocupa de responder todos los mensajes específicos de este problema y para eso los delega a los otros objetos. Calcula los itinerarios actuales en base a las listas de los contenedores y de esta forma es posible calcular la distancia y el trabajo de los mismos.

Por ejemplo, permite obtener una instancia de la clase *Itinerario* para el Itinerario 1 con 47 contenedores. El itinerario contiene una lista con los distintos elementos por donde pasa el vehículo: (EHU, 1<sup>er</sup> contenedor, 2<sup>do</sup> contenedor, ... , 47<sup>mo</sup> contenedor,

Depósito, EHU). A este objeto le podemos enviar un mensaje *¿cuál es la distancia?* y nos responde la distancia que recorre el vehículo. También le podemos preguntar *¿cuál es el trabajo que le insume al vehículo recolectar y disponer los contenedores?* y nos responde el resultado en Joules (J) o *¿cuál es el listado de cuadras por donde pasa el vehículo?*. Para realizar estos cálculos, el itinerario delega los mensajes de camino mínimo a la instancia del mapa.

La instancia de EnteDeHigieneUrbana también responde al mensaje *¿cuál es el mejor itinerario de una sub-zona determinada?* mediante la delegación a la instancia del mapa. Por ejemplo, le preguntamos *¿cuál es el mejor itinerario de la sub-zona 1 (que contiene 47 contenedores)?* y nos responde con un itinerario ordenado de tal forma que la distancia sea mínima.

Otros mensajes que responde la instancia de EnteDeHigieneUrbana son los referidos a la visualización de los itinerarios actuales y de los mejores itinerarios de cada sub-zona. Estos mensajes son delegados a una instancia de la clase *Grafico*.

#### 5.4. Imágenes y animaciones del mapa con Takenoko

La instancia de la clase Grafico traduce los objetos del mapa en figuras geométricas y éstas son dibujadas en una ventana mediante el paquete Takenoko[5]. Este paquete provee un conjunto de clases que permiten describir objetos geométricos y dibujarlos en un gráfico tridimensional.

Entonces, se obtienen todas las cuadras de la instancia de Mapa y se agrega un segmento por cada segmento de cada cuadra. A su vez, por cada contenedor del mapa, se agrega un círculo y por cada semáforo, se agrega un rectángulo. Una vez agregados todos los objetos geométricos, se visualizan todos estos en una ventana. El visualizador permite acercarse en el gráfico, desplazarse y, como permite gráficos tridimensionales, también permite cambiar el ángulo de visión. De esta forma se permite visualizar el mapa completo en una ventana y también, regiones del mismo.

Cada objeto geométrico tiene una propiedad *color* que permite elegir el color de que se lo pinta. La instancia de Grafico también dibuja instancias de la clase Itinerario. Para eso dibuja los elementos del itinerario con distintos colores como se ve en la figura 5.1.

El EHU se dibuja como un círculo amarillo y el depósito, como un círculo rojo. Un tramo del itinerario es el camino que va de un elemento al siguiente. Por ejemplo, el primer tramo es el que va del EHU al contenedor 1 y el segundo tramo es el que va del contenedor 1 al contenedor 2. Se dibuja cada tramo con líneas de colores según la carga que lleva el camión al recorrerlo. Los tramos donde el camión va vacío se dibujan en verde. A medida de que el camión recolecta contenedores, el color pasa en degradé de verde a rojo. Cuando el camión carga el último contenedor, el tramo siguiente será rojo pleno y luego, al vaciar todo el contenido en el depósito, el tramo que va del depósito al EHU es nuevamente verde.

A su vez, los círculos que representan los contenedores también se pintan al principio en



Figura 5.1: Dibujo de un itinerario.

verde, luego gradualmente pasan a rojo y el último contenedor en rojo pleno. Esta forma de pintar los distintos elementos del itinerario permite visualizar todo el itinerario en una sola imagen y poder distinguir el orden de recolección.

Para una visualización mejorada del itinerario, la instancia de la clase Gráfico permite generar una animación del mismo. En este caso, se dibuja cada cuadra del itinerario en pasos sucesivos. El camión se ve como un círculo azul que indica dónde está ubicado en ese momento del itinerario. Luego de recorrer cada cuadra, se envía un mensaje a la ventana para que se actualice con los objetos ya dibujados. La visualización de estas imágenes en forma consecutiva da la sensación de que el camión se mueve por el mapa. Los contenedores inicialmente son círculos grises y luego, cuando el camión pasa por ellos, se van pintando de color de la misma forma que describimos antes. Además, se muestra la dirección en la que está el camión en cada momento, la distancia recorrida, el peso acumulado y el trabajo realizado.

La clase Gráfico también permite que se muestren u oculten los distintos objetos del mapa. Permite elegir un conjunto restringido de calles que queremos visualizar y permite mostrar u ocultar los contenedores y los semáforos.

## 5.5. Camino Hamiltoniano Mínimo con Concorde

Vimos que la instancia de *EnteDeHigieneUrbana* responde a los mensajes de tipo *¿cuál es el mejor itinerario de una sub-zona determinada?*. Para eso, se lo delega a la instancia de *Mapa* y ésta, a su vez, lo delega a un optimizador que calcula un camino hamiltoniano mínimo. Esto se realiza mediante la transformación que vimos en la sección 3.3.

Para implementar esta transformación, una instancia de *CaminoHamiltonianoMinimo* genera el grafo  $G_2$ , se lo envía a una instancia de *TSPAsimetrico*, éste genera el grafo  $G_3$  y se lo envía a una instancia de *TSPSimetrico*. Como la responsabilidad de *TSPSimetrico* es resolver el Problema del Viajante de Comercio simétrico, éste utiliza una instancia de la clase *Concorde* que es la interfaz que programamos para comunicarnos con Concorde. Esta clase tiene un método que genera un archivo de texto *matrizDeDistancias.dat* con la matriz de distancias del grafo completo no dirigido, invoca el archivo ejecutable de Concorde, éste encuentra un circuito hamiltoniano mínimo y escribe el orden de los vértices en un archivo de texto *matrizDeDistancias.sol*. Luego, en el sentido inverso de la invocación, se interpretan las respuestas y se transforman para responder al mensaje solicitado.

La ejecución de Concorde se realiza sobre un programa llamado *Cygwin*[24][30] que permite ejecutar y construir programas de Linux en un entorno Windows. Para construirlo, se descarga el código fuente de Concorde del sitio web<sup>1</sup> y también el de un programa que resuelve problemas de programación lineal llamado *QSOpt*<sup>2</sup>. Se compila Concorde configurado para que utilice *QSOpt* y de esta forma, conseguimos el ejecutable que utiliza nuestro programa para resolver el Circuito Hamiltoniano Mínimo

---

<sup>1</sup><http://www.tsp.gatech.edu/concorde/downloads/downloads.htm>

<sup>2</sup><http://www2.isye.gatech.edu/~wcook/qsopt/downloads/downloads.htm>

Simétrico (TSP).

## 5.6. Algoritmo de camino mínimo

Como vimos en la sección 4.1, el algoritmo A\* es mucho más eficiente que el de Dijkstra para nuestro problema. Para implementarlo creamos una clase llamada *AEstrellaEnVehiculo* que responde al mensaje *¿cuál es el recorrido mínimo de un objeto a otro objeto?*. Cada objeto del mapa responde a un mensaje *posicion* que es la posición en el mapa en que se encuentra. Como vimos en la sección 2.2, la posición se define por el punto, la cuadra y la mano en que se encuentra el vehículo.

El algoritmo comienza en la posición del objeto inicial y almacena los nodos pendientes en una *cola de prioridad*[1] que se basa en la suma de la distancia recorrida desde el origen más la distancia euclideana al destino. En cada paso, se obtiene la próxima posición a analizar  $p$  según esta prioridad y se le envía un mensaje *¿cuáles son tus posiciones adyacentes?*. Ésta, a su vez, delega el mensaje al mapa.

El mapa obtiene todas las cuadras que están en el punto de  $p$ . De estas cuadras se queda sólo con las que no provocarían un giro prohibido desde  $p$ . A cada cuadra, le pregunta *¿cuáles son tus posiciones adyacentes a  $p$ ?*. Cada cuadra  $c$  contiene un conjunto de segmentos conectados y un sentido de circulación. Según el sentido en que venía el vehículo en  $p$ , se devuelven las posiciones correspondientes como vimos en la sección 2.2. La unión de las posiciones adyacentes a  $p$  en cada cuadra adyacente a  $p$  son todas las posiciones que necesitamos. Se calcula la prioridad de estas posiciones y se las agrega a la cola de prioridad.

Este proceso se repite hasta llegar a la posición del objeto de destino. Luego de calcular las posiciones adyacentes a una posición, las almacenamos como un *atributo* de la posición. Este mecanismo se denomina *cache* y permite mejorar la eficiencia cuando se envían varios mensajes de camino mínimo en la misma zona del mapa. Sin embargo, luego de analizar una zona eliminamos estas posiciones para reducir la memoria ocupada y de esa forma reducir el tamaño de la imagen del programa.

Cuando calculamos el mejor itinerario de una sub-zona, calculamos los caminos mínimos entre todos los contenedores de la misma, entre el EHU y cada contenedor, entre cada contenedor y el depósito y entre el depósito y el EHU. Para la zona más grande con 161 contenedores, se calculan 26.083 recorridos mínimos. Este proceso insume 40 minutos la primera vez, un promedio de 0,092 s por recorrido. Sin embargo, la instancia de *AEstrellaEnVehiculo* almacena en cache cada recorrido calculado, entonces sólo hace falta calcular los mismos una vez. Luego se guardan en la imagen del programa y a partir de ese momento el cálculo total demora sólo 7 segundos. Si agregamos o movemos un contenedor del recorrido, sólo hará falta calcular 162 recorridos lo cual insumiría alrededor de 24 s según cuál sea la posición nueva del contenedor.



## CAPÍTULO 6

---

### Resultados y discusión

---

En este capítulo veremos los resultados que obtuvimos para las instancias de nuestro problema. El mecanismo utilizado fue desarrollar un programa en el lenguaje de programación SmallTalk tal como está descrito en el capítulo 5.

El EHU nos facilitó cuatro listas de direcciones de contenedores; cada una corresponde a una sub-zona y las direcciones están ordenadas de la forma en que se recorren actualmente. En la figura 6.1, pueden verse las cuatro sub-zonas de contenedores actuales.

Para acotar inferiormente la distancia de los itinerarios actuales, se calculó entre cada elemento y el siguiente el recorrido mínimo. Es decir, se calcula el recorrido mínimo en vehículo del EHU al 1<sup>er</sup> contenedor de la lista, el recorrido mínimo del 1<sup>er</sup> contenedor al 2<sup>do</sup>, así sucesivamente hasta el último contenedor, luego, del último contenedor al depósito y del depósito al EHU. La suma de las distancias de todos los tramos acota inferiormente la distancia de un vehículo que pasa por los elementos del itinerario.

A continuación veremos los resultados obtenidos para cada uno de los itinerarios de las cuatro sub-zonas que contienen 47, 133, 138 y 161 contenedores cada una. A su vez, comparamos las distancias del itinerario que utiliza actualmente el EHU con la distancia de un itinerario de distancia mínima. También comparamos el trabajo insumido en ambos itinerarios.

#### 6.1. Sub-zona 1: Mataderos

Esta sub-zona posee 47 contenedores y está ubicada por las avenidas Lisandro de La Torre y Monte en el barrio de Mataderos. Los contenedores están sobre 7 calles distintas: 18 sobre Av. Lisandro De La Torre, 11 sobre Monte, 8 sobre Justo Antonio Suárez, 5



Figura 6.1: Sub-zonas de contenedores actuales.

sobre Yrupé, 3 sobre Gregorio de Laferrere, uno sobre Tapalqué y otro sobre Timoteo Gordillo. Como las calles son pocas, el itinerario óptimo no es mucho más corto que el actual.

Se puede ver en la figura 6.2 los contenedores de esta sub-zona y en la figura 6.3, el itinerario que realiza el camión que tiene esta sub-zona asignada actualmente. Este itinerario fue construido a partir de la lista ordenada de contenedores que nos facilitó el EHU.

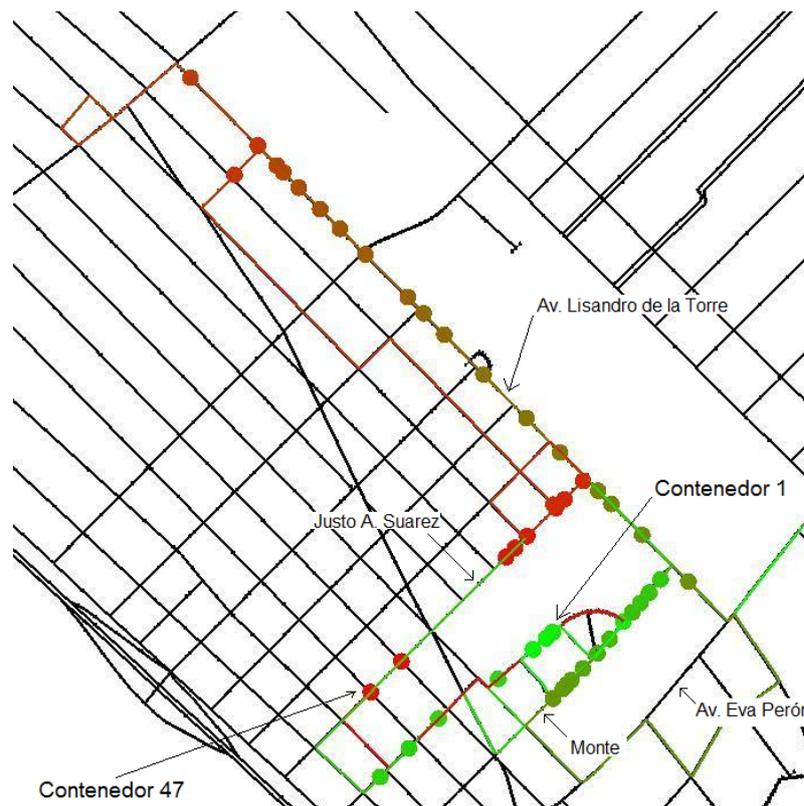


Figura 6.2: Contenedores de la sub-zona 1.

Calculamos cada tramo, entre un elemento y el siguiente, con el recorrido mínimo en vehículo. Entonces, marcamos cada tramo y cada contenedor con un color distinto. Estos colores van en degradé desde el verde hasta el rojo de acuerdo a cómo se va cargando el camión.

Esta visualización permite ver cuáles tramos son anteriores y cuáles son posteriores. Para un análisis detallado, ver las seis imágenes sucesivas a la izquierda de las figuras 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 y 6.8, donde cada figura corresponde a una parte del itinerario. También puede verse una animación, aunque con la ventaja de poder ver el movimiento del camión.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ingresar en el explorador web <http://picasaweb.google.com/federico.larumbe/Videos>, hacer click en *Itinerario 1* y luego en *View HQ video*.

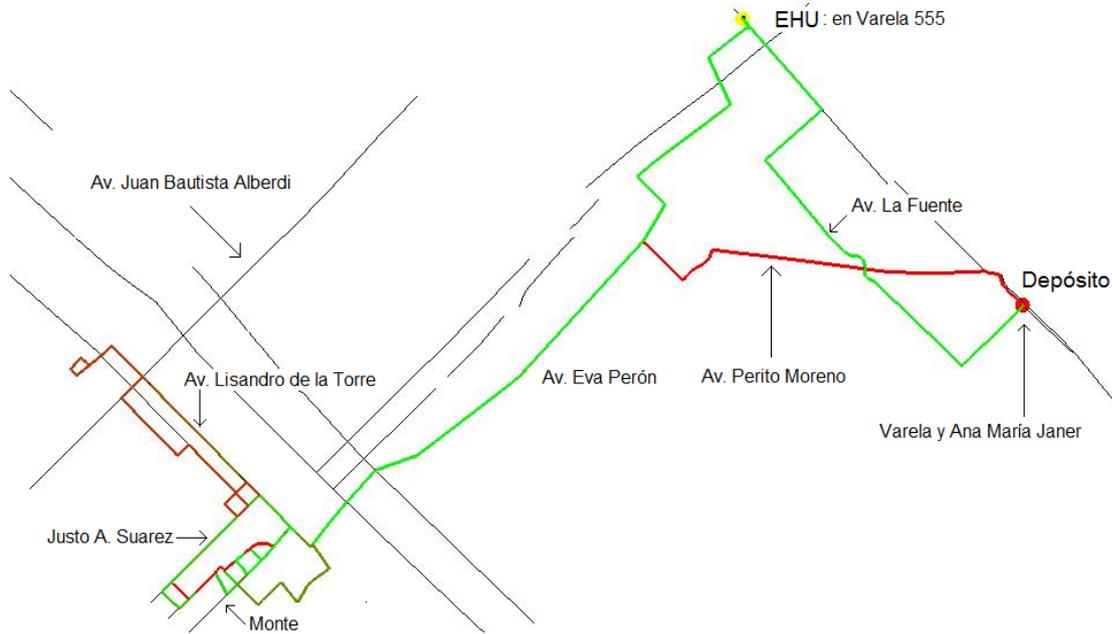


Figura 6.3: Itinerario 1 actual.

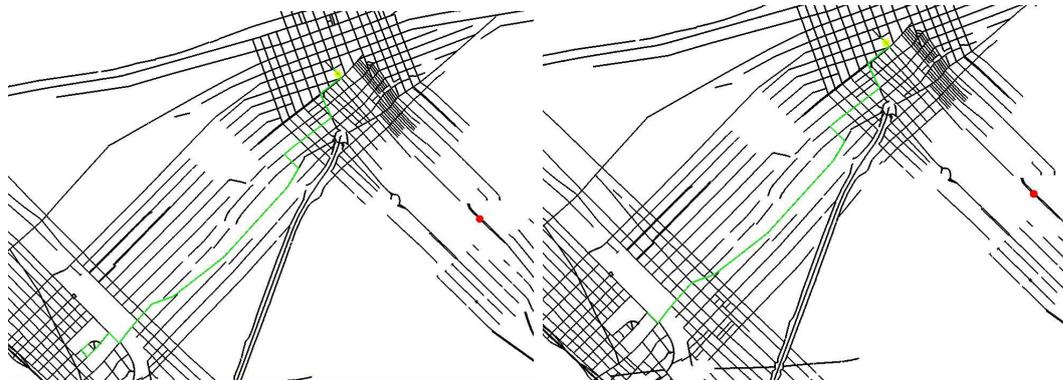


Figura 6.4: Tramo del EHU al primer contenedor.



Figura 6.5: Tramo del contenedor 1 al contenedor 20.



Figura 6.6: Tramo del contenedor 20 al contenedor 47.

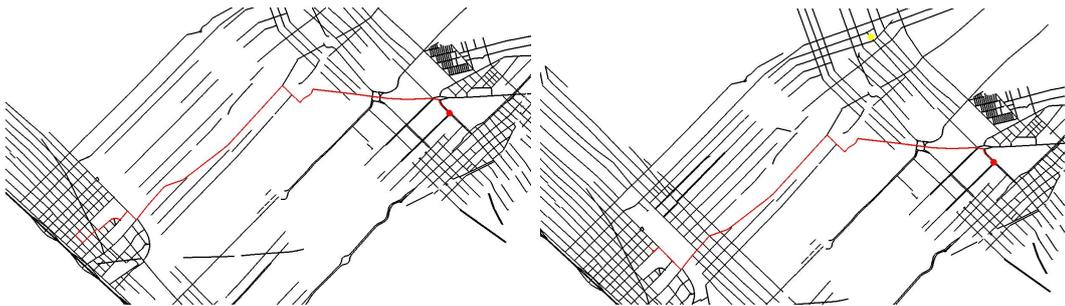


Figura 6.7: Tramo del contenedor 47 al depósito

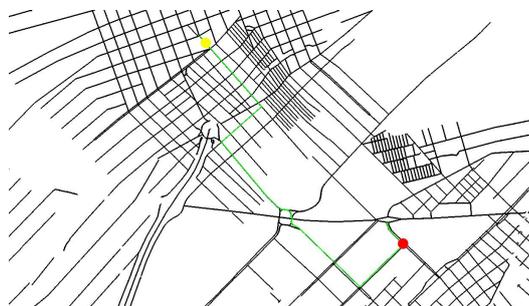


Figura 6.8: Tramo del depósito al EHU.

Las distancias de esos 5 tramos son: 5.933m, 4.563m, 5.423m, 7.259m y 3.832m respectivamente. El itinerario completo tiene una distancia de 27.010m y un trabajo de  $6,08 \cdot 10^8 J$ .

En la parte derecha de las mismas figuras puede verse un itinerario de distancia mínima, al cual denominaremos *Mejor Tour 1*, resultado del proceso anteriormente descrito. También puede verse una animación que muestra el itinerario<sup>2</sup>.

La distancias de los distintos tramos son: 5.289m, 3.223m, 5.280m, 6.501m y 3.832m respectivamente. El itinerario completo tiene una distancia de 24.126m lo que representa un 10,68 % de mejora con respecto al itinerario actual. El trabajo es de  $5,50 \cdot 10^8 J$  y representa una mejora de 9,52 %.

El cálculo del mejor itinerario de esta sub-zona demora 1min 15s la primera vez. Como mencionamos en sección 5.6, una vez calculados los caminos mínimos entre cada par de elementos se almacenan en la imagen del programa, entonces sólo hace falta calcularlos una vez. A partir de ese momento, el cálculo del mejor itinerario demora sólo 750 ms.

## 6.2. Sub-zona 2: Villa Lugano y Villa Riachuelo

Esta sub-zona posee 133 contenedores y se encuentra alrededor de la Autopista Dellepiane en los barrios de Villa Lugano y Villa Riachuelo. Notamos que posee muchos más contenedores que la anterior y los mismos están sobre 25 calles distintas. Hay contenedores al oeste de la Autopista Dellepiane, entre la Autopista Dellepiane y la vía del Ferrocarril Belgrano Sur y al este de la vía.

Se puede ver en la figura 6.10 los contenedores de esta sub-zona y en la figura 6.11, el itinerario que realiza el camión que tiene esta sub-zona asignada actualmente.

El área comprendida entre la vía, Larrazabal, Francisco de la Cruz y la Av. Lisandro de la Torre tiene gran cantidad de contenedores (59) y esto provoca que el camión pase varias veces por las mismas cuadras. El mejor itinerario mejora mucho este aspecto. Una característica que llama la atención es que el camión recolecta los contenedores de la calle Martiniano Chilavert y pasa la calle Saladillo. En lugar de recolectar los contenedores de la calle Saladillo, apartados de todos los otros contenedores, va hacia otros contenedores y luego vuelve. Esto provoca un incremento en la distancia del itinerario que podría evitarse.

Para un análisis detallado, ver las seis imágenes sucesivas a la izquierda de las figuras 6.12, 6.13, 6.14, 6.15, 6.16 y 6.17.

Las distancias de esos 6 tramos más la distancia del depósito al EHU son: 5.596m, 16.707m, 9.904m, 10.072m, 18.412m, 3.578m y 3.832m respectivamente. El itinerario completo tiene una distancia de 68.102m y un trabajo de  $4,77 \cdot 10^9 J$ .

---

<sup>2</sup>Ingresar en el explorador web <http://picasaweb.google.com/federico.larumbe/Videos>, hacer click en *Mejor tour 1* y luego en *View HQ video*.



Figura 6.9: Itinerario 1 actual y Mejor Tour 1 entre contenedores.

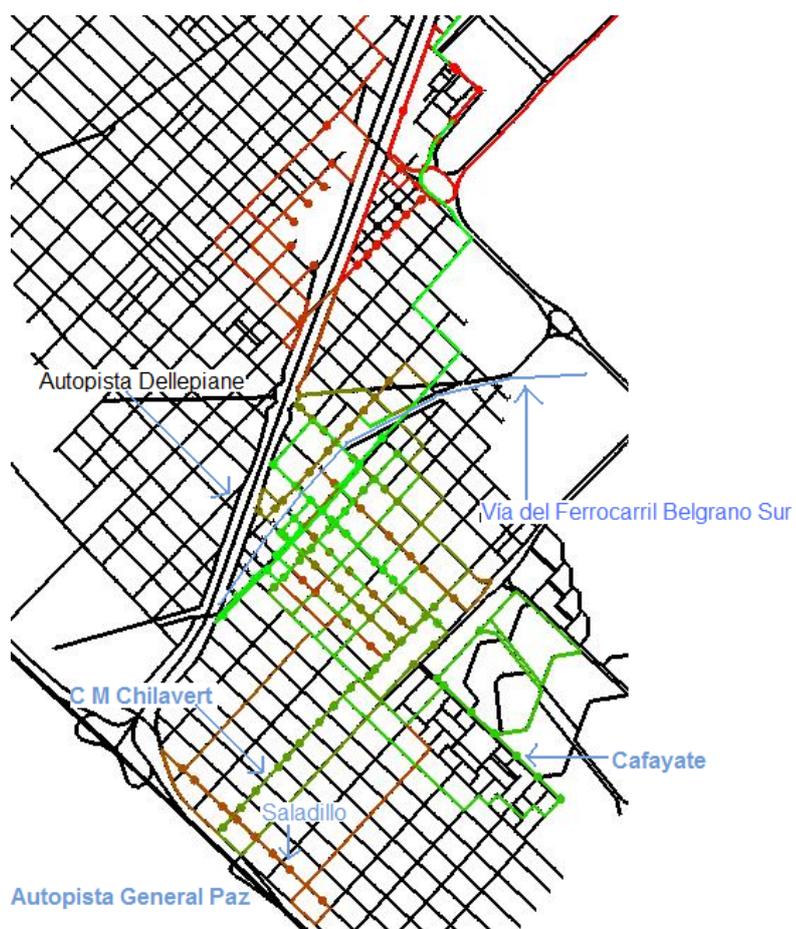


Figura 6.10: Contenedores de la sub-zona 2.



Figura 6.11: Itinerario 2 actual.

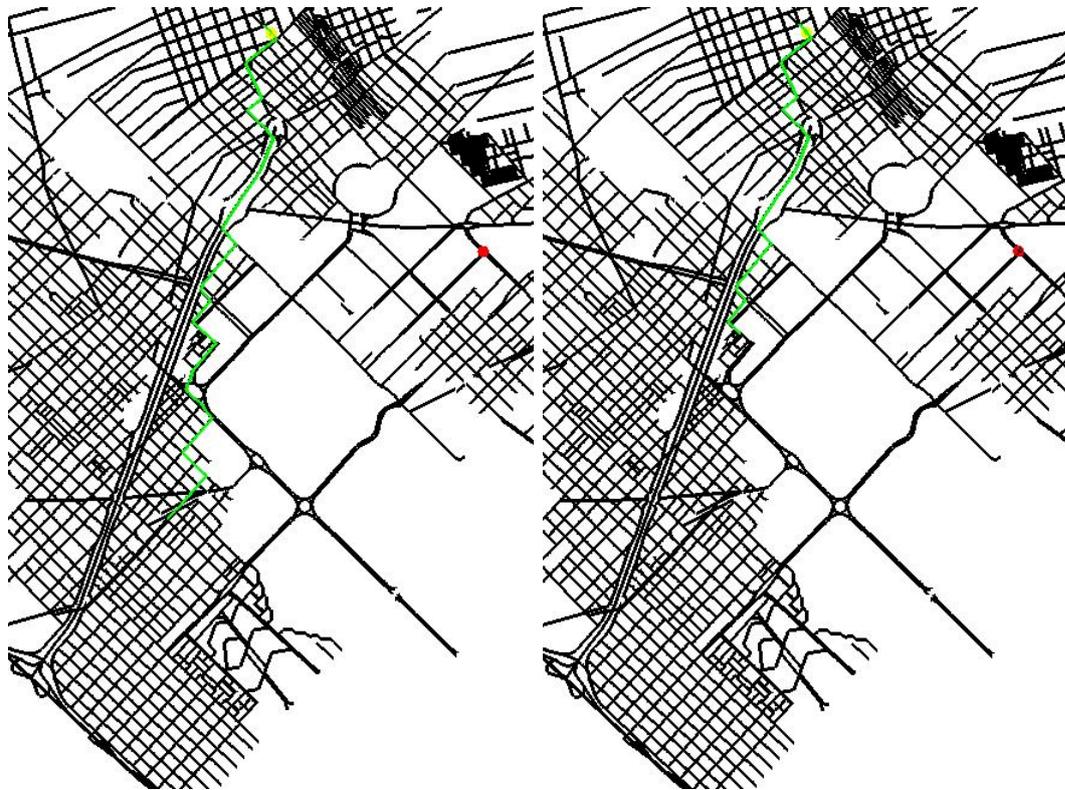


Figura 6.12: Tramo del EHU al primer contenedor.

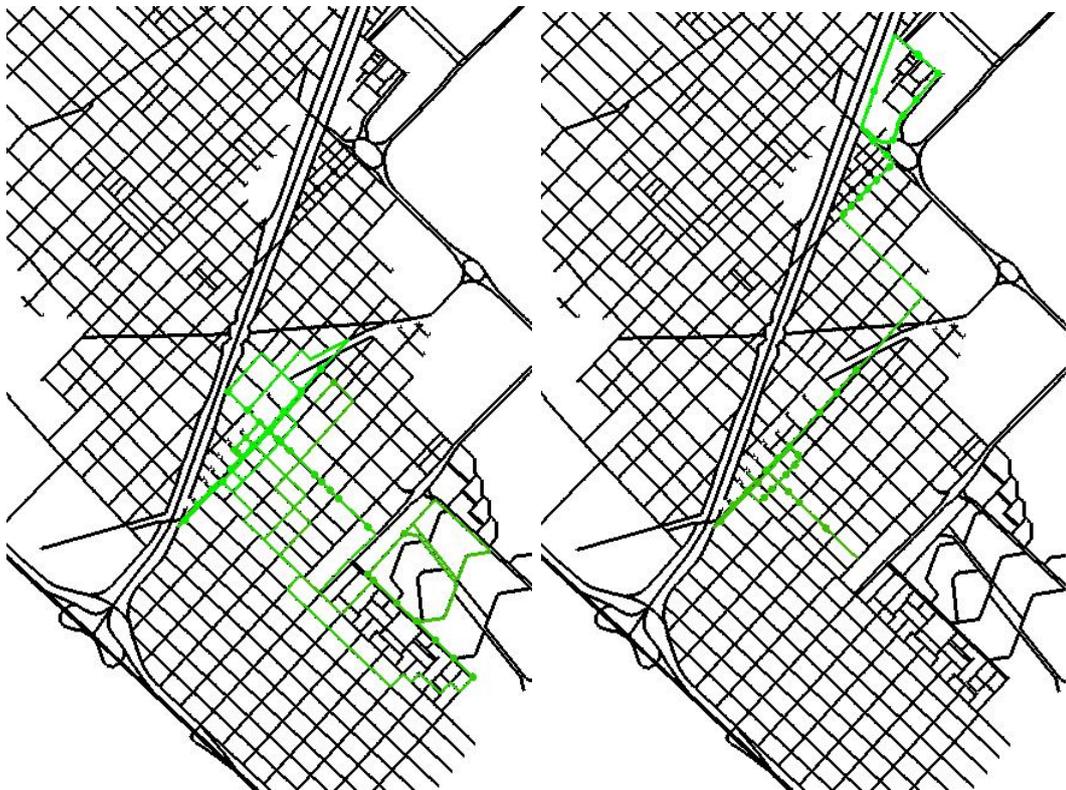


Figura 6.13: Tramo del contenedor 1 al contenedor 35.

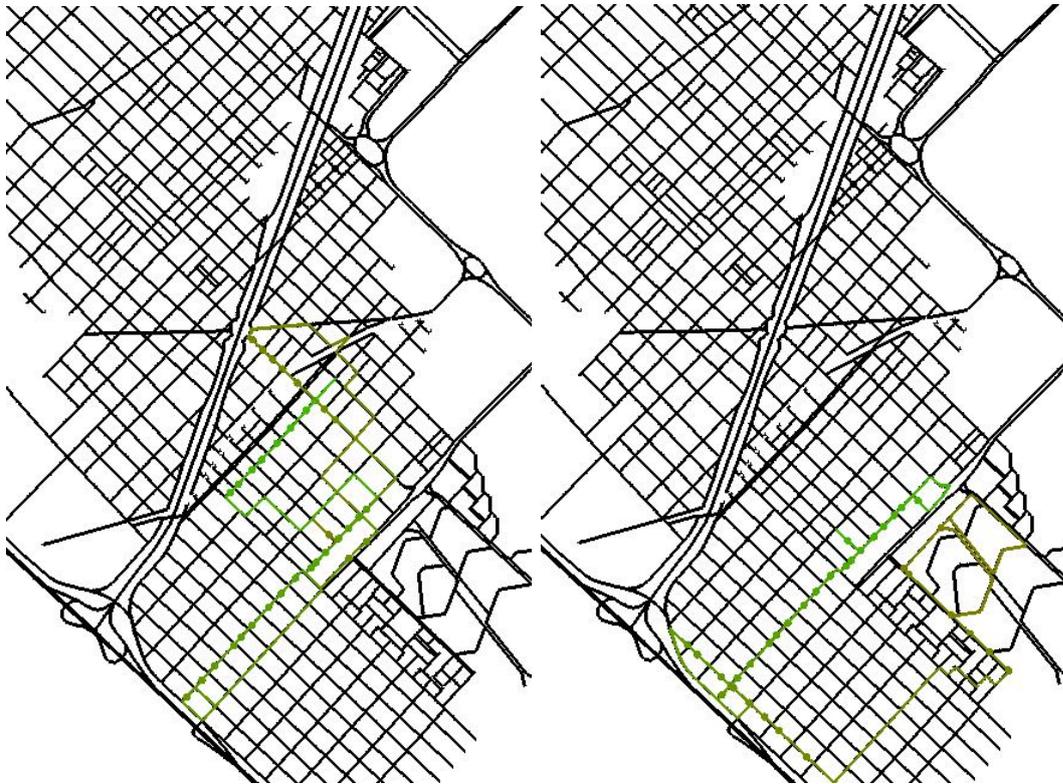


Figura 6.14: Tramo del contenedor 35 al contenedor 69.

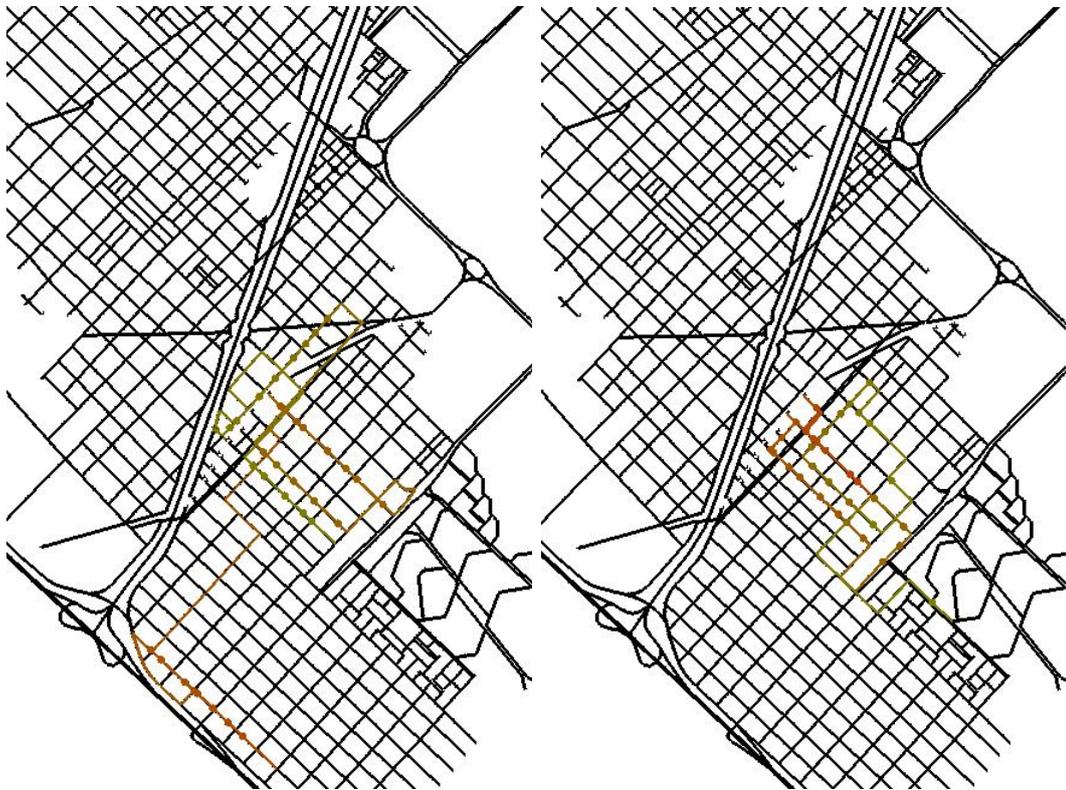


Figura 6.15: Tramo del contenedor 69 al contenedor 103

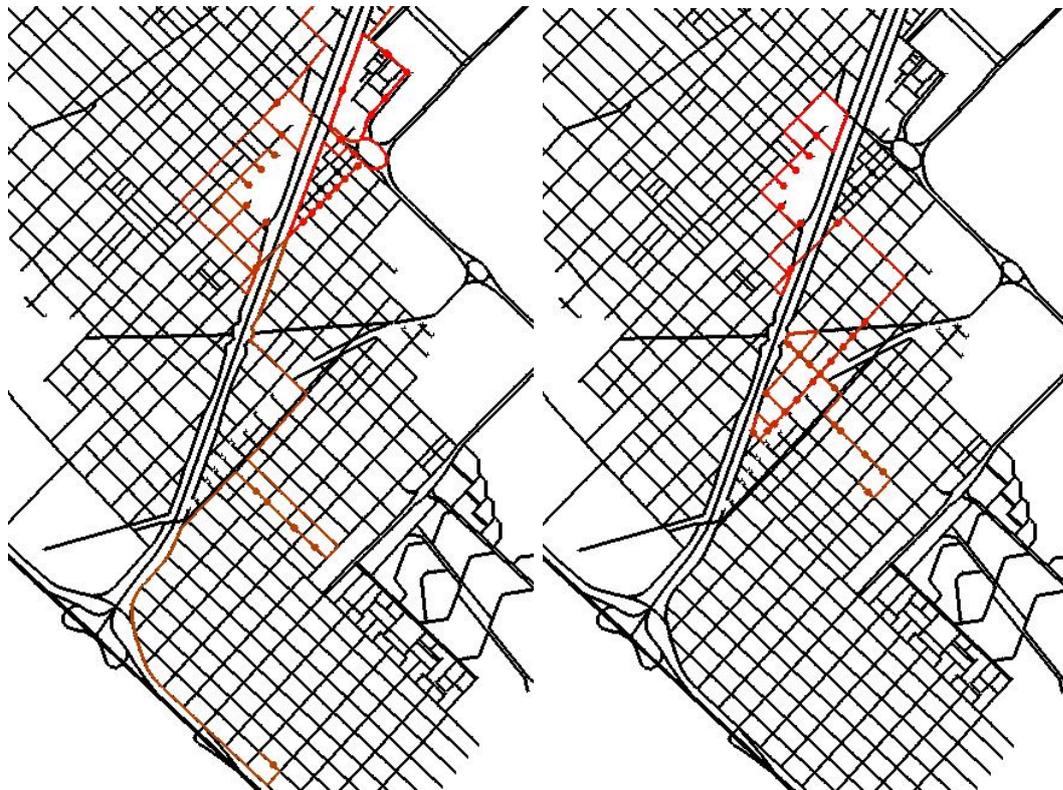


Figura 6.16: Tramo del contenedor 103 al contenedor 133

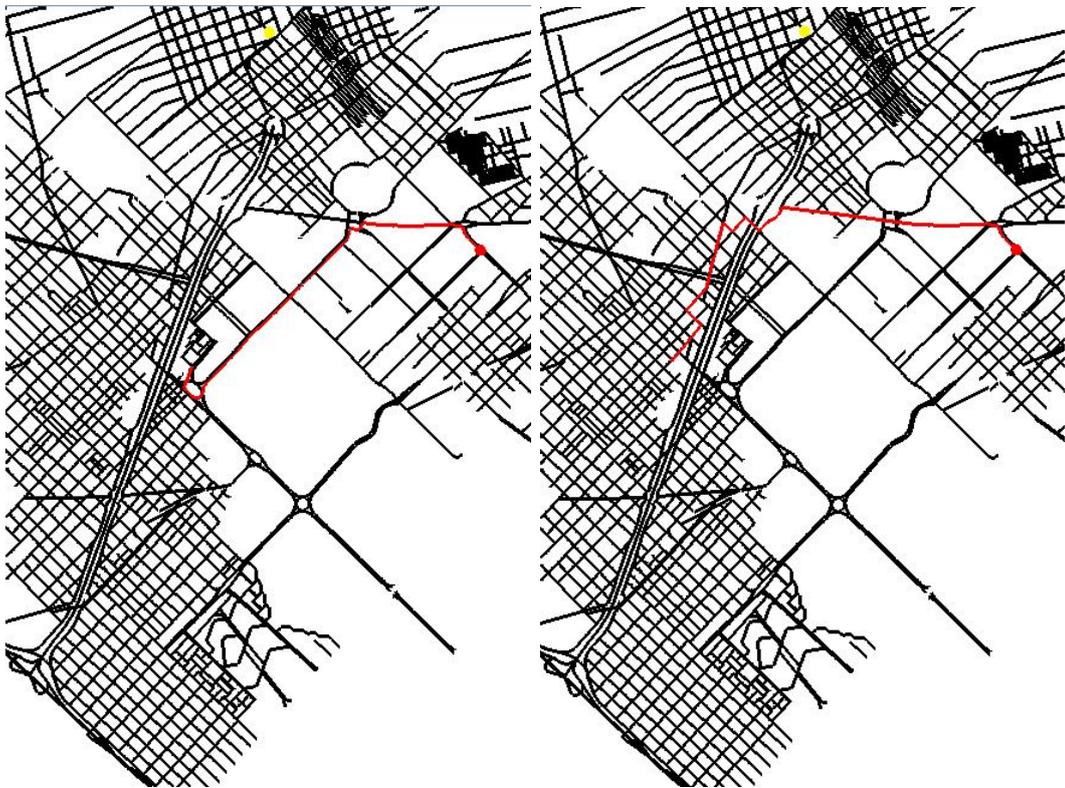


Figura 6.17: Tramo del contenedor 133 al depósito

En la parte derecha de las mismas figuras puede verse un itinerario de distancia mínima, al cual denominaremos *Mejor Tour 2*, resultado del proceso anteriormente descrito. También puede verse una animación, aunque con la ventaja de poder ver el movimiento del camión.<sup>3</sup>

Las distancias de los distintos tramos son: 3.398m, 6.846m, 9.250m, 6.601m, 7.436m, 4.388m y 3.832m respectivamente. El itinerario completo tiene una distancia de 41.752m lo que representa un 38,69% de mejora con respecto al itinerario actual. El trabajo es de  $2,95 \cdot 10^9 J$  y representa una mejora de 38,14%.

Con respecto a la cantidad de veces que el camión pasa por cada cuadra, en el itinerario real la relación es de 1,48 veces por cuadra. Las cuadras más visitadas –5 veces– son Coronel Martiniano Chilavert al 5701 y Saraza y Escalada. Hay 16 cuadras donde el vehículo pasa 4 veces, 34 cuadras donde pasa 3 veces, 103 cuadras donde pasa 2 veces y 314 donde pasa una única vez.

En el mejor itinerario, la relación es de 1,14 veces por cuadra. Las cuadras más visitadas –3 veces– son Coronel Martiniano Chilavert del 5601 al 5999 y Somellera 5801. Hay 44 cuadras donde el vehículo pasa 2 veces y 321 donde pasa una única vez. Notamos que se disminuye considerablemente la cantidad de cuadras donde el vehículo pasa más de una vez.

El cálculo del mejor itinerario de esta sub-zona demora 24min 6s la primera vez. Como mencionamos en sección 5.6, una vez calculados los caminos mínimos entre cada par de elementos se almacenan en la imagen del programa, entonces sólo hace falta calcularlos una vez. A partir de ese momento, el cálculo del mejor itinerario demora sólo 5,5 segundos.

### 6.3. Sub-zona 3: Liniers

Esta sub-zona posee 134 contenedores y está ubicada por la Avenida Rivadavia y la Autopista General Paz en el barrio de Liniers; posee un contenedor más que la sub-zona anterior, sin embargo la distancia recorrida es un 23% menor. Hay 29 contenedores sobre la calle Ramón Falcón, 19 contenedores sobre la calle Artigas, 14 sobre Bragado y el resto son 72 que están dentro del área que está alrededor de la Estación Liniers del Ferrocarril Sarmiento delimitada por las calles Jacques, Lisandro de la Torre, Ventura Bosch y Autopista General Paz.

Se puede ver en la figura 6.18 los contenedores de esta sub-zona y en la figura 6.19, el itinerario que realiza el camión que tiene esta sub-zona asignada actualmente.

Para un análisis detallado, ver las seis imágenes sucesivas a la izquierda de las figuras 6.20, 6.21, 6.22, 6.23, 6.24 y 6.25.

Las distancias de esos 6 tramos más la distancia del depósito al EHU son: 6.337m,

---

<sup>3</sup>Ingresar en el explorador web <http://picasaweb.google.com/federico.larumbe/Videos>, hacer click en *Mejor tour 2* y luego en *View HQ video*.



Figura 6.18: Contenedores de la sub-zona 3.



Figura 6.19: Itinerario 3 actual.

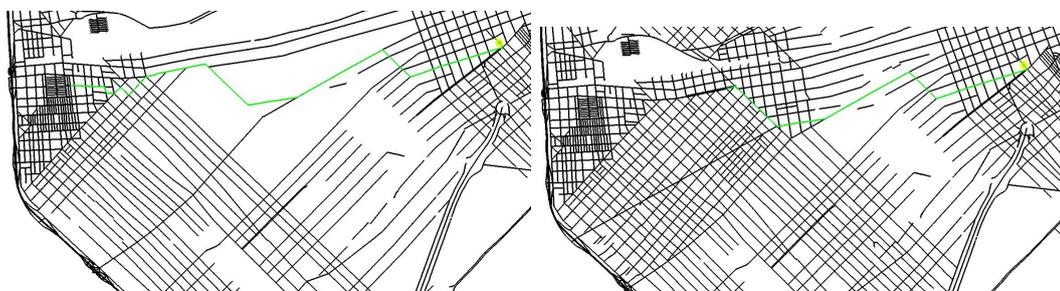


Figura 6.20: Tramo del EHU al primer contenedor.

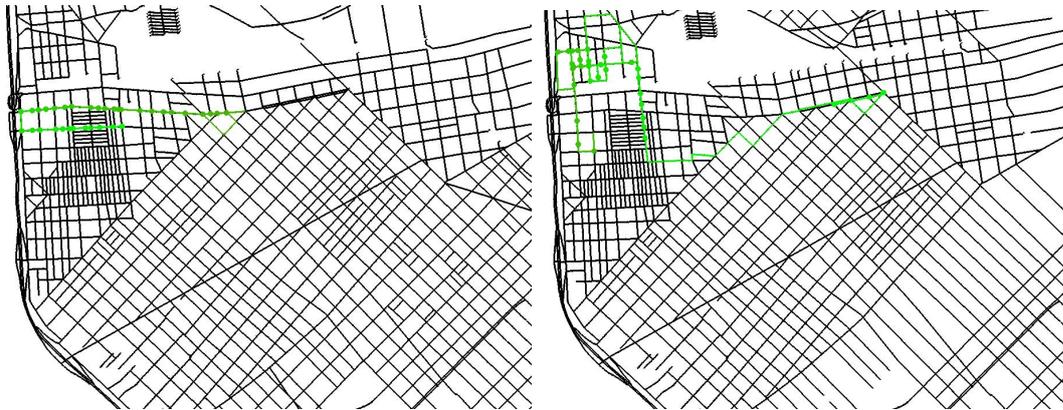


Figura 6.21: Tramo del contenedor 1 al contenedor 35.

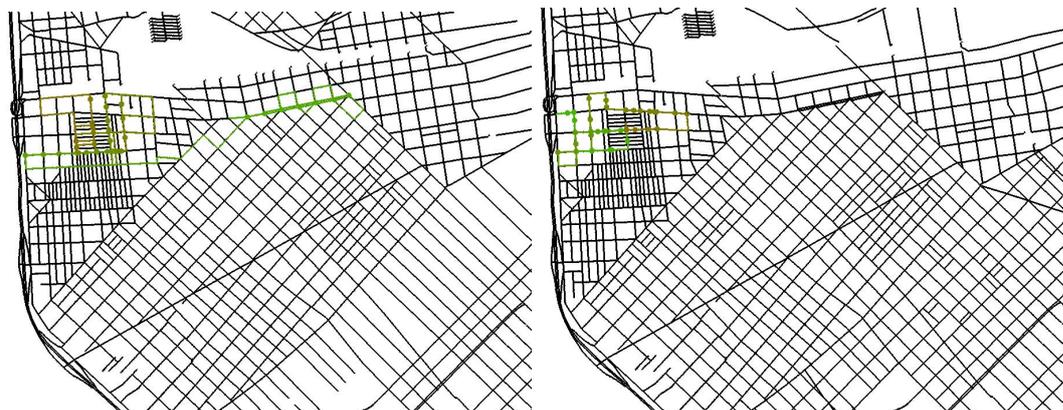


Figura 6.22: Tramo del contenedor 35 al contenedor 69.



Figura 6.23: Tramo del contenedor 69 al contenedor 103



Figura 6.24: Tramo del contenedor 103 al contenedor 134



Figura 6.25: Tramo del contenedor 134 al depósito

3.131m, 11.460m, 15.289m, 6.137m, 6.084m y 3.832m respectivamente. El itinerario completo tiene una distancia de 52.270m y un trabajo de  $4,28 \cdot 10^9 J$ .

En la parte derecha de las mismas figuras puede verse un itinerario de distancia mínima, al cual denominaremos *Mejor Tour 3*, resultado del proceso anteriormente descrito. También puede verse una animación, aunque con la ventaja de poder ver el movimiento del camión.<sup>4</sup>

Las distancias de los distintos tramos son: 4.544m, 9.078m, 3.069m, 6.640m, 6.995m, 5.604m y 3.832m respectivamente. El itinerario completo tiene una distancia de 39.762m lo que representa un 23,93 % de mejora con respecto al itinerario actual. El trabajo es de  $2,86 \cdot 10^9 J$  y representa una mejora de 33,23 %.

Con respecto a la cantidad de veces que el camión pasa por cada cuadra, en el itinerario real la relación es de 1,26 veces por cuadra. La cuadra más visitada –5 veces– es Bynnon al 6951. Hay 6 cuadras donde el vehículo pasa 4 veces, 13 cuadras donde pasa 3 veces, 68 cuadras donde pasa 2 veces y 358 donde pasa una única vez.

En el mejor itinerario, la relación es de 1,10 veces por cuadra. Las cuadras más visitadas –3 veces– son Bynnon al 6951 y Bueras 201. Hay 36 cuadras donde el vehículo pasa 2 veces y 347 donde pasa una única vez. Notamos que se disminuye considerablemente la cantidad de cuadras donde el vehículo pasa más de una vez.

El cálculo del mejor itinerario de esta sub-zona demora 26min 16s la primera vez. Como mencionamos en sección 5.6, una vez calculados los caminos mínimos entre cada par de elementos se almacenan en la imagen del programa, entonces sólo hace falta calcularlos una vez. A partir de ese momento, el cálculo del mejor itinerario demora sólo 5 segundos.

#### 6.4. Sub-zona 4: Liniers y Mataderos

Esta sub-zona es la más grande, posee 161 contenedores, y está ubicada por la Av. Emilio Castro y la Autopista General Paz en los barrios de Liniers y de Mataderos. Tiene más del triple de contenedores que la sub-zona 1 y la distancia del recorrido actual es más que el doble de la distancia de la sub-zona 1. Hay 131 contenedores en el área delimitada por las calles Tonelero, Andalgalá, Av. Juan Bautista Alberdi y Av. General Paz, 27 en el área delimitada por las calles Larrazabal, José Enrique Rodó, Cosquín y la Av. Juan Bautista Alberdi, uno en José Enrique Rodó y Guaminí y otro en Tapalqué y Albariño.

Se puede ver en la figura 6.26 los contenedores de esta sub-zona y en la figura 6.27, el itinerario que realiza el camión que tiene esta sub-zona asignada actualmente.

Para un análisis detallado, ver las siete imágenes sucesivas a la izquierda de las figuras 6.28, 6.29, 6.30, 6.31, 6.32, 6.33 y 6.34.

---

<sup>4</sup>Ingresa en el explorador web <http://picasaweb.google.com/federico.larumbe/Videos>, hacer click en *Mejor tour 3* y luego en *View HQ video*.

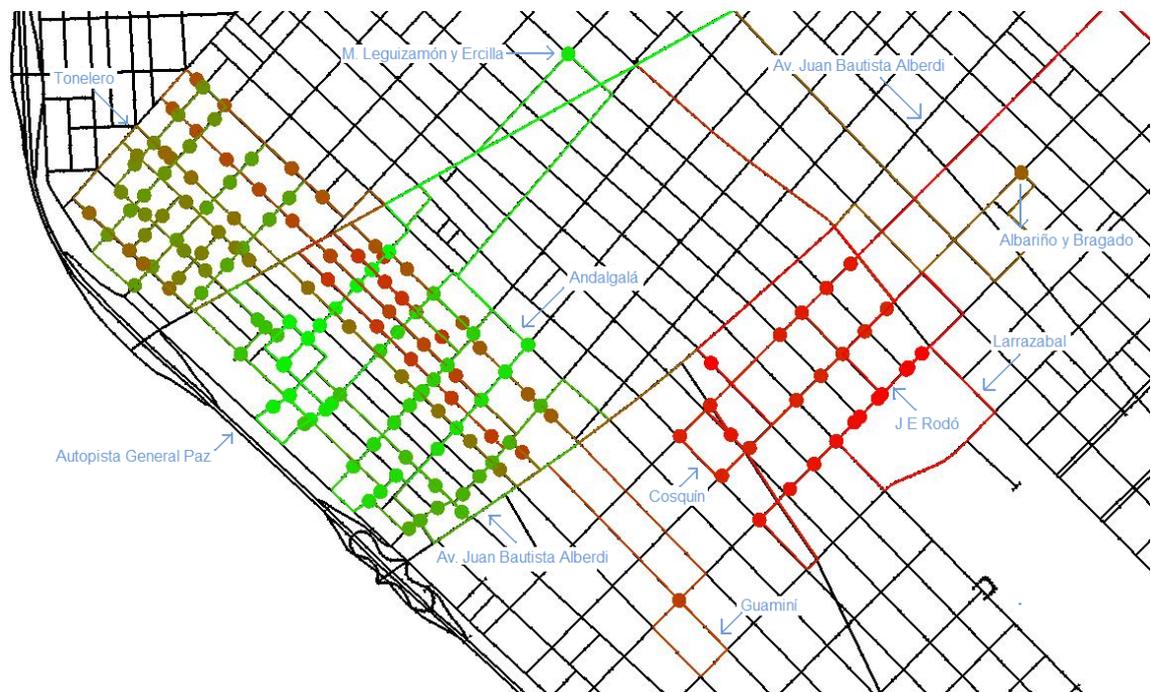


Figura 6.26: Contenedores de la sub-zona 4.



Figura 6.27: Itinerario 4 actual.

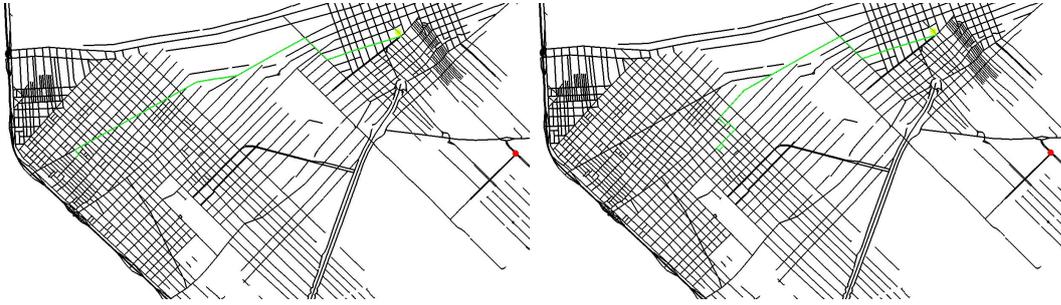


Figura 6.28: Tramo del EHU al primer contenedor.



Figura 6.29: Tramo del contenedor 1 al contenedor 33.



Figura 6.30: Tramo del contenedor 33 al contenedor 65.



Figura 6.31: Tramo del contenedor 65 al contenedor 97



Figura 6.32: Tramo del contenedor 97 al contenedor 129



Figura 6.33: Tramo del contenedor 129 al 161

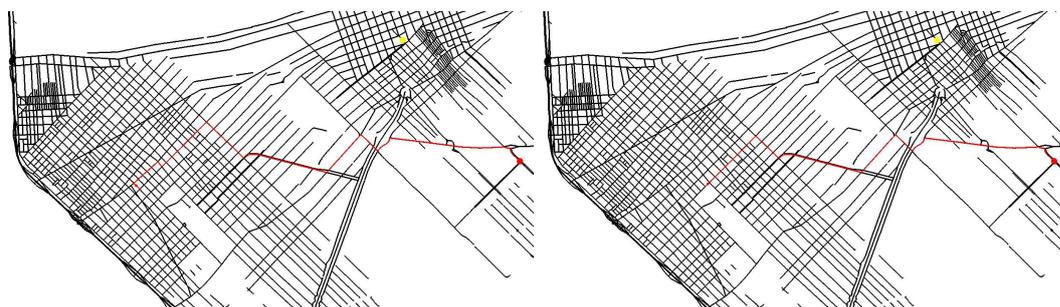


Figura 6.34: Tramo del contenedor 161 al depósito

Las distancias de esos 7 tramos más la distancia del depósito al EHU son: 6.075m, 7.365m, 7.663m, 6.069m, 11.656m, 11.519m, 7.513m y 3.832m, respectivamente. El itinerario completo tiene una distancia de 61.692m y un trabajo de  $5,44 \cdot 10^9 J$ .

En la parte derecha de las mismas figuras puede verse un itinerario de distancia mínima, al cual denominaremos *Mejor Tour 4*, resultado del proceso anteriormente descrito.

La distancias de los distintos tramos son: 5.140m, 6.352m, 5.712m, 4.876m, 3.653m, 4.666m, 6.611m y 3.832m respectivamente. El itinerario completo tiene una distancia de 40.841m lo que representa un 33,80% de mejora con respecto al itinerario actual. El trabajo es de  $3,11 \cdot 10^9 J$  y representa una mejora de 42,80%.

Con respecto a la cantidad de veces que el camión pasa por cada cuadra, en el itinerario real la relación es de 1,41 veces por cuadra. La cuadra más visitada –6 veces– es Ulrico Schmidl 7201. Hay 2 cuadras donde el vehículo pasa 5 veces, 13 cuadras donde el vehículo pasa 4 veces, 27 cuadras donde pasa 3 veces, 89 cuadras donde pasa 2 veces y 343 donde pasa una única vez.

En el mejor itinerario, la relación es de 1,10 veces por cuadra. La cuadras más visitadas –3 veces– son Pizarro del 7201 al 7400 y Ercilla 7201. Hay 33 cuadras donde el vehículo pasa 2 veces y 358 donde pasa una única vez. Notamos que se disminuye considerablemente la cantidad de cuadras donde el vehículo pasa más de una vez.

El cálculo del mejor itinerario de esta sub-zona demora 40min la primera vez. Como mencionamos en sección 5.6, una vez calculados los caminos mínimos entre cada par de elementos se almacenan en la imagen del programa, entonces sólo hace falta calcularlos una vez. A partir de ese momento, el cálculo del mejor itinerario demora sólo 7 segundos.

## 6.5. Análisis

En la siguiente tabla se muestran los resultados calculados para cada uno de los itinerarios. Se reportan la distancia y el trabajo para el itinerario que actualmente realiza el EHU y para el itinerario de distancia mínima. Se ven importantes mejoras tanto en la distancia, como en el trabajo.

Cuadro 6.1: Tabla de resultados

Sub-zona	Contenedores	Recorrido actual		Nuestra propuesta		Porcentaje de mejora	
		Distancia	Trabajo (J)	Distancia	Trabajo (J)	Distancia	Trabajo
1	47	27.010	6,08E+08	24.126	5,50E+08	10,68 %	9,52 %
2	133	68.102	4,77E+09	41.752	2,98E+09	38,69 %	38,14 %
3	134	52.270	4,28E+09	39.762	2,86E+09	23,93 %	33,23 %
4	161	61.692	5,44E+09	40.841	3,11E+09	33,80 %	42,80 %

Vemos que hay una diferencia muy grande entre la mejora de la sub-zona 1 y la mejora de la sub-zona 4 que radica en la complejidad de las mismas. La primera tiene menos que un tercio de la cantidad de contenedores de la segunda y sus contenedores están sobre sólo 7 calles distintas. Estas características hacen que un itinerario cercano al mínimo sea bastante intuitivo. En cambio, en la sub-zona 4 hay un área con mucha densidad de contenedores y el método intuitivo no es practicable. Por esta razón, un itinerario de distancia mínima provoca una gran mejora (33,80 %).

Con respecto a los tiempos de resolución, la mayor parte la insume el cálculo de recorridos mínimos entre cada par de elementos. En la sub-zona 4, demora 40 minutos la primera vez y sólo 7 segundos cuando los recorridos ya están calculados. Si agregamos o movemos un contenedor del recorrido, sólo hará falta calcular 162 recorridos que insumiría alrededor de 24 s según cuál sea la posición nueva del contenedor. El tiempo que demora el cálculo de los caminos mínimos no sólo depende de la cantidad de caminos, sino también de la longitud de los mismos. Cuanto más dispersos están los contenedores, habrá caminos más largos y, por lo tanto, se demorará más.

Como Concorde utiliza aleatoriedad para obtener una solución, si lo ejecutamos varias veces, nos da distintos itinerarios todos con la distancia mínima. Esta característica fue aprovechada para reducir el trabajo del vehículo. En cada sub-zona, se ejecutó 50 veces y se eligió el itinerario con menor trabajo.

Los resultados nos permiten concluir que el problema fue abordado en forma correcta ya que ambos, la distancia y el trabajo, se redujeron en forma muy importante. En el caso de contar con información de las velocidades de las calles, se esperaría una mejora similar en la duración de los itinerarios.

## 6.6. Heurística para disminuir trabajo

En esta sección proponemos una heurística para minimizar el trabajo del vehículo. Este algoritmo no fue implementado en este trabajo, aunque es un posible paso a seguir. En base al itinerario de distancia mínima, proponemos una búsqueda local[17] con lista de tabúes[13]. Los pasos del algoritmo son los siguientes:

Sea  $S$  un conjunto vacío y  $G = (V, A)$  un grafo con las distancias entre todos los

elementos.

1. Obtener un itinerario de distancia mínima  $I$  del grafo  $(V, A - S)$ .
  - a) Quitar del grafo un arco  $a$  que estaba en  $I$ . El nuevo grafo es  $(V, A - S - \{a\})$ .
  - b) Obtener un itinerario  $I_2$  de distancia mínima con este grafo. De esta forma nos aseguramos que el itinerario va a ser distinto de  $I_1$ .
  - c) Repetir desde el paso a un número determinado de veces y retener el itinerario que menos trabajo tiene  $I_m$  y con el arco  $a_m$  que habíamos sacado para llegar al mismo.
2. Agregar  $a_m$  a  $S$ .
3. Repetimos desde el paso 1 un número determinado de veces y nos quedamos con el itinerario que menos trabajo tiene  $I_t$ .

En cada paso del ciclo externo, agregamos un arco al conjunto de arcos prohibidos y así descartamos todos los itinerarios que lo contienen. Se puede probar un criterio de elección donde también influya el peso del arco, priorizando a quitar los más grandes.

Con este algoritmo se obtendrían itinerarios en orden decreciente de trabajo. Si además queremos mantener la distancia acotada superiormente, se puede agregar a Concorde un límite de distancia igual a la del primer itinerario obtenido más cierto margen. Por otro lado, en ambos ciclos podemos agregar un criterio de parada si el trabajo disminuye menos que un porcentaje.

Como Concorde utiliza aleatoriedad para obtener una solución, al ejecutarlo varias veces nos devuelve distintos itinerarios con la misma distancia. Luego, en el paso 1 también podemos ejecutar Concorde varias veces y quedarnos con el de menor trabajo, antes de quitar un arco.

---

### Conclusiones y próximos pasos

---

En esta aplicación de la Investigación Operativa a un problema real, vemos una optimización muy interesante. La distancia de los itinerarios se reduce hasta un 39% y el trabajo, aunque no es la variable que optimiza el modelo, también se redujo hasta un 43% por tener a la distancia como uno de sus factores.

Estos resultados se presentarán al EHU junto al detalle de los itinerarios. La implementación de los mismos y adaptación para las necesidades concretas quedará a cargo del EHU.

Si se implementaran estos itinerarios en el EHU, al ser más cortos que los que actualmente se practican, permitirían que los camiones estén menos tiempo en el tránsito, lo cual constituye un importante aporte a la calidad de vida en la ciudad. Para el EHU, esto provocaría una disminución del desgaste de los camiones y por lo tanto el aumento de su vida útil. Se sugiere realizar una serie de iteraciones para validar los resultados con el EHU, agregar restricciones al modelo según sus necesidades y corregir eventuales defectos del mapa.

Una buena parte del trabajo realizado constó en modelar el grafo e implementar el algoritmo de camino mínimo, considerando todos los detalles para producir recorridos en vehículo válidos en el mapa de la ciudad. Para esto se validó cada itinerario obtenido con otros mapas tales como los que se pueden obtener en [7] y así corroborar los sentidos de las calles. La interfaz gráfica para producir imágenes y animaciones también insumió bastante tiempo. La misma nos permite visualizar la información de diversas formas, característica muy importante al tener gran cantidad de información. Tanto la interfaz gráfica como la capa de datos fueron abstraídas en objetos propios del sistema, por lo cual las partes que cambiarían en caso de elegir otras tecnologías están bien localizadas.

Una buena continuación del proyecto es desarrollar un software que permita el cálculo de itinerarios en tiempo real. Al ocurrir eventos como cortes de calles, congestiones o manifestaciones, se podrían recalculan los itinerarios en el momento. La eficiencia de los algoritmos utilizados permite esta posibilidad en forma directa.

También podría agregarse un módulo de localización por GPS que permita ingresar al programa la posición de los camiones y, mediante dispositivos móviles, indicar a los conductores los próximos contenedores a recolectar. Estos agregados hacen que el sistema sea escalable a la hora de agregar nuevos contenedores y vehículos.

Para disminuir más el desgaste de los vehículos, podría optimizarse la variable trabajo. Para eso se podría, en base al itinerario de distancia mínima, usar heurísticas para disminuirlo, como la que vimos en la sección 6.6.

El proyecto de recolección de residuos por medio de contenedores prevé agregar contenedores anualmente para llegar a un contenedor por cuadra. Por esta razón, habrá que agregar nuevas zonas con sus respectivos itinerarios. Éste es un nuevo problema que también es interesante resolver. La solución a este problema puede utilizar la suma de las distancias de los itinerarios mínimos como forma de validar la zonificación.

Si al mapa de la ciudad, le agregamos una capa con las velocidades de circulación promedio en las cuadras, podemos saber cuánto demora el camión en transitar una cuadra. De esta forma, podemos utilizar el programa para calcular un itinerario de tiempo mínimo. Para esto, además, habría que modificar el  $A^*$  para que utilice otra función de cota inferior. Por ejemplo, la distancia euclídea multiplicada por la velocidad máxima de circulación. Esta cota sirve porque el tiempo que insumirá el recorrido siempre será mayor o igual que este valor.

Con respecto a la aplicación de un software a distintos problemas reales, se pueden probar también otros algoritmos del Problema del Viajante de Comercio implementados bajo la licencia GPL de Software Libre. Se puede mejorar la eficiencia del cálculo de camino mínimo mediante implementaciones del algoritmo  $A^*$  en C++ o en PostGis.

Vemos importantes mejoras que pueden introducirse mediante técnicas de Investigación Operativa en el ruteo de vehículos y varias direcciones por las que se puede avanzar a partir de lo realizado en esta tesis.

---

## Concorde

---

Analizaremos a grandes rasgos el método que utiliza Concorde para resolver el Problema del Viajante de Comercio en forma exacta y eficiente. Se plantea un modelo de Programación Lineal Entera y para resolverlo se utiliza el problema lineal relajado con variables no enteras. Al mismo se le agregan cortes iterativamente mediante un algoritmo de Branch and Cut.

Si en esta etapa no se encuentra una solución entera, se procede a utilizar un algoritmo Branch and Bound. Es decir, se escoge una variable no entera  $x$  y se divide el problema en dos subproblemas: uno con la restricción  $x = 0$  y el otro con  $x = 1$ . Cada subproblema se resuelve de esta misma forma hasta encontrar una solución entera. Se utilizan cotas superiores para recortar el árbol de posibilidades.

Definamos las variables y las constantes para el modelo de programación lineal entera. Sea  $G = (V, A)$  un grafo completo al que le queremos calcular un circuito hamiltoniano mínimo (CHM), con una función de ponderación de los arcos  $w : A \rightarrow \mathbb{R} \cup \{+\infty\}$  y  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ .

$$\begin{aligned}
 d_{ij} &= w((v_i, v_j)) \\
 C &\subseteq A \\
 x_{ij} &\in \{0, 1\} \\
 x_{ij} = 1 &\iff (v_i, v_j) \in C \\
 \forall i, j \in \mathbb{N} / 1 \leq i \leq n \wedge 1 \leq j \leq n \wedge i \neq j
 \end{aligned}$$

Luego, si agregamos las restricciones que hacen que  $C$  sea un circuito hamiltoniano, al minimizar la siguiente función obtenemos un CHM:

$$d = \sum_{ij} x_{ij} \cdot d_{ij}$$

A lo largo de este capítulo, agregaremos las restricciones que hacen que  $C$  sea un CHM.

### A.1. Cota inferior: Zonas de control

Para reducir el espacio de búsqueda se utilizan cotas inferiores como restricciones al problema. Dado un grafo completo  $G$  cuyos nodos son puntos en el plano y los pesos de las aristas la función distancia euclídea, se define una zona de control  $Z$  de un punto  $v$  como un círculo con centro en  $v$  y que no incluya ninguno de los otros puntos del conjunto. Se puede ver un ejemplo en la figura A.1.

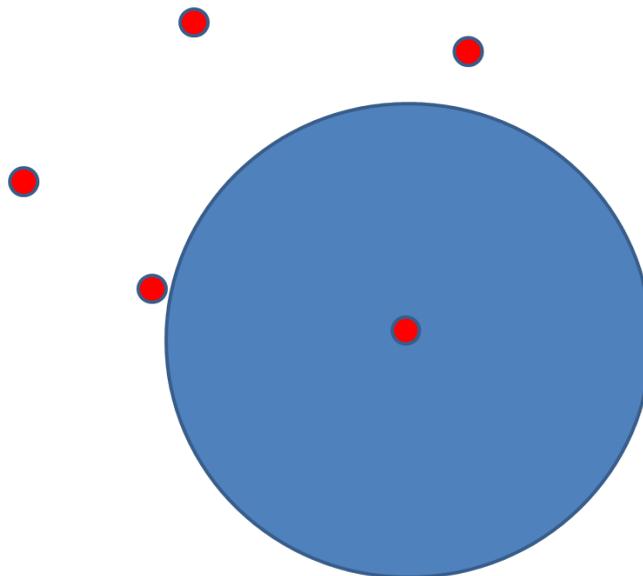


Figura A.1: Una zona de control.

Sea  $C$  un circuito hamiltoniano mínimo en  $G$ . Como  $C$  contiene a  $v$  hay dos aristas adyacentes a  $v$  en  $C$ . Como  $Z$  no incluye a los otros puntos, el radio  $r$  de  $Z$  es menor que la distancia entre  $v$  y cualquier otro punto. Luego, los pesos de los dos arcos adyacentes a  $v$  son mayores que  $r$ . Entonces, la distancia de  $C$  es mayor que  $2r$ , para cualquier zona de control.

De esta forma acotamos inferiormente la distancia del CHM. Sin embargo, podemos realizar una mejor cota utilizando zonas de control. Definimos una zona de control  $Z_v$

para cada punto  $v$  de  $G$ , tales que el área de la intersección entre cualquier par de zonas sea nula. Ver figura A.2.

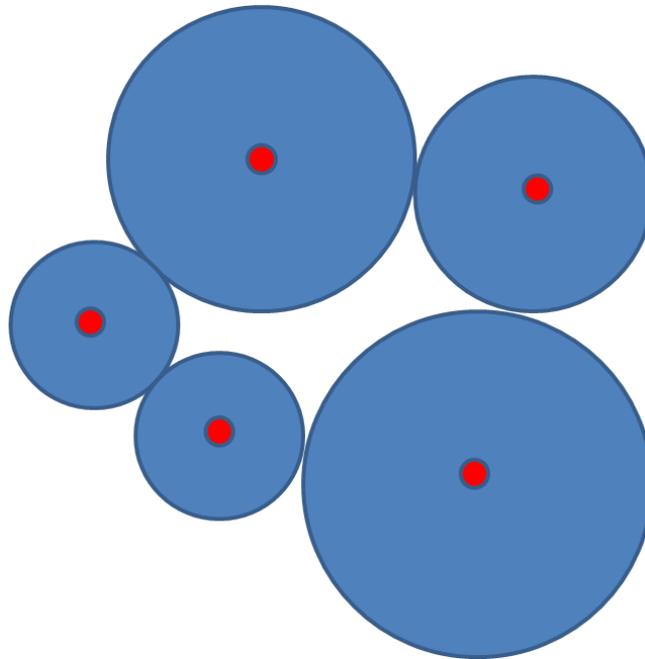


Figura A.2: Una zona de control para cada nodo.

Nuevamente un CHM, entrará y saldrá una vez en cada zona. Entonces, la distancia del circuito será menor o igual que 2 veces la suma de los radios de las zonas de control.

Entonces, en nuestro modelo podremos utilizar la restricción  $\sum_{ij} x_{ij} \cdot d_{ij} \geq z$ , con  $z = 2 \sum_{v \in V} r_v$  para acotar inferiormente la distancia del circuito, donde  $r_v$  es el radio de un círculo centrado en el nodo  $v$ . A su vez, para obtener una buena cota podemos maximizar el valor de  $z$  con el siguiente modelo de programación lineal:

$$\begin{aligned} &\text{Maximizar:} \\ & z = 2 \sum_{v \in V} r_v \\ &\text{Restringido a:} \\ & r_i + r_j \leq d_{ij} \end{aligned}$$

Las restricciones permiten escoger un conjunto de zonas de control tales que las áreas de sus intersecciones sean nulas y nos proporciona la mejor cota inferior con la utilización de zonas de control.

## A.2. Grado 2

En un circuito hamiltoniano se pasa una única vez por cada vértice. Entonces, cada uno tiene dos aristas adyacentes en el circuito. Este hecho se puede reflejar en la siguiente restricción:

$$\sum_{1 \leq j \leq n} x_{ij} = 2$$

$$\forall i \in \mathbb{N} / 1 \leq i \leq n$$

Sin embargo, el subgrafo inducido por las aristas en una solución puede ser no conexo y puede contener varios circuitos como se puede ver en figura A.3.

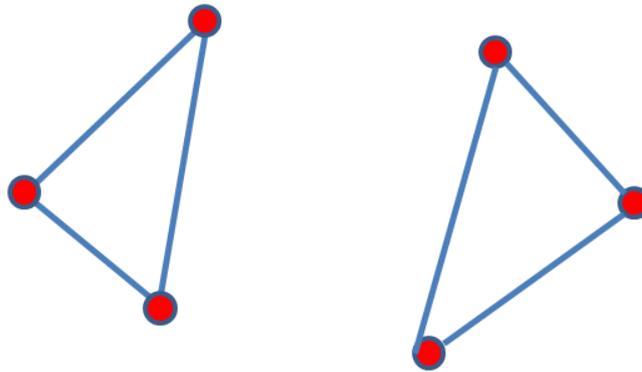


Figura A.3: Circuitos en un grafo no conexo.

## A.3. Eliminación de subtours

Estos circuitos se conocen como subtours, ya que son circuitos hamiltonianos de distintos subgrafos inducidos de  $G$ . Para evitar estos subtours, agregamos un conjunto de restricciones. Cada una corresponde a una partición de  $V$  en dos componentes  $V_1$  y  $V_2$ . Como es un circuito, debe haber por lo menos 2 arcos entre ambas componentes.

$$\sum_{v_i \in V_1 \wedge v_j \in V_2} x_{ij} \geq 2$$

$$\forall V_1, V_2 \in V / V_2 = V - V_1 \wedge V_1 \neq \emptyset$$

Con las restricciones de grado 2 y la eliminación de subtours, nos aseguramos que  $G$  sea un circuito hamiltoniano. Al minimizar la distancia del circuito, obtenemos un CHM.

El inconveniente que surge es que la cantidad de particiones de  $V$  es exponencial en la cantidad de elementos de  $V$  y hace que no sea eficiente agregar todas las restricciones al modelo inicial. Por esta razón, se agregan las restricciones de eliminación de subtours iterativamente mediante un algoritmo de Branch and Cut.

#### A.4. Branch and Cut

Volvamos al modelo de programación lineal entera con las variables  $x_{ij}$  definidas anteriormente, pero permitiéndole valores reales entre 0 y 1:

$$\begin{aligned} & \text{Minimizar:} \\ & d = \sum_{ij} x_{ij} \cdot d_{ij} \\ & \text{Restringido a:} \\ & \sum_{1 \leq j \leq n} x_{ij} = 2 \\ & \forall x_{ik} \in [0, 1] \\ & \forall i, k \in \mathbb{N} / 1 \leq i \leq n \wedge 1 \leq k \leq n \end{aligned}$$

Sea  $X = (V, A)$  con  $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$  y  $A = \{(v_1, v_2), (v_2, v_3), (v_3, v_1), (v_4, v_5), (v_5, v_6), (v_6, v_4)\}$ .  $X$  es un grafo que tiene dos circuitos como el que vimos anteriormente en la figura A.3. Supongamos que este grafo es una solución del problema de programación lineal. Los valores de las variables serían los siguientes:

$$\begin{aligned} x_{2,1} &= 1 \\ x_{3,1} &= 1 \quad x_{3,2} = 1 \\ x_{4,1} &= 0 \quad x_{4,2} = 0 \quad x_{4,3} = 0 \\ x_{5,1} &= 0 \quad x_{5,2} = 0 \quad x_{5,3} = 0 \quad x_{5,4} = 1 \\ x_{6,1} &= 0 \quad x_{6,2} = 0 \quad x_{6,3} = 0 \quad x_{6,4} = 1 \quad x_{6,5} = 1 \end{aligned}$$

Si elegimos  $V_1 = \{v_1, v_2, v_3\}$  y  $V_2 = \{v_4, v_5, v_6\}$  encontramos una restricción de eliminación de subtours que no se cumple:

$$x_{4,1} + x_{4,2} + x_{4,3} + x_{5,1} + x_{5,2} + x_{5,3} + x_{6,1} + x_{6,2} + x_{6,3} = 0 < 2$$

Entonces, podemos agregar esta restricción al modelo de programación lineal y resolverlo nuevamente. Podemos realizar este procedimiento iterativamente hasta que no

haya más cortes que agregar o que la solución no mejore significativamente; esto se puede ver en la figura A.4. Pero habíamos mencionado que la cantidad de restricciones de este tipo son exponenciales, entonces nos preguntamos cómo encontrar uno de estos cortes de manera eficiente.

El ejemplo que vimos es simple porque nos proporciona una solución con variables enteras, entonces define una partición. ¿Cómo interpretamos la solución si las variables no son enteras? El caso general se maneja con un algoritmo de corte mínimo que permite detectar cuando una de estas restricciones no se cumple.

Dada una solución  $x^*$  al problema lineal, definimos el grafo soporte  $G^* = (V, E^*)$  con las aristas cuya correspondiente componente en  $x^*$  no es cero:  $E^* = \{e \in E : x_e^* > 0\}$ . El peso de cada arista lo definimos como el valor de la componente  $x_e^*$ . Como paso siguiente demostraremos que detectar una restricción de subtour es equivalente a obtener un corte del grafo soporte de valor menor que 2.

Supongamos que hay una restricción que no se cumple en la partición  $\{V_1, V_2\}$  de  $G$ . La sumatoria de los pesos de las aristas que van de una componente a otra  $p$  es menor que 2. Como  $G^*$  tiene todas las aristas de  $G$  con peso positivo, se cumple esta misma proposición en  $G^*$ . Si quitamos todas las aristas entre  $V_1$  y  $V_2$  de  $G^*$ , obtenemos un corte de valor  $p$  menor que 2.

Veamos el recíproco. Supongamos que hay un corte  $C$  en  $G^*$  de valor  $p$  menor que 2. Sea  $\{V_1, V_2\}$  la partición que define el corte  $C$ . Como  $C$  es un corte, todos los arcos que hay entre  $V_1$  y  $V_2$  están en  $C$ . Luego, la suma de los pesos de estos arcos es  $p$ . Como  $G^*$  tiene todas las aristas de  $G$  con peso no nulo, se cumple esta misma proposición en  $G$ . Por lo tanto, la restricción de subtour de la partición  $\{V_1, V_2\}$  no se cumple.

De esta forma, si encontramos un corte de valor menor que 2 en  $G^*$ , encontramos una restricción de subtour que no se cumple. Al obtener un corte mínimo de  $G^*$  de valor  $p$ , si  $p < 2$ , el corte nos permite detectar una restricción. Si  $p \geq 2$ , no hay corte con valor menor que dos. Entonces, todas las restricciones de subtour se cumplen.

Como existen algoritmos de corte mínimo polinomiales[33], podemos detectar las restricciones de subtour en tiempo polinomial y así agregarlas iterativamente al Branch and Cut.

## A.5. Branch and Bound

Elegimos una variable no entera  $x$  y dividimos el problema en dos subproblemas: uno con la restricción  $x = 0$  y el otro con  $x = 1$ .

Para cada subproblema resolvemos el modelo lineal. Si encontramos una solución entera la almacenamos como cota superior al problema completo. Si encontramos una solución no entera, repetimos el mismo procedimiento recursivamente. Si no encontramos ninguna solución, la rama actual llega a su fin. Luego de evaluadas todas las ramas posibles, la mejor cota superior obtenida es la solución al problema. Se puede ver un

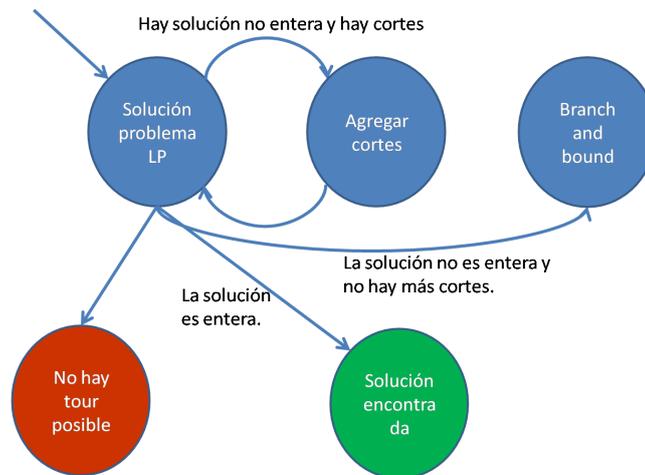


Figura A.4: Esquema del Branch and Cut de PLE de Concorde.

esquema del algoritmo Branch and Bound en la figura A.5.

Son importantes las cotas superiores encontradas a lo largo de la corrida del algoritmo porque permiten reducir el espacio de búsqueda de todos los subproblemas y por lo tanto también reducir el árbol de posibilidades.

También es importante la elección de la variable que se elige para hacer la ramificación. Para eso se invierte mucho poder computacional en esta tarea. Esta estrategia fue introducida por primera vez en Concorde, se conoce como “strong branching” y actualmente se utiliza en muchos otros problemas.

Además de los cortes mostrados anteriormente también se agregan otras familias de restricciones que explotan las características del Problema del Viajante de Comercio. En esta sección vimos un esquema del algoritmo que utiliza Concorde a grandes rasgos; para un estudio más detallado ver [2].

## A.6. Heurística Chained Lin-Kernighan

Además de resolver el Problema del Viajante de Comercio en forma exacta, Concorde incluye una implementación de la heurística Chained Lin-Kernighan[26], basada en la heurística Lin-Kernighan original.

El algoritmo de Lin-Kernighan[25] original es una de las mejores heurísticas para el Problema del Viajante de Comercio simétrico. El esquema del algoritmo es el siguiente:

1. Generar una solución factible pseudoaleatoria. Es decir, un circuito hamiltoniano.
2. Intentar encontrar una mejor solución  $T'$  mediante una transformación de  $T$ .
3. Si se encontró una mejor solución, reemplazar  $T$  por  $T'$  y repetir desde el paso 2.

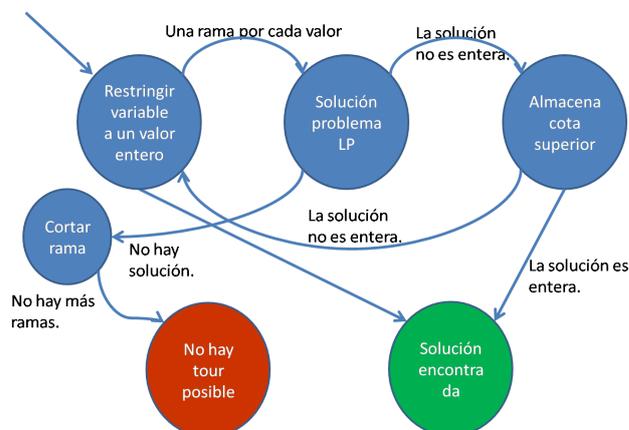


Figura A.5: Esquema del Branch and Bound de PLE de Concorde.

- Si no se encontró una mejor solución,  $T$  es un óptimo local. Repetir desde el paso 1 hasta que el tiempo de cómputo se haya acabado, o la solución  $T$  sea satisfactoria.

El corazón del procedimiento iterativo es el paso 2, el proceso que intenta mejorar la solución actual. Consiste en intercambiar un conjunto de  $k$  aristas utilizadas en la misma  $\{x_1, \dots, x_k\}$  por otras  $k$  aristas no utilizadas  $\{y_1, \dots, y_k\}$ . Este valor  $k$  se determina en cada iteración del paso 2.

Los elementos de estos conjuntos se escogen uno a uno. Primero, se eligen  $x_1$  e  $y_1$  tales que produzcan una mejora en la solución. Es decir, que  $d(y_1) < d(x_1)$ . Además, se le pide que sea una solución factible.

Se define la ganancia  $g_i = y_i - x_i$  para cada  $i = 1, \dots, n$ . Luego, a medida que se intercambia un par de vértices, se suma la ganancia  $g_1 + g_2 + \dots + g_k$ . Para elegir los sucesivos vértices a intercambiar  $x_i$  e  $y_i$  se requiere que la ganancia acumulada hasta el momento sea positiva  $g_1 + g_2 + \dots + g_i > 0$  y que la solución sea factible. De esta forma, en todo momento estamos en una solución mejor que la original.

El criterio de parada de este procedimiento, y por lo tanto la elección del  $k$  actual, es el momento en que no hay un par de vértices que se puedan intercambiar para mejorar la solución.

De esta forma, se procede con la búsqueda local hasta obtener un mínimo local. Una vez obtenido un mínimo local, se vuelve al paso 1, se genera una solución aleatoria y se repite todo el procedimiento. Partir de diferentes soluciones iniciales aleatorias permite encontrar distintos mínimos locales y luego quedarse con el mejor de todos.

En investigaciones posteriores[26] a la que generó la heurística original, se demostró que partir de una nueva solución aleatoria en cada paso del ciclo exterior desaprovecha el cómputo ya realizado. Por lo tanto, veremos a continuación un algoritmo más eficiente, que es la heurística llamada Chained Lin Kernighan. En lugar de partir de una nueva

solución, esta nueva heurística realiza cambios a la mejor solución calculada.

El mecanismo propuesto consiste en una secuencia de intercambios de cuatro aristas en el tour por cuatro otras aristas. De esta forma, se puede alterar la forma global de un tour y la implementación estándar de Lin-Kernighan no puede encontrar el conjunto de intercambios necesarios para deshacer esta transformación. A este intercambio lo llamaron *punte doble* y se puede ver en la figura A.6.

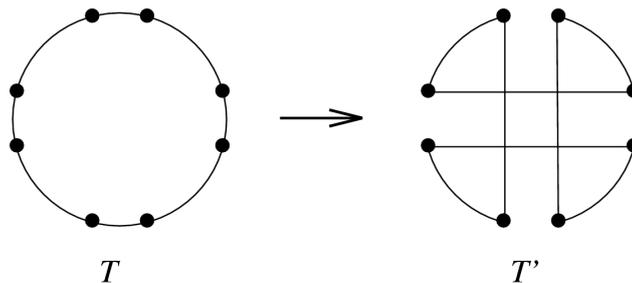


Figura A.6: Un puente doble.

La heurística original define un backtracking básico en la elección de los primeros dos pares de elementos a intercambiar. Se prueban 5 pares distintos para  $(x_1, y_1)$  y 5 pares distintos para  $(x_2, y_2)$ . El resto de los pares se determina en forma unívoca.

En la heurística Chained Lin Kernighan, se probaron otras alternativas de backtracking que también incluyen algunos de los pares siguientes. En las pruebas, se hicieron corridas cortas, medianas y largas del algoritmo, con distintos límites de tiempo. En particular, se probó la secuencia (4, 3, 3, 2) para la cantidad de elecciones permitidas para los pares  $(x_1, y_1)$  a  $(x_4, y_4)$  respectivamente. La secuencia (5, 5) original resultó preferible para tiempos de corrida cortos y la secuencia (4, 3, 3, 2), para tiempos de corrida largos[3].

En el cuadro A.1 vemos un reporte de pruebas de eficiencia para la implementación de Chained Lin Kernighan sobre instancias de TSPLIB<sup>1</sup> y una instancia aleatoria r100000. Los porcentajes que se muestran son sobre las mejores cotas inferiores encontradas hasta el momento, lo cual garantiza que los resultados están dentro de los porcentajes de los valores óptimos.

También se probó la heurística con instancias muy grandes de hasta 25.000.000 de ciudades. El tour final obtenido por Chained Lin-Kernighan después de 8 días de ejecución es aproximadamente 0,3% sobre el valor óptimo.

Un gráfico de la ejecución sobre esta instancia se incluye en la figura A.7. Luego de 24 horas de CPU, se obtiene un tour que está dentro del 1% del valor óptimo.

<sup>1</sup>TSPLIB es una biblioteca de instancias de ejemplo para el TSP de diferentes fuentes, tipos y tamaños. Como se conocen valores óptimos y cotas inferiores de las mismas, son muy utilizadas a la hora de probar una heurística para este problema.

Cuadro A.1: Diferencia sobre las Cotas Inferiores

Nombre	1 Minuto	10 Minutos	1 Hora	4 Horas	24 Horas
rl11849	0,510 %	0,288 %	0,238 %	0,218 %	0,190
usa13509	0,448 %	0,223 %	0,147 %	0,128 %	0,092
brd14051	0,487 %	0,164 %	0,111 %	0,091 %	0,069
d15112	0,394 %	0,169 %	0,110 %	0,072 %	0,067
d18512	0,423 %	0,180 %	0,123 %	0,094 %	0,069
pla33810	0,732 %	0,407 %	0,296 %	0,260 %	0,227
pla85900	0,847 %	0,339 %	0,247 %	0,209 %	0,161
r100000	1,630 %	0,480 %	0,276 %	0,217 %	0,172

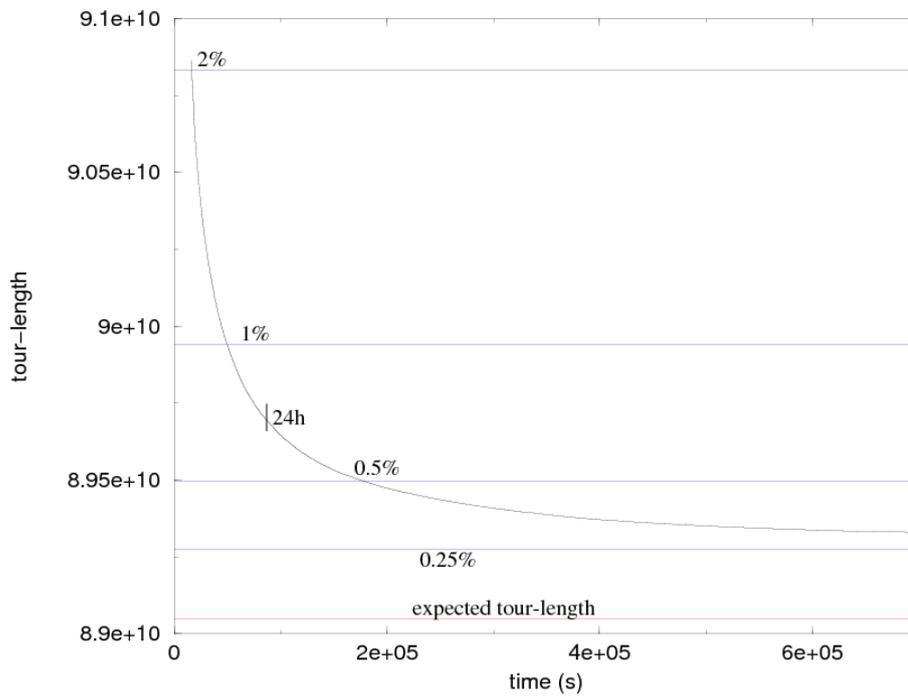


Figura A.7: Ejecución sobre una instancia de 25.000.000 ciudades

---

## Itinerarios mínimos

---

### B.1. Mejor Tour 1: Mataderos

#### B.1.1. Orden del itinerario

A continuación vemos el orden de recolección de los contenedores de un itinerario de distancia mínima. Comienza en el EHU, recolecta todos los contenedores, va hacia el depósito a descargar los residuos y vuelve al EHU.

1	Ente de Higiene Urbana	22	MONTE 6897
2	DE LA TORRE, L. AV. 2958	23	YRUPE 6702
3	MONTE 6551	24	DE LA TORRE, L. AV. 2830
4	MONTE 6597	25	DE LA TORRE, L. AV. 2760
5	MONTE 6633	26	DE LA TORRE, L. AV. 2730
6	MONTE 6665	27	DE LA TORRE, L. AV. 2630
7	MONTE 6751	28	DE LA TORRE, L. AV. 2536
8	MONTE 6793	29	DE LA TORRE, L. AV. 2420
9	YRUPE 6819	30	DE LA TORRE, L. AV. 2344
10	YRUPE 6967	31	DE LA TORRE, L. AV. 2308
11	LAFERRERE, G. de 7131	32	DE LA TORRE, L. AV. 2278
12	LAFERRERE, G. de 7231	33	DE LA TORRE, L. AV. 2204
13	LAFERRERE, G. de 7331	34	DE LA TORRE, L. AV. 2158
14	SUAREZ, JUSTO ANTONIO 7101	35	DE LA TORRE, L. AV. 2124
15	SUAREZ, JUSTO ANTONIO 7201	36	DE LA TORRE, L. AV. 2082
16	YRUPE 6868	37	DE LA TORRE, L. AV. 2050
17	YRUPE 6836	38	DE LA TORRE, L. AV. 2036
18	MONTE 6823	39	DE LA TORRE, L. AV. 1838
19	MONTE 6851	40	TAPALQUE 6591
20	MONTE 6863	41	DE LA TORRE, L. AV. 1993
21	MONTE 6873	42	SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6511

43	SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6571	47	SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6761
44	SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6601	48	GORDILLO, T. 2791
45	SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6691	49	Depósito
46	SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6731	50	Ente de Higiene Urbana

### B.1.2. Ruta completa

A continuación vemos el itinerario completo. Se muestra un listado de las cuadras por las que podrías pasar el camión para realizar recorridos mínimos entre cada par de elementos.

Ente de Higiene Urbana	PERON, EVA AV. 5001
VARELA AV. 501	PERON, EVA AV. 5021
BILBAO, FRANCISCO AV. 2601	PERON, EVA AV. 5051
BILBAO, FRANCISCO AV. 2701	PERON, EVA AV. 5101
BILBAO, FRANCISCO AV. 2801	PERON, EVA AV. 5121
BILBAO, FRANCISCO AV. 2901	PERON, EVA AV. 5151
LAFUENTE AV. 0	PERON, EVA AV. 5201
LAFUENTE AV. 701	PERON, EVA AV. 5301
LAFUENTE AV. 723	PERON, EVA AV. 5401
LAFUENTE AV. 745	PERON, EVA AV. 5501
LAFUENTE AV. 801	PERON, EVA AV. 5601
LAFUENTE AV. 0	PERON, EVA AV. 5651
FERNANDEZ MORENO, BALDOMERO 3101	PERON, EVA AV. 5701
FERNANDEZ MORENO, BALDOMERO 3201	PERON, EVA AV. 5801
FERNANDEZ MORENO, BALDOMERO 3301	PERON, EVA AV. 5901
FERNANDEZ MORENO, BALDOMERO 3401	PERON, EVA AV. 6001
FERNANDEZ MORENO, BALDOMERO 3501	PERON, EVA AV. 6101
FERNANDEZ MORENO, BALDOMERO 3601	PERON, EVA AV. 6201
MARTINEZ CASTRO 1201	PERON, EVA AV. 6491
MARTINEZ CASTRO 1301	DE LA TORRE, L. AV. 2901
PERON, EVA AV. 3801	
PERON, EVA AV. 3835	Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2958
PERON, EVA AV. 3861	DE LA TORRE, L. AV. 2901
PERON, EVA AV. 3901	MONTE 6501
PERON, EVA AV. 3991	
PERON, EVA AV. 4001	Contenedor en MONTE 6551
PERON, EVA AV. 4101	MONTE 6501
PERON, EVA AV. 4201	
PERON, EVA AV. 4249	Contenedor en MONTE 6597
PERON, EVA AV. 4255	MONTE 6501
PERON, EVA AV. 4301	
PERON, EVA AV. 4351	Contenedor en MONTE 6633
PERON, EVA AV. 4401	MONTE 6501
PERON, EVA AV. 4501	
PERON, EVA AV. 4351	Contenedor en MONTE 6665
PERON, EVA AV. 4601	MONTE 6501
PERON, EVA AV. 4701	MONTE 6701
PERON, EVA AV. 4751	
PERON, EVA AV. 4801	Contenedor en MONTE 6751
PERON, EVA AV. 4851	MONTE 6701
PERON, EVA AV. 4861	
PERON, EVA AV. 0	Contenedor en MONTE 6793
PERON, EVA AV. 4901	MONTE 6701

MONTE 0	
COSQUIN 2901	Contenedor en MONTE 6823
YRUPE 6801	MONTE 6801
Contenedor en YRUPE 6819	Contenedor en MONTE 6851
YRUPE 6801	MONTE 6801
YRUPE 6901	
Contenedor en YRUPE 6967	Contenedor en MONTE 6863
YRUPE 6901	MONTE 6801
CARHUE 3021	Contenedor en MONTE 6873
MONTE 7001	MONTE 6801
CARDENAS, CNEL. AV. 2901	
LAFERRERE, GREGORIO de 7051	Contenedor en MONTE 6897
LAFERRERE, GREGORIO de 7101	MONTE 6801
	ANDALGALA 3001
Contenedor en LAFERRERE, GREGORIO de 7131	YRUPE 6801
LAFERRERE, GREGORIO de 7101	YRUPE 6751
LAFERRERE, GREGORIO de 7201	YRUPE 6701
Contenedor en LAFERRERE, GREGORIO de 7231	Contenedor en YRUPE 6702
LAFERRERE, GREGORIO de 7201	YRUPE 6701
LAFERRERE, GREGORIO de 0	MONTE 6501
LAFERRERE, GREGORIO de 7301	DE LA TORRE, L. AV. 2701
Contenedor en LAFERRERE, GREGORIO de 7331	Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2830
LAFERRERE, GREGORIO de 7301	DE LA TORRE, L. AV. 2701
SALADILLO 3001	
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 7301	Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2760
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 7201	DE LA TORRE, L. AV. 2701
MONTIEL 2901	
SAN PEDRO 7101	Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2730
GUAMINI 2801	DE LA TORRE, L. AV. 2701
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 7101	DE LA TORRE, L. AV. 2601
Contenedor en SUAREZ, JUSTO ANTONIO 7101	Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2630
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 7101	DE LA TORRE, L. AV. 2601
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 7201	DE LA TORRE, L. AV. 2501
Contenedor en SUAREZ, JUSTO ANTONIO 7201	Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2536
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 7201	DE LA TORRE, L. AV. 2501
SUAREZ, JOSE LEON 3001	DE LA TORRE, L. AV. 2401
LAFERRERE, GREGORIO de 7201	
LAFERRERE, GREGORIO de 7101	Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2420
LAFERRERE, GREGORIO de 7051	DE LA TORRE, L. AV. 2401
LAFERRERE, GREGORIO de 7001	DE LA TORRE, L. AV. 2301
CARHUE 3001	
YRUPE 6901	Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2344
YRUPE 6801	DE LA TORRE, L. AV. 2301
Contenedor en YRUPE 6868	Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2308
YRUPE 6801	DE LA TORRE, L. AV. 2301
	DE LA TORRE, L. AV. 2201
Contenedor en YRUPE 6836	
YRUPE 6801	Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2278
COSQUIN 2901	DE LA TORRE, L. AV. 2201
MONTE 6801	

Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2204  
DE LA TORRE, L. AV. 2201  
DE LA TORRE, L. AV. 2101

Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2158  
DE LA TORRE, L. AV. 2101

Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2124  
DE LA TORRE, L. AV. 2101  
DE LA TORRE, L. AV. 2001

Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2082  
DE LA TORRE, L. AV. 2001

Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2050  
DE LA TORRE, L. AV. 2001

Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 2036  
DE LA TORRE, L. AV. 2001  
DE LA TORRE, L. AV. 1901  
DE LA TORRE, L. AV. 1801

Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 1838  
DE LA TORRE, L. AV. 1801  
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 0  
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 6401  
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 6301  
CAFAYATE 1701  
CAFAYATE 1801  
TAPALQUE 6301  
TAPALQUE 6401  
TAPALQUE 6501

Contenedor en TAPALQUE 6591  
TAPALQUE 6501  
GORDILLO, T. 2001  
BRAGADO 6501  
DE LA TORRE, L. AV. 1901

Contenedor en DE LA TORRE, L. AV. 1993  
DE LA TORRE, L. AV. 1901  
DE LA TORRE, L. AV. 2001  
DE LA TORRE, L. AV. 2101  
DE LA TORRE, L. AV. 2201  
DE LA TORRE, L. AV. 2301  
DE LA TORRE, L. AV. 2401  
DE LA TORRE, L. AV. 2501  
DE LA TORRE, L. AV. 2601  
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6501

Contenedor en SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6511  
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6501

Contenedor en SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6571  
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6501  
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6601

Contenedor en SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6601  
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6601

Contenedor en SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6691  
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6601  
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6701

Contenedor en SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6731  
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6701

Contenedor en SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6761  
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6701  
COSQUIN 2701  
SAN PEDRO 6701  
SAN PEDRO 6601  
GORDILLO, T. 2701

Contenedor en GORDILLO, T. 2791  
GORDILLO, T. 2701  
SUAREZ, JUSTO ANTONIO 6501  
DE LA TORRE, L. AV. 2701  
DE LA TORRE, L. AV. 2901

PERON, EVA AV. 6491  
PERON, EVA AV. 6201  
PERON, EVA AV. 6101  
PERON, EVA AV. 6001  
PERON, EVA AV. 5901  
PERON, EVA AV. 5801  
PERON, EVA AV. 5701  
PERON, EVA AV. 5651  
PERON, EVA AV. 5601  
PERON, EVA AV. 5501  
PERON, EVA AV. 5401  
PERON, EVA AV. 5301  
PERON, EVA AV. 5201  
PERON, EVA AV. 5151  
PERON, EVA AV. 5121  
PERON, EVA AV. 5101  
PERON, EVA AV. 5051  
PERON, EVA AV. 5021  
PERON, EVA AV. 5001  
PERON, EVA AV. 4901  
PERON, EVA AV. 0  
PERON, EVA AV. 4861  
PERON, EVA AV. 4851  
PERON, EVA AV. 4801  
PERON, EVA AV. 4751  
PERON, EVA AV. 4701  
PERON, EVA AV. 4601  
PERON, EVA AV. 4351  
PERON, EVA AV. 4501  
PERON, EVA AV. 4401  
PERON, EVA AV. 4351  
PERON, EVA AV. 4301  
PERON, EVA AV. 4255  
PERON, EVA AV. 4249  
PERON, EVA AV. 4201

PERON, EVA AV. 4101	LAFUENTE AV. 0
PERON, EVA AV. 4001	LAFUENTE AV. 0
PERON, EVA AV. 3991	LAFUENTE AV. 0
LACARRA AV. 1601	LAFUENTE AV. 0
LACARRA AV. 1701	LAFUENTE AV. 1751
LACARRA AV. 1611	LAFUENTE AV. 0
LACARRA AV. 1611	LAFUENTE AV. 1701
DELLEPIANE. 3602	LAFUENTE AV. 1663
MORENO, PERITO AV. 3651	LAFUENTE AV. 1601
MORENO, PERITO AV. 3601	LAFUENTE AV. 1501
MORENO, PERITO AV. 3401	LAFUENTE AV. 1401
MORENO, PERITO AV. 3201	LAFUENTE AV. 1301
MORENO, PERITO AV. 3001	LAFUENTE AV. 1201
MORENO, PERITO AV. 2951	ECHEANDIA 2901
MORENO, PERITO AV. 2901	ECHEANDIA 2801
MORENO, PERITO AV. 2501	ECHEANDIA 2701
MORENO, PERITO AV. 2491	ECHEANDIA 2601
MORENO, PERITO AV. 2402	VARELA AV. 1101
VARELA AV. 2201	VARELA AV. 1001
	VARELA AV. 901
Depósito	VARELA AV. 801
VARELA AV. 2201	VARELA AV. 701
JANER, ANA MARIA 2501	VARELA AV. 601
JANER, ANA MARIA 2801	VARELA AV. 501
LAFUENTE AV. 2302	
LAFUENTE AV. 0	Ente de Higiene Urbana
LAFUENTE AV. 1801	

## B.2. Mejor Tour 2: Villa Lugano y Villa Riachuelo

### B.2.1. Orden del itinerario

A continuación vemos el orden de recolección de los contenedores de un itinerario de distancia mínima. Comienza en el EHU, recolecta todos los contenedores, va hacia el depósito a descargar los residuos y vuelve al EHU.

1	Ente de Higiene Urbana	17	CASTAÑARES AV. 4852
2	MOZART 2350	18	RIESTRA AV. y LARRAYA
3	MOZART 2354	19	RIESTRA AV. y LARRAZABAL
4	SARAZA 4498	20	RIESTRA AV. y OLIDEN
5	DELLEPIANE. 4380	21	RIESTRA AV. y LEGUIZAMON, M
6	MOZART 2340	22	RIESTRA AV. y CAFAYATE
7	SARAZA 4202	23	RIESTRA AV. y RUCCI, J. I.
8	SARAZA 4302	24	LEGUIZAMON, M 4270
9	SARAZA 4402	25	LEGUIZAMON, M 4350
10	ESCALADA AV. 2752	26	LEGUIZAMON, M 4435
11	ESCALADA AV. 2852	27	LEGUIZAMON, M 4545
12	CASTAÑARES AV. 4552	28	MURGUIONDO 4611
13	CASTAÑARES AV. 4652	29	OLIDEN 4731
14	CASTAÑARES AV. 4702	30	CHILAVERT, M. 5665
15	CASTAÑARES AV. 4752	31	CHILAVERT, M. 5715
16	CASTAÑARES AV. 4802	32	CHILAVERT, M. 5791

33	CHILAVERT, M. 5875	85	FERNANDEZ DE LA CRUZ 5791
34	CHILAVERT, M. 5991	86	FERNANDEZ DE LA CRUZ 5921
35	CHILAVERT, M. 6041	87	CAFAYATE 4670
36	CHILAVERT, M. 6069	88	CAFAYATE 4602
37	CHILAVERT, M. 6150	89	CAFAYATE 4549
38	CHILAVERT, M. 6258	90	CAFAYATE 4447
39	CHILAVERT, M. 6351	91	CAFAYATE 4345
40	CHILAVERT, M. 6471	92	CAFAYATE 4280
41	CHILAVERT, M. 6555	93	CAFAYATE 4177
42	CHILAVERT, M. 6611	94	GALLO, DELFIN y CAFAYATE
43	CHILAVERT, M. 6753	95	GALLO, DELFIN y LEGUIZAMON, M
44	CHILAVERT, M. 6849	96	MURGUIONDO y GALLO, DELFIN
45	SALADILLO 4889	97	RIESTRA AV. y MURGUIONDO
46	SALADILLO 4942	98	OLIDEN 4177
47	SALADILLO 5057	99	MURGUIONDO 4273
48	SALADILLO y CHILAVERT, M.	100	MURGUIONDO y SAYOS
49	CHILAVERT, M. 6967	101	MURGUIONDO 4346
50	SALADILLO 5115	102	MURGUIONDO 4469
51	SALADILLO 5191	103	MURGUIONDO 4510
52	SALADILLO 5263	104	MURGUIONDO 4562
53	SALADILLO 5333	105	OLIDEN 4552
54	SALADILLO 5466	106	OLIDEN 4452
55	CAFAYATE y BERON DE ASTRADA	107	OLIDEN 4330
56	CAFAYATE y GOLETA FORTUNA	108	OLIDEN 4294
57	CAFAYATE y GOLETA INVENCIBLE	109	LARRAZABAL 3860
58	CAFAYATE y URIBURU, NAPOLEON, GRAL.	110	LARRAZABAL y SOMELLERA
59	CAFAYATE y FRAGATA 25 DE MAYO	111	LARRAZABAL y MALDONADO
60	DIAZ, ANA y CAFAYATE	112	LARRAZABAL y AQUINO
61	DIAZ, ANA y SOLDADO DE LA FRONTERA AV.	113	LARRAZABAL 3628
62	CAFAYATE 5023	114	MURGUIONDO 4002
63	LEGUIZAMON, M 4662	115	MURGUIONDO y SOMELLERA
64	OLIDEN 4614	116	CAFAYATE 4058
65	LARRAZABAL y BATLLE Y ORDOÑEZ	117	SOMELLERA 5833
66	LARRAZABAL y CALOU, JUAN P.	118	SOMELLERA 5779
67	SAYOS 5402	119	SOMELLERA 5635
68	SAYOS y LARRAZABAL	120	SOMELLERA 5539
69	SAYOS 5552	121	SOMELLERA 5445
70	SAYOS 5645	122	SOMELLERA 5371
71	SAYOS 5735	123	SOMELLERA y FONROUGE
72	SAYOS 5855	124	SOMELLERA 5205
73	SAYOS 5937	125	CASTAÑARES AV. 4952
74	SAYOS 6031	126	DELLEPIANE. 5301
75	SAYOS 6073	127	SARAZA 5083
76	RIESTRA AV. y DE LA TORRE, L.	128	BALBASTRO 5072
77	RIESTRA AV. y GORDILLO, T.	129	BALBASTRO 5075
78	RIESTRA AV. y CAÑADA DE GOMEZ	130	ALBARIÑO 3046
79	RIESTRA AV. y HUDSON	131	CORVALAN 2990
80	RUCCI, J. I. 4349	132	ARAUJO 2975
81	RUCCI, J. I. 4405	133	BASUALDO y SANTANDER
82	RUCCI, J. I. 4549	134	ALVAREZ, CRIS. y GUARDIA NAC.
83	RUCCI, J. I. 4651	135	Depósito
84	MURGUIONDO 4751	136	Ente de Higiene Urbana

### B.2.2. Ruta completa

A continuación vemos el itinerario completo. Se muestra un listado de las cuadras por las que podríar pasar el camión para realizar recorridos mínimos entre cada par de elementos.

Ente de Higiene Urbana	Contenedor en SARAZA 4498
VARELA AV. 501	SARAZA 4401
BILBAO, FRANCISCO AV. 2601	SARAZA 0
BILBAO, FRANCISCO AV. 2701	ESCALADA AV. 0
BILBAO, FRANCISCO AV. 2801	ESCALADA AV. 0
BILBAO, FRANCISCO AV. 2901	DELLEPIANE. 4202
LAFUENTE AV. 0	
LAFUENTE AV. 701	Contenedor en DELLEPIANE. 4380
LAFUENTE AV. 723	DELLEPIANE. 4202
LAFUENTE AV. 745	MOZART 2201
LAFUENTE AV. 801	MOZART 2221
LAFUENTE AV. 0	MOZART 2241
FERNANDEZ MORENO, BALDOMERO 3101	MOZART 2251
QUIRNO 901	MOZART 2301
QUIRNO 1001	
LAFUENTE 0	Contenedor en MOZART 2340
LAFUENTE 0	MOZART 2301
DELLEPIANE. 0	MOZART 2371
DELLEPIANE. 0	MOZART 2401
DELLEPIANE. 0	MOZART 2471
DELLEPIANE. 0	SARAZA 4201
LACARRA AV. 1611	
LACARRA AV. 1801	Contenedor en SARAZA 4202
ALVAREZ, CRISOSTOMO 3701	SARAZA 4201
ALVAREZ, CRISOSTOMO 3801	SARAZA 4301
ALVAREZ, CRISOSTOMO 3901	
ALVAREZ, CRISOSTOMO 0	Contenedor en SARAZA 4302
DELLEPIANE. 0	SARAZA 4301
ASTURIAS AV. 2501	SARAZA 4401
SANTANDER 4001	
SANTANDER 4101	Contenedor en SARAZA 4402
SANTANDER 4151	SARAZA 4401
MOZART 2221	SARAZA 0
MOZART 2241	ESCALADA AV. 0
MOZART 2251	ESCALADA AV. 0
MOZART 2301	ESCALADA AV. 2701
	ESCALADA AV. 2751
Contenedor en MOZART 2350	
MOZART 2301	Contenedor en ESCALADA AV. 2752
	ESCALADA AV. 2751
Contenedor en MOZART 2354	ESCALADA AV. 2801
MOZART 2301	ESCALADA AV. 2851
MOZART 2371	
MOZART 2401	Contenedor en ESCALADA AV. 2852
MOZART 2471	ESCALADA AV. 2851
SARAZA 4201	CASTAÑARES AV. 4501
SARAZA 4301	
SARAZA 4401	Contenedor en CASTAÑARES AV. 4552
	CASTAÑARES AV. 4501

CASTAÑARES AV. 0  
CASTAÑARES AV. 4601  
CASTAÑARES AV. 4651

Contenedor en CASTAÑARES AV. 4652  
CASTAÑARES AV. 4651  
CASTAÑARES AV. 4701

Contenedor en CASTAÑARES AV. 4702  
CASTAÑARES AV. 4701  
CASTAÑARES AV. 4751

Contenedor en CASTAÑARES AV. 4752  
CASTAÑARES AV. 4751  
CASTAÑARES AV. 0  
CASTAÑARES AV. 4801

Contenedor en CASTAÑARES AV. 4802  
CASTAÑARES AV. 4801  
CASTAÑARES AV. 4851

Contenedor en CASTAÑARES AV. 4852  
CASTAÑARES AV. 4851  
CORVALAN 3201  
CORVALAN 3301  
CORVALAN 3401  
CORVALAN 3501  
RIESTRA AV. 4901  
RIESTRA AV. 5001  
RIESTRA AV. 5101  
RIESTRA AV. 5201  
RIESTRA AV. 5301

Contenedor en RIESTRA AV. y LARRAYA  
RIESTRA AV. 5301  
RIESTRA AV. 5401

Contenedor en RIESTRA AV. y LARRAZABAL  
RIESTRA AV. 5401  
RIESTRA AV. 5501

Contenedor en RIESTRA AV. y OLIDEN  
RIESTRA AV. 5501  
RIESTRA AV. 5601  
RIESTRA AV. 5701

Contenedor en RIESTRA AV. y LEGUIZAMON, M  
RIESTRA AV. 5701  
RIESTRA AV. 5801

Contenedor en RIESTRA AV. y CAFAYATE  
RIESTRA AV. 5801  
RIESTRA AV. 5901

Contenedor en RIESTRA AV. y RUCCI, J. I.  
RIESTRA AV. 5901  
RUCCI, J. I. 0

RIESTRA AV. 5902  
RIESTRA AV. 5802  
LEGUIZAMON, M 4201

Contenedor en LEGUIZAMON, M 4270  
LEGUIZAMON, M 4201  
LEGUIZAMON, M 4301

Contenedor en LEGUIZAMON, M 4350  
LEGUIZAMON, M 4301  
LEGUIZAMON, M 4401

Contenedor en LEGUIZAMON, M 4435  
LEGUIZAMON, M 4401  
LEGUIZAMON, M 4501

Contenedor en LEGUIZAMON, M 4545  
LEGUIZAMON, M 4501  
BARROS PAZOS, JOSE 5701  
MURGUIONDO 4601

Contenedor en MURGUIONDO 4611  
MURGUIONDO 4601  
CHILAVERT, M. 5601  
CHILAVERT, M. 5501  
LARRAZABAL 4401  
FERNANDEZ DE LA CRUZ 5501  
OLIDEN 4701

Contenedor en OLIDEN 4731  
OLIDEN 4701  
CHILAVERT, M. 5601

Contenedor en CHILAVERT, M. 5665  
CHILAVERT, M. 5601  
CHILAVERT, M. 5701

Contenedor en CHILAVERT, M. 5715  
CHILAVERT, M. 5701

Contenedor en CHILAVERT, M. 5791  
CHILAVERT, M. 5701  
CHILAVERT, M. 5801

Contenedor en CHILAVERT, M. 5875  
CHILAVERT, M. 5801  
CHILAVERT, M. 5901

Contenedor en CHILAVERT, M. 5991  
CHILAVERT, M. 5901  
CHILAVERT, M. 6001

Contenedor en CHILAVERT, M. 6041  
CHILAVERT, M. 6001  
CHILAVERT, M. 6051

Contenedor en CHILAVERT, M. 6069

CHILAVERT, M. 6051	
DE LA TORRE, L. 4701	Contenedor en CHILAVERT, M. 6967
CHILAVERT, M. 6101	CHILAVERT, M. 6901
	SALADILLO 5101
Contenedor en CHILAVERT, M. 6150	
CHILAVERT, M. 6101	Contenedor en SALADILLO 5115
CHILAVERT, M. 6201	SALADILLO 5101
Contenedor en CHILAVERT, M. 6258	
CHILAVERT, M. 6201	Contenedor en SALADILLO 5191
CHILAVERT, M. 6301	SALADILLO 5101
	SALADILLO 5201
Contenedor en CHILAVERT, M. 6351	
CHILAVERT, M. 6301	Contenedor en SALADILLO 5263
CHILAVERT, M. 6401	SALADILLO 5201
	SALADILLO 5301
Contenedor en CHILAVERT, M. 6471	
CHILAVERT, M. 6401	Contenedor en SALADILLO 5333
CHILAVERT, M. 6501	SALADILLO 5301
	SALADILLO 5401
Contenedor en CHILAVERT, M. 6555	
CHILAVERT, M. 6501	Contenedor en SALADILLO 5466
CHILAVERT, M. 6601	SALADILLO 5401
	SALADILLO 5501
Contenedor en CHILAVERT, M. 6611	TABARE 6801
CHILAVERT, M. 6601	TABARE 6701
CHILAVERT, M. 6701	TABARE 6601
	TABARE 6501
Contenedor en CHILAVERT, M. 6753	TABARE 6401
CHILAVERT, M. 6701	TABARE 6301
CHILAVERT, M. 6801	TABARE 6201
	TABARE 6101
Contenedor en CHILAVERT, M. 6849	DE LA TORRE, L. 5201
CHILAVERT, M. 6801	SUMACA ITATI 6051
CHILAVERT, M. 6901	CORBETA BELFAST 5251
PAZ, GRAL. AV. 15802	CORBETA BELFAST 5261
PAZ, GRAL. AV. 15702	CORBETA BELFAST 5301
PAZ, GRAL. AV. 15602	GOLETA JULIET 0
SALADILLO 4801	GOLETA JULIET 6001
	GOLETA JULIET 0
Contenedor en SALADILLO 4889	SUMACA SANTISIMA TRINIDAD 5351
SALADILLO 4801	BERON DE ASTRADA 5901
SALADILLO 4901	BERON DE ASTRADA 0
	CAFAYATE 5352
Contenedor en SALADILLO 4942	
SALADILLO 4901	Contenedor en CAFAYATE y BERON DE ASTRADA
SALADILLO 5001	CAFAYATE 5352
	CAFAYATE 5302
Contenedor en SALADILLO 5057	CAFAYATE 5202
SALADILLO 5001	
Contenedor en SALADILLO y CHILAVERT, M.	Contenedor en CAFAYATE y GOLETA FORTUNA
SALADILLO 5001	CAFAYATE 5202
SALADILLO 5101	CAFAYATE 5102
FERNANDEZ DE LA CRUZ 6901	Contenedor en CAFAYATE y GOLETA INVENCIBLE
PAZ, GRAL. AV. 15902	CAFAYATE 5102
CHILAVERT, M. 6901	CAFAYATE 5072
	CAFAYATE 5022

Capítulo B. Itinerarios mínimos

	CHILAVERT, M. 5601
Contenedor en CAFAYATE y URIBURU, NAPOLEON, GRAL.	OLIDEN 4601
CAFAYATE 5022	
CAFAYATE 5002	Contenedor en OLIDEN 4614
CAFAYATE 4902	OLIDEN 4601
CAFAYATE 4872	BARRROS PAZOS, JOSE 5501
	LARRAZABAL 4201
Contenedor en CAFAYATE y FRAGATA 25 DE MAYO	LARRAZABAL 4101
CAFAYATE 4872	
DIAZ, ANA 5701	Contenedor en LARRAZABAL y BATLLE Y ORDOÑEZ
	LARRAZABAL 4101
Contenedor en DIAZ, ANA y CAFAYATE	LARRAZABAL 4053
DIAZ, ANA 5701	
DIAZ, ANA 5601	Contenedor en LARRAZABAL y CALOU, JUAN P.
	LARRAZABAL 4053
Contenedor en DIAZ, ANA y SOLDADO DE LA FRONTERA	CALOU, JUAN P. 5401
DIAZ, ANA 5601	LARRAYA 4001
DIAZ, ANA 5401	SAYOS 5401
LARRAZABAL AV. 4551	
LARRAZABAL AV. 4601	Contenedor en SAYOS 5402
LARRAZABAL AV. 4651	SAYOS 5401
LARRAZABAL AV. 4701	
DESCALZI, NICOLAS 5401	Contenedor en SAYOS y LARRAZABAL
SOLDADO DE LA FRONTERA AV. 4926	SAYOS 5401
SOLDADO DE LA FRONTERA AV. 4902	SAYOS 5501
DIAZ, ANA 5601	
SOLDADO DE LA FRONTERA AV. 0	Contenedor en SAYOS 5552
SOLDADO DE LA FRONTERA AV. 4901	SAYOS 5501
SOLDADO DE LA FRONTERA AV. 5001	SAYOS 5601
URIBURU, NAPOLEON, GRAL. 5661	
URIBURU, NAPOLEON, GRAL. 5677	Contenedor en SAYOS 5645
URIBURU, NAPOLEON, GRAL. 5777	SAYOS 5601
URIBURU, NAPOLEON, GRAL. 5851	SAYOS 5701
CAFAYATE 5022	
	Contenedor en SAYOS 5735
Contenedor en CAFAYATE 5023	SAYOS 5701
CAFAYATE 5022	SAYOS 5801
CAFAYATE 5002	
CAFAYATE 4902	Contenedor en SAYOS 5855
FRAGATA 25 DE MAYO 0	SAYOS 5801
FRAGATA 25 DE MAYO 5901	SAYOS 5901
FRAGATA 25 DE MAYO 6051	
DE LA TORRE, L. 4851	Contenedor en SAYOS 5937
DE LA TORRE, L. 4801	SAYOS 5901
DE LA TORRE, L. 0	SAYOS 6001
DE LA TORRE, L. 4717	
DE LA TORRE, L. 4701	Contenedor en SAYOS 6031
DE LA TORRE, L. 4601	SAYOS 6001
BARRROS PAZOS, JOSE 6051	SAYOS 6051
BARRROS PAZOS, JOSE 6001	
BARRROS PAZOS, JOSE 5901	Contenedor en SAYOS 6073
BARRROS PAZOS, JOSE 5801	SAYOS 6051
LEGUIZAMON, M 4601	DE LA TORRE, L. 4301
	RIESTRA AV. 6052
Contenedor en LEGUIZAMON, M 4662	HUDSON 0
LEGUIZAMON, M 4601	HUDSON 4151
CHILAVERT, M. 5701	HUDSON 0

HUDSON 0	CHILAVERT, M. 6001
HUDSON 4151	CHILAVERT, M. 5901
RIESTRA AV. 6051	CAFAYATE 4601
Contenedor en RIESTRA AV. y DE LA TORRE, L.	Contenedor en CAFAYATE 4670
RIESTRA AV. 6051	CAFAYATE 4601
RIESTRA AV. 6101	
Contenedor en RIESTRA AV. y GORDILLO, T	Contenedor en CAFAYATE 4602
RIESTRA AV. 6101	CAFAYATE 4601
RIESTRA AV. 6201	CAFAYATE 4501
RIESTRA AV. 6301	
RIESTRA AV. 6302	Contenedor en CAFAYATE 4549
	CAFAYATE 4501
	CAFAYATE 4401
Contenedor en RIESTRA AV. y CAÑADA DE GOMEZ	
RIESTRA AV. 6302	Contenedor en CAFAYATE 4447
RIESTRA AV. 6202	CAFAYATE 4401
RIESTRA AV. 6102	CAFAYATE 4301
RIESTRA AV. 6052	
RIESTRA AV. 6002	Contenedor en CAFAYATE 4345
	CAFAYATE 4301
Contenedor en RIESTRA AV. y HUDSON	CAFAYATE 4201
RIESTRA AV. 6002	
RUCCI, J. I. 4201	Contenedor en CAFAYATE 4280
RUCCI, J. I. 4301	CAFAYATE 4201
	CAFAYATE 0
Contenedor en RUCCI, J. I. 4349	CAFAYATE 4161
RUCCI, J. I. 4301	
RUCCI, J. I. 4401	Contenedor en CAFAYATE 4177
	CAFAYATE 4161
Contenedor en RUCCI, J. I. 4405	GALLO, DELFIN 5801
RUCCI, J. I. 4401	
RUCCI, J. I. 4501	Contenedor en GALLO, DELFIN y CAFAYATE
	GALLO, DELFIN 5801
Contenedor en RUCCI, J. I. 4549	
RUCCI, J. I. 4501	Contenedor en GALLO, DELFIN y LEGUIZAMON, M
RUCCI, J. I. 4601	GALLO, DELFIN 5801
	GALLO, DELFIN 5701
Contenedor en RUCCI, J. I. 4651	MURGUIONDO 4101
RUCCI, J. I. 4601	
CHILAVERT, M. 5901	Contenedor en MURGUIONDO y GALLO, DELFIN
CHILAVERT, M. 5801	MURGUIONDO 4101
CHILAVERT, M. 5701	MURGUIONDO 0
MURGUIONDO 4701	MURGUIONDO 0
	MURGUIONDO 4101
Contenedor en MURGUIONDO 4751	MURGUIONDO 4151
MURGUIONDO 4701	MURGUIONDO 0
FERNANDEZ DE LA CRUZ 5701	RIESTRA AV. 5602
Contenedor en FERNANDEZ DE LA CRUZ 5791	Contenedor en RIESTRA AV. y MURGUIONDO
FERNANDEZ DE LA CRUZ 5701	RIESTRA AV. 5602
FERNANDEZ DE LA CRUZ 5901	OLIDEN 0
	OLIDEN 4101
Contenedor en FERNANDEZ DE LA CRUZ 5921	
FERNANDEZ DE LA CRUZ 5901	Contenedor en OLIDEN 4177
DE LA TORRE, L. 4717	OLIDEN 4101
CHILAVERT, M. 6051	OLIDEN 0

Capítulo B. Itinerarios mínimos

---

OLIDEN 0  
OLIDEN 4101  
RIESTRA AV. 5601  
MURGUIONDO 0  
MURGUIONDO 4201

Contenedor en MURGUIONDO 4273  
MURGUIONDO 4201

Contenedor en MURGUIONDO y SAYOS  
MURGUIONDO 4201  
MURGUIONDO 4301

Contenedor en MURGUIONDO 4346  
MURGUIONDO 4301  
MURGUIONDO 4401

Contenedor en MURGUIONDO 4469  
MURGUIONDO 4401  
MURGUIONDO 4501

Contenedor en MURGUIONDO 4510  
MURGUIONDO 4501

Contenedor en MURGUIONDO 4562  
MURGUIONDO 4501  
BARROS PAZOS, JOSE 5601  
OLIDEN 4501

Contenedor en OLIDEN 4552  
OLIDEN 4501  
OLIDEN 4401

Contenedor en OLIDEN 4452  
OLIDEN 4401  
OLIDEN 4301

Contenedor en OLIDEN 4330  
OLIDEN 4301  
OLIDEN 4201

Contenedor en OLIDEN 4294  
OLIDEN 4201  
RIESTRA AV. 5502  
LARRAZABAL 0  
LARRAZABAL 3805

Contenedor en LARRAZABAL 3860  
LARRAZABAL 3805  
LARRAZABAL 3801

Contenedor en LARRAZABAL y SOMELLERA  
LARRAZABAL 3801  
LARRAZABAL 3755

Contenedor en LARRAZABAL y MALDONADO  
LARRAZABAL 3755

LARRAZABAL 3701  
LARRAZABAL 3601

Contenedor en LARRAZABAL y AQUINO  
LARRAZABAL 3601

Contenedor en LARRAZABAL 3628  
LARRAZABAL 3601  
DELLEPIANE. 0

ARGENTINA AV. 5401  
AQUINO 5401  
AQUINO 5501  
AQUINO 5601  
MURGUIONDO 4001

Contenedor en MURGUIONDO 4002  
MURGUIONDO 4001

Contenedor en MURGUIONDO y SOMELLERA  
MURGUIONDO 4001  
SOMELLERA 5701  
SOMELLERA 5801  
CAFAYATE 4051

Contenedor en CAFAYATE 4058  
CAFAYATE 4051  
DELLEPIANE. 5802  
LEGUIZAMON, M 4001  
SOMELLERA 5801  
CAFAYATE 4101  
CAFAYATE 0  
CAFAYATE 0  
CAFAYATE 4101  
SOMELLERA 5801

Contenedor en SOMELLERA 5833  
SOMELLERA 5801  
SOMELLERA 5701

Contenedor en SOMELLERA 5779  
SOMELLERA 5701  
SOMELLERA 5601

Contenedor en SOMELLERA 5635  
SOMELLERA 5601  
SOMELLERA 5501

Contenedor en SOMELLERA 5539  
SOMELLERA 5501  
SOMELLERA 5401

Contenedor en SOMELLERA 5445  
SOMELLERA 5401  
SOMELLERA 5301

Contenedor en SOMELLERA 5371  
SOMELLERA 5301

Contenedor en SOMELLERA y FONROUGE	Contenedor en ALBARIÑO 3046
SOMELLERA 5301	ALBARIÑO 3001
SOMELLERA 5251	SANTANDER 4901
SOMELLERA 5201	CORVALAN 2901
	CORVALAN 0
	CORVALAN 0
	CORVALAN 2901
Contenedor en SOMELLERA 5205	Contenedor en CORVALAN 2990
SOMELLERA 5201	CORVALAN 2901
SOMELLERA 5101	SANTANDER 4851
SOMELLERA 5001	SANTANDER 4801
SOMELLERA 4901	ARAUJO 2901
CORVALAN 3401	ARAUJO 0
CORVALAN 3301	ARAUJO 0
CORVALAN 3201	ARAUJO 0
CASTAÑARES AV. 4901	ARAUJO 2901
CASTAÑARES AV. 4951	
Contenedor en CASTAÑARES AV. 4952	Contenedor en ARAUJO 2975
CASTAÑARES AV. 4951	ARAUJO 2901
CASTAÑARES AV. 5001	ARAUJO 2801
CASTAÑARES AV. 0	ALVAREZ, CRISOSTOMO 4701
CASTAÑARES AV. 0	ALVAREZ, CRISOSTOMO 4601
CASTAÑARES AV. 0	ALVAREZ, CRISOSTOMO 4501
DELLEPIANE. 5301	ESCALADA AV. 2501
	ESCALADA AV. 2601
Contenedor en DELLEPIANE. 5301	DELLEPIANE. 4501
DELLEPIANE. 5301	BASUALDO 2801
LARRAYA 3501	
CASTAÑARES AV. 5301	Contenedor en BASUALDO y SANTANDER
FONROUGE 3401	BASUALDO 2801
SARAZA 5201	BASUALDO 2701
SARAZA 5101	ALVAREZ, CRISOSTOMO 4601
SARAZA 5081	ALVAREZ, CRISOSTOMO 4501
Contenedor en SARAZA 5083	Contenedor en ALVAREZ, CRIS. y GUARDIA NAC.
SARAZA 5081	ALVAREZ, CRISOSTOMO 4501
SARAZA 0	ALVAREZ, CRISOSTOMO 4451
SARAZA 0	ALVAREZ, CRISOSTOMO 4401
SARAZA 5081	ALVAREZ, CRISOSTOMO 4301
MIRALLA 3101	WHITE 2301
BALBASTRO 5051	WHITE 2201
BALBASTRO 0	ZUVIRIA 4201
BALBASTRO 0	ZUVIRIA 4111
BALBASTRO 5051	DERQUI AV. 4101
	DERQUI AV. 0
Contenedor en BALBASTRO 5072	DERQUI AV. 4001
BALBASTRO 5051	DERQUI AV. 3971
	DERQUI AV. 3941
Contenedor en BALBASTRO 5075	DERQUI AV. 3901
BALBASTRO 5051	DERQUI AV. 3801
MIRALLA 3001	FERNANDEZ 1641
SANTANDER 5001	ECHEANDIA 3701
ALBARIÑO 3001	LACARRA AV. 1701
ALBARIÑO 0	LACARRA AV. 1611
ALBARIÑO 0	LACARRA AV. 1611
ALBARIÑO 3001	DELLEPIANE. 3602
	MORENO, PERITO AV. 3651

MORENO, PERITO AV. 3601  
 MORENO, PERITO AV. 3401  
 MORENO, PERITO AV. 3201  
 MORENO, PERITO AV. 3001  
 MORENO, PERITO AV. 2951  
 MORENO, PERITO AV. 2901  
 MORENO, PERITO AV. 2501  
 MORENO, PERITO AV. 2491  
 MORENO, PERITO AV. 2402  
 VARELA AV. 2201

## Depósito

VARELA AV. 2201  
 JANER, ANA MARIA 2501  
 JANER, ANA MARIA 2801  
 LAFUENTE AV. 2302  
 LAFUENTE AV. 0  
 LAFUENTE AV. 1801  
 LAFUENTE AV. 0  
 LAFUENTE AV. 0  
 LAFUENTE AV. 0  
 LAFUENTE AV. 0

LAFUENTE AV. 1751  
 LAFUENTE AV. 0  
 LAFUENTE AV. 1701  
 LAFUENTE AV. 1663  
 LAFUENTE AV. 1601  
 LAFUENTE AV. 1501  
 LAFUENTE AV. 1401  
 LAFUENTE AV. 1301  
 LAFUENTE AV. 1201  
 ECHEANDIA 2901  
 ECHEANDIA 2801  
 ECHEANDIA 2701  
 ECHEANDIA 2601  
 VARELA AV. 1101  
 VARELA AV. 1001  
 VARELA AV. 901  
 VARELA AV. 801  
 VARELA AV. 701  
 VARELA AV. 601  
 VARELA AV. 501

Ente de Higiene Urbana

### B.3. Mejor Tour 3: Liniers

#### B.3.1. Orden del itinerario

A continuación vemos el orden de recolección de los contenedores de un itinerario de distancia mínima. Comienza en el EHU, recolecta todos los contenedores, va hacia el depósito a descargar los residuos y vuelve al EHU.

1	Ente de Higiene Urbana	23	BUERAS 241
2	FALCON, RAMON y GUARDIA NAC.	24	BYNNON 6903
3	FALCON, RAMON y ESCALADA AV.	25	CUZCO 220
4	FALCON, RAMON y ARAUJO	26	JACQUES, AMADEO 6992
5	FALCON, RAMON y BASUALDO	27	CUZCO 110
6	GORDILLO, T. 238	28	JACQUES, AMADEO 7089
7	GORDILLO, T. 187	29	JACQUES, AMADEO 7020
8	GORDILLO, T. 131	30	JACQUES, AMADEO 6960
9	GORDILLO, T. 57	31	BYNNON 6992
10	GORDILLO, T. 11	32	CUZCO 190
11	BARRAGAN 201	33	IBARROLA 7241
12	BARRAGAN 257	34	IBARROLA 7299
13	BYNNON 6827	35	FALCON, RAMON L. 7299
14	CASCO 124	36	FALCON, RAMON L. 7236
15	BYNNON 6897	37	FALCON, RAMON L. y SUAREZ
16	GANÁ 105	38	SUAREZ, JOSE LEON 140
17	MADERO 166	39	BOSCH, VENTURA 7101
18	MADERO 249	40	BOSCH, VENTURA 7001
19	BYNNON 6640	41	BOSCH, VENTURA 6996
20	GANÁ 302	42	COSQUIN 256
21	GANÁ 228	43	COSQUIN 195
22	BYNNON 6947	44	COSQUIN 166

45	COSQUIN 145	92	FALCON, RAMON L. y TAFI
46	COSQUIN 26	93	FALCON, RAMON L. y OLIDEN
47	SUAREZ, JOSE LEON 28	94	FALCON, RAMON L. y LARRAZABAL
48	FALCON, RAMON L. 7155	95	FALCON, RAMON L. y FONROUGE
49	FALCON, RAMON L. 7101	96	FALCON, RAMON L. y TUYU
50	FALCON, RAMON L. 7035	97	FALCON, RAMON L. y TONELERO
51	FALCON, RAMON L. 7001	98	FALCON, RAMON L. y POLA
52	CARHUE 153	99	FALCON, RAMON L. 6001
53	CARHUE 187	100	FALCON, RAMON y ALBARIÑO
54	IBARROLA 7001	101	FALCON, RAMON y CORVALAN
55	IBARROLA 7016	102	BRAGADO y GORDILLO, T.
56	IBARROLA 7056	103	BRAGADO 6561
57	IBARROLA 7101	104	PILAR y BRAGADO
58	IBARROLA y SUAREZ, JOSE LEON	105	ARTIGAS MANUEL de 7149
59	SUAREZ, JOSE LEON 260	106	ARTIGAS MANUEL de 7044
60	BOSCH, VENTURA 7299	107	ARTIGAS MANUEL de 6958
61	BOSCH, VENTURA 7201	108	ARTIGAS MANUEL de 6846
62	MONTIEL 219	109	ARTIGAS MANUEL de 6758
63	MONTIEL 141	110	ARTIGAS MANUEL de 6636
64	MONTIEL 27	111	ARTIGAS MANUEL de 6531
65	CARHUE 47	112	ARTIGAS MANUEL de 6420
66	CARHUE 88	113	ARTIGAS MANUEL de 6352
67	FALCON, RAMON L. 6891	114	ARTIGAS MANUEL de 6256
68	FALCON, RAMON L. 6842	115	ARTIGAS MANUEL de 6140
69	FALCON, RAMON L. 6801	116	ARTIGAS MANUEL de 6080
70	FALCON, RAMON L. 6737	117	ARTIGAS MANUEL de 5952
71	FALCON, RAMON L. 6708	118	ARTIGAS MANUEL de 5866
72	FALCON, RAMON L. 6693	119	ARTIGAS MANUEL de 5750
73	FALCON, RAMON L. y LEGUIZAMON, M.	120	ARTIGAS MANUEL de 5644
74	FALCON, RAMON L. y MURGUIONDO	121	ARTIGAS MANUEL de 5542
75	IBARROLA 6701	122	ARTIGAS MANUEL de 5466
76	IBARROLA 6770	123	ARTIGAS MANUEL de 5348
77	IBARROLA 6845	124	BRAGADO 6054
78	IBARROLA 6901	125	BRAGADO 5965
79	IBARROLA 6931	126	BRAGADO 5848
80	CARHUE 235	127	BRAGADO 5740
81	CARHUE 270	128	BRAGADO 5658
82	CARHUE 273	129	BRAGADO 5542RUCCI, J. I.
83	BOSCH, VENTURA 6954	130	BRAGADO 5456
84	BOSCH, VENTURA 6888	131	BRAGADO 5350
85	BOSCH, VENTURA 6829	132	BRAGADO 5228
86	BOSCH, VENTURA 6788	133	BRAGADO 5138
87	BOSCH, VENTURA 6754	134	BRAGADO 5072
88	BOSCH, VENTURA 6728	135	BRAGADO 4942
89	DE LA TORRE, L. 230	136	Depósito
90	DE LA TORRE, L. 120	137	Ente de Higiene Urbana
91	DE LA TORRE, L. 44		

### B.3.2. Ruta completa

A continuación vemos el itinerario completo. Se muestra un listado de las cuadras por las que podríar pasar el camión para realizar recorridos mínimos entre cada par de elementos.

Ente de Higiene Urbana	FALCON, RAMON 5402
VARELA AV. 501	
REMEDIOS 2601	Contenedor en FALCON, RAMON y ESCALADA AV.
REMEDIOS 2701	FALCON, RAMON 5402
REMEDIOS 2801	ACASSUSO 5101
REMEDIOS 2901	ACASSUSO 5201
REMEDIOS 3001	BASUALDO 101
REMEDIOS 3101	FALCON, RAMON 5602
REMEDIOS 3201	FALCON, RAMON 0
REMEDIOS 3301	FALCON, RAMON 0
REMEDIOS 3401	FALCON, RAMON 5602
REMEDIOS 3501	
ACOSTA, MARIANO AV. 701	Contenedor en FALCON, RAMON y ARAUJO
ACOSTA, MARIANO AV. 601	FALCON, RAMON 5602
ACOSTA, MARIANO AV. 581	FALCON, RAMON 5502
ACOSTA, MARIANO AV. 501	
ACOSTA, MARIANO AV. 401	Contenedor en FALCON, RAMON y BASUALDO
ACOSTA, MARIANO AV. 301	FALCON, RAMON 5502
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 3801	FALCON, RAMON 0
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 301	FALCON, RAMON 0
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 3901	FALCON, RAMON 5502
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 0	BASUALDO 0
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4001	FALCON, RAMON 5601
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4101	FALCON, RAMON 5701
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4151	FALCON, RAMON 5801
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4171	ALBARIÑO 0
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4201	FALCON, RAMON 5901
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4251	CAAGUAZU 5701
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4301	CAAGUAZU 5801
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4351	CAAGUAZU 5901
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4401	LARRAZABAL 201
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4451	TONELERO 6001
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 0	TONELERO 6101
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 0	TONELERO 0
CASTRO, EMILIO 0	SANTIAGO DE CHILE 6401
CASTRO, EMILIO 4701	MURGUIONDO 369
CASTRO, EMILIO 4801	PALMAR 6501
CASTRO, EMILIO 4901	PALMAR 6601
CASTRO, EMILIO 5001	PALMAR 6701
CASTRO, EMILIO 5091	PALMAR 6743
ESCALADA AV. 501	PALMAR 6761
ESCALADA AV. 0	GORDILLO, T. 301
ESCALADA AV. 401	GORDILLO, T. 283
ESCALADA AV. 373	GORDILLO, T. 261
ESCALADA AV. 335	GORDILLO, T. 231
ESCALADA AV. 301	
ESCALADA AV. 261	Contenedor en GORDILLO, T. 238
ESCALADA AV. 225	GORDILLO, T. 231
ESCALADA AV. 201	GORDILLO, T. 213
ESCALADA AV. 123	GORDILLO, T. 201
ESCALADA AV. 101	GORDILLO, T. 181
FALCON, RAMON 5402	
FALCON, RAMON 0	Contenedor en GORDILLO, T. 187
FALCON, RAMON 0	GORDILLO, T. 181
FALCON, RAMON 5402	GORDILLO, T. 161
	GORDILLO, T. 131
Contenedor en FALCON, RAMON y GUARDIA NACIONAL	

Contenedor en GORDILLO, T. 131  
GORDILLO, T. 131  
GORDILLO, T. 111  
GORDILLO, T. 101  
GORDILLO, T. 41

Contenedor en GORDILLO, T. 57  
GORDILLO, T. 41  
GORDILLO, T. 1

Contenedor en GORDILLO, T. 11  
GORDILLO, T. 1  
BARRAGAN 1  
BARRAGAN 201

Contenedor en BARRAGAN 201  
BARRAGAN 201

Contenedor en BARRAGAN 257  
BARRAGAN 201  
BARRAGAN 301  
FRAGUEIRO 0  
FRAGUEIRO 301  
GALLARDO 301  
GALLARDO 0  
GALLARDO 201  
BYNNON 6701  
BYNNON 6801

Contenedor en BYNNON 6827  
BYNNON 6801  
BYNNON 6851  
GANA 101  
VIEDMA, FRANCISCO de 6851  
CASCO 101

Contenedor en CASCO 124  
CASCO 101  
BYNNON 6851

Contenedor en BYNNON 6897  
BYNNON 6851  
GANA 101

Contenedor en GANA 105  
GANA 101  
VIEDMA, FRANCISCO de 6851  
VIEDMA, FRANCISCO de 6801  
MADERO 101

Contenedor en MADERO 166  
MADERO 101  
MADERO 201

Contenedor en MADERO 249  
MADERO 201  
JACQUES, AMADEO 6701

GALLARDO 201  
BYNNON 6601

Contenedor en BYNNON 6640  
BYNNON 6601  
BARRAGAN 301  
FRAGUEIRO 0  
FRAGUEIRO 301  
FRAGUEIRO 0  
FRAGUEIRO 401  
MADRID 6601  
MADRID 6701  
GANA 451  
GANA 401  
GANA 301

Contenedor en GANA 302  
GANA 301  
GANA 201

Contenedor en GANA 228  
GANA 201  
BYNNON 6901

Contenedor en BYNNON 6947  
BYNNON 6901  
BUERAS 201

Contenedor en BUERAS 241  
BUERAS 201  
JACQUES, AMADEO 6901  
GANA 201  
BYNNON 6901

Contenedor en BYNNON 6903  
BYNNON 6901  
BYNNON 6951  
CUZCO 201

Contenedor en CUZCO 220  
CUZCO 201  
JACQUES, AMADEO 6951

Contenedor en JACQUES, AMADEO 6992  
JACQUES, AMADEO 6951  
BUERAS 201  
BYNNON 6951  
CUZCO 117  
CUZCO 101

Contenedor en CUZCO 110  
CUZCO 101  
ROFFO, ANGEL H., Dr. 7001  
PAZ, GRAL. AV. 10402  
JACQUES, AMADEO 7001

Contenedor en JACQUES, AMADEO 7089

JACQUES, AMADEO 7001

Contenedor en JACQUES, AMADEO 7020

JACQUES, AMADEO 7001

JACQUES, AMADEO 6951

Contenedor en JACQUES, AMADEO 6960

JACQUES, AMADEO 6951

BUERAS 201

BYNNON 6951

Contenedor en BYNNON 6992

BYNNON 6951

CUZCO 117

Contenedor en CUZCO 190

CUZCO 117

CUZCO 101

CUZCO 1

SUAREZ, JOSE LEON 1

SUAREZ, JOSE LEON 101

IBARROLA 7201

Contenedor en IBARROLA 7241

IBARROLA 7201

Contenedor en IBARROLA 7299

IBARROLA 7201

PAZ, GRAL. AV. 10702

FALCON, RAMON L. 7201

Contenedor en FALCON, RAMON L. 7299

FALCON, RAMON L. 7201

Contenedor en FALCON, RAMON L. 7236

FALCON, RAMON L. 7201

Contenedor en FALCON, RAMON L. y SUAREZ, JOSE LEON 7101

FALCON, RAMON L. 7201

SUAREZ, JOSE LEON 101

Contenedor en SUAREZ, JOSE LEON 140

SUAREZ, JOSE LEON 101

SUAREZ, JOSE LEON 201

BOSCH, VENTURA 7101

Contenedor en BOSCH, VENTURA 7101

BOSCH, VENTURA 7101

BOSCH, VENTURA 7021

BOSCH, VENTURA 7001

Contenedor en BOSCH, VENTURA 7001

BOSCH, VENTURA 7001

BOSCH, VENTURA 6991

Contenedor en BOSCH, VENTURA 6996

BOSCH, VENTURA 6991

BOSCH, VENTURA 6971

BOSCH, VENTURA 6951

BOSCH, VENTURA 6931

BOSCH, VENTURA 6901

COSQUIN 289

COSQUIN 259

COSQUIN 237

Contenedor en COSQUIN 256

COSQUIN 237

COSQUIN 217

COSQUIN 201

COSQUIN 175

Contenedor en COSQUIN 195

COSQUIN 175

COSQUIN 155

Contenedor en COSQUIN 166

COSQUIN 155

COSQUIN 141

Contenedor en COSQUIN 145

COSQUIN 141

COSQUIN 123

COSQUIN 101

COSQUIN 1

Contenedor en COSQUIN 26

COSQUIN 1

RIVADAVIA AV. 11301

RIVADAVIA AV. 11401

RIVADAVIA AV. 11501

SUAREZ, JOSE LEON 1

Contenedor en SUAREZ, JOSE LEON 28

SUAREZ, JOSE LEON 1

FALCON, RAMON L. 7101

Contenedor en FALCON, RAMON L. 7155

FALCON, RAMON L. 7101

Contenedor en FALCON, RAMON L. 7101

FALCON, RAMON L. 7101

FALCON, RAMON L. 7023

Contenedor en FALCON, RAMON L. 7035

FALCON, RAMON L. 7023

FALCON, RAMON L. 7001

Contenedor en FALCON, RAMON L. 7001

FALCON, RAMON L. 7001

CARHUE 101

CARHUE 131

CARHUE 151

Contenedor en CARHUE 153

CARHUE 151	Contenedor en CARHUE 88
CARHUE 171	CARHUE 1
CARHUE 185	FALCON, RAMON L. 6901
	FALCON, RAMON L. 6801
Contenedor en CARHUE 187	
CARHUE 185	Contenedor en FALCON, RAMON L. 6891
IBARROLA 7001	FALCON, RAMON L. 6801
Contenedor en IBARROLA 7001	
IBARROLA 7001	Contenedor en FALCON, RAMON L. 6842
	FALCON, RAMON L. 6801
Contenedor en IBARROLA 7016	
IBARROLA 7001	Contenedor en FALCON, RAMON L. 6801
IBARROLA 7021	FALCON, RAMON L. 6801
	FALCON, RAMON L. 6775
Contenedor en IBARROLA 7056	FALCON, RAMON L. 6747
IBARROLA 7021	FALCON, RAMON L. 6701
IBARROLA 7101	
	Contenedor en FALCON, RAMON L. 6737
Contenedor en IBARROLA 7101	FALCON, RAMON L. 6701
IBARROLA 7101	
	Contenedor en FALCON, RAMON L. 6708
Contenedor en IBARROLA y SUAREZ, JOSE LEON	FALCON, RAMON L. 6701
IBARROLA 7101	FALCON, RAMON L. 6601
SUAREZ, JOSE LEON 201	
	Contenedor en FALCON, RAMON L. 6693
Contenedor en SUAREZ, JOSE LEON 260	FALCON, RAMON L. 6601
SUAREZ, JOSE LEON 201	
SUAREZ, JOSE LEON 301	Contenedor en FALCON, RAMON L. y LEGUIZAMON, M.
PALMAR 7201	FALCON, RAMON L. 6601
PAZ, GRAL. AV. 10902	FALCON, RAMON L. 6501
BOSCH, VENTURA 7201	
	Contenedor en FALCON, RAMON L. y MURGUIONDO
Contenedor en BOSCH, VENTURA 7299	FALCON, RAMON L. 6501
BOSCH, VENTURA 7201	MURGUIONDO 101
	IBARROLA 6501
Contenedor en BOSCH, VENTURA 7201	IBARROLA 6601
BOSCH, VENTURA 7201	IBARROLA 6701
BOSCH, VENTURA 7101	
MONTIEL 201	Contenedor en IBARROLA 6701
	IBARROLA 6701
Contenedor en MONTIEL 219	IBARROLA 6751
MONTIEL 201	
MONTIEL 101	Contenedor en IBARROLA 6770
	IBARROLA 6751
Contenedor en MONTIEL 141	IBARROLA 6791
MONTIEL 101	IBARROLA 6801
MONTIEL 1	
	Contenedor en IBARROLA 6845
Contenedor en MONTIEL 27	IBARROLA 6801
MONTIEL 1	IBARROLA 6901
RIVADAVIA AV. 11401	
CARHUE 1	Contenedor en IBARROLA 6901
	IBARROLA 6901
Contenedor en CARHUE 47	
CARHUE 1	Contenedor en IBARROLA 6931
	IBARROLA 6901
	CARHUE 201

CARHUE 211	RIVADAVIA AV. 11063
Contenedor en CARHUE 235	RIVADAVIA AV. 11001
CARHUE 211	MURGUIONDO 1
CARHUE 237	FALCON, RAMON L. 6447
CARHUE 255	Contenedor en FALCON, RAMON L. y TAFI
Contenedor en CARHUE 270	FALCON, RAMON L. 6447
CARHUE 255	FALCON, RAMON L. 6401
Contenedor en CARHUE 273	Contenedor en FALCON, RAMON L. y OLIDEN
CARHUE 255	FALCON, RAMON L. 6401
CARHUE 281	FALCON, RAMON L. 6365
BOSCH, VENTURA 6991	Contenedor en FALCON, RAMON L. y LARRAZABAL
BOSCH, VENTURA 6971	FALCON, RAMON L. 6365
BOSCH, VENTURA 6951	FALCON, RAMON L. 6301
Contenedor en BOSCH, VENTURA 6954	Contenedor en FALCON, RAMON L. y FONROUGE
BOSCH, VENTURA 6951	FALCON, RAMON L. 6301
BOSCH, VENTURA 6931	FALCON, RAMON L. 6251
BOSCH, VENTURA 6901	Contenedor en FALCON, RAMON L. y TUYU
BOSCH, VENTURA 6871	FALCON, RAMON L. 6251
Contenedor en BOSCH, VENTURA 6888	FALCON, RAMON L. 6209
BOSCH, VENTURA 6871	Contenedor en FALCON, RAMON L. y TONELERO
BOSCH, VENTURA 6851	FALCON, RAMON L. 6209
BOSCH, VENTURA 6831	FALCON, RAMON L. 6101
BOSCH, VENTURA 6801	Contenedor en FALCON, RAMON L. y POLA
Contenedor en BOSCH, VENTURA 6829	FALCON, RAMON L. 6101
BOSCH, VENTURA 6801	FALCON, RAMON L. 0
BOSCH, VENTURA 6771	FALCON, RAMON L. 6001
Contenedor en BOSCH, VENTURA 6788	Contenedor en FALCON, RAMON L. 6001
BOSCH, VENTURA 6771	FALCON, RAMON L. 6001
BOSCH, VENTURA 6741	FALCON, RAMON 5901
Contenedor en BOSCH, VENTURA 6754	FALCON, RAMON 5802
BOSCH, VENTURA 6741	Contenedor en FALCON, RAMON y ALBARIÑO
BOSCH, VENTURA 6701	FALCON, RAMON 5802
Contenedor en BOSCH, VENTURA 6728	FALCON, RAMON 5702
BOSCH, VENTURA 6701	Contenedor en FALCON, RAMON y CORVALAN
DE LA TORRE, L. 201	FALCON, RAMON 5702
Contenedor en DE LA TORRE, L. 230	FALCON, RAMON 0
DE LA TORRE, L. 201	FALCON, RAMON 0
DE LA TORRE, L. 101	FALCON, RAMON 5702
Contenedor en DE LA TORRE, L. 120	GARCIA DE COSSIO 5501
DE LA TORRE, L. 101	ALBARIÑO 201
DE LA TORRE, L. 51	ALBARIÑO 301
DE LA TORRE, L. 1	ALBARIÑO 401
Contenedor en DE LA TORRE, L. 44	ALBARIÑO 501
DE LA TORRE, L. 1	ALBARIÑO 601
RIVADAVIA AV. 11093	ALBARIÑO 651
	ALBARIÑO 701
	ALBARIÑO 751

ALBARIÑO 801	ARTIGAS MANUEL de 6901
ALBARIÑO 851	ARTIGAS MANUEL de 6801
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 5601	
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 5701	Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 6846
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 5801	ARTIGAS MANUEL de 6801
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 5901	ARTIGAS MANUEL de 6701
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 6001	
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 6101	Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 6758
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 6201	ARTIGAS MANUEL de 6701
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 6301	ARTIGAS MANUEL de 6601
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 6401	
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 6501	Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 6636
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 6601	ARTIGAS MANUEL de 6601
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 6701	ARTIGAS MANUEL de 6501
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 6801	
CAÑADA DE GOMEZ 1701	Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 6531
CAÑADA DE GOMEZ 1801	ARTIGAS MANUEL de 6501
CAÑADA DE GOMEZ 1901	ARTIGAS MANUEL de 6401
BRAGADO 0	
BRAGADO 6601	Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 6420
	ARTIGAS MANUEL de 6401
Contenedor en BRAGADO y GORDILLO, T.	ARTIGAS MANUEL de 6301
BRAGADO 6601	
BRAGADO 6501	Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 6352
	ARTIGAS MANUEL de 6301
Contenedor en BRAGADO 6561	MURGUIONDO 0
BRAGADO 6501	ARTIGAS MANUEL de 6201
BRAGADO 6401	
BRAGADO 6301	Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 6256
CAFAYATE 1801	ARTIGAS MANUEL de 6201
TAPALQUE 6301	ARTIGAS MANUEL de 6101
PILAR 1801	
	Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 6140
Contenedor en PILAR y BRAGADO	ARTIGAS MANUEL de 6101
PILAR 1801	ARTIGAS MANUEL de 6001
PILAR 1701	
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 6401	Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 6080
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 0	ARTIGAS MANUEL de 6001
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 6501	ARTIGAS MANUEL de 5901
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 0	
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 6601	Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 5952
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 6651	ARTIGAS MANUEL de 5901
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 6701	ARTIGAS MANUEL de 5801
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 6801	
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 6901	Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 5866
CARHUE 0	ARTIGAS MANUEL de 5801
ARTIGAS MANUEL de 7101	ARTIGAS MANUEL de 5701
Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 7149	Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 5750
ARTIGAS MANUEL de 7101	ARTIGAS MANUEL de 5701
ARTIGAS MANUEL de 7001	ARTIGAS MANUEL de 5601
Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 7044	Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 5644
ARTIGAS MANUEL de 7001	ARTIGAS MANUEL de 5601
ARTIGAS MANUEL de 6901	ARTIGAS MANUEL de 5501
Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 6958	Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 5542

ARTIGAS MANUEL de 5501	Contenedor en BRAGADO 5350
ARTIGAS MANUEL de 5401	BRAGADO 5301
	BRAGADO 5201
Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 5466	
ARTIGAS MANUEL de 5401	Contenedor en BRAGADO 5228
ARTIGAS MANUEL de 5351	BRAGADO 5201
ARTIGAS MANUEL de 5301	BRAGADO 5101
Contenedor en ARTIGAS MANUEL de 5348	Contenedor en BRAGADO 5138
ARTIGAS MANUEL de 5301	BRAGADO 5101
BASUALDO 701	BRAGADO 5001
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 5301	
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 5351	Contenedor en BRAGADO 5072
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 5401	BRAGADO 5001
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 5501	BRAGADO 4901
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 5601	
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 5701	Contenedor en BRAGADO 4942
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 5801	BRAGADO 4901
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 5901	BRAGADO 4851
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 6001	BRUIX AV. 4701
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 6101	BRUIX AV. 4601
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 6201	BRUIX AV. 4501
MURGUIONDO 1401	BRUIX AV. 0
MURGUIONDO 0	BRUIX AV. 4401
MURGUIONDO 1501	BRUIX AV. 4301
MURGUIONDO 1601	MOZART 1001
BRAGADO 6001	REMEDIOS 4301
Contenedor en BRAGADO 6054	MORETO 1101
BRAGADO 6001	MORETO 1201
BRAGADO 5901	MORETO 1301
	MORETO 1401
	MORETO 1501
Contenedor en BRAGADO 5965	MORETO 1551
BRAGADO 5901	MONTE 4401
BRAGADO 5801	MONTE 4301
	MONTE 4251
Contenedor en BRAGADO 5848	MONTE 4201
BRAGADO 5801	MONTE 0
BRAGADO 5701	BRUIX AV. 3601
	BRUIX AV. 3571
	BRUIX AV. 3501
Contenedor en BRAGADO 5740	PERON, EVA AV. 3991
BRAGADO 5701	LACARRA AV. 1601
BRAGADO 5601	LACARRA AV. 1701
	LACARRA AV. 1611
Contenedor en BRAGADO 5658	LACARRA AV. 1611
BRAGADO 5601	DELLEPIANE, LUIS, TTE. GRAL. 3602
BRAGADO 5501	MORENO, PERITO AV. 3651
	MORENO, PERITO AV. 3601
Contenedor en BRAGADO 5542	MORENO, PERITO AV. 3401
BRAGADO 5501	MORENO, PERITO AV. 3201
BRAGADO 5451	MORENO, PERITO AV. 3001
	MORENO, PERITO AV. 2951
Contenedor en BRAGADO 5456	MORENO, PERITO AV. 2901
BRAGADO 5451	MORENO, PERITO AV. 2501
BRAGADO 5401	MORENO, PERITO AV. 2491
BRAGADO 5301	MORENO, PERITO AV. 2402

VARELA AV. 2201	LAFUENTE AV. 1501
	LAFUENTE AV. 1401
Depósito	LAFUENTE AV. 1301
VARELA AV. 2201	LAFUENTE AV. 1201
JANER, ANA MARIA 2501	ECHEANDIA 2901
JANER, ANA MARIA 2801	ECHEANDIA 2801
LAFUENTE AV. 2302	ECHEANDIA 2701
LAFUENTE AV. 0	ECHEANDIA 2601
LAFUENTE AV. 1801	VARELA AV. 1101
LAFUENTE AV. 0	VARELA AV. 1001
LAFUENTE AV. 0	VARELA AV. 901
LAFUENTE AV. 0	VARELA AV. 801
LAFUENTE AV. 0	VARELA AV. 701
LAFUENTE AV. 1751	VARELA AV. 601
LAFUENTE AV. 0	VARELA AV. 501
LAFUENTE AV. 1701	
LAFUENTE AV. 1663	Ente de Higiene Urbana
LAFUENTE AV. 1601	

## B.4. Mejor Tour 4: Liniers y Mataderos

### B.4.1. Orden del itinerario

A continuación vemos el orden de recolección de los contenedores de un itinerario de distancia mínima. Comienza en el EHU, recolecta todos los contenedores, va hacia el depósito a descargar los residuos y vuelve al EHU.

1	Ente de Higiene Urbana	26	OLAVARRIETA, DIEGO de 1567
2	FONROUGE y TAPALQUE	27	CARHUE 1541
3	TAPALQUE 6127	28	ERCILLA 7249
4	TAPALQUE 6401	29	ERCILLA 7307
5	BRAGADO y PILAR	30	FRAGATA LA ARGENTINA 1460
6	BRAGADO y CAFAYATE	31	OLAVARRIETA, DIEGO de 1462
7	BRAGADO y LEGUIZAMON, M.	32	ERCILLA 7212
8	BRAGADO 6125	33	CARHUE 1471
9	TAPALQUE 6209	34	ERCILLA y LEGUIZAMON, M.
10	TAPALQUE 6301	35	CARHUE y POLONIA
11	TAPALQUE y DE LA TORRE, L. AV.	36	CARHUE 1266
12	TAPALQUE 6685	37	CARHUE 1096
13	TAPALQUE 6789	38	CARHUE 1030
14	BRAGADO 6795	39	GUAMINI 1032
15	BRAGADO y CARDENAS, CNEL. AV.	40	GUAMINI 1091
16	CAÑADA DE GOMEZ y CARDENAS	41	GUAMINI 1167
17	GORDILLO, T. 1940	42	GUAMINI 1249
18	CARHUE 1930	43	GUAMINI 1336
19	CARHUE 1865	44	GUAMINI 1433
20	CARHUE 1727	45	GUAMINI 1566
21	PIZARRO 7201	46	SCHMIDL, ULRICO 7251
22	CARHUE 1673	47	OLAVARRIETA, DIEGO de 1601
23	SCHMIDL, ULRICO 7195	48	OLAVARRIETA, DIEGO de 1660
24	ERCILLA y CARHUE	49	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7201
25	OLAVARRIETA, DIEGO de 1529	50	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7325

51	FRAGATA LA ARGENTINA 1864	108	LEGUIZAMON, ONESIMO 7303
52	FRAGATA LA ARGENTINA 1752	109	LEGUIZAMON, ONESIMO 7401
53	PIZARRO 7296	110	LEGUIZAMON, ONESIMO 7445
54	ZELADA 7101	111	SUAREZ, JOSE LEON 1265
55	ZELADA 7201	112	SUAREZ, JOSE LEON 1325
56	GUAMINI 1801	113	SUAREZ, JOSE LEON 1423
57	GUAMINI 1939	114	TRENQUE LAUQUEN 7472
58	MONTIEL 2030	115	MOLINA 1389
59	MONTIEL 1938	116	MOLINA 1441
60	ZELADA 7401	117	ERCILLA 7455
61	ZELADA 7450	118	FRAGATA HERCULES 1601
62	SUAREZ, JOSE LEON 1951	119	ERCILLA 7593
63	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7537	120	SCHMIDL, ULRICO 7620
64	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7595	121	ERCILLA 7643
65	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7640	122	SCHMIDL, ULRICO 7596
66	MONTIEL 1850	123	SCHMIDL, ULRICO 7550
67	FRAGATA LA ARGENTINA 1648	124	SCHMIDL, ULRICO 7527
68	FRAGATA LA ARGENTINA 1567	125	SCHMIDL, ULRICO 7387
69	ERCILLA 7389	126	SCHMIDL, ULRICO 7322
70	MONTIEL 1552	127	GUAMINI 1647
71	PATRON 7340	128	PIZARRO 7347
72	PATRON 7262	129	PIZARRO 7389
73	GARCIA DE COSSIO 7255	130	MONTIEL 1756
74	GARCIA DE COSSIO 7340	131	MONTIEL 1636
75	GARCIA DE COSSIO 7428	132	ERCILLA 7431
76	GARCIA DE COSSIO 7495	133	ERCILLA 7551
77	GARCIA DE COSSIO 7587	134	ERCILLA y FRAGATA TRINIDAD
78	ANDORRA 7541	135	SUAREZ, JOSE LEON 1699
79	ANDORRA 7471	136	SUAREZ, JOSE LEON 1864
80	MOLINA 1266	137	ZELADA 7554
81	MOLINA 1346	138	ZELADA 7610
82	SALADILLO 1251	139	ZELADA 7650
83	PATRON 7549	140	PIZARRO 7611
84	SUAREZ, JOSE LEON 1575	141	PIZARRO 7533
85	ACASSUSO 7601	142	PIZARRO 7474
86	ACASSUSO 7501	143	PIZARRO 7440
87	ACASSUSO 7493	144	PIZARRO 7401
88	TRENQUE LAUQUEN 7560	145	GUAMINI 1728
89	SUAREZ, JOSE LEON 1473	146	ZELADA 7301
90	PATRON 7464	147	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7401
91	PATRON 7423	148	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7435
92	MONTIEL 1351	149	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7473
93	MONTIEL 1242	150	SUAREZ, JOSE LEON 2053
94	MONTIEL 1190	151	GUAMINI 2301
95	MONTIEL 1176	152	RODO, JOSE E. 6799
96	MOLINA 1141	153	RODO, JOSE E. 6684
97	SALADILLO 1042	154	RODO, JOSE E. 6590
98	SALADILLO 1146	155	RODO, JOSE E. y DE LA TORRE, L. AV.
99	SALADILLO 1183	156	RODO, JOSE E. 6423
100	GARCIA DE COSSIO 7685	157	RODO, JOSE E. y PILAR
101	CAAGUAZU 7610	158	RODO, JOSE E. 6319
102	CAAGUAZU 7520	159	RODO, JOSE E. y CAFAYATE
103	CAAGUAZU 7476	160	RODO, JOSE E. y LEGUIZAMON, M.
104	CAAGUAZU 7422	161	RODO, JOSE E. 6191
105	CAAGUAZU 7344	162	RODO, JOSE E. 6135
106	CAAGUAZU 7245	163	Depósito
107	LEGUIZAMON, ONESIMO 7205	164	Ente de Higiene Urbana

### B.4.2. Ruta completa

A continuación vemos el itinerario completo. Se muestra un listado de las cuadras por las que podríar pasar el camión para realizar recorridos mínimos entre cada par de elementos.

Ente de Higiene Urbana	ALBARIÑO 1201
VARELA AV. 501	ALBARIÑO 1241
REMEDIOS 2601	TAPALQUE 5401
REMEDIOS 2701	TAPALQUE 5501
REMEDIOS 2801	TAPALQUE 5601
REMEDIOS 2901	TAPALQUE 5701
REMEDIOS 3001	LARRAYA 1501
REMEDIOS 3101	OLIVOS 5601
REMEDIOS 3201	FONROUGE 1501
REMEDIOS 3301	
REMEDIOS 3401	Contenedor en FONROUGE y TAPALQUE
REMEDIOS 3501	FONROUGE 1501
ACOSTA, MARIANO AV. 701	TAPALQUE 5701
ACOSTA, MARIANO AV. 601	TAPALQUE 5791
ACOSTA, MARIANO AV. 581	TAPALQUE 5801
ACOSTA, MARIANO AV. 501	TAPALQUE 5901
ACOSTA, MARIANO AV. 401	TAPALQUE 6001
ACOSTA, MARIANO AV. 301	TAPALQUE 6101
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 3801	
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 301	Contenedor en TAPALQUE 6127
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 3901	TAPALQUE 6101
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 0	TAPALQUE 6201
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4001	TAPALQUE 6301
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4101	TAPALQUE 6401
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4151	
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4171	Contenedor en TAPALQUE 6401
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4201	TAPALQUE 6401
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4251	DE LA TORRE, L. AV. 1901
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4301	BRAGADO 6401
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4351	
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4401	Contenedor en BRAGADO y PILAR
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4451	BRAGADO 6401
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 0	BRAGADO 6301
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 0	
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4501	Contenedor en BRAGADO y CAFAYATE
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4601	BRAGADO 6301
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4651	BRAGADO 6201
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4701	
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4801	Contenedor en BRAGADO y LEGUIZAMON, M.
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4891	BRAGADO 6201
ESCALADA AV. 0	BRAGADO 6101
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 4901	
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 5001	Contenedor en BRAGADO 6125
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 5101	BRAGADO 6101
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 5201	MURGUIONDO 1701
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 5301	TAPALQUE 6101
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 5401	TAPALQUE 6201
VEGA BELGRANO CARLOS 1101	
BRAGADO 5401	Contenedor en TAPALQUE 6209

TAPALQUE 6201	
TAPALQUE 6301	Contenedor en PIZARRO 7201
	PIZARRO 7201
Contenedor en TAPALQUE 6301	CARHUE 1601
TAPALQUE 6301	
TAPALQUE 6401	Contenedor en CARHUE 1673
	CARHUE 1601
Contenedor en TAPALQUE y DE LA TORRE, L. AV.	SCHMIDL, ULRICO 7101
TAPALQUE 6401	
TAPALQUE 6501	Contenedor en SCHMIDL, ULRICO 7195
TAPALQUE 6601	SCHMIDL, ULRICO 7101
	ANDALGALA 1401
Contenedor en TAPALQUE 6685	ERCILLA 7101
TAPALQUE 6601	
TAPALQUE 6701	Contenedor en ERCILLA y CARHUE
	ERCILLA 7101
Contenedor en TAPALQUE 6789	ERCILLA 7201
TAPALQUE 6701	OLAVARRIETA, DIEGO de 1501
COSQUIN 2001	
BRAGADO 6701	Contenedor en OLAVARRIETA, DIEGO de 1529
	OLAVARRIETA, DIEGO de 1501
Contenedor en BRAGADO 6795	
BRAGADO 6701	Contenedor en OLAVARRIETA, DIEGO de 1567
BRAGADO 0	OLAVARRIETA, DIEGO de 1501
	SCHMIDL, ULRICO 7201
Contenedor en BRAGADO y CARDENAS, CNEL. AV.	CARHUE 1501
BRAGADO 0	
CARDENAS, CNEL. AV. 2001	Contenedor en CARHUE 1541
CAÑADA DE GOMEZ 2001	CARHUE 1501
	ERCILLA 7201
Contenedor en CAÑADA DE GOMEZ y CARDENAS, CNEL. AV.	
CAÑADA DE GOMEZ 2001	Contenedor en ERCILLA 7249
BRAGADO 0	ERCILLA 7201
BRAGADO 6601	ERCILLA 7251
GORDILLO, T. 1901	ERCILLA 7301
Contenedor en GORDILLO, T. 1940	Contenedor en ERCILLA 7307
GORDILLO, T. 1901	ERCILLA 7301
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 6601	FRAGATA LA ARGENTINA 1401
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 6651	
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 6701	Contenedor en FRAGATA LA ARGENTINA 1460
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 6801	FRAGATA LA ARGENTINA 1401
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 6901	CASTRO, EMILIO AV. 7301
CARHUE 0	CASTRO, EMILIO AV. 7271
CARHUE 1901	CASTRO, EMILIO AV. 7251
	OLAVARRIETA, DIEGO de 1401
Contenedor en CARHUE 1930	
CARHUE 1901	Contenedor en OLAVARRIETA, DIEGO de 1462
CARHUE 1801	OLAVARRIETA, DIEGO de 1401
	ERCILLA 7201
Contenedor en CARHUE 1865	
CARHUE 1801	Contenedor en ERCILLA 7212
CARHUE 1701	ERCILLA 7201
	CARHUE 1401
Contenedor en CARHUE 1727	
CARHUE 1701	Contenedor en CARHUE 1471
PIZARRO 7201	CARHUE 1401

CASTRO, EMILIO AV. 7101	
CASTRO, EMILIO AV. 7001	Contenedor en GUAMINI 1336
CASTRO, EMILIO AV. 6951	GUAMINI 1301
CASTRO, EMILIO AV. 6901	GUAMINI 1401
CASTRO, EMILIO AV. 6801	
ERCILLA 6701	Contenedor en GUAMINI 1433
ERCILLA 6601	GUAMINI 1401
ERCILLA 6501	GUAMINI 1501
ERCILLA 6401	
Contenedor en ERCILLA y LEGUIZAMON, M.	Contenedor en GUAMINI 1566
ERCILLA 6401	GUAMINI 1501
LEGUIZAMON, M. 1001	SCHMIDL, ULRICO 7251
ACASSUSO 6401	Contenedor en SCHMIDL, ULRICO 7251
ACASSUSO 6501	SCHMIDL, ULRICO 7251
ACASSUSO 6601	OLAVARRIETA, DIEGO de 1601
ACASSUSO 6701	
ACASSUSO 6801	Contenedor en OLAVARRIETA, DIEGO de 1601
ACASSUSO 6901	OLAVARRIETA, DIEGO de 1601
ACASSUSO 7001	
ACASSUSO 7101	Contenedor en OLAVARRIETA, DIEGO de 1660
CARHUE 1351	OLAVARRIETA, DIEGO de 1601
Contenedor en CARHUE y POLONIA	PIZARRO 7211
CARHUE 1351	PIZARRO 7201
CARHUE 1301	PIZARRO 7101
CARHUE 1201	ANDALGALA 1601
	ANDALGALA 1701
Contenedor en CARHUE 1266	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7101
CARHUE 1201	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7201
CARHUE 1101	
CARHUE 1051	Contenedor en GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7201
	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7201
Contenedor en CARHUE 1096	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7301
CARHUE 1051	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7319
CARHUE 1001	
Contenedor en CARHUE 1030	Contenedor en GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7325
CARHUE 1001	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7319
TONELERO 7201	FRAGATA LA ARGENTINA 1801
GUAMINI 1001	
Contenedor en GUAMINI 1032	Contenedor en FRAGATA LA ARGENTINA 1864
GUAMINI 1001	FRAGATA LA ARGENTINA 1801
GUAMINI 1051	FRAGATA LA ARGENTINA 1701
Contenedor en GUAMINI 1091	Contenedor en FRAGATA LA ARGENTINA 1752
GUAMINI 1051	FRAGATA LA ARGENTINA 1701
GUAMINI 1101	PIZARRO 7301
	PIZARRO 7251
Contenedor en GUAMINI 1167	Contenedor en PIZARRO 7296
GUAMINI 1101	PIZARRO 7251
GUAMINI 1201	PIZARRO 7211
	PIZARRO 7201
Contenedor en GUAMINI 1249	PIZARRO 7101
GUAMINI 1201	ANDALGALA 1601
GUAMINI 1301	ZELADA 7101
	Contenedor en ZELADA 7101

Capítulo B. Itinerarios mínimos

---

ZELADA 7101	Contenedor en MONTIEL 1850
ZELADA 7201	MONTIEL 1801
	PIZARRO 7351
Contenedor en ZELADA 7201	FRAGATA LA ARGENTINA 1601
ZELADA 7201	
GUAMINI 1801	Contenedor en FRAGATA LA ARGENTINA 1648
	FRAGATA LA ARGENTINA 1601
Contenedor en GUAMINI 1801	FRAGATA LA ARGENTINA 1501
GUAMINI 1801	
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7301	Contenedor en FRAGATA LA ARGENTINA 1567
GUAMINI 1901	FRAGATA LA ARGENTINA 1501
	ERCILLA 7351
Contenedor en GUAMINI 1939	
GUAMINI 1901	Contenedor en ERCILLA 7389
ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 7111	ERCILLA 7351
MONTIEL 2001	MONTIEL 1501
Contenedor en MONTIEL 2030	Contenedor en MONTIEL 1552
MONTIEL 2001	MONTIEL 1501
MONTIEL 1901	MONTIEL 1401
	PATRON 7301
Contenedor en MONTIEL 1938	
MONTIEL 1901	Contenedor en PATRON 7340
ZELADA 7401	PATRON 7301
	PATRON 7201
Contenedor en ZELADA 7401	
ZELADA 7401	Contenedor en PATRON 7262
ZELADA 7431	PATRON 7201
	CARHUE 1201
Contenedor en ZELADA 7450	GARCIA DE COSSIO 7201
ZELADA 7431	
ZELADA 7475	Contenedor en GARCIA DE COSSIO 7255
SUAREZ, JOSE LEON 1901	GARCIA DE COSSIO 7201
	GARCIA DE COSSIO 7301
Contenedor en SUAREZ, JOSE LEON 1951	
SUAREZ, JOSE LEON 1901	Contenedor en GARCIA DE COSSIO 7340
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7501	GARCIA DE COSSIO 7301
	GARCIA DE COSSIO 7401
Contenedor en GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7537	
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7501	Contenedor en GARCIA DE COSSIO 7428
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7547	GARCIA DE COSSIO 7401
	GARCIA DE COSSIO 7451
Contenedor en GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7595	
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7547	Contenedor en GARCIA DE COSSIO 7495
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7601	GARCIA DE COSSIO 7451
	GARCIA DE COSSIO 7501
Contenedor en GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7640	
GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7601	Contenedor en GARCIA DE COSSIO 7587
FRAGATA HALCON 1829	GARCIA DE COSSIO 7501
ZELADA 7602	SALADILLO 1151
ZELADA 7552	ANDORRA 7501
ZELADA 7501	
ZELADA 7475	Contenedor en ANDORRA 7541
ZELADA 7431	ANDORRA 7501
ZELADA 7401	ANDORRA 7401
MONTIEL 1801	
	Contenedor en ANDORRA 7471

ANDORRA 7401  
MOLINA 1251

Contenedor en MOLINA 1266  
MOLINA 1251  
MOLINA 1301

Contenedor en MOLINA 1346  
MOLINA 1301  
TRENQUE LAUQUEN 7401  
TRENQUE LAUQUEN 7501  
SALADILLO 1251

Contenedor en SALADILLO 1251  
SALADILLO 1251  
PATRON 7501

Contenedor en PATRON 7549  
PATRON 7501  
SUAREZ, JOSE LEON 1493  
SUAREZ, JOSE LEON 1501

Contenedor en SUAREZ, JOSE LEON 1575  
SUAREZ, JOSE LEON 1501  
ACASSUSO 7501  
ACASSUSO 7551  
ACASSUSO 7601  
ACASSUSO 0  
ACASSUSO 0  
ACASSUSO 7601

Contenedor en ACASSUSO 7601  
ACASSUSO 7601  
ACASSUSO 7551  
ACASSUSO 7501

Contenedor en ACASSUSO 7501  
ACASSUSO 7501  
SUAREZ, JOSE LEON 1597  
ACASSUSO 7451

Contenedor en ACASSUSO 7493  
ACASSUSO 7451  
FRAGATA HERCULES 1501  
CASTRO, EMILIO AV. 7471  
CASTRO, EMILIO AV. 7501  
CASTRO, EMILIO AV. 7551  
SALADILLO 0  
SALADILLO 1251  
TRENQUE LAUQUEN 7501

Contenedor en TRENQUE LAUQUEN 7560  
TRENQUE LAUQUEN 7501  
SUAREZ, JOSE LEON 1451

Contenedor en SUAREZ, JOSE LEON 1473  
SUAREZ, JOSE LEON 1451

PATRON 7431

Contenedor en PATRON 7464  
PATRON 7431  
PATRON 7401

Contenedor en PATRON 7423  
PATRON 7401  
MONTIEL 1301

Contenedor en MONTIEL 1351  
MONTIEL 1301  
MONTIEL 1201

Contenedor en MONTIEL 1242  
MONTIEL 1201  
MONTIEL 1151

Contenedor en MONTIEL 1190  
MONTIEL 1151

Contenedor en MONTIEL 1176  
MONTIEL 1151  
MONTIEL 1101  
TONELERO 7401  
MOLINA 1101

Contenedor en MOLINA 1141  
MOLINA 1101  
LEGUIZAMON, ONESIMO 7401  
MONTIEL 1101  
TONELERO 7401  
TONELERO 7435  
TONELERO 7501  
SALADILLO 1001

Contenedor en SALADILLO 1042  
SALADILLO 1001  
SALADILLO 1101

Contenedor en SALADILLO 1146  
SALADILLO 1101  
SALADILLO 1151

Contenedor en SALADILLO 1183  
SALADILLO 1151  
GARCIA DE COSSIO 7601

Contenedor en GARCIA DE COSSIO 7685  
GARCIA DE COSSIO 7601  
PAZ, GRAL. AV. 11902  
CAAGUAZU 7601

Contenedor en CAAGUAZU 7610  
CAAGUAZU 7601  
CAAGUAZU 7501

Contenedor en CAAGUAZU 7520  
CAAGUAZU 7501  
CAAGUAZU 7431

Contenedor en CAAGUAZU 7476  
CAAGUAZU 7431  
CAAGUAZU 7401

Contenedor en CAAGUAZU 7422  
CAAGUAZU 7401  
CAAGUAZU 7301

Contenedor en CAAGUAZU 7344  
CAAGUAZU 7301  
CAAGUAZU 7201

Contenedor en CAAGUAZU 7245  
CAAGUAZU 7201  
CARHUE 1051  
LEGUIZAMON, ONESIMO 7201

Contenedor en LEGUIZAMON, ONESIMO 7205  
LEGUIZAMON, ONESIMO 7201  
LEGUIZAMON, ONESIMO 7301

Contenedor en LEGUIZAMON, ONESIMO 7303  
LEGUIZAMON, ONESIMO 7301  
LEGUIZAMON, ONESIMO 7401

Contenedor en LEGUIZAMON, ONESIMO 7401  
LEGUIZAMON, ONESIMO 7401  
LEGUIZAMON, ONESIMO 7431

Contenedor en LEGUIZAMON, ONESIMO 7445  
LEGUIZAMON, ONESIMO 7431  
SUAREZ, JOSE LEON 1251

Contenedor en SUAREZ, JOSE LEON 1265  
SUAREZ, JOSE LEON 1251  
SUAREZ, JOSE LEON 1301

Contenedor en SUAREZ, JOSE LEON 1325  
SUAREZ, JOSE LEON 1301  
SUAREZ, JOSE LEON 1351  
SUAREZ, JOSE LEON 1401

Contenedor en SUAREZ, JOSE LEON 1423  
SUAREZ, JOSE LEON 1401  
TRENQUE LAUQUEN 7401

Contenedor en TRENQUE LAUQUEN 7472  
TRENQUE LAUQUEN 7401  
MOLINA 1351

Contenedor en MOLINA 1389  
MOLINA 1351  
MOLINA 1401

Contenedor en MOLINA 1441  
MOLINA 1401  
MOLINA 1501  
ERCILLA 7431

Contenedor en ERCILLA 7455  
ERCILLA 7431  
FRAGATA HERCULES 1601

Contenedor en FRAGATA HERCULES 1601  
FRAGATA HERCULES 1601  
ACASSUSO 7451  
ACASSUSO 7548  
FRAGATA TRINIDAD 1601  
FRAGATA TRINIDAD 1651  
ERCILLA 7561

Contenedor en ERCILLA 7593  
ERCILLA 7561  
SALADILLO 1501  
SCHMIDL, ULRICO 7601

Contenedor en SCHMIDL, ULRICO 7620  
SCHMIDL, ULRICO 7601  
PAZ, GRAL. AV. 12302  
ERCILLA 7601

Contenedor en ERCILLA 7643  
ERCILLA 7601  
SALADILLO 1501  
SCHMIDL, ULRICO 7545

Contenedor en SCHMIDL, ULRICO 7596  
SCHMIDL, ULRICO 7545

Contenedor en SCHMIDL, ULRICO 7550  
SCHMIDL, ULRICO 7545  
SCHMIDL, ULRICO 7501

Contenedor en SCHMIDL, ULRICO 7527  
SCHMIDL, ULRICO 7501  
SCHMIDL, ULRICO 7471  
SCHMIDL, ULRICO 7433  
SCHMIDL, ULRICO 7401  
SCHMIDL, ULRICO 7351

Contenedor en SCHMIDL, ULRICO 7387  
SCHMIDL, ULRICO 7351  
SCHMIDL, ULRICO 7301

Contenedor en SCHMIDL, ULRICO 7322  
SCHMIDL, ULRICO 7301  
GUAMINI 1601

Contenedor en GUAMINI 1647  
GUAMINI 1601

PIZARRO 7301	PIZARRO 7601
Contenedor en PIZARRO 7347	PIZARRO 7551
PIZARRO 7301	PIZARRO 7501
PIZARRO 7351	Contenedor en PIZARRO 7533
Contenedor en PIZARRO 7389	PIZARRO 7501
PIZARRO 7351	PIZARRO 7473
MONTIEL 1701	Contenedor en PIZARRO 7474
Contenedor en MONTIEL 1756	PIZARRO 7473
MONTIEL 1701	PIZARRO 7451
MONTIEL 1601	PIZARRO 7401
Contenedor en MONTIEL 1636	Contenedor en PIZARRO 7440
MONTIEL 1601	PIZARRO 7401
ERCILLA 7401	Contenedor en PIZARRO 7401
ERCILLA 7431	PIZARRO 7401
Contenedor en ERCILLA 7431	PIZARRO 7351
ERCILLA 7431	PIZARRO 7301
ERCILLA 7459	GUAMINI 1701
Contenedor en ERCILLA 7551	Contenedor en GUAMINI 1728
ERCILLA 7459	GUAMINI 1701
Contenedor en ERCILLA y FRAGATA TRINIDAD	ZELADA 7301
ERCILLA 7459	Contenedor en ZELADA 7301
FRAGATA TRINIDAD 1651	ZELADA 7301
ERCILLA 7502	FRAGATA LA ARGENTINA 1801
SUAREZ, JOSE LEON 1651	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7351
Contenedor en SUAREZ, JOSE LEON 1699	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7401
SUAREZ, JOSE LEON 1651	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7401
SUAREZ, JOSE LEON 1701	Contenedor en GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7435
SUAREZ, JOSE LEON 1801	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7401
Contenedor en SUAREZ, JOSE LEON 1864	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7437
SUAREZ, JOSE LEON 1801	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7443
ZELADA 7501	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7461
FRAGATA TRINIDAD 1974	Contenedor en GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7473
ZELADA 7551	GARCIA G. DE ZEQUEIRA, S. 7461
Contenedor en ZELADA 7554	SUAREZ, JOSE LEON 2001
ZELADA 7551	Contenedor en SUAREZ, JOSE LEON 2053
ZELADA 7601	SUAREZ, JOSE LEON 2001
Contenedor en ZELADA 7610	ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 0
ZELADA 7601	ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 7251
ZELADA 7643	ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 7231
Contenedor en ZELADA 7650	ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 7201
ZELADA 7643	ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 7111
PAZ, GRAL. AV. 12502	ALBERDI, JUAN BAUTISTA AV. 7101
PIZARRO 7601	GUAMINI 2001
Contenedor en PIZARRO 7611	GUAMINI 2101
	GUAMINI 2201
	GUAMINI 2301

Contenedor en GUAMINI 2301	RODO, JOSE E. 5301
GUAMINI 2301	RODO, JOSE E. 5251
DIRECTORIO AV. 7101	RODO, JOSE E. 5201
MONTIEL 2401	RODO, JOSE E. 5101
RODO, JOSE E. 7101	ARAUJO 1301
RODO, JOSE E. 7001	ARAUJO 1331
RODO, JOSE E. 6901	ARAUJO 1401
RODO, JOSE E. 6801	ARAUJO 1501
RODO, JOSE E. 6721	ARAUJO 1601
	ARAUJO 0
	REMEDIOS 5052
Contenedor en RODO, JOSE E. 6799	REMEDIOS 5002
RODO, JOSE E. 6721	SAN JUAN BAUTISTA DE LA SALLE AV. 1501
RODO, JOSE E. 6701	SAN JUAN BAUTISTA DE LA SALLE AV. 0
RODO, JOSE E. 6601	SAN JUAN BAUTISTA DE LA SALLE AV. 1601
	SAN JUAN BAUTISTA DE LA SALLE AV. 0
Contenedor en RODO, JOSE E. 6684	SAN JUAN BAUTISTA DE LA SALLE AV. 1701
RODO, JOSE E. 6601	SAN JUAN BAUTISTA DE LA SALLE AV. 1801
RODO, JOSE E. 6501	SAN JUAN BAUTISTA DE LA SALLE AV. 1901
	SAN JUAN BAUTISTA DE LA SALLE AV. 1921
	SAN JUAN BAUTISTA DE LA SALLE AV. 0
Contenedor en RODO, JOSE E. 6590	SAN JUAN BAUTISTA DE LA SALLE AV. 2001
RODO, JOSE E. 6501	SAN JUAN BAUTISTA DE LA SALLE AV. 2061
	SAN JUAN BAUTISTA DE LA SALLE AV. 2101
Contenedor en RODO, JOSE E. y DE LA TORRE, L. SAN JUAN BAUTISTA DE LA SALLE AV. 2181	SAN JUAN BAUTISTA DE LA SALLE AV. 2181
RODO, JOSE E. 6501	PERON, EVA AV. 4351
RODO, JOSE E. 6401	PERON, EVA AV. 4501
	PERON, EVA AV. 4401
Contenedor en RODO, JOSE E. 6423	PERON, EVA AV. 4351
RODO, JOSE E. 6401	PERON, EVA AV. 4301
	PERON, EVA AV. 4255
Contenedor en RODO, JOSE E. y PILAR	PERON, EVA AV. 4249
RODO, JOSE E. 6401	PERON, EVA AV. 4201
RODO, JOSE E. 6301	PERON, EVA AV. 4101
	PERON, EVA AV. 4001
Contenedor en RODO, JOSE E. 6319	PERON, EVA AV. 3991
RODO, JOSE E. 6301	LACARRA AV. 1601
	LACARRA AV. 1701
Contenedor en RODO, JOSE E. y CAFAYATE	LACARRA AV. 1611
RODO, JOSE E. 6301	LACARRA AV. 1611
RODO, JOSE E. 6201	DELLEPIANE, LUIS, TTE. GRAL. 3602
	MORENO, PERITO AV. 3651
Contenedor en RODO, JOSE E. y LEGUIZAMON, M.	MORENO, PERITO AV. 3601
RODO, JOSE E. 6201	MORENO, PERITO AV. 3401
RODO, JOSE E. 6101	MORENO, PERITO AV. 3201
	MORENO, PERITO AV. 3001
Contenedor en RODO, JOSE E. 6191	MORENO, PERITO AV. 2951
RODO, JOSE E. 6101	MORENO, PERITO AV. 2901
	MORENO, PERITO AV. 2501
Contenedor en RODO, JOSE E. 6135	MORENO, PERITO AV. 2491
RODO, JOSE E. 6101	MORENO, PERITO AV. 2402
RODO, JOSE E. 6001	VARELA AV. 2201
RODO, JOSE E. 5901	
RODO, JOSE E. 5801	Depósito
RODO, JOSE E. 5701	VARELA AV. 2201
RODO, JOSE E. 5601	JANER, ANA MARIA 2501
RODO, JOSE E. 5501	JANER, ANA MARIA 2801
RODO, JOSE E. 5401	

LAFUENTE AV. 2302  
LAFUENTE AV. 0  
LAFUENTE AV. 1801  
LAFUENTE AV. 0  
LAFUENTE AV. 0  
LAFUENTE AV. 0  
LAFUENTE AV. 0  
LAFUENTE AV. 1751  
LAFUENTE AV. 0  
LAFUENTE AV. 1701  
LAFUENTE AV. 1663  
LAFUENTE AV. 1601  
LAFUENTE AV. 1501  
LAFUENTE AV. 1401  
LAFUENTE AV. 1301

LAFUENTE AV. 1201  
ECHEANDIA 2901  
ECHEANDIA 2801  
ECHEANDIA 2701  
ECHEANDIA 2601  
VARELA AV. 1101  
VARELA AV. 1001  
VARELA AV. 901  
VARELA AV. 801  
VARELA AV. 701  
VARELA AV. 601  
VARELA AV. 501

Ente de Higiene Urbana



- [1] Alfred V. Aho, John E. Hopcroft, and Jeffrey Ullman, *Data Structures and Algorithms*, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 1983.
- [2] D. L. Applegate, R. E. Bixby, V. Chvatal, and W. J. Cook, *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 2006.
- [3] D. L. Applegate, W. J. Cook, and A. Rohe, Chained Lin-kernighan for large traveling salesman problems, *Informs Journal on Computing* **15** (2003), 82–92.
- [4] Sanjeev Arora, Polynomial Time Approximation Schemes for Euclidean Traveling Salesman and other Geometric Problems., *Journal of the ACM* **45** (1998), 753–782.
- [5] AOKI Atsushi, Jun Manual (Installation and Usage), 2004, Disponible en [http://www.sra.co.jp/smalltalk/jun/Manuals/index\\_e.htm](http://www.sra.co.jp/smalltalk/jun/Manuals/index_e.htm).
- [6] Beck, *Test Driven Development: By Example*, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 2002.
- [7] Clarin.com, Clarin Mapas, 2008, Disponible en <http://mapas.clarin.com>.
- [8] E. W. Dijkstra, A note on two problems in connexion with graphs, *Numer. Math.* **1** (1959), 1.
- [9] Marco Dorigo, Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem., *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* **1** (1997), 53–66.
- [10] Korry Douglas, *PostgreSQL (2nd Edition)*, Sams, Indianapolis, IN, USA, 2005.
- [11] ESRI, ESRI Shapefile Technical Description, 1998, Disponible en <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>.
- [12] M. Garey and D. Johnson, *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*, Freeman and Company, San Francisco, 1979.

- 
- [13] Fred Glover, Future paths for integer programming and links to artificial intelligence, *Comput. Oper. Res.* **13**(5) (1986), 533–549.
- [14] Adele Goldberg and David Robson, *Smalltalk-80: the language and its implementation*, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 1983.
- [15] P. E. Hart, N. J. Nilsson, and B. Raphael, A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths, *Systems Science and Cybernetics, IEEE Transactions on* **4**(2) (1968), 100–107.
- [16] Michael Held and Richard M. Karp, A Dynamic Programming Approach to Sequencing Problems, *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics* **10** (1962), 196–210.
- [17] Holger Hoos and Thomas Sttzle, *Stochastic Local Search: Foundations & Applications*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2004.
- [18] Timothy G. Howard, *Smalltalk Developer's Guide to Visualworks*, Cambridge University Press, New York, NY, USA, 1995.
- [19] ILOG, Cplex, 2009, Descripción en <http://www.ilog.com/products/cplex/>.
- [20] Max Jammer, *Concepts of Force*, Dover Publications, Inc., 1957.
- [21] David Janzen and Hossein Saiedian, Test-Driven Development: Concepts, Taxonomy, and Future Direction, *Computer* **38**(9) (2005), 43–50.
- [22] M.K. Kozlov, S.P. Tarasov, and L.G. Khachiyan, Polynomial solvability of convex quadratic programming, *Soviet Math* **20** (1979).
- [23] Ratnesh Kumar and Haomin Li, On Asymmetric Tsp: Transformation to Symmetric Tsp and Performance Bound.
- [24] Daniel Lazenby, Cygwin: For Windows NT, *Linux J.* (2000), 14.
- [25] S. Lin and B. W. Kernighan, *An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling-Salesman Problem.*, Bell Telephone Laboratories, Incorporated, Murray Hill, New Jersey, 1971.
- [26] O. Martin, S. W. Otto, and E. W. Felten, Large-step Markov Chains for the Traveling Salesman Problem, *Complex Systems* **5** (1996), 299–326.
- [27] Jim Melton and Alan R. Simon, *Understanding the new SQL: a complete guide*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 1993.
- [28] Kevin Neufeld, PostGIS 1.3.5 Manual, 2008, Disponible en <http://postgis.refractor.net/documentation/manual-1.3/>.
- [29] Raghu Ramakrishnan and Johannes Gehrke, *Database Management Systems*, McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2002.
- [30] Inc. Red Hat, Cygwin User's Guide, 2008, Disponible en <http://cygwin.com/cygwin-ug-net/cygwin-ug-net.html>.

- 
- [31] S. Reda and A. B. Kahng, Match Twice & Stitch: A New Tsp Tour Construction Heuristic, *Operations Research Letters* **32** (2004), 499–509.
  - [32] Gary E. Sherman, Quantum GIS: Guía de Usuario e Instalación, 2007, Disponible en [http://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-0.9.1\\_user\\_guide\\_es.pdf](http://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-0.9.1_user_guide_es.pdf).
  - [33] Mechthild Stoer and Frank Wagner, A simple min-cut algorithm, *Journal of the ACM* **44** (1997), 585–591.
  - [34] USIG, Mapa de la Ciudad Buenos Aires, 2008, Disponible en <http://mapa.buenosaires.gov.ar>.
  - [35] L. Wolsey and G. Nemhauser, *Integer Programming and Combinatorial Optimization*, John Wiley and Sons, 1988.
  - [36] Paula Zabala, *Problemas de ruteo de vehículos*, Ph.D. thesis, Departamento de Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 2006, <http://publicaciones.dc.uba.ar/Publications/2006/ZLM06>.

