

Trabajo Fin de Máster
Organización Industrial y Gestión de Empresas

Diseño de una red de bicicletas públicas en la ciudad
de Montevideo - Uruguay

Autor: Valentina Morosi Tierno
Tutor: David Canca Ortíz

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de
Empresas
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2018



Diseño de una red de bicicletas públicas en la ciudad de Montevideo - Uruguay

Autor:
Valentina Morosi Tierno

Tutor:
David Canca Ortiz
Profesor titular

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2018

Autor: Valentina Morosi Tierno
Tutor: David Canca Ortiz

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

A mi familia
A mis maestros

Agradecimientos

A mi familia y amigos, especialmente a mi cariñosa madre porque a pesar de la distancia siempre está presente apoyándome en cada decisión, queriendo mi bienestar y mi superación.

A Oduardo por su apoyo y compañía durante este proceso. Por todos los fines de semana que resignó voluntariamente por acompañarme mientras trabajaba en este proyecto y por motivarme y aconsejarme en todo momento con la mejor actitud.

Y por último a David, mi tutor, que sin sus recomendaciones, apoyo y ánimo no hubiera sido posible llevar a cabo este proyecto.

Considerando la situación a la cual ha llegado la contaminación atmosférica y la congestión vehicular en las grandes ciudades, se han impulsado medidas para promover modos de transporte sostenible, como las bicicletas públicas, buscando una alternativa a la utilización de vehículos motorizados.

Los sistemas públicos de bicicletas han incrementado su popularidad como sistemas de transporte sostenibles en los últimos años en muchos países del mundo. Dentro de los elementos más importantes para su implementación, se encuentra la localización óptima de las estaciones de recogida y devolución de bicicletas.

En este estudio se desarrollan dos modelos de localización-asignación para resolver el problema de diseño de una red de bicicletas públicas. Se logra determinar el número de estaciones que son necesarias, la ubicación de las estaciones y la flota total de bicicletas del sistema, considerando restricciones de presupuesto. En un caso maximizando la demanda y en el otro priorizando la selección de la capacidad de las estaciones según la demanda. Los modelos se plantean para la ciudad de Montevideo, Uruguay y se resuelven computacionalmente utilizando lenguaje de programación Python y software de optimización Gurobi®.

Abstract

Considering the global situation related to air pollution and vehicular congestion, many countries are promoting sustainable modes of transport, as an alternative to motorized vehicles, such as bike-sharing .

Bike-sharing systems are increasing their popularity as sustainable transportation systems in recent years. One of the most important elements for its implementation is the optimal location of the stations.

This work presents two different location-allocation models to solve the design problem of the bike-sharing system. The models determines the require number of stations, the location of the stations and the total fleet of bicycles in the system, considering budget constraints. In one case the objective function is to maximize the demand and in the other, the suitable selection of different types of stations according to demand. The models are applied to Montevideo, Uruguay and are computationally solved using Python programming language and Gurobi® optimization software.

Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice	ix
Índice de Tablas	xi
Índice de Figuras	xii
Notación	xiii
1 Introducción	11
2 Justificación y Objetivo	12
2.1. <i>Objetivos</i>	13
2.1.1. Objetivo General	13
2.1.2. Objetivos Específicos	13
3 Estado del Arte	14
3.1. <i>Búsqueda de información</i>	14
3.2. <i>Clasificaciones</i>	15
3.2.1. Sistemas de bicicletas	18
3.2.2. Modelos de localización	20
3.2.3. Predicción de la demanda	22
4 Problema objeto de estudio	24
4.1. <i>Montevideo</i>	24
4.1.1. Datos generales	24
4.1.2. Movilidad	26
4.1.3. Sistema de bicicletas existente	29
4.2. <i>Modelado del Problema</i>	31
4.2.1. Definición del problema	31
4.2.2. Modelo 1	32
4.2.3. Modelo 2	35
4.2.4. Hipótesis y consideraciones	35
5 Experiencia Computacional	38
5.1. <i>Preparación de los datos</i>	38
5.2. <i>Codificación del Modelo 1</i>	40
5.2.1. Parámetros	40
5.2.2. Datos	40
5.2.3. Variables	41
5.2.4. Restricciones	42
5.2.5. Función objetivo	45
5.2.6. Visualización de resultados	45
5.3. <i>Codificación del Modelo 2</i>	46
6 Evaluación de resultados	48
6.1. <i>Casos de estudio</i>	48
6.2. <i>Modelo 1</i>	50
6.2.1. Caso 1.1: Presupuesto=1.0 millones €	50
6.2.2. Caso 1.2: Presupuesto=1.5 millones €	51
6.2.3. Caso 1.3: Presupuesto=2.0 millones €	52
6.2.4. Caso 1.4: Presupuesto=2.5 millones €	53
6.2.5. Caso 1.5: Presupuesto=3.0 millones €	54

6.2.6.	Caso 1.6: Presupuesto=3.5 millones €	55
6.2.7.	Comparación de resultados Modelo 1	56
6.3.	<i>Modelo 2</i>	58
6.3.1.	Caso 2.1: Presupuesto=1.0 millones €	58
6.3.2.	Caso 2.2: Presupuesto=1.5 millones €	59
6.3.3.	Caso 2.3: Presupuesto=2.0 millones €	60
6.3.4.	Caso 2.4: Presupuesto=2.5 millones €	61
6.2.5.	Caso 2.5: Presupuesto=3.0 millones €	62
6.3.6.	Caso 2.6: Presupuesto=3.5 millones €	63
6.3.7.	Caso 2.7: Presupuesto=4.0 millones €	64
6.3.8.	Comparación de resultados Modelo 2	65
6.4.	Comparación de los dos modelos	66
7.	Conclusiones	68
	Referencias	70
	Anexo I Datos	73
	Anexo II Código modelo 1	112
	Anexo III Código modelo 2	118

1 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3–1. Clasificación por criterio 1	15
Tabla 3–2. Clasificación por criterio 2	17
Tabla 4–1. Densidad de población (INE)	26
Tabla 4–2. Viajes clasificados según modo de transporte	27
Tabla 4–3. Matriz origen-destino	29
Tabla 4–4. Costes asociados al sistema de bicicletas	37
Tabla 6–1. Población y área de los CCZs estudiados	49
Tabla 6–2. Valores de referencia	49
Tabla 6–3. Resultados obtenidos caso 1.1	50
Tabla 6–4. Resultados obtenidos caso 1.2	51
Tabla 6–5. Resultados obtenidos caso 1.3	52
Tabla 6–6. Resultados obtenidos caso 1.4	53
Tabla 6–7. Resultados obtenidos caso 1.5	54
Tabla 6–8. Resultados obtenidos caso 1.6	55
Tabla 6–9. Valores de referencia	56
Tabla 6–10. Valores obtenidos en cada caso	57
Tabla 6–11. Resultados obtenidos caso 2.1	58
Tabla 6–12. Resultados obtenidos caso 2.2	59
Tabla 6–13. Resultados obtenidos caso 2.3	60
Tabla 6–14. Resultados obtenidos caso 2.4	61
Tabla 6–15. Resultados obtenidos caso 2.5	62
Tabla 6–16. Resultados obtenidos caso 2.6	63
Tabla 6–17. Resultados obtenidos caso 2.7	64
Tabla 6–18. Valores de referencia	65
Tabla 6–19. Valores obtenidos en cada caso	66
Tabla 6–20. Comparación de los modelos respecto a los valores de referencia	67
Tabla 6–21. Costes asociados al sistema de bicicletas	69
Tabla 6-22. Retorno de la inversión Modelo 1	69
Tabla 6-22. Retorno de la inversión Modelo 2	69

2 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4–1. Mapa de zonas según densidad	25
Figura 4–2. Distribución de los viajes según propósito	27
Figura 4–3. Mapa de Montevideo y su área metropolitana dividido en municipios y zonas (CCZ)	28
Figura 4–4. Viajes producidos desde el municipio B	28
Figura 4–5. Viajes atraídos al municipio B	29
Figura 4–6. Sistema de bicicletas públicas Movete	30
Figura 4–7. Ubicación de las estaciones actuales	30
Figura 5–1. Grafo de Montevideo original	39
Figura 5–2. Grafo de Montevideo reducido	39
Figura 6–1. Área de estudio dividida por zonas (CCZ)	48
Figura 6–2. Distribución de la demanda	48
Figura 6–3. Distribución de estaciones caso 1.1	50
Figura 6–4. Distribución de estaciones caso 1.2	51
Figura 6–5. Distribución de estaciones caso 1.3	52
Figura 6–6. Distribución de estaciones caso 1.4	53
Figura 6–7. Distribución de estaciones caso 1.5	54
Figura 6–8. Distribución de estaciones caso 1.6	55
Figura 6–9. Relación entre los puntos de demanda cubiertos y el presupuesto invertido	56
Figura 6–10. Distribución de estaciones caso 2.1	58
Figura 6–11. Distribución de estaciones caso 2.2	59
Figura 6–12. Distribución de estaciones caso 2.3	60
Figura 6–13. Distribución de estaciones caso 2.4	61
Figura 6–14. Distribución de estaciones caso 2.5	62
Figura 6–15. Distribución de estaciones caso 2.6	63
Figura 6–16. Distribución de estaciones caso 2.7	64
Figura 6–17. Relación entre los puntos de demanda cubiertos y el presupuesto invertido	65
Figura 6–17. Comparación de los modelos	66

Notación

R	Conjunto de números reales
N	Conjunto de números naturales
\in	Perteneciente
Σ	Sumatoria
	Tal que
\forall	Para todos

1 INTRODUCCIÓN

*“La vida es como la bicicleta,
hay que pedalear hacia adelante
para no perder el equilibrio”.*

-Albert Einstein -

El presente Trabajo de Fin de Máster aborda el diseño estratégico de una red de bicicletas públicas en la ciudad de Montevideo, Uruguay. Este estudio se realizará mediante la aplicación de técnicas de modelado matemático y para su resolución se utilizarán las librerías de optimización del solver Gurobi® en conjunción con el lenguaje de programación Python.

2 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO

No podemos resolver problemas pensando de la misma manera que cuando los creamos.

- Albert Einstein (1879-1955) -

En vista de los niveles record a los que ha llegado la contaminación atmosférica y la congestión vehicular en las ciudades, las autoridades competentes han enfocado sus intereses en promover modos de transporte públicos y en desarrollar sistemas de transporte sostenibles como las bicicletas públicas.

Los sistemas de bicicletas públicas actúan, no solo como un modo de transporte que puede satisfacer las necesidades de muchos usuarios sino también, como un complemento a otros modos de transporte. Al integrarlos se mejora la accesibilidad y movilidad de las personas, promoviendo la inclusión social.

Entre los beneficios de incentivar el uso de las bicicletas en ciudades se encuentra la distribución más igualitaria del espacio público utilizado para la circulación, la disminución de las congestiones de tráfico, la reducción de los costes asociados a satisfacer la movilidad de los usuarios, la disminución de emisiones contaminantes para el aire, la disminución en la contaminación sonora y la menor necesidad de costes asociados a infraestructura con respecto a otros modos de transporte.

En Ámsterdam, Holanda, en el año 1965 se creó un sistema de bicicletas públicas, también conocido como sistema de bicicletas compartidas que, aunque no obtuvo mucho éxito, dió comienzo a los sistemas que se conocen hoy en día. Con el paso de los años estos sistemas se han expandido hasta el punto de estar presentes en casi todo el mundo (Lu, 2013). En Europa, el sistema Vélib' de Paris, Francia, cuenta con más de 10.000 bicicletas siendo el más grande del continente. Por otra parte, los sistemas instalados en Wiefang, Suzhou & Wujiang y Hangzhou, en China, cuentan con aproximadamente 25.000 bicicletas disponibles y son actualmente los más grandes del mundo (Bike Share Map, 2018).

En Montevideo, las autoridades han trabajado en el estudio de esta forma de movilidad desde el año 2003. En el año 2014 incluyeron a la bicicleta dentro del sistema de transporte público con la puesta en marcha de un sistema de bicicletas públicas piloto en el casco antiguo de la ciudad (Plan de Movilidad, 2010).

La ciudad de Montevideo, al igual que otras ciudades latinoamericanas, posee altas tasas de crecimiento de su índice de motorización. Eventualmente se originarán congestiones de tráfico en su área céntrica y metropolitana, provocando que los tiempos de desplazamiento se ralenticen y aumentando la contaminación ambiental (Plan de movilidad, 2010).

Con este proyecto se pretende diseñar una red de bicicletas públicas que le brinde a la ciudad de Montevideo una alternativa más de transporte público con la proyección de mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos.

2.1. Objetivos

2.1.1 Objetivo General

El objetivo general es modelar el problema de diseño de una red de bicicletas públicas en Montevideo, Uruguay y proponer diferentes soluciones para su implementación.

2.1.2 Objetivos específicos

- Recopilar información sobre los sistemas públicos de bicicletas.
- Recopilar información sobre los modelos planteados para diseñar una red pública de bicicletas.
- Describir en forma general la ciudad de Montevideo.
- Analizar de forma general la movilidad ciudadana en la ciudad.
- Analizar la situación actual de la bicicleta pública en la ciudad y el país.
- Modelar el problema de diseño de una red pública de bicicletas en la ciudad.
- Plantear computacionalmente los modelos y resolverlos en diferentes escenarios.
- Analizar las soluciones encontradas.
- Obtener conclusiones para la toma de decisiones.

3 ESTADO DEL ARTE

Simplicidad. Ésta es la más innovadora sofisticación.

- Leonardo Da Vinci -

En primera instancia, para abordar este trabajo, se ha realizado una revisión bibliográfica de artículos científicos relacionados con los sistemas públicos de bicicletas. Por un lado, se han estudiado temas generales sobre la historia, características, implementaciones, recomendaciones, etc. Por otro lado, se han analizado modelos empleados para la resolución del problema de localización de puntos de recogida y entrega de bicicletas. Por último, se revisarán aspectos relacionados con la predicción de la demanda del sistema.

3.1. Búsqueda de información

Para la elaboración del estado del arte se ha recurrido a las principales bases de datos científicas a las que se tiene acceso a través de la biblioteca de la Universidad de Sevilla, como por ejemplo Science Direct, Scopus, Wiley Online Library, SpringerLink e Informa pubsonline. Por un lado, se han realizado búsquedas incluyendo las siguientes palabras clave principales: bike-sharing systems, bicycle sharing systems, public bicycles, bike station location, facility location, public transportation, equilibrium network design, service level, travel demand, bike networking, successful network design. Por otro lado, se han buscado artículos interesantes a los cuales hace referencia la bibliografía seleccionada.

Para analizar la bibliografía consultada se realiza una primera gran división en función al enfoque general del artículo. Por un lado, aquellos que brindan información relevante y que describen ciertas características o patrones en el uso de los sistemas de bicicletas y, por otro lado, aquellos que proponen modelos matemáticos para el diseño u operación de la red con una implementación práctica.

Una importante clasificación dentro del segundo grupo, los que incluyen modelos matemáticos, se puede establecer en base al problema que se pretende resolver. Esto es, aquellos modelos en los que el objetivo es realizar el diseño estratégico de la red, es decir la cantidad de estaciones y su ubicación y, por otro lado, aquellos modelos que buscan resolver otras cuestiones, como por ejemplo la operación del sistema.

Para detallar las clasificaciones propuestas, se presentan unas tablas resumen donde se ordenan algunos de los artículos científicos analizados según los diferentes criterios establecidos anteriormente.

Como criterio general se ha considerado la fecha de publicación de los artículos, minimizando la inclusión de los anteriores al año 2010.

3.2. Clasificaciones

La primera clasificación que se presenta divide los trabajos, como se ha comentado anteriormente, en los que proporcionan información relevante y los que realizan una modelización matemática del problema.

Tabla 3-1. Clasificación por criterio 1

Autor	Artículo	Año	Información	Modelos
Nankervis, M.	The effect of weather and climate on bicycle commuting.	1999	x	
DeMaio, P.	Bike sharing Its History, Models of Provision, and Future	2009	x	
Kaltenbrunner, A., Meza, R., Grivolla, J., Codina, J., & Banchs, R	Urban cycles and mobility patterns: Exploring and predicting trends in a bicycle-base public transport system.	2010	x	
Shaheen, S., Guzman, S., Zhang, H.	Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia: past, present, and future	2010	x	
Krykewycz, G. R., Puchalsky, C. M., Rocks, J., Bonnette, B. & Jaskiewicz, F.	Defining a Primary Market and Estimating Demand for Major Bicycle-Sharing Program in Philadelphia, Pennsylvania.	2010	x	
Lin, J.R. & Yang, T.H.	Srategic design of public bicycle sharing systems with service level constraints	2011		x
García-Palomares, J.C., Gutiérrez J. & Latorre M.	Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: a GIS approach	2012		x
Martinez L.M., Caetano L., Eiró T. & Cruz F.	An optimisation algorithm to establish the location of stations of a mixed fleet biking system: an application to the City of Lisbon	2012		x
Lin, J.H.	A geoaware and VRP based public bicycle redistribution system	2012		x
Romero, J.P., Ibeas, A., Moura, J.L., Benavente, J. & Alonso, B.	A simulation-optimization approach to design efficient systems of bike-sharing	2012		x
Sayarshad, H., Tavassoli, S. & Zhao, F.	A multi-periodic optimization formulation for bike planning and bike utilization	2012		x
Dunlap, R.E. & Jorgenson, A.K.	Environmental Problems	2012	x	
Liu, Z., Jia, X. & Cheng, W.	Solving the last mile problem: ensure the success of public bicycle system in beijing	2012	x	
Liu, Z., Jiab, X. & Chengb W.	Solving the Last Mile Problem/ Ensure the Success of Public Bicycle System in Beijing	2012		
Lin, J.R., Yang, T.H. & Chang, Y.C.	A hub location inventory model for bicycle sharing system design: Formulation and solution	2013		x
Raviv, T. & Kolka, O	Optimal inventory management of a bike-sharing station	2013		x
Lu, C.C.	Robust multi-period fleet alocation models fot bike-sharing systems.	2013		x
Parkes, S.D., Marsden, G., Shaheen, S.A. & Cohen, A.P.	Understanding the diffusion of public bikesharing systems: evidence from Europe and North America	2013	x	
Shu, J., Chou, M.C., Liu, Q., Teo, C.P. & Wang, L.L.	Models for effective deployment and redistribution of bicycles within public bicycle-sharing systems.	2013		x
Fishman E., Washington, S. & Haworth, N.	Bike Share: A Synthesis of the Literature	2013	x	
Frade, I. & Ribeiro, A.	Bicycle sharing systems demand	2014		x

Nair, R. & Miller-Hooks, E.	Equilibrium network design of shared-vehicle systems	2014		x
Fishman, E., Washington, S. & Haworth, N.	Bike share's impact on car use: evidence from the United States, Great Britain, and Australia.	2014	x	
Iseki, H. & Tingstrom, M.	A new approach for bikeshed analysis with consideration of topography, street connectivity, and energy consumption	2014	x	
Frade, I. & Ribeiro, A.	Bike-sharing stations: A maximal covering location approach	2015		x
Neumann-Saavedra, B.A.	Anticipatory-service-network-design-of-bike-sharing-systems	2015		x
Zhang, L., Zhang, J., Duan, Z.Y. & Bryde, D.	Sustainable bike-sharing systems: characteristics and commonalities across cases in urban China	2015	x	
Ricci, M.	Bike sharing: a review of evidence on impacts and processes of implementation and operation	2015	x	
Alvarez-Valdes, R., Belenguer, J.M., Benavent, E., Bermudez, J.D., Muñoz, F., Vercher, E. & Verdejo, F.	Optimizing the level of service quality of a bike-sharing system.	2016		x
Xu, Y.	Estimating potential demand of bicycle trips from mobile phone data: An anchorpoint based approach	2016		x
Wang, J., Tsai, C.H. & Lin, P.C.	Applying spatial-temporal analysis and retail location theory to public bikes site selection in Taipei.	2016		x
Kabra, A., Belavina, E. & Girotra, K.	Bike-share systems. In: Environmentally Responsible Supply Chains.	2016	x	
Zahabi, S.A.H., Chang, A., Miranda-Moreno, L.F. & Patterson, Z.	Exploring the link between neighborhood typologies, bicycle infrastructure and commuting cycling over time and the potential impact on commuter GHG emissions	2016	x	
Nair, R. & Miller-Hooks, E.	Equilibrium design of bicycle sharing systems: the case of Washington DC	2016		x
Park, C. & Sohn, S.Y.	An optimization approach for the placement of bicycle-sharing stations to reduce short car trips: An application to the city of Seoul	2017		x
Tsai, M.F., Chen, P. & Hong, Y.J.	Enhancing the utilization of public bike sharing systems using return anxiety information	2017		x
Yan, S., Lin, J.R., Chen, Y.C. & Xie, F.R.	Rental bike location and allocation under stochastic demands	2017		x
Zhang, D., Yu, C., Desai, J., Lau, H. & Srivathsan, S.	A time-space network flow approach to dynamic repositioning in bicycle sharing systems	2017		x
Schuijbroek, J., Hampshire, R.C. & Van Hoes, W.J.	Inventory rebalancing and vehicle routing in bike sharing systems	2017		x
Faghih-Imani, A., Hampshire, R., Marla, L. & Eluru, N.	An empirical analysis of bike sharing usage and rebalancing: Evidence from Barcelona and Seville	2017		
Martinez, L.M., Caetano, L., Eiró, T. & Cruz, F.	An optimisation algorithm to establish the location of stations of a mixed fleet	2017		x

	biking system: an application to the city of Lisbon.			
Médard de Chardon, C., Caruso, G. & Thomas, I.	Bicycle sharing system ‘success’ determinants	2017	x	
Sun, Y.	Investigating impacts of environmental factors on the cycling behavior of bicyclesharing	2017	x	
Çelebi, D., Yörüsün, A. & Isik, H.	Bicycle sharing system design with capacity allocations	2018		x

En la siguiente clasificación se distinguen los modelos dedicados a la localización de puntos de recogida y entrega de aquellos que se centran en la estimación de la demanda o la operación del sistema.

Tabla 3-2. Clasificación por criterio 2

Autor	Artículo	Año	Localización	Otros
Lin, J.R. & Yang, T.H.	Strategic design of public bicycle sharing systems with service level constraints	2011	x	
García-Palomares, J.C., Gutiérrez J. & Latorre M.	Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: a GIS approach	2012	x	
Martinez L.M., Caetano L., Eiró T. & Cruz F.	An optimisation algorithm to establish the location of stations of a mixed fleet biking system: an application to the City of Lisbon	2012	x	
Lin, J.H.	A geoaware and VRP based public bicycle redistribution system	2012		x
Romero, J.P., Ibeas, A., Moura, J.L., Benavente, J. & Alonso, B.	A simulation-optimization approach to design efficient systems of bike-sharing	2012	x	
Sayarshad, H., Tavassoli, S. & Zhao, F.	A multi-periodic optimization formulation for bike planning and bike utilization	2012		x
Lin, J.R., Yang, T.H. & Chang, Y.C.	A hub location inventory model for bicycle sharing system design: Formulation and solution	2013	x	
Raviv, T. & Kolka, O	Optimal inventory management of a bike-sharing station	2013		x
Lu, C.C.	Robust multi-period fleet allocation models for bike-sharing systems.	2013	x	
Shu, J., Chou, M.C., Liu, Q., Teo, C.P. & Wang, L.L.	Models for effective deployment and redistribution of bicycles within public bicycle-sharing systems.	2013		x
Frade, I. & Ribeiro, A.	Bicycle sharing systems demand	2014		x
Nair, R. & Miller-Hooks, E.	Equilibrium network design of shared-vehicle systems	2014	x	
Frade, I. & Ribeiro, A.	Bike-sharing stations: A maximal covering location approach	2015	x	
Neumann-Saavedra, B.A.	Anticipatory service network design of bike sharing systems	2015		x
Alvarez-Valdes, R., Belenguer, J.M., Benavent, E., Bermudez, J.D., Muñoz, F., Vercher, E. & Verdejo, F.	Optimizing the level of service quality of a bike-sharing system.	2016		x

Xu, Y.	Estimating potential demand of bicycle trips from mobile phone data: An anchorpoint based approach	2016		x
Wang, J., Tsai, C.H. & Lin, P.C.	Applying spatial-temporal analysis and retail location theory to public bikes site selection in Taipei.	2016	x	
Nair, R. & Miller-Hooks, E.	Equilibrium design of bicycle sharing systems: the case of Washington DC	2016	x	
Park, C. & Sohn, S.Y.	An optimization approach for the placement of bicycle-sharing stations to reduce short car trips: An application to the city of Seoul	2017	x	
Tsai, M.F., Chen, P. & Hong, Y.J.	Enhancing the utilization of public bike sharing systems using return anxiety information	2017		x
Yan, S., Lin, J.R., Chen, Y.C. & Xie, F.R.	Rental bike location and allocation under stochastic demands	2017	x	
Zhang, D., Yu, C., Desai, J., Lau, H. & Srivathsan, S.	A time-space network flow approach to dynamic repositioning in bicycle sharing systems	2017		x
Schuijbroek, J., Hampshire, R.C. & Van Hoesve, W.J.	Inventory rebalancing and vehicle routing in bike sharing systems	2017		x
Martinez, L.M., Caetano, L., Eiró, T. & Cruz, F.	An optimisation algorithm to establish the location of stations of a mixed fleet biking system: an application to the city of Lisbon.	2017	x	
Çelebi, D., Yörüsün, A. & Isik, H.	Bicycle sharing system design with capacity allocations	2018	x	

A partir del estudio del estado del arte, y de las clasificaciones de los artículos y modelos, se procede a extraer y comentar la información relevante obtenida. En primer lugar, aquellos que proporcionan información de interés, posteriormente sobre los modelos que más se asemejan al enfoque seguido en este estudio y, por último, sobre diferentes formas de estimar la demanda del sistema.

3.2.1 Sistemas de bicicletas

La preocupación y concienciación sobre el cambio climático, la seguridad energética y la inestabilidad del coste de los barriles de petróleo han desencadenado un especial interés hacia el desarrollo de transportes más sostenibles (Shaheen, Guzmán & Zhang, 2010)

Como alternativa a la utilización de vehículos movidos por combustibles fósiles, se plantea incentivar a la población a que utilice ciertos modos de transporte, como por ejemplo la bicicleta. Se tiene en cuenta que es más eficiente en cortas distancias y que no produce impactos externos nocivos como contaminación del aire y congestiones de tráfico (Zahabi, Chang, Miranda-Moreno & Patterson, 2016).

Del mismo modo Shu, Chou, Liu, Teo & Wang (2013) sostienen que los gobiernos alrededor del mundo están explorando formas de hacer que la población realice sus desplazamientos en transporte público en vez de en automóviles privados. Muchas ciudades tienen instalados sistemas de bicicletas públicas para viajes de corta distancia dentro de la ciudad.

El éxito de los sistemas de movilidad urbana, que incluyen bicicletas públicas, ha ido creciendo alrededor del mundo desde su introducción en Ámsterdam, Países Bajos en 1965 (Lin, Yang & Chang, 2013).

La primera generación (Ámsterdam, Holanda, 1965) no tuvo éxito ya que las bicicletas eran de uso libre y terminaron arrojadas en los canales de la ciudad o desaparecidas por robo. La segunda generación

(Copenhague, Dinamarca, 1995) requería la introducción de una moneda y se podían retirar y devolver las bicicletas en estaciones distribuidas en el centro de la ciudad. Aunque esta generación era más formal que la previa, con estaciones establecidas y la obligación de pagar un abono, las bicicletas seguían siendo robadas. La tercera generación (Portsmouth University, Inglaterra, 1996) también contaba con estaciones, pero introdujo la mejora de que para rentar las bicicletas se debería contar con una tarjeta magnética que identificaba al usuario, minimizando de esta forma la posibilidad de robos (DeMaio, 2009). Una cuarta generación se encuentra en implementación actualmente similar a la tercera en cuanto a la interfaz tecnológica. Propone ciertas mejoras tales como la disponibilidad de sistemas de redistribución para responder ante la demanda, inclusión de bicicletas eléctricas, puntos de aparcamiento eficientes que utilizan energía solar y tarjetas inteligentes para conectarse con otros modos de transporte públicos (Shaheen et al. 2010).

Las bicicletas públicas se introducen como parte de un sistema de transporte urbano que pretende aumentar la accesibilidad, que brinda el transporte público, a los diferentes destinos. Integradas con otros modos de transporte público y ofreciéndolas a la población de manera que puedan acceder a estas asequiblemente, las bicicletas públicas permiten disminuir el uso de automóviles en viajes de corta distancia, principalmente en zonas céntricas, consiguiendo disminuir las congestiones de tráfico y reducir tanto la contaminación del aire como la contaminación sonora (Lin & Yang, 2011).

Nair & Miller Hooks (2016) señalan que las estaciones estarán mejor aprovechadas si están localizadas en áreas donde, para el usuario, tenga un valor añadido desplazarse para acceder. Los sistemas de bicicletas representan, para trayectos de viaje cortos, un modo de viaje siempre y cuando las estaciones se encuentren cerca de ambos puntos, origen y destino. Para trayectos largos, sirve como segmento de un viaje intermodal. Es un medio de conexión que mejora la accesibilidad a los sistemas de transporte, proporciona más opciones en cuanto al tiempo de salida e incrementa la cantidad de rutas intermodales en el sistema de transporte que no serían posibles sin el sistema de bicicletas.

La evidencia en diferentes ciudades sugiere que las bicicletas públicas pueden mejorar la experiencia, accesibilidad y asequibilidad de los viajes personales ya que se tiene más opciones a la hora de elegir el modo de transporte a utilizar, reduce los tiempos de viaje, sobre todo en cortas distancias en las zonas céntricas, y reduce también los costes de movilidad del usuario (Ricci, 2015)

Los potenciales beneficios de la implementación de estos sistemas se engloban de la siguiente manera (Shaheen et al. 2010):

- Aumento de opciones para la población a la hora de moverse.
- Reducción de costes con respecto a la utilización de otros modos de transporte.
- Reducción de costes en la implementación y operación del sistema con respecto por ejemplo a autobuses y metros.
- Descongestión del tráfico.
- Reducción del uso de combustibles fósiles.
- Promoción de una vida saludable.
- Concientización del medio ambiente por parte de la población.

Álvarez-Valdez et al. (2016) define tres fases en el diseño y operación de un sistema de bicicletas públicas. En primer lugar, se debe determinar el número de estaciones y sus localizaciones. Seguido a esto, se debe determinar el número de bicicletas en el sistema. Por último, un sistema de reposición de bicicletas debe ser adoptado para moverlas entre estaciones a modo de equilibrar la demanda. El presente trabajo se centra en los dos primeros puntos, correspondientes al diseño de la red, teniendo en cuenta únicamente decisiones de largo plazo quedando fuera del alcance la operación del sistema.

3.2.2 Modelos de localización

Seguidamente, se comentan de forma concisa algunos de los modelos revisados. Adicionalmente, se remarcarán observaciones interesantes, en base a implementaciones exitosas, que pueden ser relevantes para la realización del trabajo.

Los trabajos de Lin et al. (Lin & Yang 2011; Lin et al. 2013) presentan modelos similares de localización que tiene como función objetivo minimizar los costes asociados al sistema incluyendo un coste de penalización por la demanda no cubierta y considerando el nivel de stock para cumplir con el nivel de servicio. Son modelos de programación no lineal entera que resuelven, en el primer caso, utilizando un método Branch and Bound mediante el software de optimización LINGO y en el segundo, formulado como un modelo de “hub location” con niveles de inventario, mediante una heurística tipo greedy.

Los modelos tienen como objetivo obtener la cantidad de estaciones y su localización, la estructura de la red de carriles bicis que conectan las estaciones, los caminos que utilizarían los usuarios para cada par origen-destino y el nivel de inventario requerido para asegurar un buen nivel de servicio. Estos modelos matemáticos tienen en cuenta, en una única función objetivo, el punto de vista del inversor, considerando los costes asociados a la instalación de estaciones y de construcción de carriles, así como el punto de vista del usuario, midiendo el nivel de demanda cubierta y los costes de viaje.

Como aporte interesante cabe destacar que para que el usuario pueda acceder con facilidad a las estaciones, caminando desde el origen o hacia el destino una distancia conveniente, las estaciones no deberían estar localizadas a más de 300-500 metros de los orígenes y destinos de los viajes más importantes.

Frade & Ribeiro (2015) proponen un modelo de localización que pretende maximizar la demanda cubierta teniendo en cuenta restricciones de presupuesto y nivel de servicio. Se trata de un modelo de programación lineal que los autores sugieren resolver con un software de optimización como XPRESS®.

Este modelo determina la cantidad de estaciones, y su zona de localización, la capacidad de cada una, el número de bicicletas que deben estar disponibles en cada estación para maximizar la demanda, definiendo operaciones de relocalización en las diferentes zonas, y el tamaño de la flota. Está sujeto a restricciones de capacidad para asegurar que se cubra la demanda, restricciones de coste para satisfacer el presupuesto disponible y restricciones de dominio para asegurar la viabilidad de las variables. Una limitante de este modelo es que no determina la ubicación exacta de cada estación, sino la cantidad necesaria por zona.

Según la experiencia en algunos sistemas implementados, para asegurar los movimientos entre estaciones y así poder cumplir con la demanda, la cantidad de bicicletas disponibles, en una estación cualquiera, en todo intervalo de tiempo, debe situarse entre un 25% y un 75% de la capacidad de la estación. Otra observación práctica interesante, en base a experiencias, es que el ingreso de dinero asociado a las suscripciones se estima que está determinado en un 50% por suscriptores anuales, un 20% por mensuales y un 30% por suscriptores diarios.

Yan, Lin, Chen & Xie (2017) proponen cuatro modelos de localización y asignación según diferentes escenarios. Por un lado, según la función objetivo que se quiera emplear; minimizar los costes o maximizar la demanda cubierta. Por otro lado, según el tipo de demanda con el que se cuente; para una cierta demanda, modelo determinista o para una demanda no certera, modelo estocástica. Con estas combinaciones proponen cuatro modelos de programación entera mixta. Para los modelos deterministas proponen su resolución usando CPLEX y para los estocásticos, al ser imposible obtener una solución óptima en un tiempo razonable utilizando el método anterior, heurísticas de aceptación por umbrales.

Los modelos son capaces de determinar la localización de las estaciones y asignar los puntos de demanda a las diferentes estaciones. Como observación en cuanto a limitación, se remarca la necesidad de resolver los dos modelos para satisfacer las necesidades de presupuesto y demanda, por lo que sería conveniente un modelo unificado con una función multiobjetivo. Por otro lado, la división en cuanto al tipo de demanda es interesante ya que propone una alternativa para la demanda estocástica.

Nair & Miller Hooks (2016) presentan un trabajo de localización en dos niveles, según la entidad encargada del sistema y según los usuarios. En el nivel superior, que corresponde a la entidad responsable, se requiere ubicar las estaciones con la función objetivo de maximizar la utilización del sistema. El nivel inferior, que corresponde a la perspectiva del usuario, tiene como función objetivo minimizar el tiempo de viaje y el tiempo de espera de los servicios de transporte para todos los pares de origen-demanda. Es un problema de programación entera mixta. Los autores utilizan como método de resolución un algoritmo genético ya que potencialmente puede tener una región factible no convexa de soluciones.

Este modelo determina únicamente la localización óptima de las estaciones. Aunque remarcan que las capacidades de las estaciones y el nivel de inventario de bicicletas requerido son decisiones importantes de diseño, no son consideradas en el modelo ya que vienen determinadas por la entidad encargada del sistema. Por otro lado, tampoco consideran los efectos diarios del sistema ya que lo estudian en otro modelo con más detalle. Como consideraciones particulares del modelo se distingue el sistema de transporte existente, para que trabajen en conjunto con el de bicicletas, los accesos a pie y en bicicleta a la red y el comportamiento asumido por el usuario al utilizar el sistema.

El estudio de Martínez, Caetano, Eiró & Cruz (2017) propone un modelo de localización para un sistema mixto, es decir, con bicicletas regulares y eléctricas. La función objetivo es maximizar los beneficios netos de operación del sistema, que incluyen los ingresos de operación, los costes de las estaciones y los costes de las bicicletas. Es un problema de programación entera lineal mixta (MILP). Los autores proponen resolverlo con un procedimiento heurístico de branch-and-bound utilizando el optimizador FICO Xpress.

El enfoque del modelo permite determinar la localización de las estaciones, la dimensión de la flota de bicicletas y las actividades de relocalización necesarias en su operación diaria. Incorporan en la formulación del modelo factores como la incertidumbre en la estimación de la demanda, costes fijos y variables de infraestructura, como las estaciones, bicicletas y costes de relocalización y los ingresos por operación. Se observa que el estudio presenta una adecuada formulación del problema y que tiene en consideración los factores más relevantes para lo que se pretende realizar.

Çelebi, Yörüsün & Is (2018) plantean un modelo de localización y asignación que tiene como función objetivo minimizar la demanda insatisfecha. Es un modelo de programación no lineal que ha sido resuelto mediante programación dinámica, en una aplicación a pequeña escala, con el software matemático Matlab.

Particularmente, estos autores realizan una formulación para medir el nivel de servicio, es decir, obtienen una expresión para medir la insatisfacción esperada al momento de retirar o devolver una bicicleta en cada estación y esta expresión, que resulta no lineal, es a la que proponen minimizar.

Este modelo determina, dada una cantidad de estaciones, su localización y capacidad, la asignación de los puntos de demanda a cada estación abierta y el número de bicicletas que deben estar disponibles en cada estación para satisfacer el nivel de servicio. Está sujeto a restricciones del número total de bicis del sistema, de aseguramiento en la asignación de todos los puntos de demanda a al menos una estación, situada dentro de un rango tolerable de distancia, y a que el tráfico de bicicletas en cada estación es una función de los ratios de retirada y devolución en la misma. Una limitación importante de este modelo es que no considera ningún tipo de coste ni presupuesto. Otra limitante es la dificultad al momento de resolver el modelo, en una aplicación a gran escala, ya que es no lineal.

Park & Sohn (2017) desarrollaron dos modelos para el problema de localización y asignación. Utilizan por un lado el modelo p-median (mínima impedancia) y por otro el MCLP (máxima cobertura) de forma separada según el criterio que se busque optimizar. En caso de querer que los ciudadanos utilicen el servicio al menor coste se utiliza el primero y si lo que se quiere es que más personas utilicen el servicio se resuelve el problema con la segunda formulación.

El primer modelo, p-median, tiene como función objetivo minimizar la distancia total recorrida entre los puntos de demanda y la estación más cercana. Es un factor importante ya que tener que caminar largas distancias hasta la estación hace menos competitivos los sistemas de bicicletas frente al uso del automóvil. El segundo modelo, MCLP, plantea como función objetivo maximizar la demanda cubierta por una determinada cantidad de estaciones.

Este estudio considera distancias euclideas, en vez de utilizar las distancias de la red de calles. Por un lado, debido a que la mayor parte de los sistemas de bicicletas se sitúan en áreas urbanas donde típicamente se cuenta con una alta densidad de calles e intersecciones. Esto hace que las personas realicen los viajes en cualquier dirección al utilizar las calles, siendo las distancias en línea recta no mucho mayor a las euclideas. Además, los usuarios de bicicletas están menos predispuestos a tomar largos recorridos. Por estos motivos, concuerdan que la simplificación de usar distancias euclideas es prácticamente válida en zonas urbanas con alta densidad de calles e intersecciones. Esta consideración se puede ver como una limitación del modelo al no utilizar las distancias exactas.

Para representar los puntos de demanda potencial seleccionan sitios cercanos a estaciones de metro, tren o autobús, para conectar a los usuarios con la red de transporte público; a centros comerciales, parques y áreas de recreación, por ser sitios atractores de viajes y a residencias tipo apartamentos ya que la mayoría de las personas comienzan los viajes desde su hogar. Esta es otra limitación del modelo ya que hay más puntos de demanda potencial que no están siendo considerados.

3.2.3 Predicción de la demanda

En este punto se pretende analizar los principales aspectos a tener en cuenta, así como algunos de los métodos utilizados, para estimar la distribución de la demanda potencial de los servicios de bicicletas. Se tomarán en cuenta los autores de los modelos anteriores y también otros autores destacados. En algunos de los modelos estudiados anteriormente, ya se cuenta con la información de la distribución de la demanda por lo que, no tienen necesidad de realizar ningún tipo de cálculo adicional.

Dos puntos determinantes en la demanda de bicicletas públicas son la conveniencia a nivel geográfico y el precio (Ricci, 2015).

Una evidencia empírica sugiere que se puede atraer a más usuarios con un buen nivel de cobertura geográfica en combinación con estaciones suficientemente cerca de los puntos más frecuentes de origen y destino (Fishman, Washington & Haworth, 2013).

Krykewycz, Puchalsky, Rocks, Bonnette & Jaskiewicz (2010) realizan una prueba sobre las preferencias de los potenciales usuarios en relación con el sistema de bicicletas públicas. Utilizaron tres categorías de factores de entrada para calcular las puntuaciones de preferencia: factores de la red o instalación, factores de atracción de viajes y factores de origen de viajes. Sostienen que la demanda de bicicletas está asociada de manera directa con estos factores. Los factores de la red o instalación incluyen la proximidad a estaciones de tren, proximidad a paradas de autobús y disponibilidad de calles amigables para transitar. Por otro lado, sostienen que la preferencia de una persona por andar en bicicleta está determinada por los factores de atracción del viaje, que indican la proximidad a centros comerciales, parques y áreas de recreación.

En el modelo de García-Palomares, Gutiérrez & Latorre (2012) se calcula la cantidad de viajes que genera y atrae un edificio con datos sobre la cantidad de personas y empleados que hay en cada edificio y con la cantidad de viajes generados y atraídos en cada zona. Multiplicando el número de habitantes de cada edificio por el ratio de viajes generados por habitante en la zona del edificio, obtienen el número de viajes generados y de modo similar, multiplicando el número de personas que trabajan en un edificio por el ratio de viajes atraídos por habitante en la zona del edificio, obtienen el número de viajes atraídos. Por otro lado, se destaca que propone que se coloquen estaciones de bicicletas próximas a estaciones de metro y tren para crear conectividad con la red de transporte público de la ciudad.

Çelebi et al. (2018) realizan una encuesta para predecir el comportamiento de los potenciales usuarios del sistema y estimar la matriz origen-destino, es decir el ratio de flujo desde un punto i a otro punto j .

Frade & Ribeiro (2015) sostienen que algunos de los enfoques típicos para definir la demanda se basan en encuestas, aunque tienen el inconveniente de que el encuestado puede responder estratégicamente y no representar su comportamiento real individual. La metodología que proponen se basa en los objetivos del sistema, las características de los viajes y las características de la ciudad. Como resultado cuantifican la demanda obteniendo la proporción de los usuarios por propósito de viaje y definen los efectos en la demanda causados por las características de los viajes. Parten de la matriz de origen-destino del área de estudio y como resultado final obtienen la matriz de origen-destino asociada al uso de bicicletas.

Para extraer los puntos de demanda potencial Park & Sohn (2017) seleccionan, en el área de estudio, las estaciones de metro, los centros comerciales, los parques y las residencias existentes. Con estas ubicaciones construyen potenciales sitios de demanda creando zonas con un radio de 100 metros alrededor de las estaciones de metro y centros comerciales, 200 alrededor de las residencias y 300 alrededor de los parques. Por último, calculan la población flotante de cada sitio de demanda o zona de la siguiente manera. Para el caso de estaciones de metro, centros comerciales y parques, como el promedio de personas que se mueven

en tiempo real en esa zona excluidos los residentes. En caso de zonas residenciales incluyen a las dos poblaciones, los residentes y las personas que se mueven en el área. A esta población flotante la consideran como la cantidad de demanda del sitio en cuestión.

4 PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO

Se comenzará el capítulo describiendo las características relevantes de la ciudad donde se diseñará la red pública de bicicletas, se estudiarán aspectos asociados a la movilidad ciudadana y al sistema de bicicletas existente. Se plantearán las hipótesis de los modelos teniendo en cuenta la ciudad y se desarrollarán los modelos utilizados para la resolución del problema.

4.1 Montevideo

4.1.1 Datos generales

Montevideo es la de capital de la República Oriental del Uruguay y la ciudad más poblada del país. Se extiende sobre un área de 530 kilómetros cuadrados y se encuentra a 42 metros, en promedio, sobre el nivel del mar. Limita al oeste con el departamento de San José, al norte y este con el departamento de Canelones y al sur posee costas sobre el Río de la Plata donde se ubica el principal puerto de la región. Cuenta con una población de 1.319.108 habitantes en el núcleo urbano y de 1.947.604 en el área metropolitana según el último censo realizado en 2011 por el Instituto Nacional de Estadística uruguayo, lo que representa el 40,12 % de la población del país. La mayor parte de la población, precisamente un 96 %, se encuentra en el área urbana que corresponde al 37 % del territorio (Informe Censos 2011: Montevideo y Área Metropolitana, 2013).

Al igual que Uruguay, Montevideo presenta tasas negativas de crecimiento poblacional. En el período 2004-2011, se registró un decrecimiento del 0,07%, y en el anterior período censal un decrecimiento del 0,15%. Los departamentos limítrofes, San José y Canelones, que parcialmente constituyen el área metropolitana de Montevideo, por el contrario, registraron un crecimiento del 0,68% y 0,96% respectivamente (Informe Censos 2011: Montevideo y Área Metropolitana, 2013).

El decrecimiento poblacional en Montevideo está fundamentado, en parte, por un reordenamiento interno y por una emigración internacional. Con respecto a la distribución espacial interna, se observa un desplazamiento hacia las regiones metropolitanas exteriores debido a fenómenos estructurales (Plan de Movilidad, 2010).

En los últimos años, Montevideo y su área metropolitana han sido testigo de cambios relevantes en los hábitos ciudadanos de desplazamiento, promovidos en mayor medida por factores socioculturales y económicos. El incremento de la renta per cápita de ciertos sectores de la población, aumentó la cantidad de desplazamientos tanto a nivel laboral como por motivos de ocio y esparcimiento. Otro cambio que ha producido fuertes transformaciones y ha afectado sustancialmente el uso del espacio público, ha sido el aumento de las tasas de motorización, en especial de vehículos particulares. Este fenómeno se ha acentuado por la fuerte promoción del sector automotriz sobre la compra de vehículos, por las políticas de financiación y por la incorporación al mercado de automóviles económicos de origen asiático (Plan de Movilidad, 2010).

La ciudad de Montevideo se construyó y desarrolló alrededor de su puerto marítimo. El área de influencia del mismo determinó la ubicación actual de las zonas con mayor concentración de habitantes y de las actividades económicas y comerciales más importantes de la ciudad. Actualmente, Montevideo y su área metropolitana están dividida en dieciocho zonas con 68 barrios.

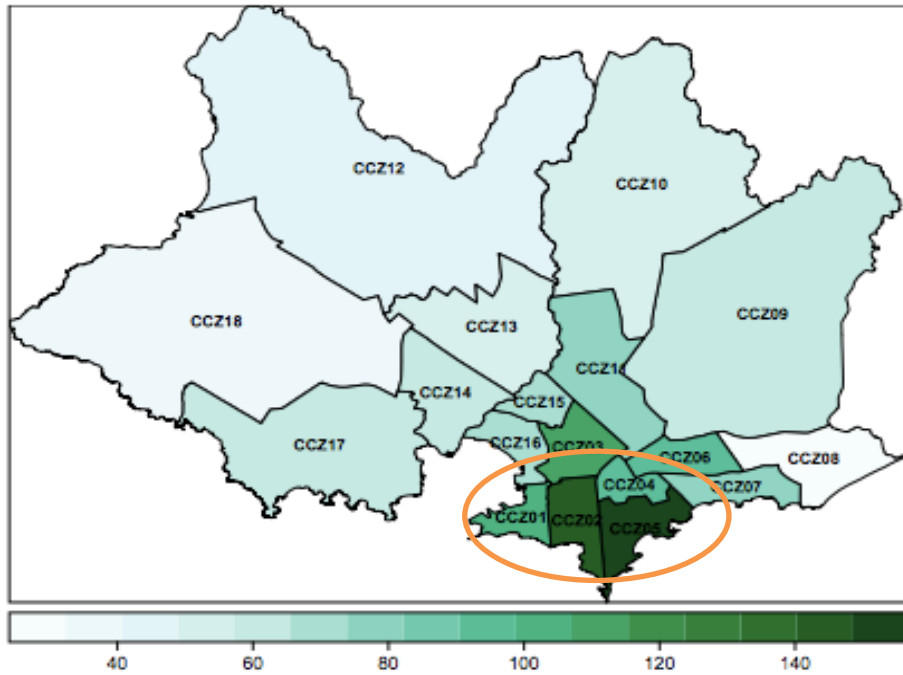


Figura 4-1. Mapa de zonas según densidad

Fuente: (Informe Censos 2011: Montevideo y Área Metropolitana, 2013)

Para este proyecto se definió como área de estudio la integrada por las zonas CCZ01, CCZ02, CCZ04 y CCZ05 abarcando un área de 40 km². Estas zonas contienen la mayor cantidad de comercios, centros educativos, centros médicos, atracciones recreativas y atracciones turísticas que diariamente ocasionan un gran número de viajes. Por otro lado, como se puede apreciar en la ilustración 1 y en la tabla 3, son cuatro de las zonas con mayor densidad de población con 100,8, 144,6, 95,5 y 148,6 habitantes por hectárea respectivamente.

Tabla 4-1. Densidad de población (INE)

CCZ (zona)	Densidad (habitantes por hectárea)
CCZ01	100,8
CCZ02	144,6
CCZ03	107,5
CCZ04	95,5
CCZ05	148,6
CCZ06	93,5
CCZ07	75,9
CCZ08	31,1
CCZ09	19,8
CCZ10	6,8
CCZ11	70,7
CCZ12	4,8
CCZ13	41,2
CCZ14	63,1
CCZ15	67,2
CCZ16	69,8
CCZ17	21,3
CCZ18	4,6
Total	25

Fuente: (Informe Censos 2011: Montevideo y Área Metropolitana, 2013)

4.1.2 Movilidad

Con respecto a la movilidad en la ciudad, la mayor parte de la población utiliza el transporte público, más específicamente, el 55 % de los viajes se realizan en transporte colectivo (Plan de Movilidad, 2010). El sistema de transporte público cuenta con 142 líneas de autobús, con una flota de 1485 vehículos en funcionamiento, que moviliza aproximadamente 290 millones de pasajeros anuales (Plan de Movilidad, 2010). Cabe aclarar que no cuenta con líneas de trenes ni de metros dentro de los modos de transporte que ofrece. Por otro lado, cuenta con una pequeña red pública de bicicletas de tercera generación distribuidas en 8 estaciones en la zona aledaña al puerto, en el barrio Ciudad Vieja dentro de la zona CCZ01 (Intendencia de Montevideo, 2018).

Solo un 2,6 % de los viajes realizados en la ciudad utilizó la bicicleta como modo de transporte (Encuesta de movilidad del área metropolitana de Montevideo, 2017). Una cantidad muy pequeña en comparación con ciudades donde los sistemas de bicicletas públicas están extensamente desarrollados, como por ejemplo Ámsterdam, Holanda donde en 2016 el 27% de los viajes se realizó en bicicleta (Transport and mobility, 2016).

La Tabla (4-2) presenta una clasificación de la totalidad de los viajes según el propósito para el modo de transporte bicicleta y el total.

Tabla 4-2. Viajes clasificados según modo de transporte y propósito

Propósito	Bicicleta	Total
Hogar	1,2%	43,9%
Trabajo y trámites trabajo	0,5%	17,3%
Trámites personales y asistencia médica	0,1%	4,0%
Estudios	0,3%	9,5%
Compras hogar	0,1%	6,2%
Dejar recoger niños o alguien y acompañar	0,1%	8,6%
Visitar a alguien	0,1%	4,2%
Entretenimiento/ir a comer	0,1%	4,0%
Otros (compras, personal, culto, otro)	0,1%	2,2%
Total	2,6%	100%

Fuente: (Encuesta de movilidad del área metropolitana de Montevideo, 2017)

En la Figura (4-2) se muestra la distribución de los propósitos de viaje excluyendo el retorno al hogar.

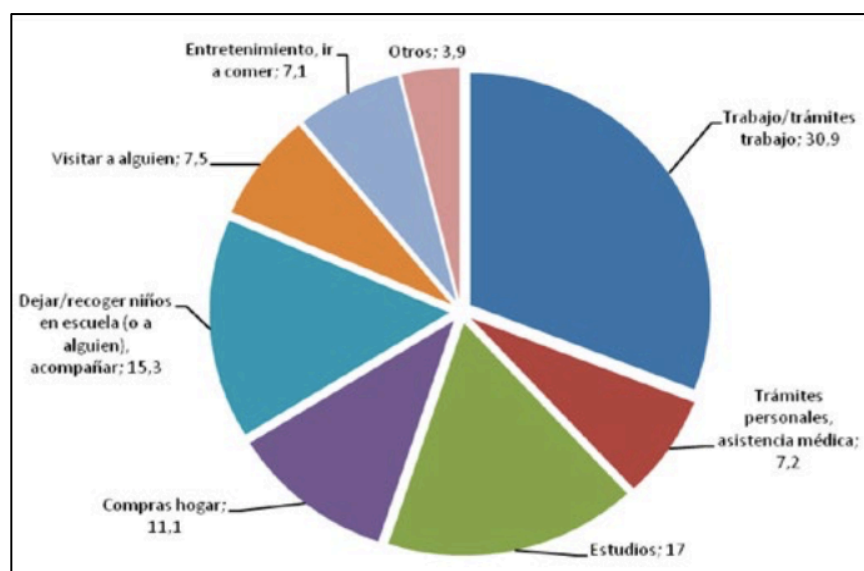


Figura 4-2. Distribución de los viajes según propósito

Fuente: (Encuesta de movilidad del área metropolitana de Montevideo, 2017)

Se puede observar que el 30,9 % de los viajes que se realizan son por cuestiones laborales, lo que indica que son realizados a diario. El 17 % de los viajes son con motivo de estudios, estos pueden ser captados por el sistema, a través de convenios con los colegios y universidades. El 15,3 % de los viajes son para llevar, recoger y acompañar personas por lo que la bicicleta no sería un medio apropiado en estos casos. Otra partida de desplazamientos, que se producen de manera ocasional y que se efectúan sin un tipo de patrón, son los relacionados a las compras orientadas a la subsistencia del hogar, los desplazamientos a sitios de entretenimiento y las visitas a otras personas. Estos representan un 32,9 % de la participación de los viajes. Por último, sin catalogar están los comprendidos en otros, que representan un 3,9 %.

Una aclaración importante es que la encuesta de movilidad agrupa los barrios por municipio en vez de por zonas CCZ como el informe de censos. Se resalta en la figura 4-3 los municipios que corresponden a la zona de estudio elegida.

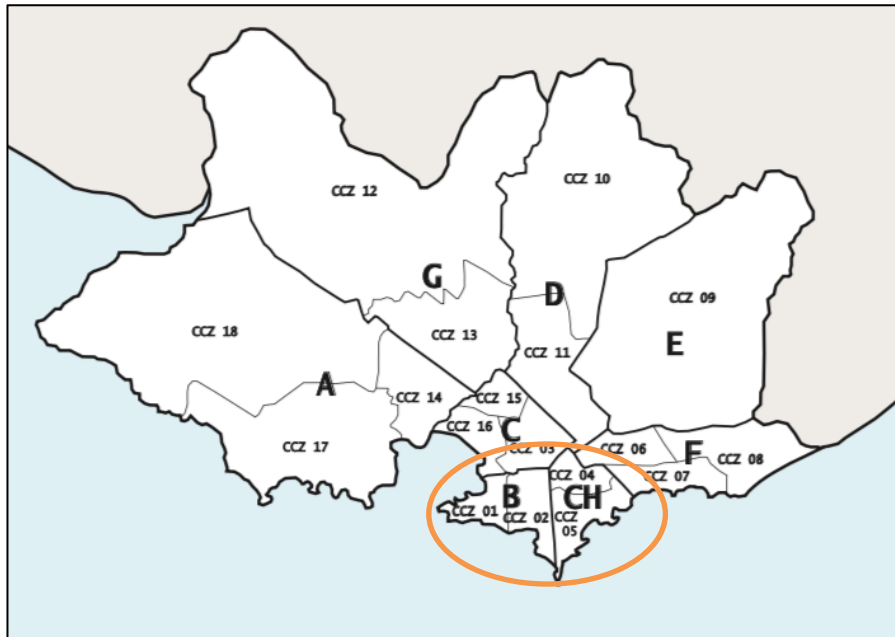


Figura 4-3. Mapa de Montevideo y su área metropolitana dividido en municipios y zonas (CCZ).

Fuente: (Informe Censos 2011: Montevideo y Área Metropolitana, 2013)

De la información que proporciona el estudio se extrae que la zona con mayor producción y atracción de viajes es el Municipio B, donde se encuentra el centro histórico de Montevideo, incluyendo también los barrios más relevantes en materia comercial, gubernamental y de negocios. Lo siguen los Municipios C y CH en atracción y, CH, E y zona 10 (fuera de Montevideo) en producción de viajes, lo que es consistente con su densidad. Las movilizaciones son principalmente por motivos de trabajo. Con esta información podemos afirmar que el área que se ha considerado para el estudio sigue siendo la más relevante (Encuesta de movilidad del área metropolitana de Montevideo, 2017).

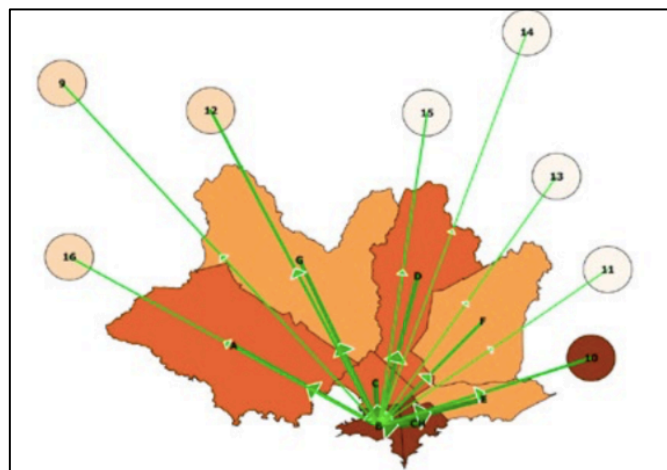


Figura 4-4. Viajes producidos desde el municipio B

Fuente: (Encuesta de movilidad del área metropolitana de Montevideo, 2017)

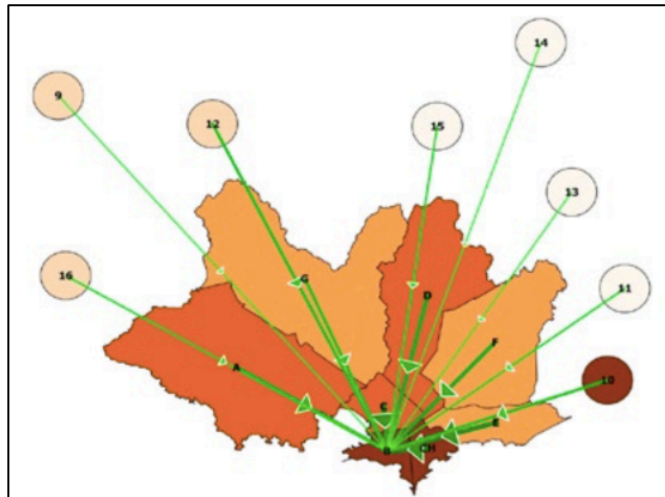


Figura 4-5. Viajes atraídos al municipio B

Fuente: (Encuesta de movilidad del área metropolitana de Montevideo, 2017)

La encuesta de movilidad presenta información detallada sobre los viajes relevados especificando los destinos y generadores de viajes y los desplazamientos origen-destino. Si bien se estima la matriz origen destino contemplando todos los estratos geográficos, los intervalos y niveles de confianza esperados son aceptables para grandes movimientos (Encuesta de movilidad del área metropolitana de Montevideo, 2017). Para este estudio no se puede utilizar la matriz origen-destino como entrada a los modelos, debido al gran tamaño que poseen las zonas de la división establecida, pero sí brinda información de la cantidad de viajes que se realizan en el área de estudio. En la tabla (4-3) se muestra la matriz origen destino que involucra a los dos municipios estudiados.

Tabla 4-3. Matriz origen-destino

Origen	Destino	Viajes
Municipio B	Municipio CH	108.525
Municipio B	Municipio B	395.971
Municipio CH	Municipio B	99.818
Municipio CH	Municipio CH	239.919
Total		844.233

4.1.3 Sistema de bicicletas existente

En el año 2014, como un plan piloto la Intendencia de Montevideo instaló un sistema de bicicletas públicas cubriendo una pequeña parte de la ciudad. El sistema es llamado “Movete” y cuenta con 8 estaciones, distribuidas en diferentes puntos del barrio Ciudad Vieja, y 80 bicicletas para la prestación del servicio (Intendencia de Montevideo, 2018).



Figura 4-6. Sistema de bicicletas públicas Movete

Fuente: (Ministerio de turismo de Uruguay, 2018)

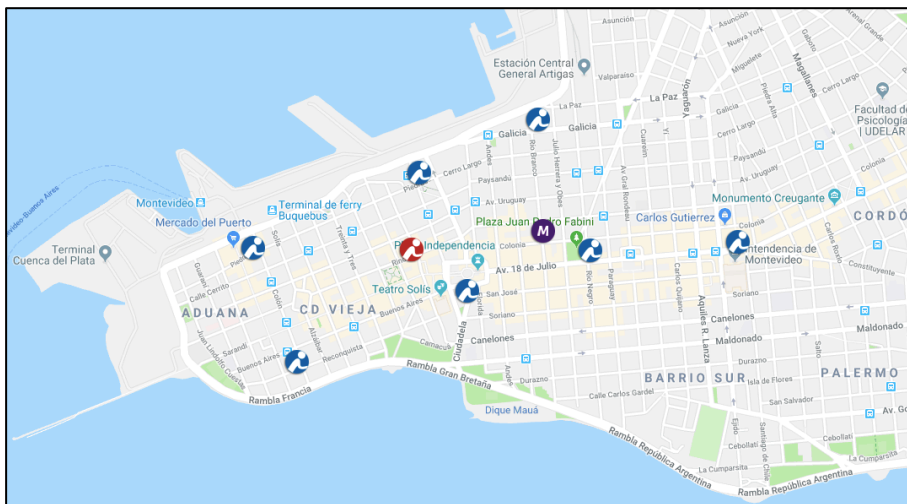


Figura 4-7. Ubicación de las estaciones actuales

Fuente: (Intendencia de Montevideo, 2018).

El barrio Ciudad Vieja, como se vio anteriormente, es el casco antiguo de la ciudad y es uno de los lugares donde se concentran la mayoría de las oficinas públicas de la ciudad, así como las centrales de las grandes empresas.

Las bicicletas están disponibles todos los días en el horario de 7 a 20 hrs. Pueden utilizar este sistema de transporte público todas las personas que se registren, independientemente de su nacionalidad y lugar de residencia.

Para este problema se tomarán en cuenta las estaciones existentes y se planteará una ampliación del sistema actual.

4.2 Modelado del Problema

4.2.1 Definición del problema

El problema puede ser resumido de la siguiente manera. Dados un conjunto de puntos candidatos a ser una estación de bicicletas y un conjunto de puntos de demanda, se quiere determinar el número de estaciones que son necesarias, la ubicación de las estaciones y la flota total de bicicletas del sistema.

Los modelos de localización-asignación son empleados para determinar la ubicación óptima de determinadas instalaciones para cumplir con algún objetivo predefinido. Los más utilizados comúnmente, para resolver problemas de localización-asignación, son los problemas de cobertura, de centro, de mediana y de costes fijos. En este estudio se utilizará como base el modelo de cobertura Maximum Covering Location Problem (MCLP) y se le agregarán algunas otras restricciones particulares del caso de estudio.

En el MCLP se considera fijo el número de instalaciones a localizar y se maximiza la demanda cubierta sin necesidad de cubrir todos los puntos (Park & Sohn, 2017).

Subíndices y conjuntos

M	conjunto de puntos de demanda, con índice $j = 1, \dots, m$
N	conjunto de nodos candidatos a estación, con índice $i = 1, \dots, n$

Parámetros

μ_j	cantidad de demanda en el sitio j
p	número de instalaciones a localizar
D	distancia límite dentro de la cual un sitio de demanda j puede ser cubierto por una instalación i
N_j	conjunto de nodos candidato a instalación i que se encuentran dentro del límite de distancia D del sitio de demanda j
d_{ij}	distancia euclídea entre los sitios i y j

Variables de decisión

y_j	1, si la demanda en el sitio j es satisfecha 0, en caso contrario
x_i	1, si se localiza una instalación en el nodo candidato i 0, en caso contrario

El problema se plantea de la siguiente forma:

$$\text{Maximizar: } \sum_{i=1}^m \mu_j y_j \quad (4-1)$$

Sujeto a:

$$y_j \leq \sum_{i \in N_j} x_i \quad \forall j \in M \quad (4-2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = p \quad (4-3)$$

$$x_i, y_j = (0,1) \quad \forall i \in N, j \in M \quad (4-4)$$

$$N_j = \{i \in N \mid d_{ij} \leq D\} \quad (4-5)$$

La función objetivo (4-1) maximiza la demanda cubierta por las p instalaciones. La restricción (4-2) establece que la demanda del nodo i no puede ser cubierta a menos que haya una instalación en algún nodo j y que se encuentre dentro de su radio de cobertura. La restricción (4-3) impone que deben activarse p instalaciones. La restricción (4-4) declara que las variables del problema son binarias. Finalmente, la restricción (4-5) impone que la distancia entre un sitio de demanda j y una instalación i que satisfaga la demanda del sitio j es menor que D , que es la máxima distancia de un sitio de demanda a una estación. (Park & Sohn, 2017).

A este problema (MCLP) se lo tomará como base para desarrollar el modelo. Se cambiará la restricción (4-3) por una restricción de presupuesto ya que no se impondrá previamente el número de estaciones a colocar. Además, se aumentará la complejidad del problema agregando ciertas restricciones, de acuerdo con las hipótesis y consideraciones planteadas, con el fin de involucrar más aspectos de una situación la real.

4.2.2 Modelo 1

Para explicar el diseño del modelo matemático que se utilizará, se introducen en primer lugar las siguiente notación para representar que representan las variables y parámetros.

Subíndices y conjuntos

N	conjunto de potenciales nodos estación, con índice $i = 1, \dots, n$
M	conjunto de puntos de demanda, con índice $j = 1, \dots, m$
P	conjunto de tipos de estaciones posibles, con índice $k = 1, \dots, p$

Parámetros

μ_j	cantidad de demanda en el sitio j
D_{lim}	distancia límite dentro de la cual un sitio de demanda j puede ser cubierto por una estación i
L_j	conjunto de nodos candidatos a estación i que se encuentran dentro del limite de

	distancia D_{lim} de algún punto de demanda j
D_{min}	distancia mínima entre estaciones
D_{ij}	distancia euclídea entre los sitios i y j
$CosteE_k$	coste de instalar una estación del tipo k
$CosteB$	coste de una bicicleta
$Presupuesto$	presupuesto total disponible
A_k	cantidad de anclajes disponibles en una estación tipo k
R	ratio de anclajes por bicicleta
E	conjunto de nodos donde actualmente existe una estación
F_k	conjunto de nodos donde no se puede instalar una estación tipo k
G_i	Suma de la cantidad de demanda dentro del límite de distancia D_{lim} del nodo i
G_k	Mínima cantidad de demanda cercana para asignar una estación tipo k

Variables de decisión

x_i	1, si se localiza una estación en el nodo i 0, en caso contrario
y_j	1, si la demanda en el sitio j es satisfecha 0, en caso contrario
e_{ik}	1, si se localiza una estación tipo k en el nodo i 0, en caso contrario
z	cantidad de bicicletas del sistema, $z \geq 0$

El objetivo del modelo es maximizar la demanda cubierta por las estaciones seleccionadas. El problema se representa con el siguiente modelo matemático:

$$\text{Maximizar: } \sum_{j=1}^m y_j \mu_j \quad (4 - 6)$$

Sujeto a:

$$y_j \leq \sum_{\substack{i=1 \\ i \in L_j}}^n x_i \quad \forall j \in M \quad (4 - 7)$$

$$\sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^n CosteE_k e_{ik} + CosteB z \leq \text{Presupuesto} \quad (4-8)$$

$$x_i \leq 1 - x_{i'} \quad \forall i, i' \in N, i \neq i': D_{ii'} \leq D_{min} \quad (4-9)$$

$$\sum_{k=1}^p e_k = 1 \quad \forall i \in E \quad (4-10)$$

$$\sum_{k=1}^p e_{ik} = x_i \quad \forall i \in N \quad (4-11)$$

$$\frac{1}{R} \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^n A_k e_{ik} = z \quad (4-12)$$

$$x_i = e_{ik} \quad \forall i \in N, \forall k \in P: G_i < G_k \quad (4-13)$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \in F_k}}^n e_{ik} = 0 \quad \forall k \in P \quad (4-14)$$

$$x_i = (0,1) \quad \forall i \in N \quad (4-15)$$

$$y_j = (0,1) \quad \forall j \in M \quad (4-16)$$

$$e_{ik} = (0,1) \quad \forall i \in N, k \in P \quad (4-17)$$

$$z \in \mathbb{N} \quad (4-18)$$

La función objetivo es maximizar la demanda cubierta por el sistema de bicicletas (4-6).

La restricción (4-7) establece que, si un nodo estación se encuentra activo, cualquier sitio de demanda dentro de la distancia límite está cubierto por dicha estación. El coste de instalar las estaciones más el coste de las bicicletas tiene que ser menor o igual al presupuesto disponible (4-8). Para que las estaciones no se encuentren muy cerca entre ellas, si un nodo estación se encuentra activo, ningún nodo a menos de D_{min} de este estará activo (4-9). Para tomar en cuenta las estaciones ya instaladas, se impone que los nodos asociados a las ubicaciones existentes tienen que estar activos (4-10). Si hay un nodo estación activo, se activa solo un tipo de estación (4-11). La restricción (4-12) establece la relación entre la cantidad de anclajes y bicicletas del sistema. La restricción (4-13) se define para que la capacidad de la estación elegida en un sitio dependa de la demanda cercana. Como en algunos nodos hay limitaciones en cuanto a la capacidad de la estación a instalar, se anula la variable del tipo de estación no admitido (4-14). Por último, las restricciones (4-15), (4-16), (4-17) y (4-18) se utilizan para especificar el dominio de las variables de decisión.

4.2.3 Modelo 2

Se propone una variante al modelo anterior, con el fin de realizar una mejor selección del tipo de estación. A la función objetivo, que maximiza la demanda, se le agregará la selección de la capacidad de la estación de acuerdo al nivel de demanda circundante.

Se agregan para tal fin los siguientes parámetros y variables:

Parámetros

C_{ik} coeficiente de ponderación de la estación k para el nodo candidato a estación i según la suma de demandas cercanas a este

Variables de decisión

f_i variable continua que representa, para cada nodo candidato a estación i , la suma de las variables que definen el tipo de estación ponderadas por la cantidad de demanda cercana a este

El objetivo del modelo será el de maximizar los sitios de demanda cubiertos y de priorizar la elección de la capacidad de la estación acorde al nivel de demanda circundante. La función objetivo se representa de la siguiente manera:

$$\text{Maximizar: } \sum_{j=1}^m y_j \mu_j + \sum_{j=1}^n f_i \quad (4 - 19)$$

Se cambia la restricción (4-14), que imponía la selección del tipo de estación, por la restricción (4-20) que prioriza la selección de una estación con mayor capacidad para los nodos i con mayor demanda circundante. Se agrega, por último, la definición del dominio de la variable adicional.

$$\sum_{k=1}^p C_{ik} e_{ik} = f_i \quad \forall i \in N \quad (4 - 20)$$

$$f_i \in R \quad (4 - 21)$$

4.2.4 Hipótesis y consideraciones

Tal como se explicó en el estado de arte Park & Sohn (2017) consideran en sus modelos distancias euclídeas, en vez de utilizar las distancias de la red de calles, debido a que los sistemas de bicicletas se encuentran en áreas urbanas. Como la región donde se realizará el estudio es en su totalidad una zona urbana con alta densidad de calles e intersecciones, se tomará como válida esta simplificación.

Haciendo referencia a lo tratado en el estado del arte, según Lin et al. (2013) para que un usuario pueda acceder con facilidad a las estaciones, caminando desde el origen o hacia el destino una distancia

conveniente, las estaciones no deberían estar localizadas a más de 300-500 metros de los orígenes y destinos de los viajes más importantes. Por otro lado, hay estudios que demuestran que personas que se encuentran a menos de 250 metros de una estación es dos veces más propicia a convertirse en usuario de un sistema de bicicletas con respecto a las que viven más lejos (Fuller et al 2011). Por esta razón se asume que cada punto de demanda está cubierto si se encuentra a menos de 250 metros de una estación.

O'Brien, Cheshire & Batty (2014) recomiendan que la distancia media entre estaciones esté dentro de los 300-400 metros para que el sistema sea exitoso. Siguiendo estas recomendaciones, se impone que la distancia mínima entre estaciones sea de 300 metros. No se impone una distancia máxima debido a que se considera un presupuesto determinado disponible y puede que el problema quede incompatible. Por otro lado, si se considerará esta observación en el análisis de los resultados.

Al ya existir una pequeña red de bicicletas dentro del área de estudio, como se vio anteriormente, se tomarán en consideración las estaciones existentes. El problema se formulará como una ampliación del sistema actual.

Para extraer los sitios de potencial demanda se seleccionan, de acuerdo con la literatura revisada (Park & Sohn 2017; Krykewycz et al. 2010), los siguientes lugares: centros comerciales, paradas más importantes de autobús, terminales de autobús, parques y áreas de recreación. Se agrega a esta selección universidades, colegios de enseñanza secundaria, centros deportivos importantes y edificios de oficinas.

Además, Park & Sohn (2017) seleccionan también las residencias existentes ya que la mayoría de los viajes se realizan tomando como origen el hogar. García Palomares et al. (2012) calculan la cantidad de viajes que genera y atrae un edificio con datos sobre la cantidad de personas y empleados que lo usan. Para tener en cuenta a los residentes del área de estudio, se extrae de la encuesta continua de hogares, la población por segmento censal que corresponde a agrupaciones de aproximadamente 4 manzanas (Instituto Nacional de Estadística, 2017). De esta información se eliminan los niños y los ancianos, porque se asume que las personas menores a 13 años y mayores a 70 tienen menos probabilidad de ser usuarios del sistema.

Se proponen tres tipos diferentes de estaciones en cuanto a su capacidad, es decir la cantidad de anclajes disponibles. Los tamaños propuestos son 15, 25 y 35 anclajes. La elección de qué tipo de estación seleccionar se realizará en base a la cantidad de demanda que rodee el nodo candidato a estación.

Basado en la performance de diferentes sistemas públicos de bicicletas, implementados en el mundo, The Institute for Transportation and Development Policy (ITDP) desarrolló una guía llamada (The bike-share planning guide, 2018) donde exponen aspectos que tienen en común los sistemas más eficientes del mundo. En la guía se indica, entre otras cosas, que el ratio de anclajes de un sistema debería ser de 2 a 2.5 anclajes por cada bicicleta. En estos modelos se considera de 2 anclajes por cada bicicleta, es decir que la cantidad de anclajes disponibles será el doble de la flota total de bicicletas.

La guía también destaca que elegir una buena localización de las estaciones es crítico para el éxito del sistema, por lo que deben estar situadas de forma que se puedan encontrar fácil y convenientemente. Las siguientes recomendaciones para la localización de estaciones se consideran para el caso de estudio:

- Las estaciones deberían estar cerca de las paradas y estaciones de transporte más importantes ya que, como los sistemas de bicicletas son un complemento de los sistemas de transporte, ayudaría a que los pasajeros puedan acceder con mayor facilidad y rapidez a sus destinos. Esta recomendación ya fue establecida anteriormente, por lo que se da por considerada.
- Mientras sea posible, las estaciones deberían estar localizadas sobre carriles bici existentes o sobre calles que sean accesibles y seguras para transitar en bicicleta. Debido a que, en la actualidad, prácticamente no existe red de carriles bici en la ciudad de Montevideo, se tomaron para el diseño de la red las calles más importantes y amplias de la ciudad, es decir, las que tienen más posibilidad de poder construir carriles bici en el futuro.
- Las estaciones están mejor situadas en esquinas o cerca de ellas, así los usuarios pueden acceder desde múltiples direcciones. Los nodos para el estudio se han considerado en las intersecciones de calles por lo que esta recomendación ha sido considerada.

Los costes de las estaciones y bicicletas se tomaron como una aproximación en base al (Estudio de factibilidad del sistema de bicicleta pública en la ciudad de Toluca, 2014) y actualizaron a octubre de 2018 en euros. Cabe aclarar que los costes incluyen el envío desde fábrica y en el caso de las estaciones también la instalación. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla (4-4).

Tabla 4-4. Costes asociados al sistema de bicicletas

Concepto	Coste (€)
Estación de 15 anclajes	18.500
Estación de 25 anclajes	26.500
Estación de 35 anclajes	375.00
Bicicleta	400

5 EXPERIENCIA COMPUTACIONAL

El presente capítulo se centra en la forma de resolver el problema de manera computacional. El primer paso para aplicar los modelos descritos anteriormente es la preparación de los datos por lo que el capítulo se dividirá en dos partes. Por un lado, el algoritmo para la obtención de los datos del grafo y la manipulación de la información extraída, y por otro, los algoritmos para el planteamiento y la resolución de los modelos. Para el desarrollo de los modelos se plantearán los mismos mediante lenguaje Python y se resolverán mediante el software de optimización Gurobi®.

5.1 Preparación de los datos

Para obtener los puntos potenciales donde situar las estaciones, se trabaja con las librerías `osmnx` de `OpenStreetMap`® y `networkx` de `NetworkX`®. `OpenStreetMap` es una base de datos cartográfica abierta, creada con información geográfica mediante dispositivos GPS móviles y otras fuentes libres. Por otro lado, `Networkx`, es una librería de Python para crear, manipular y estudiar la estructura de grafos y redes complejas.

En primer lugar, se importa desde `OpenStreetMap`, el grafo con todos los nodos y los arcos que se localizan dentro del área elegida, la cual se encuentra delimitada por las coordenadas siguientes:

- Norte = -34.8880116
- Sur = -34.9289626
- Este = -56.1292294
- Oeste = -56.2154017

Cabe destacar que los nodos que forman el grafo son únicamente los que están ubicados en intersecciones, ya que son los que están conectados con otros mediante arcos.

```
north, south, east, west= -34.8880116, -34.9289626, -56.1292294, -56.2154017
G = ox.graph_from_bbox(north, south, east, west)
```

Una vez obtenidos los nodos y arcos asociados a la parte de la ciudad escogida, se puede establecer el tamaño del problema, ya que los nodos corresponden a los potenciales sitios donde instalar las estaciones, punto que se detallará más adelante en la explicación del modelo. Se obtienen 3229 nodos y 7550 arcos.

```
print ("Nodes G = %s" % (len(G.nodes)))
print ("Edges G = %s" % (len(G.edges)))
ox.plot_graph(ox.project_graph(G))
```



Figura 5-1. Grafo de Montevideo original

Para reducir el modelo y trabajar con los nodos que se encuentran en las calles más transitadas y anchas (son las que tienen posibilidad de que se puedan construir carriles bici), se crea un grafo en networkx, que conserve únicamente los arcos y nodos pertenecientes a las vías principales, secundarias y terciarias. Se logra reducir el grafo a 1584 nodos y 2149 arcos.

```
highways_to_keep = ['primary', 'secondary', 'tertiary']
H = nx.MultiDiGraph()
for u, v, attr in G.edges(data=True):
    if attr['highway'] in highways_to_keep:
        H.add_edge(u, v, attr_dict=attr)

print ("Nodos H = %s" % (H.number_of_nodes()))
print ("Arcos H = %s" % (H.number_of_edges()))
nx.draw_networkx_nodes(H, positions, positions, arrows=False,
    with_labels=False, node_size=3, node_color='cyan' )
nx.draw_networkx_edges(H, positions, arrows=False, with_labels=False,
    edge_linewidth=1.0, edge_color="silver")
```



Figura 1-2. Grafo de Montevideo reducido

Se crea un diccionario para almacenar los nodos con las coordenadas correspondientes a su ubicación. Se guarda esta información en un .txt para su uso posterior.

```
Positions = {}
for u, attr in G.nodes(data=True):
    if u in H:
        positions[u] = (G.node [u]['x'], G.node [u]['y'])

file = open("positions.txt", 'w')
for i in positions:
    file.write(str(i))
    file.write(' ')
    file.write(str(positions[i][0]))
    file.write(' ')
    file.write(str(positions[i][1]))
    file.write('\n')
file.close()
```

Una vez obtenidas las coordenadas de todos los nodos candidatos a estación, se procede a clasificarlos según el tipo de estación que es posible instalar en su ubicación. La conveniencia de colocar una estación u otra dependerá del espacio disponible en la vía pública.

Por otro lado, para obtener los sitios de potencial demanda, se exportan de OpenStreetMap® a Excel, todos los nodos existentes en el área de estudio elegida con sus coordenadas y su correspondiente identificación. Esta identificación caracteriza al nodo en cuestión según su funcionalidad, como por ejemplo un restaurante, una universidad, un centro de salud, un cartel, un semáforo, etc.

De estos sitios, se escogen los puntos más frecuentes de origen y destino. Según la literatura consultada y las consideraciones abordadas en la hipótesis, se identifican los shoppings centers, los parques o áreas recreativas, las paradas de autobuses más importantes, las universidades, los colegios, los centros deportivos y los edificios de oficinas.

Por último se obtiene, de la encuesta continua de hogares, y es guardada en un Excel la población por segmento censal del área de estudio (Instituto Nacional de Estadística, 2017).

5.2 Codificación del Modelo 1

Se definirá el problema en lenguaje Python y se resolverá mediante el solver de optimización Gurobi®. El modelo explicado se describe en términos de conjuntos, parámetros, variables, restricciones y función objetivo.

5.2.1 Parámetros

Se definen los parámetros del modelo en función a los datos reales expuestos anteriormente. Se consideran los costes de los tres tamaños de estación contemplados este trabajo y el coste unitario de las bicicletas. Se harán iteraciones variando el presupuesto total.

```
Coste15 = 18.5
Coste25 = 26.5
Coste35 = 37.5
CosteB = 0.4
Presupuesto
```

Se considera también, la distancia mínima entre estaciones, el límite de distancia entre una estación y un sitio potencial de demanda para que este último esté cubierto, la relación entre anclajes y bicicletas y la cantidad de bicicletas existentes.

```
Dlim = 0.03
Dmin = 0.025
R = 2
```

Bo =80

Por otro lado, para cada zona CCZ, se especifican las coordenadas de sus límites. Zona = [límite inferior x, límite inferior y, límite superior x, límite superior]

```
Z1 = [-56.2154,-34.9289,-56.1841,-34.8880]
Z2 = [-56.1841,-34.9289,-56.1625,-34.8880]
Z3 = [-56.1625,-34.9289,-56.1292,-34.8963]
Z4 = [-56.1625,-34.8963,-56.1292,-34.8880]
ZT = [-56.2154,-34.9289,-56.1292,-34.8880]
```

5.2.2 Datos

Se lee desde una tabla de Excel y se guarda en un diccionario cada potencial nodo, que representa una ubicación admisible, con sus coordenadas y el tipo de estación, según tamaño, que se puede instalar. En el caso de poderse instalar la estación de 35 anclajes, también se podrán instalar la de 25 y 15. Lo mismo ocurre para el caso de 25, se podrá instalar también la de tamaño 15.

```
workbook = xlrd.open_workbook('Nodos.xlsx')
worksheet = workbook.sheet_by_name('Tipo_estacion')

Nodos = {}
for i in range(1594):
    for j in range(3):
        Nodo = int(worksheet.cell(i,0).value)
        x = worksheet.cell(i,1).value
        y = worksheet.cell(i,2).value
        Tipo_estacion = worksheet.cell(i,3).value
        Nodos [Nodo]= x , y , Tipo_estacion
```

Se crea, por cada tipo de estación posible, una lista que contiene todos los nodos en los que se puede instalar ese tipo de estación. Tal y como se aclaró anteriormente, si en un nodo se puede instalar una estación de 35 anclajes también se podrá de 25 y de 15. Ocurre lo mismo para la de 25 anclajes, que también se podrá instalar una de tamaño 15.

```
Set_35 = []
for i in Info_total:
    if Info_total[i][3] == 3:
        Set_35.append(i)
Set_25 = []
for i in Info_total:
    if Info_total[i][3] == 2 or Info_total[i][3] == 3:
        Set_25.append(i)
Set_15 = []
for i in Info_total:
    if Info_total[i][3] == 1 or Info_total[i][3]== 2 or Info_total[i][3]== 3:
        Set_15.append(i)
```

Se crea también, un diccionario que contiene todos los nodos en los que actualmente se encuentra instalada una estación.

```
Set_Existentes = {}
for i in Nodos:
    if Nodos[i][2] == 4:
        Set_Existentes[i]=(Nodos[i][0], Nodos[i][1])
```

Del mismo modo, se identifican los nodos según la zona en la que se encuentren.

```
Zona = {}

for i in Nodos:
    if Nodos[i][0] < Z1[2]:
```

```

    Zona[i]=1
elif Nodos[i][0] < Z2[2] and Nodos[i][0] > Z2[0]:
    Zona[i]=2
elif Nodos[i][0] > Z3[0] and Nodos[i][1] > Z3[3]:
    Zona[i]=3
else:
    Zona[i]=4

```

Una vez obtenida toda la información necesaria de cada nodo candidato se procede a agruparla en un solo diccionario.

```

for i in Nodos:
    Nodos[i] = Nodos[i][0], Nodos[i][1], Nodos[i][2], Zona[i]

```

Para desarrollar el modelo se necesita contar con las distancias entre todos los nodos por lo que se almacenan en un diccionario. Se consideran distancias euclideas, para simplificar el modelo, en base a la justificación expuesta anteriormente.

```

Distancias = {}
for i in Nodos:
    for j in Nodos:
        if i != j:
            d = ((Nodos[i][0] - Nodos[j][0])**2.0 + (Nodos[i][1] -
Nodos[j][1])**2.0) **0.5
            Distancias[i,j] = (d)

```

Por otro lado, se lee de una tabla Excel y se guardan en un diccionario todos los sitios de demanda potencial con sus coordenadas y la cantidad de demanda asociada.

```

workbook = xlrd.open_workbook('MVD POINTS.xlsx')
worksheet = workbook.sheet_by_name('Demanda')

Demanda = {}
for i in range(361):
    for j in range(3):
        x = worksheet.cell(i,0).value
        y = worksheet.cell(i,1).value
        Cantidad = worksheet.cell(i,3).value
        Demanda[i+1] = x , y , Cantidad

```

Por último, se lee también de una tabla Excel y se guardan en un diccionario, los nodos que identifican la encuesta continua de hogares en el área de estudio con sus coordenadas y la cantidad de personas que viven en él.

```

workbook = xlrd.open_workbook('Personas por segmento.xlsx')
worksheet = workbook.sheet_by_name('Detalle')

for i in range(243):
    for j in range(5):
        x = worksheet.cell(i,4).value
        y = worksheet.cell(i,3).value
        Poblacion = worksheet.cell(i,0).value
        Demanda [i + 362] = x , y , Poblacion

```

5.2.3 Variables

Se crea una variable binaria para cada nodo, que es 1 si el nodo tiene estación y 0 cero en caso contrario. De igual modo, por cada tipo de estación, se crea una variable binaria para cada nodo, que es 1 si hay una estación de ese tipo en el nodo y 0 en caso contrario. Para cada sitio de demanda, se establece una variable binaria que es 1 si el sitio de demanda está cubierto por alguna estación del sistema y 0 en caso contrario.

Por último, se define una variable entera, con límite inferior cero, que representa la cantidad de bicicletas que tiene el sistema.

```
x = {}
for i in Nodos:
    x[i] = m.addVar(vtype = GRB.BINARY, name = "Nodo_estación_%s" % (i))

e15 = {}
e25 = {}
e35 = {}
for i in Nodos:
    e15[i] = m.addVar(vtype = GRB.BINARY, name = "Estacion_de_15_%s" % (i))
    e25[i] = m.addVar(vtype = GRB.BINARY, name = "Estacion_de_25_%s" % (i))
    e35[i] = m.addVar(vtype = GRB.BINARY, name = "Estacion_de_35_%s" % (i))

y = {}
for i in Demanda:
    y[i] = m.addVar(vtype = GRB.BINARY, name = "Demanda_%s" % (i))

z = {}
z = m.addVar(vtype = GRB.INTEGER , lb=0.0, name="Total_bicis")

m.update()
```

5.2.4 Restricciones

Restricción de satisfacción de la demanda: Para cada sitio de demanda, se establece que el sitio está cubierto si hay al menos una estación instalada que se encuentre a menos de la distancia límite establecida.

```
for j in Demanda:
    lista = {}
    for i in Nodos:
        if (((Nodos[i][0]- Demanda[j][0])**2 + (Nodos[i][1] -
            Demanda[j][1])**2)**0.5) <= Dlim:
            lista[i] = Nodos[i]
    m.addConstr(y[j] <= quicksum(x[i] for i in lista),
        name = "cubrir_demanda_%s" % (j))
```

Restricción de distancia mínima entre estaciones: Para que no se ubiquen estaciones muy próximas entre ellas, se impone que la distancia mínima entre estaciones sea menor que el parámetro Dmin definido anteriormente.

```
for i in Nodos:
    for j in Nodos:
        if i > j:
            if Distancias[i,j] < Dmin:
                m.addConstr(x[j] <= 1- x[i],
                    name = "Distancia_minima_%s_%s" % (i,j))
```

Definición de la relación entre variables: Para cada nodo potencial, si está activo un tipo de estación está activo el nodo. Si se le asignó a un nodo un tipo de estación cualquiera, la variable sigma tomará el valor de 1 ya que representa si el nodo se encuentra activo.

```
for i in Nodos:
    m.addConstr(e15[i] + e25[i] + e35[i] == x[i],
        name = "Total_estaciones_%s" % (i))
```

Anulación de variables imposibles: Para cada tipo de estación, se anulan las variables en los nodos donde no se puede instalar el tipo de estación en cuestión.

```
S15 = set(Set_15)
```

```

S25 = set(Set_25)
S35 = set(Set_35)
Sno35 = S15-S35
Sno35no25 = S15-S25-S35

m.addConstr(quicksum(e35[i] for i in Sno35) == 0)
m.addConstr(quicksum(e25[i] for i in Sno35no25) == 0)

```

Restricción asignación de estaciones existentes: A cada nodo donde actualmente se encuentra instalada una estación se le impone que sea igual a 1.

```

for i in Set_Existentes:
    m.addConstr(e15[i] == 1, name = "Estaciones existentes_%s" % (i))

```

Se crea un diccionario con todos los nodos menos los que contienen a las estaciones existentes para las restricciones siguientes.

```

Nodos2= Nodos.copy()
for i in Set_Existentes:
    del(Nodos2[i])

```

Restricción de elección del tipo de estación: Para cada nodo, se calcula la suma de las demanda cercana, es decir, las demandas de los puntos que se encuentran dentro de un radio próximo establecido. Para asignar el tipo de estación a un nodo, se clasifican todos los nodos según la suma de demandas cercanas en tres grupos. En el primer grupo, correspondiente a los nodos cuya suma de demandas es menor a 0.25 del valor máximo calculado, se pueden instalar únicamente estaciones de 15 anclajes. En el segundo grupo, nodos cuya suma se encuentre entre un 0.25 y un 0.5 del valor máximo, se le asignará una estación de 25 anclajes. Por último, en el grupo donde la suma de demandas para cada nodo sea mayor a 0.5 del máximo, se le asignará una estación de 35 anclajes. Nótese que estos límites pueden ser cambiados según la información concreta del problema.

```

SumaDemandas = {}
for i in Nodos2:
    SumaDemandas[i] = 0.0
    for j in Demanda:
        if ((Nodos2[i][0]- Demanda[j][0])**2 + (Nodos2[i][1] -
Demanda[j][1])**2)**0.5 <= Dlim:
            SumaDemandas[i] = SumaDemandas[i] + Demanda[j][2]

```

```

Valores=[]
for i in SumaDemandas:
    Valores.append(SumaDemandas[i])
Max = max(Valores)

for i in Nodos2:
    if SumaDemandas[i] >= Max*0.5:
        m.addConstr(x[i] == e35[i], name = "a_%s" % (i))
    if SumaDemandas[i] >= Max*0.25 and SumaDemandas[i] < Max*0.5:
        m.addConstr(e25[i] == x[i], name = "b_%s" % (i))
    if SumaDemandas[i] < Max*0.25:
        m.addConstr(e15[i] == x[i], name = "c_%s" % (i))

```

Restricción de presupuesto: El coste cada estación por la cantidad de estaciones más el coste de cada bicicleta por la cantidad de bicicletas debe ser menor o igual a presupuesto total disponible.

```

m.addConstr(Coste35*quicksum(e35[i] for i in Nodos2) +
Coste25*quicksum(e25[i] for i in Nodos2) +
Coste15*(quicksum(e15[i] for i in Nodos2) +
CosteB*z <= Presupuesto, name = "Presupuesto_total")

```

Relación entre la cantidad de anclajes y de bicicletas. Se define que, la suma de la cantidad de bicicletas asociadas al tipo de estación debe ser igual la cantidad de bicicletas totales del sistema. Siguiendo la recomendación expuesta anteriormente se toma que hay 2 anclajes por cada bicicleta disponible.

```
m.addConstr(quicksum(e15[i] for i in Nodos2)*15*(1/r) +
             quicksum(e25[i] for i in Nodos2)*25*(1/r) +
             quicksum(e35[i] for i in Nodos2)*35*(1/r) == z,
             name = "Relación_de_bicicletas_con_estaciones")
```

5.2.5 Funcion objetivo

Para que las estaciones se ubiquen en los puntos más cercanos a los posibles orígenes y destinos de viajes, la función objetivo hace que se maximice la cantidad de demanda satisfecha por las estaciones instaladas.

```
m.setObjective(quicksum(Demanda[j][3]*y[j] for j in Demanda), GRB.MAXIMIZE)

m.Params.timeLimit=50
m.optimize()
```

5.2.6 Visualización de resultados

Para obtener la cantidad de estaciones totales, la cantidad de estaciones por tipo y la cantidad de sitios de demanda cubiertos se imprimen los resultados de las variables en pantalla.

```
print("Cantidad de estaciones asignadas:", quicksum(x[i] for i in
Nodos).getValue())

print("Cantidad de estaciones 15 asignadas:", quicksum(e15[i] for i in
Nodos).getValue())
print("Cantidad de estaciones 25 asignadas:", quicksum(e25[i] for i in
Nodos).getValue())
print("Cantidad de estaciones 35 asignadas:", quicksum(e35[i] for i in
Nodos).getValue())

print("Cantidad de sitios de demanda cubierta:", quicksum(y[i] for i in
Demanda).getValue())
```

Para saber la cantidad de estaciones que se asignaron en cada zona se crea primeramente una lista con todas las estaciones asignadas y luego se las clasifica según la zona.

```
Estaciones =[]
for i in Nodos:
    if x[i].x == 1:
        Estaciones.append(i)

EZ1=[]
EZ2=[]
EZ3=[]
EZ4=[]
for i in Estaciones
    if Nodos[i][3] == 1:
        EZ1.append(i)
    if Nodos[i][3] == 2:
        EZ2.append(i)
    if Nodos[i][3] == 3:
        EZ3.append(i)
    if Nodos[i][3] == 4:
        EZ4.append(i)
```

```
print("Cantidad de estaciones en zona 1:", len(EZ1))
print("Cantidad de estaciones en zona 2:", len(EZ2))
print("Cantidad de estaciones en zona 3:", len(EZ3))
print("Cantidad de estaciones en zona 4:", len(EZ4))
```

Para obtener la cantidad de bicicletas del sistema se suma la variable para tal fin con las bicicletas existentes en la instalación actual.

```
print("Cantidad de bicicletas:", z.x + bo)
```

Para dibujar el mapa con las estaciones se utiliza la información de los arcos obtenida de OpenStreetMap y la librería networkx. Se grafican, por un lado, los nodos asociados cada tipo de estación y a las estaciones existentes. Por otro lado, se grafican los arcos, que corresponde al mapa de Montevideo. El mapa resultante se guarda en formato png.

```
nx.draw_networkx_nodes(H, positions, Est_25,arrows=False, with_labels=False,
node_size=10, node_color="green")
nx.draw_networkx_nodes(H, positions, Est_15, arrows=False, with_labels=False,
node_size=10, node_color="red")
nx.draw_networkx_nodes(H, positions, Est_35,arrows=False, with_labels=False,
node_size=10, node_color="blue")
nx.draw_networkx_nodes(H, positions, Set_Existentes ,arrows=False,
with_labels=False, node_size=10, node_color="yellow")

nx.draw_networkx_edges(H, positions, arrows=False,
with_labels=False,edge_linewidth=1.0, edge_color="silver")

plt.savefig("Modelo 1.png")
```

5.3 Codificación del Modelo 2

Como se comentó anteriormente el modelo 2 es similar al 1 por lo que no se explicará todo el modelo en detalle, sino que se expondrán los cambios realizados.

Primeramente, se agrega una variable continua, con límite inferior cero, que representa, para cada nodo candidato a estación, la suma de las variables que definen el tipo de estación ponderadas por la cantidad de demanda cercana al nodo en cuestión.

```
F = {}
for i in Nodos:
    F[i] = m.addVar(vtype = GRB.CONTINUOUS, lb = 0.0 , name =
"Suma_demanda_%s" %i))
```

Se cambia la restricción de elección de tipo de estación por la restricción que se muestra a continuación. Se guarda en un diccionario, para cada nodo, la suma de las demandas que se encuentran dentro de una distancia límite de él. Se toma el máximo valor posible y se definen límites para clasificar a los nodos según la suma de demandas que le corresponda. De acuerdo al intervalo en el que caiga, se le dara prioridad de instalar un determinado tipo de estacion (capacidad).

```
SumaDemandas = {}
for i in Nodos:
    SumaDemandas[i] = 0.0
    for j in Demanda:
        if ((Nodos[i][0]- Demanda[j][0])**2 + (Nodos[i][1] -
Demanda[j][1])**2)**0.5) <= Dlim:
            SumaDemandas[i] = SumaDemandas[i] + Demanda[j][2]
Valores=[]
for i in SumaDemandas:
    Valores.append(SumaDemandas[i])
print(Valores)
```

```

Max = max(Valores)
print(Max)
print(len(SumaDemandas))

for i in Nodos:
    if SumaDemandas[i] >= Max*0.5:
        m.addConstr (F[i] == e35[i]*SumaDemandas[i] + e25[i]*Max*0.5 +
e15[i]*Max*0.25, name = "a_%s" %i)
    if SumaDemandas[i] >= Max*0.25 and SumaDemandas[i] < Max*0.5:
        m.addConstr( e25[i]*SumaDemandas[i] + e15[i]*Max*0.25 == F[i] , name
= "b_%s" %i) )
    if SumaDemandas[i] < Max*0.25:
        m.addConstr( e15[i]*SumaDemandas[i] == F[i], name = "c_%s" %i) )

```

Por último, se cambia la función objetivo. En vez de maximizar únicamente los puntos de demanda cubiertos se maximizará también la cantidad de estaciones asignadas que tengan cerca más cantidad de demanda para abastecer.

```

m.setObjective(quicksum(Demanda[j][3]*y[j] for j in Demanda)+ quicksum(F[i]
for i in Nodos), GRB.MAXIMIZE)

```

6 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

El presente capítulo tiene como objetivo analizar y comparar los diferentes resultados obtenidos en los dos modelos planteados

6.1 Casos de estudio

Como se comentó anteriormente, los modelos se resolverán suponiendo diferentes presupuestos. Se analizará y comparará cada uno de los casos con el fin de obtener la solución que satisfaga la mayor cobertura con el menor presupuesto posible.

Los parámetros a analizar serán los siguientes:

- La cantidad de puntos de demanda cubiertos.
- La cantidad de estaciones por km² por zona tipo CCZ.

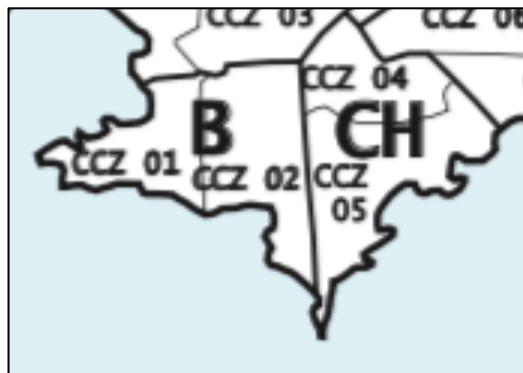


Figura 6-1. Área de estudio dividida por zona (CCZ)

La cantidad total de sitios de demanda que se pueden abastecer es de 604. La distribución espacial se muestra en la Figura 6-2 a continuación.

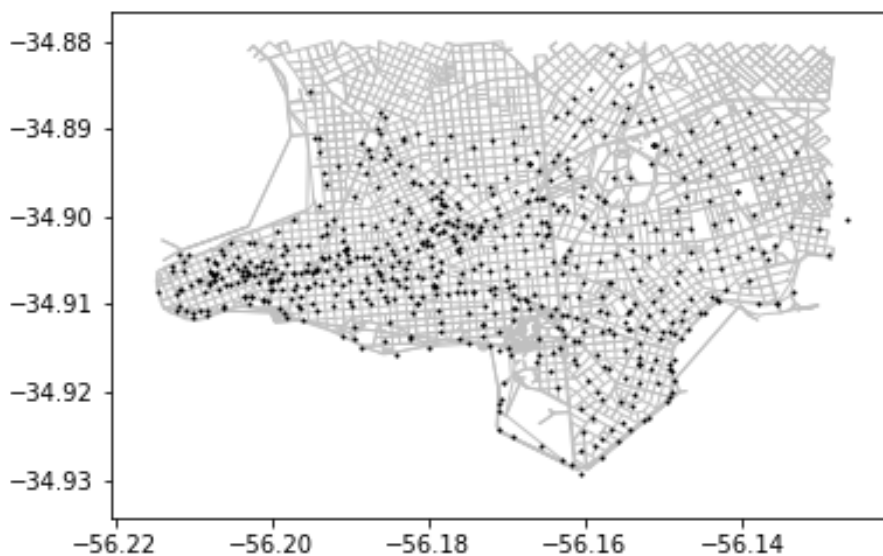


Figura 6-2. Distribución de la demanda

Para evaluar la cantidad de estaciones por km² se compararán los diferentes casos entre sí y con diferentes sistemas de bicicletas públicas implementados en el mundo. Por su popularidad y extensión se toman en consideración los sistemas Vélib de Paris, Francia y Hangzhou Public Bicycle de Hángzhōu, China (Frade & Ribeiro, 2015).

El ingeniero Oliver O'Brien de la Universidad de Londres creó un sitio web con información en vivo más de 400 programas de bicicletas públicas en el mundo. Se obtiene de este sitio web, que la densidad de las estaciones para los sistemas considerados es de 6 estaciones/km² (Bike Share Map, 2018).

Por otro lado, se calcula el área que abarca cada zona CCZ considerada. Los datos obtenidos se muestran en la tabla (6-1).

Tabla 6-1. Población y área de los CCZs estudiados

CCZ (zona)	Área (km ²)
CCZ01	4,60
CCZ02	6,00
CCZ04	2,00
CCZ05	6,20
Total	18,80

En la zona CCZ02 no se ha tomado en consideración el área abarcada por el campo de golf debido a que no es un área residencial y posee una gran extensión.

En la tabla (6-2) se determinan los objetivos asociados a cada zona de estudio.

Tabla 6-2. Valores de referencia

Descripción	Objetivo
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	113
Estaciones en zona 1 (inc. existentes) (CCZ01)	28
Estaciones en zona 2 (CCZ02)	36
Estaciones en zona 3 (CCZ04)	12
Estaciones en zona 4 (CCZ05)	37

6.2 Modelo 1

6.2.1 Caso 1.1: Presupuesto = 1.0 millones €

En la tabla (6-3) se pueden apreciar los resultados obtenidos para el caso 1.1.

Tabla 6-3. Resultados obtenidos caso 1.1

Descripción	Resultado
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	48
Estaciones en zona 1 (inc. existentes)	16
Estaciones en zona 2	15
Estaciones en zona 3	3
Estaciones en zona 4	14
Estaciones de 15 anclajes	31
Estaciones de 20 anclajes (existentes)	8
Estaciones de 25 anclajes	6
Estaciones de 35 anclajes	3
Cantidad de bicicletas del sistema (inc. existentes)	440
Sitios de demanda cubiertos	369

El mapa resultante, con la distribución de las estaciones por tipo, se puede apreciar en la figura (6-3) que se muestra a continuación.

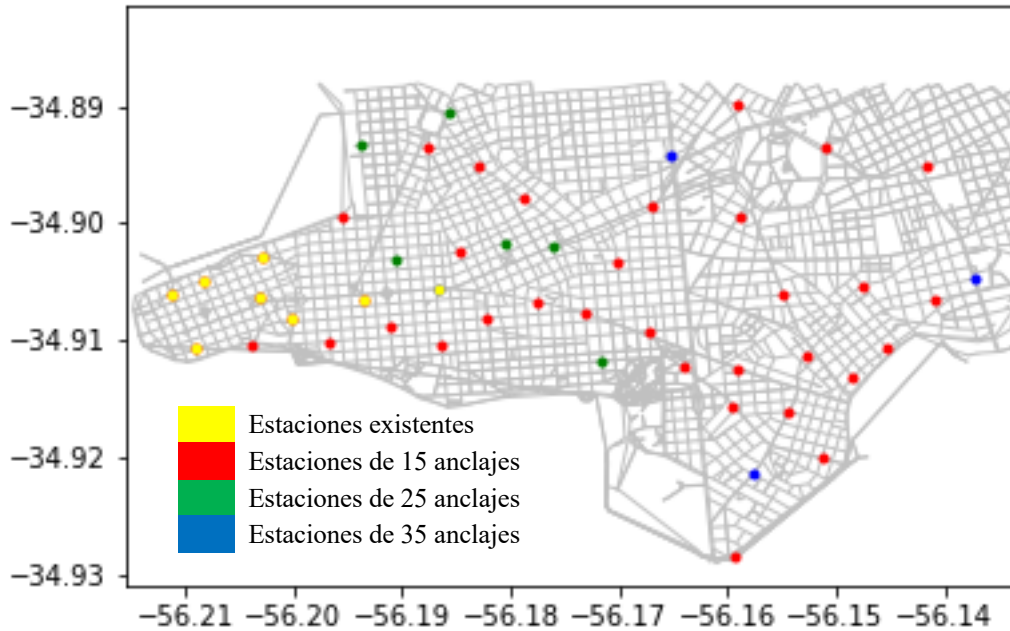


Figura 2-3. Distribución de estaciones caso 1.1

6.2.2 Caso 1.2: Presupuesto = 1.5 millones €

En la tabla (6-4) se pueden apreciar los resultados obtenidos para el caso 1.2.

Tabla 6-4. Resultados obtenidos caso 1.2

Descripción	Resultado
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	72
Estaciones en zona 1 (inc. existentes)	19
Estaciones en zona 2	24
Estaciones en zona 3	5
Estaciones en zona 4	24
Estaciones de 15 anclajes	56
Estaciones de 20 anclajes	8
Estaciones de 25 anclajes	5
Estaciones de 35 anclajes	3
Cantidad de bicicletas del sistema	615
Sitios de demanda cubiertos	468

El mapa resultante, con la distribución de las estaciones por tipo, se puede apreciar en la figura (6-4) que se muestra a continuación.

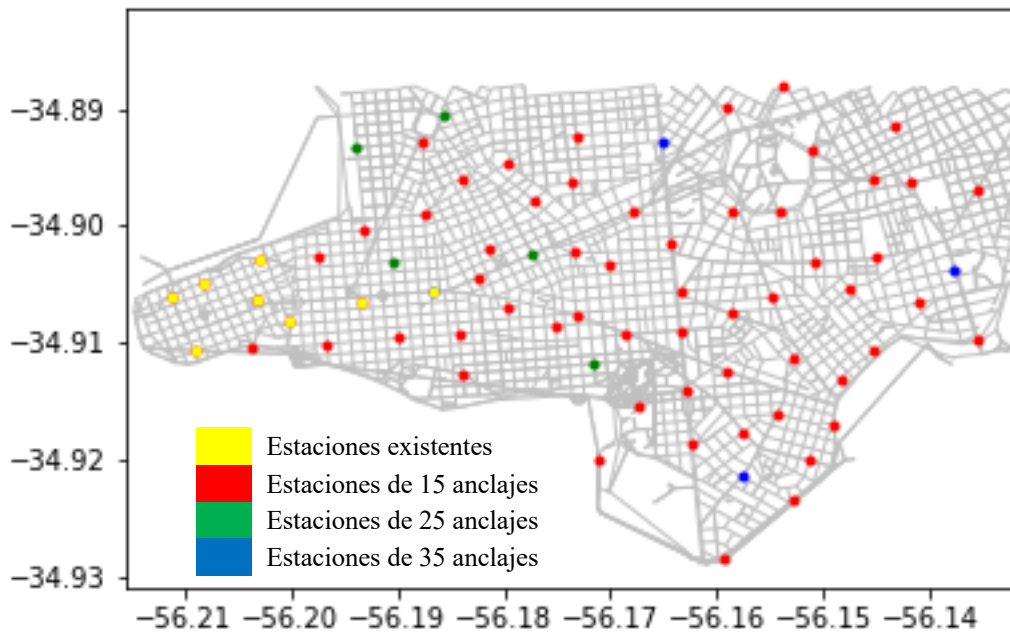


Figura 6-4. Distribución de estaciones caso 1.2

6.2.3 Caso 1.3: Presupuesto = 2.0 millones €

En la tabla (6-5) se pueden apreciar los resultados obtenidos para el caso 1.3.

Tabla 6-5. Resultados obtenidos caso 1.3

Descripción	Resultado
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	96
Estaciones en zona 1 (inc. existentes)	24
Estaciones en zona 2	31
Estaciones en zona 3	9
Estaciones en zona 4	32
Estaciones de 15 anclajes	82
Estaciones de 20 anclajes	8
Estaciones de 25 anclajes	3
Estaciones de 35 anclajes	3
Cantidad de bicicletas del sistema	785
Sitios de demanda cubiertos	530

El mapa resultante, con la distribución de las estaciones por tipo, se puede apreciar en la figura (6-5) que se muestra a continuación.

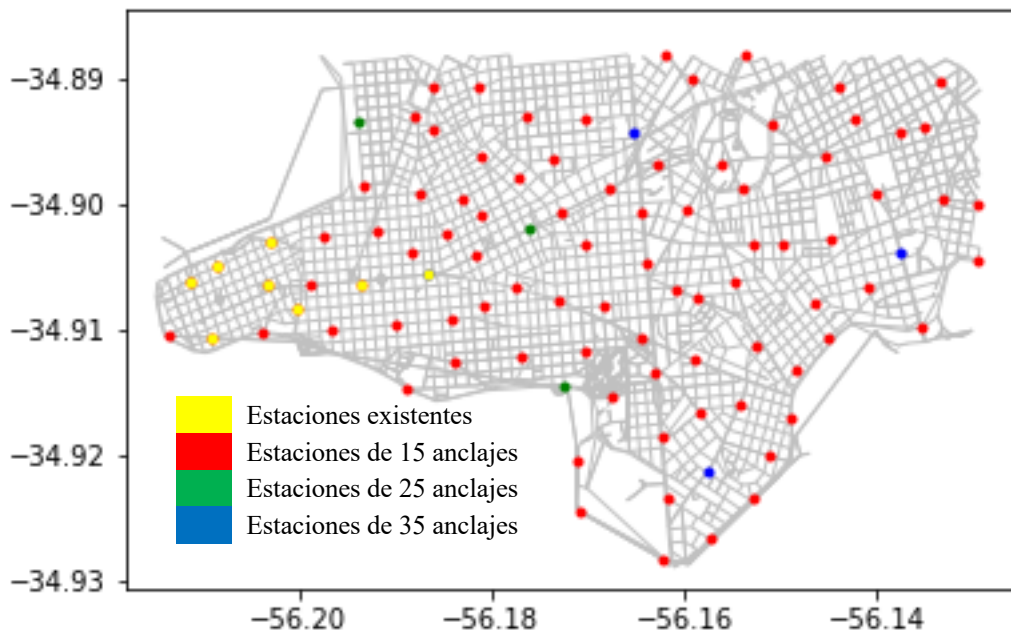


Figura 6-5. Distribución de estaciones caso 1.3

6.2.4 Caso 1.4: Presupuesto = 2.5 millones €

En la tabla (6-6) se pueden apreciar los resultados obtenidos para el caso 1.4.

Tabla 6-6. Resultados obtenidos caso 1.4

Descripción	Resultado
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	118
Estaciones en zona 1 (inc. existentes)	28
Estaciones en zona 2	41
Estaciones en zona 3	13
Estaciones en zona 4	36
Estaciones de 15 anclajes	1110
Estaciones de 20 anclajes	8
Estaciones de 25 anclajes	5
Estaciones de 35 anclajes	3
Cantidad de bicicletas del sistema	960
Sitios de demanda cubiertos	544

El mapa resultante, con la distribución de las estaciones por tipo, se puede apreciar en la figura (6-6) que se muestra a continuación.

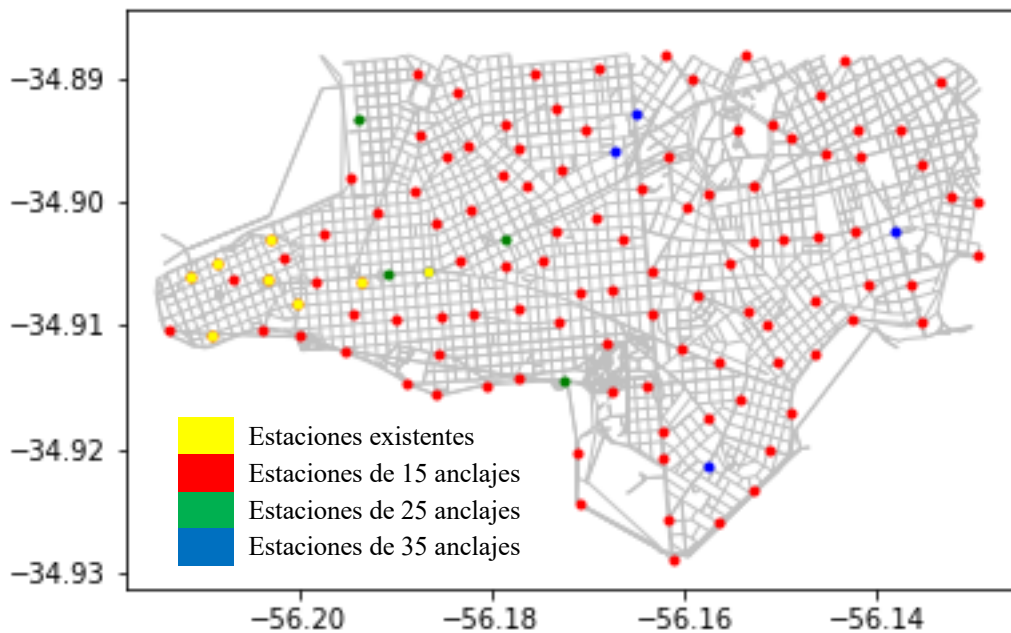


Figura 6-6. Distribución de estaciones caso 1.4

6.2.5 Caso 1.5: Presupuesto = 3.0 millones €

En la tabla (6-7) se pueden apreciar los resultados obtenidos para el caso 1.5

Tabla 6-7. Resultados obtenidos caso 1.5

Descripción	Resultado
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	124
Estaciones en zona 1 (inc. existentes)	32
Estaciones en zona 2	39
Estaciones en zona 3	15
Estaciones en zona 4	38
Estaciones de 15 anclajes	155
Estaciones de 20 anclajes	8
Estaciones de 25 anclajes	5
Estaciones de 35 anclajes	4
Cantidad de bicicletas del sistema	1015
Sitios de demanda cubiertos	544

El mapa resultante, con la distribución de las estaciones por tipo, se puede apreciar en la figura (6-7) que se muestra a continuación.

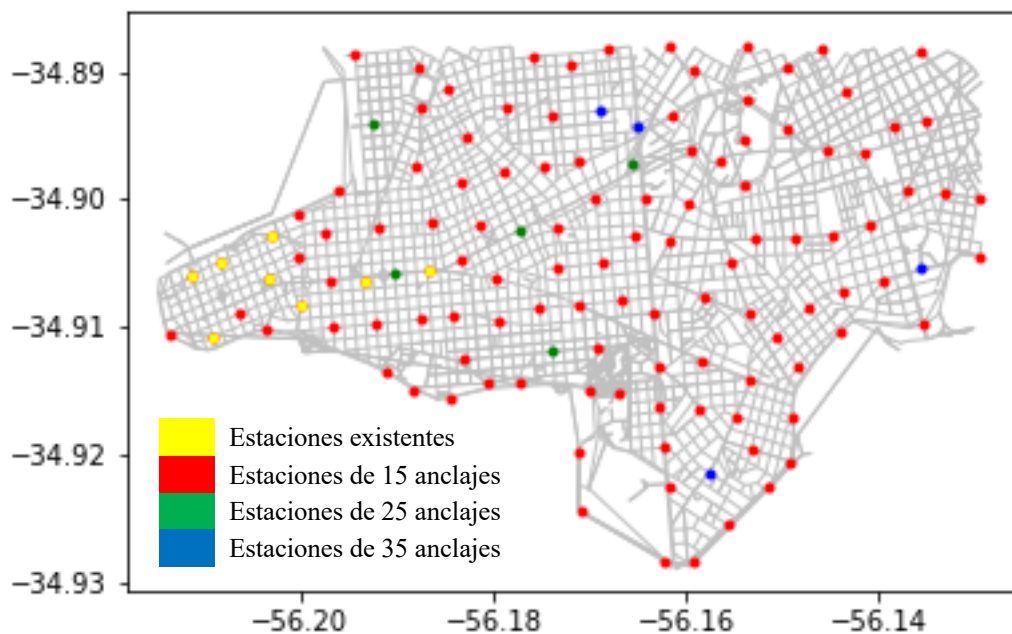


Figura 6-7. Distribución de estaciones caso 1.5

6.2.6 Caso 1.6: Presupuesto = 3.5 millones €

En la tabla (6-8) se pueden apreciar los resultados obtenidos para el caso 1.6.

Tabla 6-8. Resultados obtenidos caso 1.6

Descripción	Resultado
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	124
Estaciones en zona 1 (inc. existentes)	32
Estaciones en zona 2	39
Estaciones en zona 3	15
Estaciones en zona 4	38
Estaciones de 15 anclajes	155
Estaciones de 20 anclajes	8
Estaciones de 25 anclajes	5
Estaciones de 35 anclajes	4
Cantidad de bicicletas del sistema	1015
Puntos de demanda cubierta	544

El mapa resultante, con la distribución de las estaciones por tipo, se puede apreciar en la figura (6-8) que se muestra a continuación.

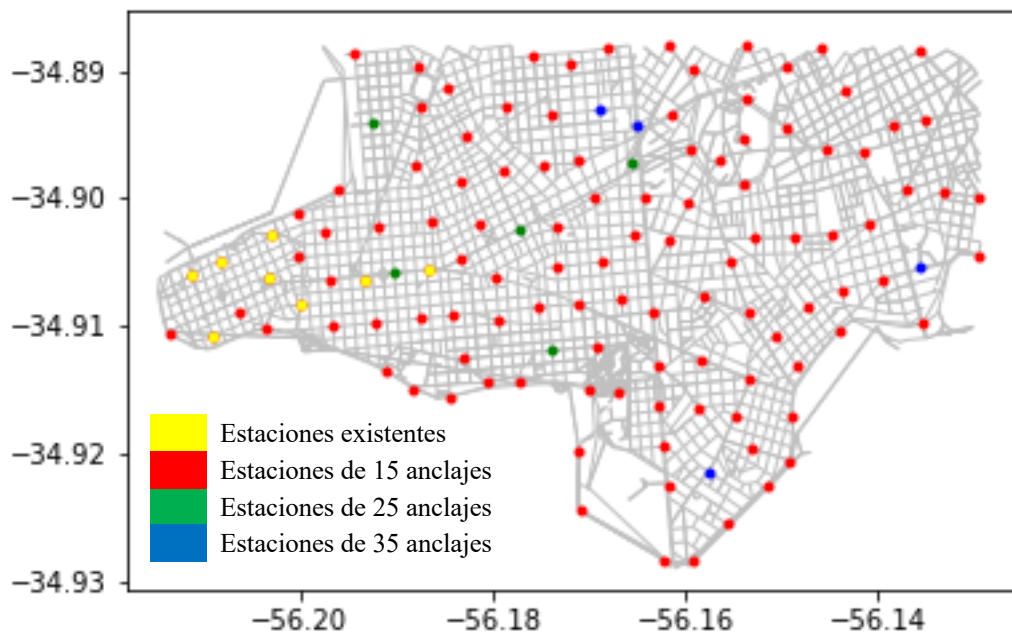


Figura 6-8. Distribución de estaciones caso 1.6

6.2.7 Comparación de resultados Modelo 1

La primera comparación que se realizará será sobre los puntos de demanda cubiertos en cada caso. En la figura (6-10) se puede ver la relación entre el presupuesto invertido y los puntos de demanda cubiertos. A partir de un presupuesto de 2.5 millones de € cualquier incremento no logra subir la cantidad de sitios de demanda cubiertos, llegando a un máximo de 544. La cantidad de sitios de demanda considerados en el trabajo es de 604, por lo que con este modelo se logra cubrir un 90% del total.

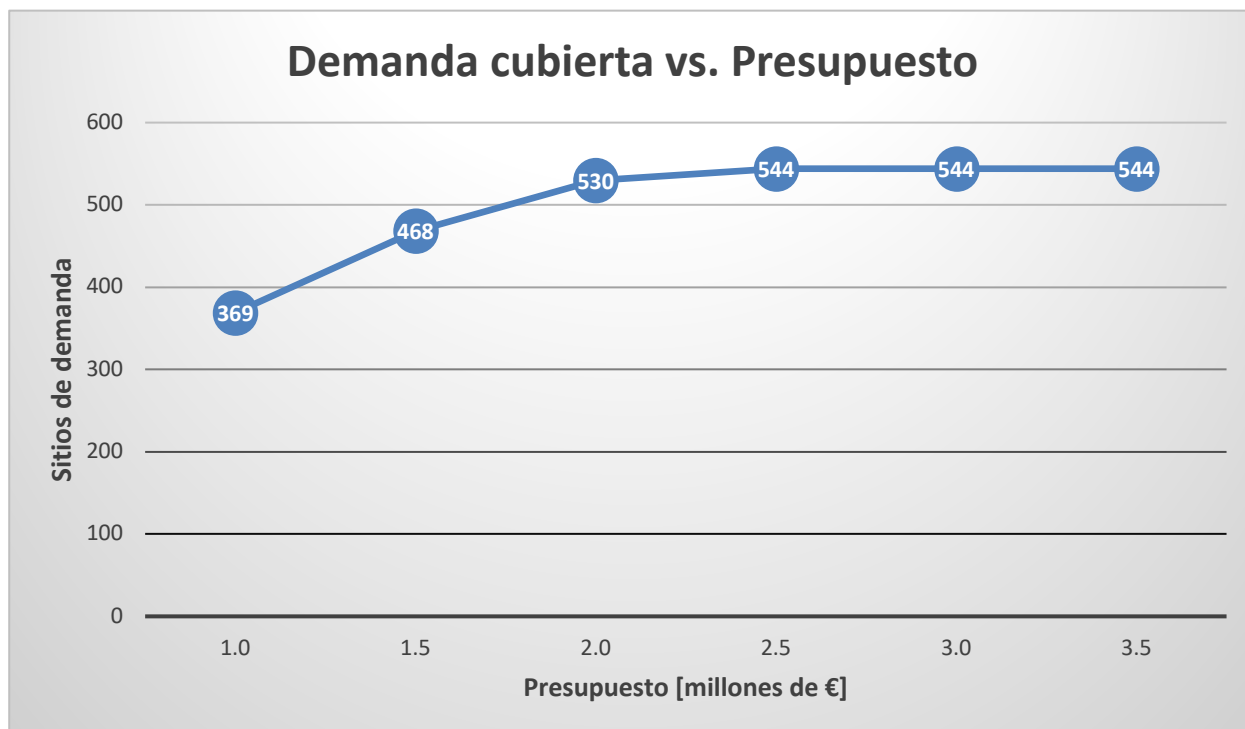


Figura 6-9. Relación entre los puntos de demanda cubiertos y el presupuesto invertido.

Seguidamente se evaluará la cantidad de estaciones por km² en cada caso comparándola con los sistemas de referencia contemplados, Vélib de Paris, Francia y Hangzhou Public Bicycle de Hángzhōu, China. Esta comparación se realizará por zona CCZ. Los valores de referencia calculados se muestran en la tabla (6-10).

Tabla 6-9. Valores de referencia

Descripción	Objetivo
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	113
Estaciones en zona 1 (inc. existentes) (CCZ01)	28
Estaciones en zona 2 (CCZ02)	36
Estaciones en zona 3 (CCZ04)	12
Estaciones en zona 4 (CCZ05)	37

Tabla 6-10. Valores obtenidos en cada caso

Descripción	C 1.1	C 1.2	C 1.3	C 1.4	C 1.5	C 1.6
	1.0 m€	1.5 m€	2.0 m€	2.5 m€	3.0 m€	3.5 m€
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	48	72	96	118	124	124
Estaciones en zona 1 (inc. existentes) (CCZ01)	16	19	24	28	32	32
Estaciones en zona 2 (CCZ02)	15	24	31	41	39	39
Estaciones en zona 3 (CCZ04)	3	5	9	13	15	15
Estaciones en zona 4 (CCZ05)	14	24	32	36	38	38

Se puede observar que se cumple con la condición de tener 6 estaciones/ km² con un presupuesto de 3 millones de €. En los siguientes casos planteados se observa que no hay ningún cambio con el incremento del presupuesto.

6.3 Modelo 2

6.3.1 Caso 2.1: Presupuesto = 1.0 millones €

En la tabla (6-11) se pueden apreciar los resultados obtenidos para el caso 2.1

Tabla 6-11. Resultados obtenidos caso 2.1

Descripción	Resultado
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	48
Estaciones en zona 1 (inc. existentes)	22
Estaciones en zona 2	16
Estaciones en zona 3	2
Estaciones en zona 4	8
Estaciones de 15 anclajes	37
Estaciones de 20 anclajes	8
Estaciones de 25 anclajes	9
Estaciones de 35 anclajes	2
Cantidad de bicicletas del sistema	445
Puntos de demanda cubierta	342

El mapa resultante, con la distribución de las estaciones por tipo, se puede apreciar en la figura (6-10) que se muestra a continuación.

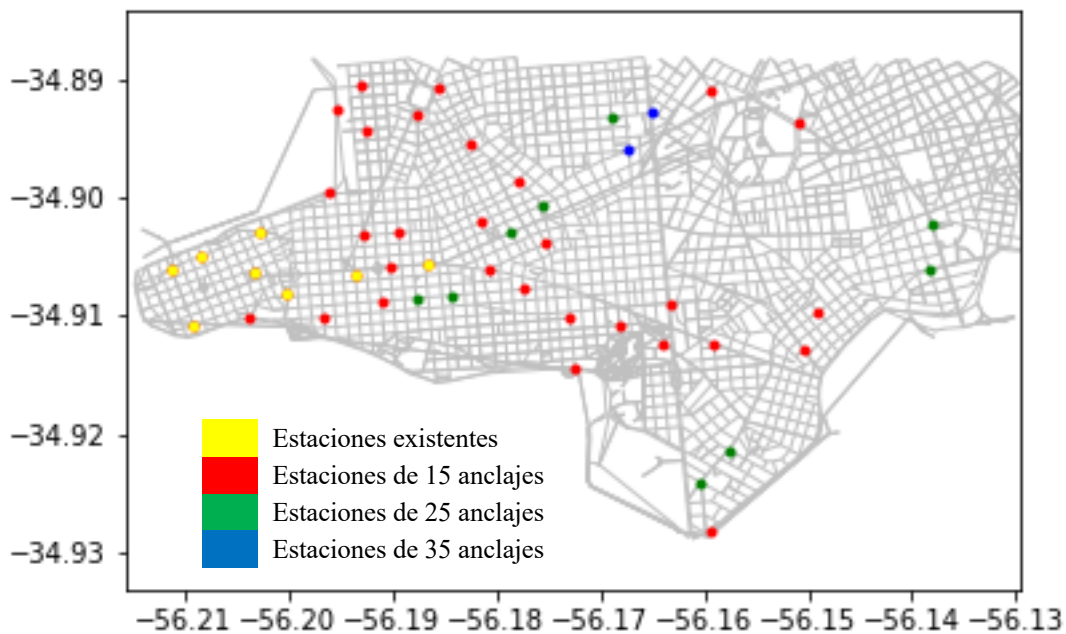


Figura 6-10. Distribución de estaciones caso 2.1

6.3.2 Caso 2.2: Presupuesto = 1.5 millones €

En la tabla (6-12) se pueden apreciar los resultados obtenidos para el caso 2.2

Tabla 6-12. Resultados obtenidos caso 2.2

Descripción	Resultado
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	70
Estaciones en zona 1 (inc. existentes)	27
Estaciones en zona 2	21
Estaciones en zona 3	5
Estaciones en zona 4	17
Estaciones de 15 anclajes	56
Estaciones de 20 anclajes	58
Estaciones de 25 anclajes	12
Estaciones de 35 anclajes	2
Cantidad de bicicletas del sistema	625
Puntos de demanda cubierta	431

El mapa resultante, con la distribución de las estaciones por tipo, se puede apreciar en la figura (6-11) que se muestra a continuación.

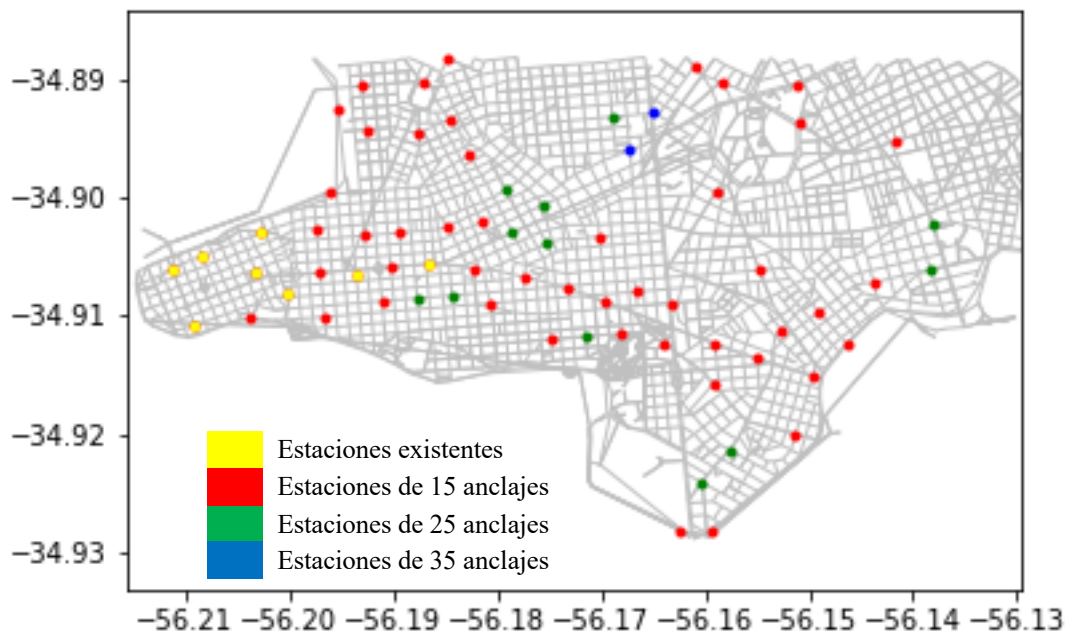


Figura 6-11. Distribución de estaciones caso 2.2

6.3.3 Caso 2.3: Presupuesto = 2.0 millones €

En la tabla (6-13) se pueden apreciar los resultados obtenidos para el caso 2.3

Tabla 6-13. Resultados obtenidos caso 2.3

Descripción	Resultado
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	92
Estaciones en zona 1 (inc. existentes)	31
Estaciones en zona 2	24
Estaciones en zona 3	6
Estaciones en zona 4	20
Estaciones de 15 anclajes	78
Estaciones de 20 anclajes	8
Estaciones de 25 anclajes	10
Estaciones de 35 anclajes	4
Cantidad de bicicletas del sistema	800
Puntos de demanda cubierta	494

El mapa resultante, con la distribución de las estaciones por tipo, se puede apreciar en la figura (6-12) que se muestra a continuación.

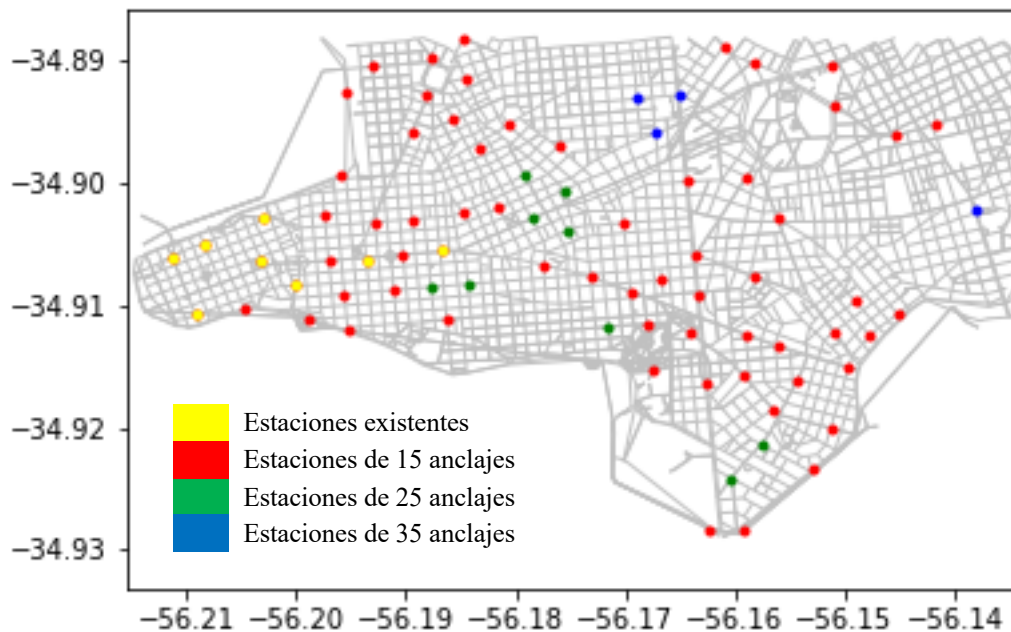


Figura 6-12. Distribución de estaciones caso 2.3

6.3.4 Caso 2.4: Presupuesto = 2.5 millones €

En la tabla (6-14) se pueden apreciar los resultados obtenidos para el caso 2.4

Tabla 6-15. Resultados obtenidos caso 2.4

Descripción	Resultado
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	114
Estaciones en zona 1 (inc. existentes)	34
Estaciones en zona 2	33
Estaciones en zona 3	9
Estaciones en zona 4	38
Estaciones de 15 anclajes	99
Estaciones de 20 anclajes	8
Estaciones de 25 anclajes	10
Estaciones de 35 anclajes	5
Cantidad de bicicletas del sistema	975
Puntos de demanda cubierta	531

El mapa resultante, con la distribución de las estaciones por tipo, se puede apreciar en la figura (6-13) que se muestra a continuación.

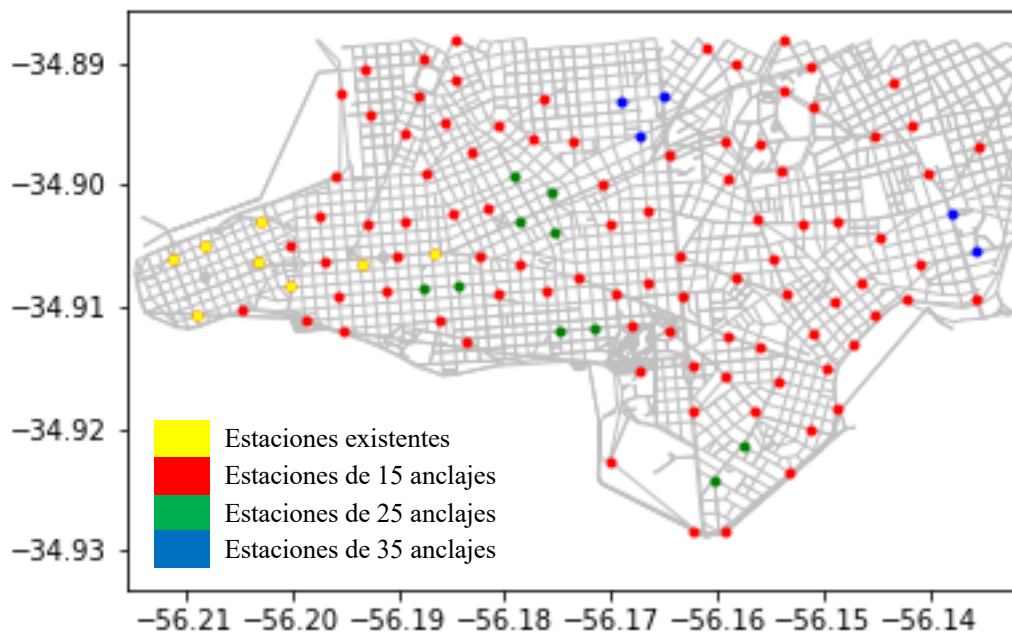


Figura 6-13. Distribución de estaciones caso 2.4

6.3.5 Caso 2.5: Presupuesto = 3.0 millones €

En la tabla (6-15) se pueden apreciar los resultados obtenidos para el caso 2.5

Tabla 6-15. Resultados obtenidos caso 2.5

Descripción	Resultado
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	136
Estaciones en zona 1 (inc. existentes)	38
Estaciones en zona 2	42
Estaciones en zona 3	12
Estaciones en zona 4	44
Estaciones de 15 anclajes	118
Estaciones de 20 anclajes	8
Estaciones de 25 anclajes	13
Estaciones de 35 anclajes	5
Cantidad de bicicletas del sistema	1155
Puntos de demanda cubierta	570

El mapa resultante, con la distribución de las estaciones por tipo, se puede apreciar en la figura (6-14) que se muestra a continuación.

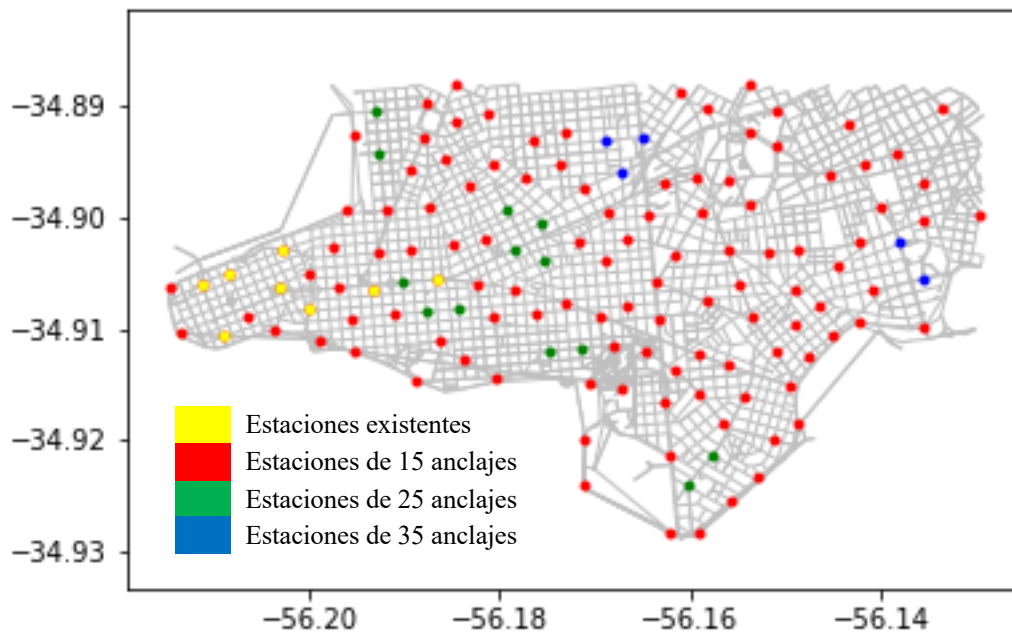


Figura 6-14. Distribución de estaciones caso 2.5

6.3.6 Caso 2.6: Presupuesto = 3.5 millones €

En la tabla (6-16) se pueden apreciar los resultados obtenidos para el caso 2.6

Tabla 6-16. Resultados obtenidos caso 2.6

Descripción	Resultado
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	158
Estaciones en zona 1 (inc. existentes)	41
Estaciones en zona 2	49
Estaciones en zona 3	19
Estaciones en zona 4	49
Estaciones de 15 anclajes	139
Estaciones de 20 anclajes	8
Estaciones de 25 anclajes	13
Estaciones de 35 anclajes	6
Cantidad de bicicletas del sistema	1330
Puntos de demanda cubierta	581

El mapa resultante, con la distribución de las estaciones por tipo, se puede apreciar en la figura (6-15) que se muestra a continuación.

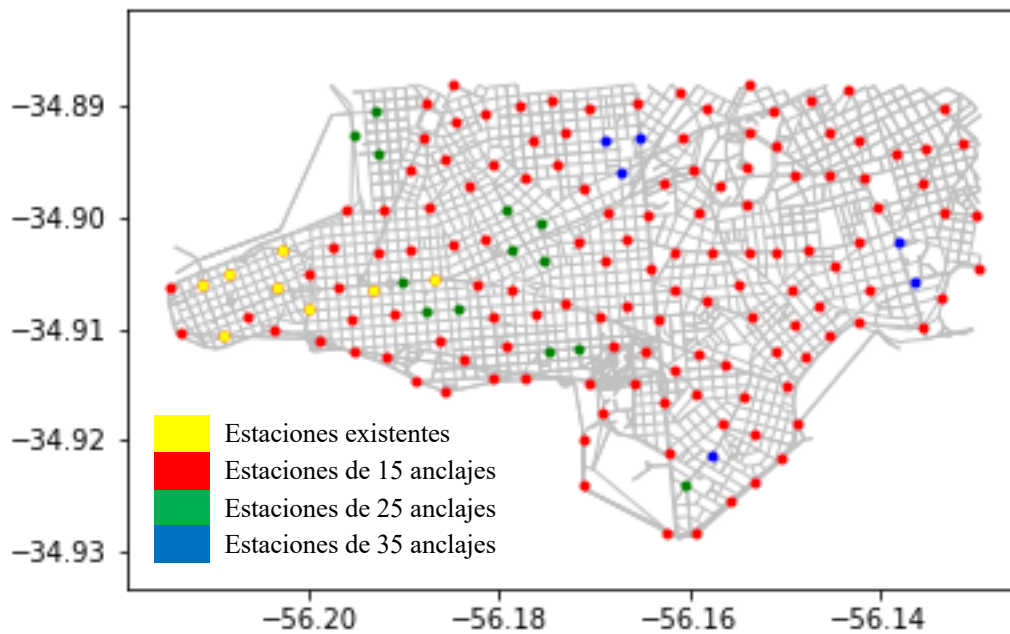


Figura 6-15. Distribución de estaciones caso 2.6

6.3.7 Caso 2.7: Presupuesto = 4.0 millones €

En la tabla (6-17) se pueden apreciar los resultados obtenidos para el caso 2.7

Tabla 6-17. Resultados obtenidos caso 2.7

Descripción	Resultado
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	162
Estaciones en zona 1 (inc. existentes)	43
Estaciones en zona 2	50
Estaciones en zona 3	19
Estaciones en zona 4	50
Estaciones de 15 anclajes	141
Estaciones de 20 anclajes	8
Estaciones de 25 anclajes	14
Estaciones de 35 anclajes	7
Cantidad de bicicletas del sistema	1375
Puntos de demanda cubierta	573

El mapa resultante, con la distribución de las estaciones por tipo, se puede apreciar en la figura (6-16) que se muestra a continuación.

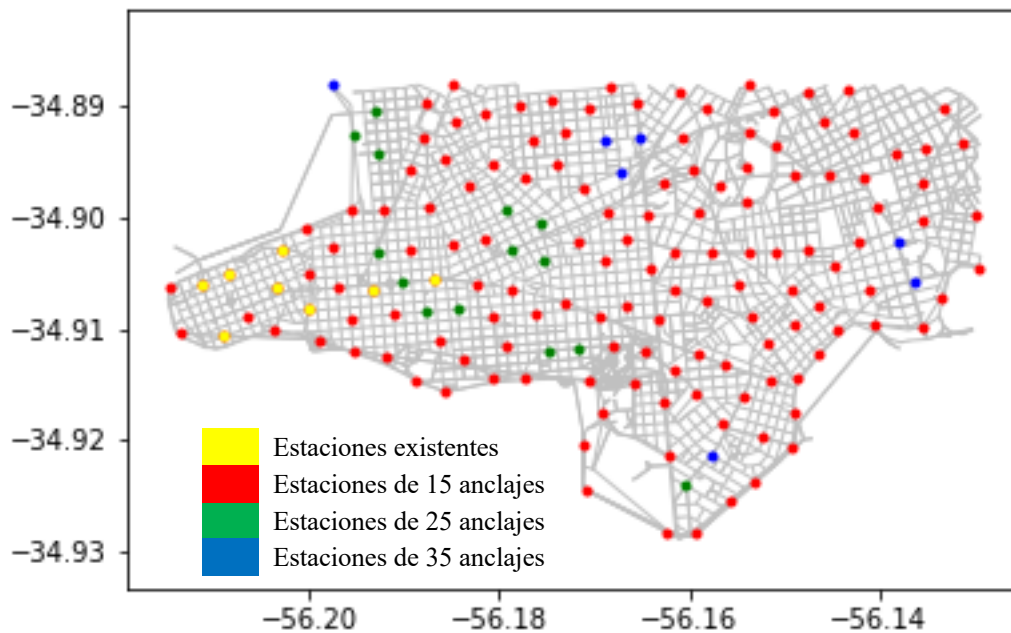


Figura 6-16. Distribución de estaciones caso 2.7

6.3.8 Comparación de resultados Modelo 2

De igual modo que para el modelo 1, la primera comparación que se realizará será sobre los puntos de demanda cubiertos en cada caso. En la figura (6-18) se puede ver la relación entre el presupuesto invertido y los puntos de demanda cubiertos. Se observa que, al aumentar el presupuesto invertido, aumenta la cantidad de puntos de demanda cubiertos hasta un punto en el cual el aumento no es significativo. Este cambio en las pendientes sucede aproximadamente para un presupuesto de 3.0 millones de €.

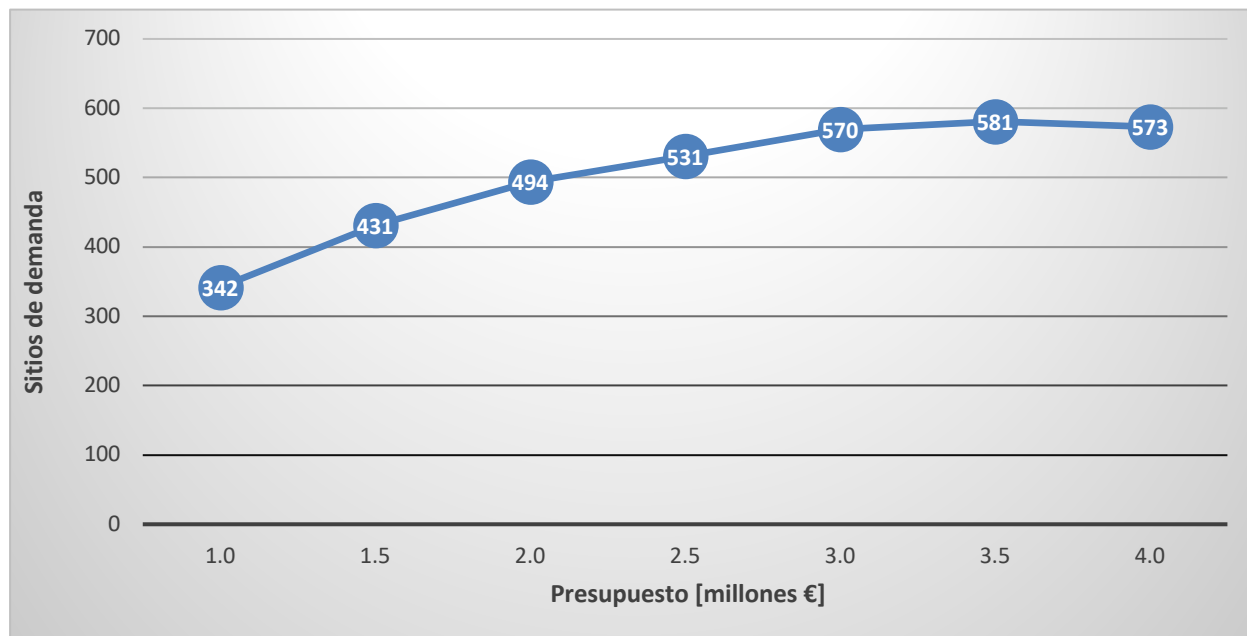


Figura 6-17. Relación entre los puntos de demanda cubiertos y el presupuesto invertido

Debido a que el máximo se obtiene para un presupuesto de 3.5 millones de € y luego decrece la cantidad de sitios de demanda cubiertos se analizan, únicamente considerando este indicador, los casos adicionales de 3.25 y 3.75 millones de €. Se obtiene que la cantidad de sitios de demanda cubiertos en ambos casos es de 576, por lo que el máximo resultado obtenido se considera que se encuentra para un presupuesto de 3.5 millones de €. Se cubre de este caso un 95% de los sitios de demanda.

Se evalúa por otro lado también la cantidad de estaciones por km² en cada caso comparándola con los sistemas de referencia mencionados anteriormente. Los valores de referencia se muestran en la tabla (6-22).

Tabla 6-18. Valores de referencia

Descripción	Objetivo
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	113
Estaciones en zona 1 (inc. existentes) (CCZ01)	28
Estaciones en zona 2 (CCZ02)	36
Estaciones en zona 3 (CCZ04)	12
Estaciones en zona 4 (CCZ05)	37

Tabla 6-19. Valores obtenidos en cada caso

Descripción	C 2.1	C 2.2	C 2.3	C 2.4	C 2.5	C 2.6	C 2.7
	1.0 m€	1.5 m€	2.0 m€	2.5 m€	3.0 m€	3.5 m€	4.0 m€
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	48	70	92	114	136	158	162
Estaciones en zona 1 (inc. existentes) (CCZ01)	22	27	31	34	38	41	43
Estaciones en zona 2 (CCZ02)	16	21	24	33	42	49	50
Estaciones en zona 3 (CCZ04)	2	5	6	9	12	19	19
Estaciones en zona 4 (CCZ05)	8	17	20	38	44	49	50

Se puede observar que para que se cumpla la condición de tener 6 estaciones/ km² se necesita un presupuesto de 3 millones de €.

6.4 Comparación de los dos modelos

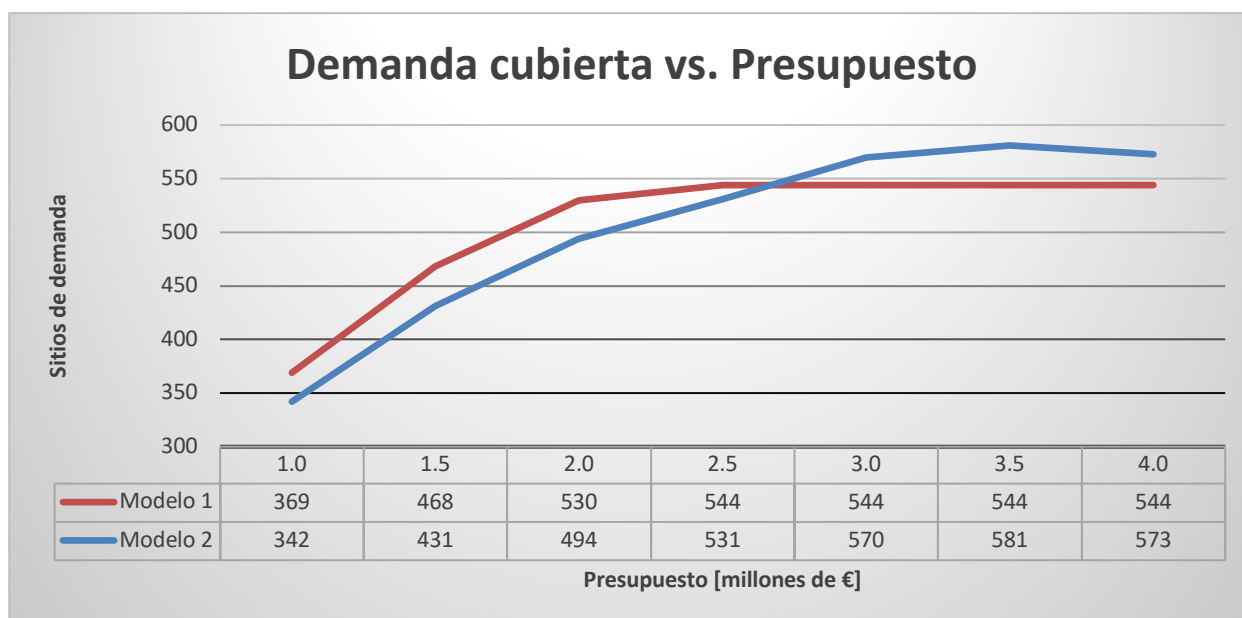


Figura 6-18. Comparación de los dos modelos

Comparando los dos modelos se obtiene que en el modelo 1 la máxima cantidad de sitios de demanda que se logra cubrir es del 544, que equivale a un 90% del total, con un presupuesto de 2.5 millones de €. En el modelo 2 para alcanzar ese resultado se necesita incrementar el presupuesto a 2.65 millones de euros (se corre el programa varias veces hasta obtener ese valor). Por otro lado, con el segundo modelo se logra cubrir más puntos de demanda llegando a un máximo de 95% de los sitios con un presupuesto de 3.5 millones de €.

Se puede observar que para presupuestos menores a 2.65 millones de € el primer modelo cubre más sitios de demanda y para presupuestos mayores a 2.65 millones de € es el segundo el que logra más cobertura.

Por otro lado, para cumplir con el objetivo de tener 6 estaciones/ km² se necesitan en ambos casos 3 millones de €.

Tabla 6-20. Comparación de los dos modelos con respecto a los valores de referencia

Descripción	Objetivo	Modelo 1 3.0 millones €	Modelo 2 3.0 millones €
Estaciones asignadas totales (inc. existentes)	113	124	136
Estaciones en zona 1 (inc. existentes) (CCZ01)	28	32	38
Estaciones en zona 2 (CCZ02)	36	39	42
Estaciones en zona 3 (CCZ04)	12	15	12
Estaciones en zona 4 (CCZ05)	37	38	44

7 CONCLUSIONES

En este capítulo se realizará, en primer lugar, una revisión del cumplimiento de los objetivos generales y específicos planteados al comienzo del documento. Por otro lado, se analizarán y compararán los modelos propuestos y se extraerán conclusiones para la toma de decisiones.

Se planteaba como objetivo general el de analizar y generar propuestas para el diseño de una red pública de bicicletas en la ciudad de Montevideo, Uruguay. Este objetivo general se ha conseguido tras el conocimiento específico adquirido en el estado del arte, capítulo 3, y el estudio en profundidad del problema desarrollado en capítulo 4. En base a esto se ha podido plantear dos modelos en el capítulo 4 para luego computarizarlos y resolverlos en los capítulos 5 y 6 respectivamente.

En relación a los objetivos específicos 1 y 2, de recopilar información que sea útil para desarrollar el problema planteado, se ha realizado una revisión bibliográfica de artículos científicos relacionados con los sistemas públicos de bicicletas. Por un lado, se han estudiado temas generales sobre la historia, características, implementaciones, recomendaciones, etc. Por otro lado, se han analizado modelos empleados para resolver el problema de localización de estaciones. Por último, se han revisado aspectos relacionados con la estimación de la demanda del sistema.

Respecto a los objetivos 3, 4 y 5, de analizar y plantear el problema objeto de estudio, se ha estudiado la ciudad, aspectos sobre la movilidad urbana, como la distribución y los patrones de viajes a gran escala, y la situación actual de los sistemas de transporte, incluido el sistema de bicicletas existente.

En cuanto al objetivo específico 6, de modelar el problema del diseño de la red pública de bicicletas en la ciudad, se han planteado dos modelos. Ambos modelos se plantean de la siguiente forma: dados un conjunto de puntos candidatos a estación de bicicletas y un conjunto de puntos de demanda, se quiere determinar el número de estaciones que son necesarias, la ubicación de las estaciones y la flota total de bicicletas del sistema. Son consideradas restricciones de presupuesto, entre otras. El primer modelo pretende maximizar la demanda cubierta y el segundo tiene además la finalidad de realizar una mejor selección del tipo de estación. La función objetivo en este caso agrega priorizar la selección de la capacidad de la estación acorde al nivel de demanda circundante.

Como último objetivo específico se pretendía plantear computacionalmente y resolver los modelos propuestos. Para tal fin, se escribieron los modelos matemáticos en lenguaje Python y se utilizó para su resolución el software de optimización Gurobi®.

Luego de comprobados los objetivos se procederá a analizar los modelos de localización-asignación planteados. Al resolverlos se han obtenido diferentes resultados, en el caso del modelo basado únicamente en el MCLP se observa que las estaciones se distribuyen abarcando la totalidad del área de estudio. En el segundo modelo, con presupuestos bajos, las estaciones se concentran en los sitios con mayor demanda, pero a medida que se aumenta se logran cubrir más sitios de demanda distribuidos por toda el área.

Como se vio en la comparación de los dos modelos, la mejor situación alcanzable con el primer modelo es cubrir un 90 % de los sitios de demanda, cumpliendo con condición de la densidad de las estaciones, con un presupuesto de 3 millones de €. Con el segundo modelo se logra mejorar la situación anterior, llegando a cubrir como máximo un 95% de los sitios de demanda, a costa de aumentar el presupuesto a 3.5 millones de €.

Para analizar los dos modelos con más profundidad se realizará el análisis de la inversión en algunos de los casos contemplados. Se consideran para el estudio los costes de las estaciones y bicicletas, como se vio en el capítulo 4, como una aproximación en base al (Estudio de factibilidad del sistema de bicicleta pública en la ciudad de Toluca, 2014) actualizados a octubre de 2018 en euros.

Tabla 6-21. Costes asociados al sistema de bicicletas

Concepto	Coste (€)
Estación de 15 anclajes	18.500
Estación de 25 anclajes	26.500
Estación de 35 anclajes	375.00
Bicicleta	400

Se asume en base al estudio realizado por Frade & Ribeiro (2015) que los costos anuales de mantenimiento ascienden a 100 € por estación y 50 € por bicicleta.

De la (Memoria anual de Sevici, 2016) se extrae que la cantidad de usuarios que tuvo el sistema en 2015 fue de 31.782 abonados de largo plazo y 8.120 abonados de corto plazo. Por otro lado, del total de usuarios del Sistema, un 80% eran abonados de larga duración (anual) y el 20% restante de corta duración (semanal). Los costos de los abonos anuales y semanales son de 40€ y 14€ respectivamente. Con respecto a la infraestructura del sistema, Sevici cuenta con 2600 bicicletas y 260 estaciones.

Se toma como referencia Sevilla ya que es una ciudad parecida a Montevideo en cuanto al tamaño. Por otro lado, la infraestructura de carriles bicis en Sevilla es ampliamente mayor a la de Montevideo además de tener el sistema de bicicletas públicas implementado desde hace más de 10 años (Memoria anual de Sevici, 2016). Por este motivo, se asume que la cantidad de usuarios que podría tener el sistema en Montevideo es del 50% de los usuarios de Sevici en Sevilla, además se considera que es proporcional a la cantidad de bicicletas del sistema.

Tabla 6-22. Retorno de la inversión Modelo 1

	Modelo 1			
Inversión [millones de €]	1.5	2.0	2.5	3.0
Estaciones	72	96	118	124
Bicicletas	615	785	960	1015
Abonados de largo plazo	3759	4798	5867	6204
Abonados de corto plazo	960	1226	1499	1585
Retorno de la inversión [años]	12 años 2 meses	12 años 6 meses	12 años 8 meses	14 años 1 mes

Tabla 6-23. Retorno de la inversión Modelo 2

	Modelo 2			
Inversión [millones de €]	1.5	2.0	2.5	3.0
Estaciones	70	92	114	136
Bicicletas	625	800	975	1155
Abonados de largo plazo	3820	4890	5959	7059
Abonados de corto plazo	976	1249	1523	1804
Retorno de la inversión [años]	12 años	12 años 3 meses	12 años 5 meses	12 años 6 meses

De los resultados se extrae que ambos modelos poseen prácticamente el mismo retorno de la inversión ya que la diferencia entre un modelo y otro no es significativa. En cuanto a los casos, es más rentable el sistema con inversiones iniciales menores.

Debido a que usualmente los encargados de la implementación de estos sistemas urbanos son las autoridades de las ciudades, que cuentan con un presupuesto limitado, la elección del modelo a utilizar dependerá de las necesidades y políticas consideradas.

REFERENCIAS

- Alvarez-Valdes, R., Belenguer, J.M., Benavent, E., Bermudez, J.D., Muñoz, F., Vercher, E. & Verdejo, F. (2016). Optimizing the level of service quality of a bike sharing system. *Omega* 62, 163–175.
- Ayuntamiento de Sevilla (2016). Memoria anual de Sevici. Recuperado de <https://www.urbanismosevilla.org>
- Çelebi, D., Yörüsün, A. & Is, ık, H. (2018). Bicycle sharing system design with capacity allocations. *Transportation Research Part B* 114, 86–98
- Correia, G.H.D. & Antunes, A P. (2012). Optimization approach to depot location and trip selection in one-way carsharing systems. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 48, 233-247.
- de Chardon, C.M., Caruso, G., 2015. Estimating bike-share trips using station level data. *Transp. Res. Part B: Methodol.* 78, 260–279.
- DeMaio, P. (2009). Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future. *Journal of Public Transportation*, 12, 41-56.
- Faghih-Imani, A., Hampshire, R., Marla, L. & Eluru, N. (2017). An empirical analysis of bike sharing usage and rebalancing: Evidence from Barcelona and Seville. *Transportation Research Part A* 97, 177–191
- Fishman, E., Washington, S. & Haworth, N. (2012). Barriers and facilitators to public bicycle scheme use: a qualitative approach. *Transp. Res. Part F: Traffic Psychol. Behav.* 15 (6), 686–698.
- Fishman, E., Washington, S. & Haworth, N. (2013). Bike share: a synthesis of the literature. *Transp. Rev.* 33 (2), 148–165
- Fishman, E., Washington, S., Haworth, N. & Watson, A. (2015). Factors influencing bike share membership: an analysis of Melbourne and Brisbane. *Transportation Research Part A: Policy Pract.* 71, 17–30.
- Frade, I. & Ribeiro, A. (2015). Bike-sharing stations: a maximal covering location approach. *Transport. Res. Part A: Policy Pract.* 82, 216–227.
- Frade, I. & Ribeiro, A. (2014). Bicycle sharing systems demand. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 111, 518–527.
- Fuller, D., Gauvin, L., Kestens, Y., Daniel, M., Fournier, M., Morency, P. & Drouin, L. (2011). Use of a new public bicycle share program in Montreal, Canada. *Am. J. Prev. Med.* 41 (1), 80–83.
- García-Palomares, J.C., Gutiérrez, J. & Latorre, M. (2012). Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: a GIS approach. *Appl. Geogr.* 35 (1), 235–246.
- Instituto Nacional de Estadística (2017). Encuesta continua de hogares. Recuperado de <http://www.ine.gub.uy>
- Intendencia de Montevideo (2010) Plan de Movilidad. Montevideo, Uruguay. Recuperado de <http://www.montevideo.gub.uy>
- Intendencia de Montevideo (2013). Informe Censos 2011: Montevideo y Área Metropolitana. Montevideo, Uruguay. Recuperado de <http://www.montevideo.gub.uy>
- Intendencia de Montevideo. (2018). Movete. Recuperado de <http://movete.montevideo.gub.uy>
- Intitute for Transportation & Development Policy (2018). The bike share planning guide. New York, USA. Recuperado de <https://www.itdp.org>
- Iseki, H. & Tingstrom, M. (2014). A new approach for bikeshed analysis with consideration of topography, street connectivity, and energy consumption. *Computers, Environment and Urban Systems* 48, 166–177
- Jensen, P., Rouquier, J.B., Ovtracht, N. & Robardet, C. (2010). Characterizing the speed and paths of shared bicycle use in Lyon. *Transport. Res. Part D: Transp. Environ.* 15 (8), 522–524.
- Kabra, A., Belavina, E. & Girotra, K. (2016). Bike-share systems. In: *Environmentally Responsible Supply Chains*. Springer, pp. 127–142.
- Kaltenbrunner, A., Meza, R., Grivolla, J., Codina, J. & Banchs, R. (2010). Urban cycles and mobility patterns: exploring and predicting trends in a bicycle-based public transport system. *Pervasive Mob Comput* 6 (4), 455–466

- Krykewycz, G. R., Puchalsky, C. M., Rocks, J., Bonnette, B., & Jaskiewicz, F. (2010). Defining a Primary Market and Estimating Demand for Major Bicycle-Sharing Program in Philadelphia, Pennsylvania. *Transportation Research Record*, 117-124.
- Lin, J.-R., & Yang, T.-H. (2011). Strategic design of public bicycle sharing systems with service level constraints. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47, 284-294.
- Lin, J.H. & Chou, T.C. (2012). A geoaware and VRP based public bicycle redistribution system. *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Vehicular Technology Volume 2012*, Article ID 963427, 14 pages doi:10.1155/2012/963427
- Lin, J.R., Yang, T.H. & Chang, Y.C. (2013). A hub location inventory model for bicycle sharing system design: formulation and solution. *Comput. Ind. Eng.* 65 (1), 77–86.
- Liu, Z., Jia, X. & Cheng, W. (2012). Solving the last mile problem: ensure the success of public bicycle system in Beijing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 43, 73–78.
- Lu, C.-C. (2016). Robust multi-period fleet allocation models for bike-sharing systems. *Networks and Spatial Economics*, 16(1), 61–82.
- Martens, K. (2007). Promoting bike-and-ride: The Dutch experience. *Transportation Research Part A*, 41, 326–338.
- Martinez, L.M., Caetano, L, Eiro, T. & Cruz, F. (2012). An optimisation algorithm to establish the location of stations of a mixed fleet biking system: an application to the city of lisbon. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 54, 513 – 524
- Ministerio de Turismo de Uruguay. (2018). Información práctica. Recuperado de <http://www.uruguaynatural.com>
- MPM Ingenieros en tránsito y transporte (2014). Estudio de factibilidad del sistema de bicicleta pública en la ciudad de Toluca. Toluca, México.
- Nair, R. & Miller-Hooks, E. (2016). Equilibrium design of bicycle sharing systems: the case of Washington DC. *EURO J Transp Logist* 5, 321–344
- Nair, R., Miller-Hooks, E., Hampshire, R.C. & Bušić, A. (2013). Large-scale vehicle sharing systems: analysis of Vélib'. *Int. J. Sust. Transport.* 7 (1), 85–106.
- Nankervis, M. (1999). The effect of weather and climate on bicycle commuting. *Transport. Res. Part A: Policy Pract.* 33 (6), 417–431.
- Neumann-Saavedra, B.A., Vogel, P. & Mattfeld, D.C. (2015). Anticipatory-service-network-design-of-bike-sharing-systems. *Transportation Research Procedia* 10, 355 – 363
- O'Brien, O., Cheshire, J. & Batty, M. (2014). Mining bicycle sharing data for generating insights into sustainable transport systems. *Journal of Transport Geography* 34, 262–273
- Oliver O'Brien. (2018). Bike Share Map. Recuperado el 2 de octubre del 2018 de <http://bikes.oobrien.com>
- Park, C. & Sohn, S.Y. (2017). An optimization approach for the placement of bicycle-sharing stations to reduce short car trips: An application to the city of Seoul. *Transportation Research Part A* 105, 154–166
- Raviv, T. & Kolka, O. (2013). Optimal inventory management of a bike-sharing station. *III Transactions*, 45(10), 1077–1093.
- Ricci, M. (2015). Bike sharing: a review of evidence on impacts and processes of implementation and operation. *Res. Transp. Bus. Manag.* 15, 28–38.
- Romero, J.P., Ibeas, A., Moura, J.L., Benavente, J. & Alonso, B. (2012). A simulation-optimization approach to design efficient systems of bike-sharing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 54, 646–655.
- Sayarshad, H., Tavassoli, S., & Zhao, F. (2012). A multi-periodic optimization formulation for bike planning and bike utilization. *Applied Mathematical Modelling*, 36(10), 4944–4951.
- Schuijbroek, J., Hampshire, R.C. & Van Hoes, W.J.(2017). Inventory rebalancing and vehicle routing in bike sharing systems. *European Journal of Operational Research* 257, 992–1004
- Shaheen, S. A., Guzman, S., & Zhang, H. (2010). Bikesharing in Europe, the Americas and Asia - Past, Present and Future. *Transportation Research Record*, 159-167.
- Shu, J., Chou, M.C., Liu, Q., Teo, C.P. & Wang, I.L. (2013). Models for effective deployment and redistribution of bicycles within public bicycle-sharing systems. *Operational Research.* 61 (6), 1346–1359.
- Statitics Netherland (2016). Transport and Movility. Amsterdam, Netherlands. Recuperado de <https://www.cbs.nl>

- Sun, Y. (2017). Investigating impacts of environmental factors on the cycling behavior of bicyclesharing. *Sustainability* 2017, 9, 1060; doi:10.3390/su9061060
- Tsai, M.F., Chen, P. & Hong, Y.J. (2018) Enhancing the utilization of public bike sharing systems using return anxiety information, *Future Generation Computer Systems*.
<https://doi.org/10.1016/j.future.2017.12.063>.
- Wang, J., Wahba, M. & Miller, E. (2010). Comparison of agent-based transit assignment procedure with conventional approaches. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2175, 47–56.
- Westland, J.C., Moub, J. & Yinc D. (2018). Demand cycles and market segmentation in bicycle sharing. *Information Processing and Management*, <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2018.09.006>
- Xu, Y., Shaw, S.-L., Fang, Z. & Yin, L. (2016). Estimating potential demand of bicycle trips from mobile phone data: An anchorpoint based approach. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2016, 5, 131; doi:10.3390/ijgi5080131
- Yan, S., Lin, J.-R., Chen, Y.-C. & Xie, F.-R. (2017). Rental bike location and allocation under stochastic demands. *Comput. Ind. Eng.* 107, 1–11.
- Zahabi, S.A.H., Chang, A., Miranda-Moreno, L.F. & Patterson, Z. (2016). Exploring the link between the neighborhood typologies, bicycle infrastructure and commuting cycling over time and the potential impact on commuter GHG emissions. *Transport. Res. Part D: Transp. Environ.* 47, 89–103.
- Zhang, D., Yu, C., Desai, J., Lau, H. & Srivathsan, S. (2017). A time-space network flow approach to dynamic repositioning in bicycle sharing systems. *Transp. Res. Part B: Methodol.* 103, 188–207
- Zhang, L., Zhang, J., Duan, Z. & Bryde, D. (2015). Sustainable bike-sharing systems: characteristics and commonalities across cases in urban China. *J. Clean.Prod.* 97, 124–133.

ANEXO I DATOS

Datos de nodos, sitios de demanda y población por segmento censal.

Datos de nodos:

Nodo	Coordenada x	Coordenada y	Tipo de estación admitida
1889370166	-56,137346	-34,899709	3
1889370204	-56,138296	-34,906117	2
917536880	-56,192707	-34,9041	3
917405823	-56,154097	-34,892026	3
917569688	-56,179255	-34,91064	1
917438624	-56,206869	-34,9034	2
917471404	-56,190625	-34,902048	1
917700821	-56,184739	-34,888114	1
3404005606	-56,144	-34,910368	1
917602637	-56,208033	-34,906657	2
917438818	-56,171688	-34,892191	3
917537181	-56,182683	-34,896296	3
917569950	-56,177952	-34,898515	1
917537224	-56,15916	-34,922831	1
917537257	-56,151688	-34,911381	2
917340683	-56,180002	-34,914624	3
1930002969	-56,185979	-34,905625	3
917537317	-56,188306	-34,893426	1
917373521	-56,172941	-34,909636	1
917340756	-56,193812	-34,893297	2
917733980	-56,163442	-34,907685	3
917504607	-56,160954	-34,906701	1
917471843	-56,147715	-34,912449	2
917537403	-56,162765	-34,913903	1
3244589697	-56,171625	-34,896215	2
3244589700	-56,171141	-34,89701	2
917406358	-56,154327	-34,898822	2
917537431	-56,172505	-34,913652	1
917701277	-56,169213	-34,901232	2
917439136	-56,17832	-34,905437	1
917471905	-56,163986	-34,902788	1
917439152	-56,143346	-34,891549	2
917373651	-56,185102	-34,905441	2
917406430	-56,181961	-34,909006	1
917603040	-56,171103	-34,923923	3
4526769028	-56,16586	-34,897926	2
917373831	-56,187902	-34,901854	3
4526769032	-56,165691	-34,897199	1
4526769033	-56,165798	-34,897187	1
917341117	-56,182453	-34,898409	2
917308414	-56,137514	-34,903694	2
917734402	-56,18725	-34,901807	2
917472264	-56,203835	-34,910264	2
917406737	-56,153766	-34,90838	1
917308443	-56,153428	-34,898733	3
917603391	-56,18772	-34,889588	3
4517889091	-56,195378	-34,892482	1
4517889092	-56,195278	-34,892473	3

4517889097	-56,201637	-34,90137	2
4517889098	-56,201584	-34,901481	1
917308494	-56,155907	-34,90343	2
917734507	-56,189107	-34,895034	2
917734554	-56,210781	-34,911703	1
917734577	-56,14564	-34,911655	2
917439670	-56,163135	-34,91239	3
917701822	-56,142601	-34,909428	1
917472454	-56,20093	-34,91062	1
2220262611	-56,208778	-34,90408	2
917538009	-56,139464	-34,906372	1
917603546	-56,157254	-34,897732	2
917603545	-56,134766	-34,889201	2
917603616	-56,207618	-34,906517	3
917603619	-56,174819	-34,896445	3
917538104	-56,199703	-34,906987	2
917472628	-56,154788	-34,906087	3
917603703	-56,199849	-34,903723	3
917472652	-56,15915	-34,889877	2
2738881965	-56,194086	-34,912385	3
917439946	-56,16009	-34,889733	1
917734877	-56,155626	-34,89145	3
917439986	-56,166548	-34,909779	3
917734944	-56,179533	-34,907893	1
917505579	-56,187413	-34,8924	3
917374531	-56,14754	-34,905275	1
917341790	-56,151815	-34,890508	1
917603998	-56,160363	-34,911879	1
917571240	-56,176306	-34,902037	2
917374646	-56,186621	-34,898329	1
917505719	-56,153939	-34,88854	2
917472952	-56,20668	-34,906223	3
917440228	-56,185629	-34,9056	2
917538532	-56,180359	-34,899874	2
4527195896	-56,165051	-34,895262	3
917604118	-56,20368	-34,905212	3
917702431	-56,202758	-34,901664	3
917735203	-56,194757	-34,906156	3
917505884	-56,152165	-34,910657	3
917702522	-56,162268	-34,891928	3
917342160	-56,154602	-34,908721	2
917571542	-56,200317	-34,901071	3
917440503	-56,20007	-34,905014	2
917440507	-56,159549	-34,89534	3
917571584	-56,171061	-34,897326	2
917604377	-56,155013	-34,913583	2
917506086	-56,163645	-34,905881	1
917735467	-56,135687	-34,900241	3
917440561	-56,150501	-34,896193	1
917735487	-56,195486	-34,909986	2
917735497	-56,18964	-34,890189	1
917506167	-56,200127	-34,910697	1
917342351	-56,160472	-34,901518	3
917440655	-56,153113	-34,896291	3
917473430	-56,150801	-34,92186	2
917571764	-56,164519	-34,892922	3
917473460	-56,132394	-34,89212	2
917702870	-56,177698	-34,89954	1
3776645394	-56,135544	-34,888377	1

917571979	-56,197722	-34,910132	3
917440946	-56,162994	-34,927758	1
917572019	-56,189024	-34,895065	2
917506485	-56,136763	-34,905791	2
917539269	-56,178468	-34,907816	1
917604808	-56,150755	-34,903074	2
917408274	-56,177187	-34,89785	3
917408305	-56,181538	-34,895698	3
917604927	-56,156646	-34,913085	2
917604952	-56,133292	-34,890156	1
917539424	-56,156061	-34,903125	1
917736055	-56,165962	-34,911378	2
917441159	-56,162352	-34,913364	2
917605025	-56,167374	-34,91534	2
917736113	-56,188139	-34,897446	3
917605082	-56,149169	-34,906512	1
917408478	-56,179247	-34,888112	3
917605088	-56,156782	-34,901322	3
917506790	-56,173617	-34,896358	2
917605099	-56,135247	-34,893831	1
917572334	-56,178493	-34,905109	2
917703413	-56,163079	-34,912891	1
917572342	-56,164247	-34,902206	1
917506812	-56,163248	-34,891394	2
917670654	-56,184629	-34,905683	1
917506814	-56,161542	-34,927	1
917539603	-56,189446	-34,895711	3
917572462	-56,159061	-34,896446	2
917474204	-56,156173	-34,919277	3
917736422	-56,190989	-34,909651	2
917736431	-56,18634	-34,902696	3
917343272	-56,170684	-34,908484	2
917572664	-56,192302	-34,907869	1
917671015	-56,187998	-34,905672	3
917376119	-56,187173	-34,890276	3
917539967	-56,170097	-34,914876	1
917539980	-56,158622	-34,907444	1
917441677	-56,164922	-34,906815	1
917343386	-56,182279	-34,905937	2
917736625	-56,20467	-34,905544	2
917605561	-56,156133	-34,913337	2
917605563	-56,15281	-34,909999	3
917310652	-56,156395	-34,919653	2
917671134	-56,132748	-34,905161	2
917474534	-56,144084	-34,910296	1
917474561	-56,16266	-34,892332	2
917540113	-56,195044	-34,903326	3
917671205	-56,176114	-34,904178	1
917474600	-56,187395	-34,899021	2
917474641	-56,170576	-34,89019	1
917376339	-56,135357	-34,909747	1
917441883	-56,135606	-34,905556	2
917540195	-56,158052	-34,898019	2
917474673	-56,172884	-34,91017	1
917441937	-56,140595	-34,901822	2
917409171	-56,155225	-34,896509	1
917605789	-56,153925	-34,898598	1
917736865	-56,155145	-34,891347	3
917409231	-56,168938	-34,893066	3

917605868	-56,171803	-34,8912	3
917736946	-56,199919	-34,908399	3
917376501	-56,179625	-34,894607	2
917474827	-56,14641	-34,907922	3
917736973	-56,209746	-34,90441	1
917736978	-56,162133	-34,921388	1
917540378	-56,173738	-34,902399	3
917376571	-56,199213	-34,906952	3
917442111	-56,151298	-34,920017	3
917507670	-56,169024	-34,892006	2
917343835	-56,148734	-34,915334	1
917409383	-56,16096	-34,90677	3
917605993	-56,184477	-34,901358	1
917540470	-56,171786	-34,902259	3
917606056	-56,17012	-34,922609	1
917540524	-56,14111	-34,89754	1
917704402	-56,149256	-34,92049	1
917475028	-56,143225	-34,903486	2
917507826	-56,159633	-34,928652	1
917540604	-56,167173	-34,909642	2
917442297	-56,187896	-34,892239	3
917671682	-56,164748	-34,897616	3
917573385	-56,185094	-34,90923	2
917409560	-56,162397	-34,9172	1
917311283	-56,200938	-34,903311	3
917540671	-56,161006	-34,88875	1
917540715	-56,185673	-34,902642	1
917573499	-56,162116	-34,92151	1
917475202	-56,169795	-34,89679	2
917540759	-56,157606	-34,898362	3
917606352	-56,169154	-34,916633	3
917606391	-56,191952	-34,905962	1
917606444	-56,164041	-34,902269	2
917737545	-56,205459	-34,908652	3
917475402	-56,149498	-34,90683	1
917737558	-56,171471	-34,894191	2
917442651	-56,21315	-34,910862	2
917737564	-56,148929	-34,916975	1
917672034	-56,152243	-34,919799	3
917606528	-56,154595	-34,924783	2
917737600	-56,132628	-34,904926	3
917344401	-56,143334	-34,895557	1
917737631	-56,17137	-34,89513	1
917737646	-56,156144	-34,902831	3
917606576	-56,16272	-34,9163	2
917475517	-56,15905	-34,896038	2
917737669	-56,176189	-34,899927	2
917311703	-56,183348	-34,89873	2
917573848	-56,207822	-34,903755	2
917442784	-56,180745	-34,906071	3
917311754	-56,159918	-34,889613	3
917410059	-56,158601	-34,927647	2
917573911	-56,188521	-34,89153	3
917475613	-56,164898	-34,896437	1
917344562	-56,199797	-34,900837	2
917606724	-56,19303	-34,911643	1
917508440	-56,143966	-34,890619	1
917606766	-56,155428	-34,917954	1
917737864	-56,164942	-34,894178	3

917606856	-56,176264	-34,906905	1
917344716	-56,156103	-34,913266	3
917508564	-56,199876	-34,900725	2
917606868	-56,165087	-34,892756	3
917574152	-56,153508	-34,913188	3
917377586	-56,147222	-34,895866	2
917443128	-56,208709	-34,911635	2
917377603	-56,148679	-34,902992	2
917410374	-56,170518	-34,914822	3
917541448	-56,150849	-34,89597	1
917312089	-56,159136	-34,89712	2
917672542	-56,188074	-34,89218	1
917443167	-56,161833	-34,888015	3
917738098	-56,174374	-34,90752	2
917607026	-56,165555	-34,896748	3
917344886	-56,175301	-34,907113	3
917607056	-56,20144	-34,904965	3
917541536	-56,151565	-34,91451	3
917672615	-56,154944	-34,924898	3
917508779	-56,187849	-34,907037	3
917541580	-56,192306	-34,896927	2
917312232	-56,182458	-34,890794	3
917738269	-56,165676	-34,911257	3
917607218	-56,202417	-34,907699	1
917541685	-56,133764	-34,894233	1
917738335	-56,157695	-34,89893	3
917410666	-56,187365	-34,911237	2
917738407	-56,174823	-34,911983	3
917410750	-56,164896	-34,894631	2
917541835	-56,196701	-34,909131	2
917541858	-56,144756	-34,893181	1
917673013	-56,197833	-34,909212	1
917410869	-56,189933	-34,908643	1
4532966465	-56,200783	-34,906907	1
1897632851	-56,152058	-34,890377	1
1897632852	-56,151996	-34,890555	3
1897632864	-56,18109	-34,906048	1
917607525	-56,12976	-34,89987	1
1908446320	-56,16412	-34,901577	3
1908446322	-56,164313	-34,901588	1
917673085	-56,159829	-34,914547	1
917607563	-56,180076	-34,890277	1
917312690	-56,142264	-34,909404	1
917411005	-56,191969	-34,899465	2
917443793	-56,165926	-34,907878	3
917607645	-56,167555	-34,905916	1
917705960	-56,187496	-34,899237	3
917706006	-56,161504	-34,925511	2
917411117	-56,151208	-34,893808	2
917542195	-56,15656	-34,918453	3
917312845	-56,167843	-34,903082	3
917673304	-56,161501	-34,928862	2
917738845	-56,176868	-34,901067	2
917509470	-56,149869	-34,903054	2
917443944	-56,187737	-34,896452	1
917542248	-56,181573	-34,889494	2
917411178	-56,160101	-34,914566	3
917476731	-56,172432	-34,914403	2
917706144	-56,195484	-34,899348	1

917607851	-56,171029	-34,919833	3
917509549	-56,18161	-34,904077	3
917378477	-56,170468	-34,891087	1
917542321	-56,152747	-34,903125	1
917738973	-56,193615	-34,895148	3
917673444	-56,16237	-34,917455	2
917542394	-56,135523	-34,90927	3
917509649	-56,181943	-34,901219	1
917411360	-56,189054	-34,88811	3
2525992481	-56,193242	-34,899433	2
2525992486	-56,194303	-34,899506	3
917444137	-56,199673	-34,907451	3
2525992491	-56,194645	-34,898433	1
917608011	-56,187691	-34,908481	3
917575244	-56,170809	-34,888515	3
917509713	-56,161929	-34,921538	1
917378647	-56,213496	-34,910449	1
4525397603	-56,197098	-34,90916	1
917509741	-56,151852	-34,898154	3
917509776	-56,191976	-34,90029	2
3500218006	-56,142118	-34,895232	3
917444263	-56,184195	-34,893759	2
917509827	-56,162461	-34,916614	3
917542596	-56,140984	-34,906554	2
917477100	-56,15474	-34,891704	2
917706484	-56,148375	-34,913139	2
917706493	-56,18318	-34,897197	1
917542702	-56,18759	-34,909408	2
917378918	-56,173156	-34,907623	2
917313404	-56,149637	-34,913878	2
917673878	-56,154825	-34,924952	3
917575576	-56,13393	-34,905106	3
917313463	-56,142814	-34,892334	2
917510076	-56,159378	-34,890772	3
917739484	-56,163355	-34,905578	3
917673953	-56,155678	-34,904006	1
917706796	-56,179438	-34,908825	3
2527402043	-56,18428	-34,912537	3
2527402046	-56,183141	-34,912562	2
2527402047	-56,183855	-34,912551	1
917346374	-56,149382	-34,914201	3
917510235	-56,150853	-34,895827	1
917411945	-56,162492	-34,91629	1
917411978	-56,185199	-34,895546	3
4470642857	-56,161107	-34,928947	2
917739734	-56,168722	-34,894925	3
917543145	-56,147367	-34,913506	2
917477618	-56,160356	-34,911956	3
917707021	-56,131661	-34,904216	1
917575996	-56,164918	-34,896302	1
917674305	-56,186256	-34,911155	2
917444969	-56,188421	-34,898156	2
917608825	-56,178776	-34,899962	2
917576099	-56,187427	-34,899957	1
917707199	-56,20613	-34,902993	3
917314005	-56,172082	-34,888591	3
917543424	-56,181443	-34,913927	2
917576226	-56,192025	-34,910646	3
917543471	-56,183485	-34,891166	2

917543522	-56,177236	-34,896313	1
917510779	-56,149551	-34,907602	2
917543559	-56,188714	-34,894249	2
917740223	-56,171182	-34,908218	2
917412552	-56,157664	-34,912834	2
917740249	-56,163297	-34,910903	3
917412570	-56,194107	-34,890525	2
917609176	-56,150646	-34,890003	3
917543644	-56,194147	-34,905118	2
917576412	-56,213687	-34,905768	2
917543658	-56,162908	-34,927689	3
917412613	-56,174539	-34,906187	1
917609221	-56,152226	-34,910722	2
917445453	-56,13087	-34,899759	1
917543762	-56,19082	-34,905866	3
917609301	-56,133315	-34,89355	2
917543798	-56,155972	-34,918936	2
917379984	-56,189354	-34,895741	1
917347216	-56,167678	-34,91541	3
917609365	-56,181575	-34,895928	2
917362122	-56,142323	-34,893101	3
917707686	-56,175262	-34,907585	2
917543851	-56,148969	-34,917539	3
917543913	-56,171878	-34,890317	3
917511154	-56,142197	-34,895255	2
917543928	-56,156742	-34,92024	3
917609464	-56,146287	-34,895999	1
917445628	-56,168783	-34,889123	1
917445639	-56,187337	-34,900893	2
917576713	-56,173075	-34,908356	2
917576730	-56,167674	-34,891884	2
917576784	-56,207758	-34,911292	2
917445721	-56,183151	-34,90574	2
917740655	-56,134707	-34,895679	1
917380211	-56,150883	-34,893922	1
917478533	-56,208735	-34,904167	3
917740704	-56,192517	-34,895067	2
917609667	-56,15598	-34,903126	2
917314767	-56,147162	-34,888459	2
917511377	-56,164701	-34,896277	3
917347544	-56,206801	-34,903521	2
917576920	-56,148533	-34,889353	1
917478617	-56,148935	-34,919568	2
917380340	-56,161358	-34,914658	3
917413233	-56,187475	-34,910336	1
917511546	-56,19843	-34,903561	3
917544345	-56,150768	-34,909369	2
917675429	-56,174254	-34,908444	1
917675432	-56,16655	-34,891804	3
917511592	-56,155703	-34,891249	1
917413295	-56,166456	-34,892869	2
917380566	-56,155266	-34,904991	3
917708250	-56,180522	-34,914708	3
917478904	-56,171242	-34,896187	2
917511706	-56,166665	-34,907923	2
2508987966	-56,157685	-34,898693	1
2508987968	-56,158635	-34,899057	1
917511751	-56,14999	-34,913295	1
917741133	-56,149046	-34,896167	3

917577303	-56,137305	-34,904725	2
917413462	-56,165449	-34,901981	3
917741215	-56,14603	-34,911247	1
917610148	-56,200477	-34,910312	3
917446311	-56,149508	-34,894369	3
917348018	-56,151371	-34,896413	2
917511896	-56,167222	-34,909196	1
917544665	-56,164181	-34,902801	2
917511926	-56,137283	-34,904256	2
917380921	-56,161668	-34,925702	2
917315403	-56,136567	-34,894036	2
917512014	-56,196176	-34,90341	3
917577558	-56,133295	-34,899489	1
917675872	-56,159112	-34,895693	3
917544805	-56,179092	-34,88913	3
917544844	-56,188688	-34,899117	1
917413780	-56,200871	-34,910502	3
917544860	-56,175934	-34,896525	3
917577647	-56,197711	-34,888123	1
917544922	-56,212592	-34,905452	3
917381104	-56,152902	-34,898677	3
917446649	-56,161257	-34,92773	3
917741572	-56,192987	-34,901282	1
3485376517	-56,158776	-34,9162	1
917381146	-56,20566	-34,905878	2
917708843	-56,186756	-34,906531	2
917512238	-56,205629	-34,910615	2
917348415	-56,154018	-34,896387	3
917610560	-56,185181	-34,897589	1
917577817	-56,195869	-34,899486	2
917610585	-56,157581	-34,903131	2
917545085	-56,163359	-34,910335	1
917479562	-56,173418	-34,90535	1
917479576	-56,184607	-34,891367	2
917741758	-56,166864	-34,909743	2
917741766	-56,181041	-34,895415	3
917512442	-56,168903	-34,903966	2
917381372	-56,195981	-34,899356	3
917414149	-56,172733	-34,896295	3
917610823	-56,191592	-34,900262	3
917381465	-56,185414	-34,912341	1
917545316	-56,159207	-34,91576	1
917414265	-56,175167	-34,90852	3
917414275	-56,168379	-34,891938	1
917741973	-56,169385	-34,88919	1
917578135	-56,150348	-34,920237	2
917414307	-56,213747	-34,910424	3
917545402	-56,1306	-34,892507	1
917348828	-56,154156	-34,924323	2
1525719537	-56,16384	-34,905981	2
917408036	-56,178866	-34,891802	2
917681581	-56,166993	-34,91141	2
917578268	-56,17361	-34,914445	1
917709372	-56,143688	-34,894863	1
917578317	-56,142701	-34,90954	3
917545569	-56,186826	-34,905884	2
917578350	-56,147607	-34,895839	2
917545590	-56,168072	-34,909265	1
917414533	-56,177209	-34,895583	2

917414546	-56,186319	-34,893584	3
917414594	-56,193577	-34,904172	2
917742342	-56,176071	-34,895495	3
917742351	-56,170342	-34,892087	1
917349169	-56,140451	-34,909666	2
917381981	-56,187831	-34,890432	1
917676895	-56,15138	-34,909914	3
917545826	-56,200155	-34,90938	2
917513085	-56,198966	-34,909294	1
917545872	-56,192726	-34,89322	3
917316497	-56,192916	-34,912726	1
917480355	-56,182676	-34,905891	3
917742535	-56,20883	-34,908814	1
917677025	-56,194206	-34,889603	2
2441487329	-56,137081	-34,899263	3
2441487342	-56,137258	-34,899531	3
917611505	-56,168334	-34,915465	3
2441487340	-56,137176	-34,899396	3
2441487344	-56,137273	-34,899633	1
917513220	-56,187927	-34,896917	1
917545990	-56,138701	-34,900809	3
917709854	-56,156483	-34,899025	1
917513264	-56,132912	-34,892939	3
917480568	-56,199766	-34,906022	2
917611646	-56,173192	-34,892314	3
917546113	-56,187725	-34,890087	1
917480580	-56,158514	-34,890103	2
3215631555	-56,175845	-34,900302	1
917677260	-56,18384	-34,912622	2
917677265	-56,164579	-34,910536	1
917742806	-56,158315	-34,898542	2
917710059	-56,200572	-34,904026	3
917742828	-56,143377	-34,888527	1
917579032	-56,152131	-34,898553	2
917611814	-56,204733	-34,910392	2
917546336	-56,172419	-34,914523	2
1865229705	-56,162327	-34,914727	3
1865229707	-56,163226	-34,91477	1
917546404	-56,200898	-34,906516	2
1889379756	-56,14544	-34,888087	2
1889379758	-56,146393	-34,896045	3
917448117	-56,1973	-34,903481	3
917349858	-56,145844	-34,888243	3
917415411	-56,210939	-34,911684	2
917382704	-56,14565	-34,896092	2
917382741	-56,190217	-34,8975	1
917448301	-56,209717	-34,911831	2
917546630	-56,183479	-34,896703	2
917677714	-56,151899	-34,903098	3
917546699	-56,154295	-34,893306	3
917612279	-56,167363	-34,89482	2
917448457	-56,149344	-34,91407	3
917710641	-56,148851	-34,915307	2
917514038	-56,184294	-34,897114	1
917579582	-56,147167	-34,889487	2
917415748	-56,173931	-34,91118	3
917514053	-56,214544	-34,907899	3
917546843	-56,141666	-34,895105	3
917448541	-56,14528	-34,892408	3

917514117	-56,165719	-34,910066	3
917546967	-56,156492	-34,925985	1
917678096	-56,154405	-34,892518	3
917448735	-56,146991	-34,888661	1
917579839	-56,163301	-34,905485	3
917547073	-56,166171	-34,910633	1
917383234	-56,150018	-34,90866	2
1888888923	-56,186073	-34,891131	2
917579898	-56,204757	-34,910288	2
917711002	-56,19067	-34,89821	2
917514411	-56,180175	-34,912361	2
917350584	-56,176995	-34,899214	2
2457610445	-56,165154	-34,894165	2
2457610446	-56,16515	-34,894203	3
2457610463	-56,165323	-34,894661	2
2457610464	-56,165437	-34,89467	3
917580016	-56,155376	-34,898734	1
917547262	-56,15636	-34,913046	2
917711165	-56,183907	-34,895975	2
917547338	-56,140699	-34,894843	3
917317970	-56,16521	-34,891696	2
917580121	-56,168117	-34,910774	2
917350760	-56,149472	-34,889517	2
917711240	-56,154325	-34,916048	1
917481877	-56,177463	-34,904705	2
917678540	-56,168542	-34,899466	3
917481933	-56,162375	-34,919413	1
917547471	-56,13713	-34,904687	3
917350868	-56,182471	-34,904414	1
917580249	-56,17153	-34,91173	3
917350886	-56,178854	-34,897853	1
917416436	-56,182848	-34,895206	2
917678579	-56,167185	-34,909559	2
917383679	-56,196605	-34,899554	3
1890495035	-56,166096	-34,910731	1
1890495044	-56,162048	-34,922202	3
917514871	-56,165704	-34,888827	2
917678728	-56,180056	-34,902383	1
917678739	-56,149669	-34,915095	3
917482136	-56,15352	-34,91295	2
917482169	-56,131808	-34,89133	1
2394630843	-56,158258	-34,907564	2
917482181	-56,161371	-34,928487	3
917613321	-56,147103	-34,913035	2
917547790	-56,151591	-34,914592	3
917547793	-56,155227	-34,891133	3
917416730	-56,161829	-34,922417	1
917547830	-56,162852	-34,913047	3
917613380	-56,151036	-34,912184	1
1865231181	-56,168055	-34,911483	2
917678989	-56,193517	-34,896074	1
917580735	-56,209709	-34,904487	2
917384151	-56,190558	-34,898202	1
917515265	-56,170999	-34,91941	3
917482509	-56,193413	-34,907947	2
917580818	-56,182919	-34,89944	3
917482544	-56,192113	-34,909731	2
917482567	-56,165359	-34,902896	3
917351521	-56,169715	-34,907176	3

917548131	-56,16431	-34,899843	2
917417100	-56,201609	-34,907477	3
917417136	-56,191924	-34,911564	3
917580983	-56,173776	-34,901043	2
917682126	-56,15809	-34,890249	3
917581019	-56,176917	-34,912131	2
917581034	-56,178371	-34,908749	3
917515503	-56,185235	-34,908304	2
1897671969	-56,163215	-34,911659	3
917515565	-56,150544	-34,91478	1
917548350	-56,147512	-34,896145	2
917515584	-56,207805	-34,911182	3
917581131	-56,19136	-34,905967	2
917548371	-56,151962	-34,922716	2
917351768	-56,176225	-34,898597	3
917417322	-56,178454	-34,894748	3
917482863	-56,185463	-34,889362	3
917384575	-56,164628	-34,911923	3
917319041	-56,148754	-34,895051	2
917679512	-56,143794	-34,907156	3
917548503	-56,132367	-34,890888	3
917515744	-56,147896	-34,88906	1
917679593	-56,164591	-34,897599	1
917679641	-56,170381	-34,89853	3
917581372	-56,168168	-34,888244	1
917384811	-56,192938	-34,891348	3
1857990305	-56,188033	-34,892693	3
1894788773	-56,192894	-34,902216	2
917483173	-56,144318	-34,910076	2
1857990312	-56,187151	-34,890164	1
917515950	-56,175037	-34,90154	1
1857990327	-56,186227	-34,891815	2
1857990333	-56,186818	-34,889979	1
1894788802	-56,199649	-34,902693	2
1857990338	-56,187928	-34,892874	1
917548741	-56,152945	-34,898511	1
1857990347	-56,186075	-34,890524	3
1857990365	-56,186709	-34,890309	3
2469572363	-56,166081	-34,911391	3
2469572371	-56,165874	-34,914963	2
2469572372	-56,165872	-34,915023	1
917385003	-56,146744	-34,890125	1
917516097	-56,156894	-34,920498	2
917679940	-56,208467	-34,909632	3
917712784	-56,138855	-34,900606	1
917417891	-56,154999	-34,889926	3
917352380	-56,17198	-34,889452	2
917712846	-56,181738	-34,895812	3
917385169	-56,169636	-34,915478	3
917549031	-56,173849	-34,911917	2
917352504	-56,200902	-34,906095	1
4540575813	-56,183552	-34,912546	3
4540575817	-56,183162	-34,912984	2
4540575820	-56,181237	-34,914041	1
917352525	-56,133488	-34,890211	2
917549183	-56,136065	-34,907728	3
917450931	-56,183055	-34,908147	1
917516471	-56,176011	-34,901915	3
917385409	-56,144818	-34,911109	1

917450954	-56,187571	-34,89361	3
917582049	-56,17892	-34,890874	3
917680370	-56,168961	-34,916821	2
917516550	-56,149928	-34,910224	2
917418339	-56,164767	-34,897464	2
917484023	-56,148157	-34,909084	2
917418489	-56,200493	-34,90751	1
917418497	-56,173068	-34,893395	3
917680725	-56,173641	-34,913737	2
917484206	-56,151516	-34,922539	3
917582526	-56,214779	-34,907397	3
917582551	-56,170227	-34,893169	1
917680878	-56,131995	-34,899637	1
917484292	-56,188766	-34,91466	1
917418776	-56,193898	-34,903237	3
917549849	-56,189787	-34,899199	3
917451561	-56,18615	-34,893889	2
917320498	-56,170738	-34,914591	1
917615410	-56,157143	-34,900454	1
917582648	-56,19304	-34,890445	3
917353349	-56,15473	-34,908683	2
917353361	-56,193236	-34,88858	3
917418905	-56,188631	-34,891852	3
917418969	-56,169136	-34,918438	1
917484507	-56,129728	-34,892972	2
917418983	-56,1617	-34,911513	1
917418994	-56,193136	-34,889531	1
917484534	-56,188637	-34,894275	3
917353476	-56,186353	-34,910258	3
917615654	-56,177512	-34,893511	1
917419060	-56,141912	-34,894088	3
917517369	-56,184755	-34,912461	3
917386308	-56,161655	-34,903257	2
917419122	-56,174702	-34,903632	1
917582992	-56,138413	-34,901199	2
917583034	-56,166785	-34,906955	2
4577309887	-56,18747	-34,892381	3
917386439	-56,16518	-34,888778	1
917451980	-56,159283	-34,89532	1
917386503	-56,14871	-34,918412	3
917550367	-56,163292	-34,909049	2
917484869	-56,178582	-34,906433	3
917321030	-56,172758	-34,911093	1
917484891	-56,164528	-34,897854	1
917714267	-56,160417	-34,914591	1
917550438	-56,167281	-34,915227	3
917583207	-56,180475	-34,914821	2
917615985	-56,180868	-34,914189	2
3244635508	-56,194536	-34,90614	1
917583230	-56,166593	-34,902048	2
917484966	-56,14612	-34,902844	1
917681588	-56,176192	-34,907651	1
917616122	-56,15287	-34,923375	1
917681678	-56,17082	-34,924444	1
917571883	-56,159918	-34,907106	2
917583405	-56,187159	-34,902761	2
917419605	-56,142277	-34,902226	1
917354088	-56,169532	-34,908781	3
917571899	-56,13227	-34,890965	3

917517955	-56,18808	-34,899072	1
917583496	-56,197215	-34,911479	2
917583572	-56,161424	-34,90655	1
917681918	-56,173621	-34,90343	2
917550878	-56,133958	-34,894522	2
917419824	-56,142885	-34,902365	2
917387059	-56,164414	-34,898906	2
1559967594	-56,162985	-34,892632	2
917583740	-56,179163	-34,911545	2
1894922183	-56,187277	-34,912018	1
1501935573	-56,163654	-34,90672	3
917354453	-56,193417	-34,897008	3
917583837	-56,174716	-34,89741	2
1894922217	-56,183536	-34,912616	2
917321716	-56,182226	-34,91348	3
2010691574	-56,13548	-34,896833	2
2010691577	-56,135579	-34,896989	2
917420030	-56,149212	-34,920354	3
1894922239	-56,182571	-34,913337	3
917682188	-56,18757	-34,892348	1
917551121	-56,133949	-34,893643	1
917583950	-56,153244	-34,911708	1
917485663	-56,213643	-34,905849	3
1894922341	-56,184447	-34,915528	1
917616752	-56,180528	-34,901611	3
917387397	-56,208757	-34,911536	1
917715121	-56,1792	-34,894365	2
917485747	-56,164814	-34,907793	2
917420227	-56,136429	-34,906702	3
917518536	-56,143197	-34,89552	1
917387497	-56,163014	-34,913493	2
917584106	-56,189125	-34,90575	1
917387503	-56,17602	-34,900097	2
917551343	-56,175783	-34,912048	3
917420411	-56,162689	-34,916625	1
917551521	-56,175657	-34,889621	2
917486008	-56,14729	-34,908506	1
917387707	-56,169426	-34,918213	2
917420586	-56,16331	-34,908887	3
917551659	-56,1918	-34,902142	2
917453358	-56,16254	-34,894004	2
917355058	-56,179627	-34,906961	2
917551776	-56,213847	-34,910194	1
917584550	-56,165711	-34,91014	3
917387963	-56,170691	-34,908397	2
917617385	-56,139895	-34,901646	1
917453579	-56,188307	-34,902844	3
917355414	-56,156339	-34,913375	3
917715873	-56,179088	-34,912289	3
917584814	-56,176316	-34,893653	3
917715893	-56,201631	-34,904506	3
917421008	-56,152488	-34,914358	3
917584869	-56,162812	-34,913474	2
917388265	-56,180894	-34,907991	2
917388319	-56,193759	-34,904522	3
917421088	-56,181236	-34,906038	1
917421210	-56,161709	-34,911432	3
917585080	-56,172447	-34,903418	2
1897577710	-56,194	-34,902297	2

917388527	-56,17727	-34,908671	2
1897577711	-56,195141	-34,90238	2
1897577713	-56,197395	-34,902537	2
1897577714	-56,198525	-34,902614	3
1893973236	-56,167255	-34,898533	3
917585134	-56,170449	-34,914694	1
917322993	-56,162929	-34,912374	2
1897577712	-56,196273	-34,902459	1
1893973239	-56,16777	-34,898744	1
1893973242	-56,17271	-34,900638	2
1893973244	-56,175367	-34,901665	3
917388541	-56,137687	-34,894186	2
1893973253	-56,18339	-34,904774	1
1893973257	-56,193707	-34,905088	3
1893973259	-56,186006	-34,905535	2
1893973264	-56,19137	-34,905845	1
1893973274	-56,191082	-34,905884	2
1893973276	-56,198714	-34,906429	1
917552468	-56,153165	-34,923592	2
917355885	-56,142234	-34,909503	2
917585263	-56,187901	-34,89058	1
917355894	-56,195273	-34,912052	3
917683578	-56,151336	-34,914571	2
917454209	-56,162032	-34,922353	2
917683590	-56,162596	-34,917512	2
917585292	-56,156778	-34,897224	3
917355919	-56,184051	-34,901215	3
917323163	-56,148917	-34,916168	1
917552549	-56,13458	-34,895481	3
917355982	-56,163647	-34,9077	1
917683664	-56,176102	-34,908579	1
917454324	-56,168682	-34,906003	3
917356037	-56,182858	-34,889869	3
917552652	-56,160588	-34,892841	1
917421607	-56,175627	-34,900572	2
917487148	-56,180399	-34,896759	1
917487207	-56,168039	-34,901146	2
917388947	-56,162016	-34,920671	1
917388950	-56,174805	-34,901739	2
917520029	-56,168872	-34,888326	1
917487272	-56,15088	-34,895189	1
917585662	-56,188405	-34,901893	3
917520126	-56,130455	-34,892403	2
917356314	-56,16387	-34,892151	3
917389085	-56,161807	-34,889693	2
917552936	-56,165384	-34,891715	2
917684015	-56,159597	-34,894533	3
917618484	-56,180538	-34,903663	1
917350908	-56,138403	-34,89429	3
1104166776	-56,155633	-34,891054	1
917684100	-56,144709	-34,907216	3
917520266	-56,163783	-34,904604	1
1104166797	-56,155918	-34,89109	3
917618574	-56,137773	-34,90099	2
917389216	-56,141542	-34,89737	1
917520300	-56,157815	-34,897889	3
917422004	-56,165582	-34,911275	1
917389249	-56,172593	-34,912755	3
917553091	-56,212618	-34,905389	3

917422047	-56,146049	-34,891175	2
917487593	-56,167658	-34,904902	1
917520426	-56,139953	-34,894645	1
917356605	-56,139062	-34,894397	3
917684347	-56,166365	-34,898124	1
917586085	-56,196411	-34,911712	2
917553323	-56,183249	-34,905831	2
917586122	-56,145208	-34,910687	2
917389548	-56,148028	-34,89615	2
2352660722	-56,153724	-34,90847	3
2352660724	-56,153514	-34,908903	3
917553418	-56,14963	-34,88959	3
917618973	-56,161458	-34,927628	3
1901674818	-56,136851	-34,90067	3
917487945	-56,151606	-34,911327	1
917520726	-56,202759	-34,904901	3
917389678	-56,165803	-34,888012	2
917422451	-56,180717	-34,914283	2
917586300	-56,161381	-34,90285	3
917488092	-56,133189	-34,905128	2
917389794	-56,159483	-34,896097	3
917488109	-56,15841	-34,922132	2
917422598	-56,15802	-34,891804	2
917520914	-56,184777	-34,896297	2
5043208741	-56,132456	-34,899584	1
917586477	-56,157751	-34,907731	3
917521022	-56,2142	-34,909572	2
917684866	-56,159018	-34,912316	1
917553857	-56,14214	-34,902757	3
917442269	-56,151033	-34,896643	1
917357270	-56,168788	-34,904985	2
917619425	-56,165954	-34,897458	2
917619467	-56,20021	-34,909384	3
917390158	-56,187544	-34,894439	1
917521231	-56,168314	-34,909185	3
917586776	-56,163433	-34,893523	2
917619551	-56,158654	-34,907512	3
917586785	-56,157527	-34,914369	3
917324647	-56,185374	-34,901648	1
917422951	-56,186645	-34,892278	3
917455723	-56,142888	-34,909124	3
917586822	-56,166919	-34,915143	1
917521305	-56,136236	-34,907765	3
917357476	-56,164675	-34,898292	1
917521322	-56,174043	-34,893472	2
917324733	-56,161417	-34,893491	2
917554153	-56,164386	-34,900948	3
917521392	-56,150949	-34,912134	2
917554188	-56,16924	-34,898076	2
917521463	-56,191643	-34,905935	3
917619781	-56,157437	-34,891656	3
917587035	-56,172021	-34,907349	2
917587048	-56,176405	-34,892987	3
917357673	-56,132606	-34,893449	1
917390457	-56,155691	-34,903136	2
3811624057	-56,152317	-34,890635	3
917488816	-56,130218	-34,899823	1
917554390	-56,184348	-34,89523	1
917521626	-56,193268	-34,898405	2

917554404	-56,171571	-34,893276	3
917488873	-56,191692	-34,903083	1
4500407543	-56,199727	-34,910932	3
4500407544	-56,199733	-34,910802	1
917521658	-56,16204	-34,922275	1
917521698	-56,148554	-34,914484	1
4517905707	-56,211431	-34,905038	3
917390695	-56,140968	-34,902081	1
917521777	-56,138409	-34,901581	1
917587317	-56,153793	-34,90313	2
917357953	-56,138033	-34,902226	3
917685642	-56,165522	-34,88881	2
917390735	-56,157637	-34,91278	1
917685695	-56,183887	-34,894126	1
917358042	-56,173052	-34,903431	1
917390844	-56,159646	-34,900386	3
917587473	-56,185769	-34,915687	3
917587494	-56,213583	-34,910538	3
917587556	-56,162167	-34,919398	1
917685883	-56,174731	-34,904745	1
917358220	-56,157983	-34,898969	2
917423853	-56,174039	-34,910256	1
917456672	-56,144891	-34,911009	3
4574234420	-56,162188	-34,921038	3
917620551	-56,186316	-34,890565	3
917587796	-56,156991	-34,907977	2
917555047	-56,135882	-34,90875	3
917423985	-56,144935	-34,902736	1
917489535	-56,142128	-34,908496	3
917424057	-56,189507	-34,901975	2
917587920	-56,159768	-34,923498	1
917555157	-56,192042	-34,899564	1
917620701	-56,153756	-34,91507	1
917587944	-56,137665	-34,903722	3
917391373	-56,147388	-34,889133	3
1894008858	-56,151291	-34,896013	2
917555229	-56,167086	-34,888129	2
1894008862	-56,151649	-34,896215	3
1894008864	-56,157654	-34,898003	1
1894008866	-56,155276	-34,898725	3
1894008868	-56,155251	-34,898915	2
1894008863	-56,156097	-34,89668	3
917686314	-56,154462	-34,893294	1
917522497	-56,158269	-34,890182	2
917522548	-56,169607	-34,899904	2
917719165	-56,166039	-34,906899	1
917588104	-56,169003	-34,916539	1
917489816	-56,154458	-34,893719	3
917391528	-56,133713	-34,908689	3
917588140	-56,18578	-34,915561	1
917489845	-56,160325	-34,924129	2
917424335	-56,165513	-34,89062	1
917686499	-56,176114	-34,897018	1
917719277	-56,169149	-34,915402	1
917588231	-56,18872	-34,909489	3
4539861273	-56,211873	-34,905195	3
917588255	-56,213058	-34,910789	1
917391658	-56,147538	-34,888895	1
917391673	-56,152746	-34,909964	2

917489981	-56,168756	-34,899119	3
917391688	-56,203563	-34,910151	3
917588337	-56,129595	-34,89989	2
917490038	-56,188595	-34,900042	3
917588394	-56,19887	-34,910214	3
917555656	-56,132526	-34,890972	1
917424708	-56,150572	-34,914859	2
917555812	-56,173479	-34,889498	1
917588586	-56,161179	-34,928478	1
917555830	-56,156679	-34,913188	3
917588620	-56,199901	-34,910888	3
917555861	-56,194012	-34,89142	2
917686942	-56,197017	-34,906312	3
917686960	-56,167227	-34,895898	3
1773193914	-56,165974	-34,911333	2
917359288	-56,153454	-34,890916	1
1773193919	-56,166988	-34,911454	2
1773193921	-56,16606	-34,91139	3
917523175	-56,130326	-34,89273	3
917588732	-56,171951	-34,908002	3
917424943	-56,161647	-34,913811	2
917326679	-56,186981	-34,904615	1
917490524	-56,179552	-34,903288	2
917392233	-56,163984	-34,904622	3
917621628	-56,141629	-34,896303	1
917556117	-56,16355	-34,906712	3
917719984	-56,135544	-34,905422	3
917588928	-56,149043	-34,916967	2
917588934	-56,164854	-34,895027	1
917621773	-56,182046	-34,899101	1
917589035	-56,154723	-34,91675	3
917523522	-56,187795	-34,902805	3
917425234	-56,16794	-34,902123	3
917458058	-56,18289	-34,897695	2
917425318	-56,17801	-34,912212	1
917621947	-56,18208	-34,908076	2
917359806	-56,134589	-34,889137	2
917589184	-56,16367	-34,905619	1
917687491	-56,136858	-34,9101	1
917589195	-56,170248	-34,90224	2
917523702	-56,191941	-34,913229	3
917327124	-56,200311	-34,904569	2
917359936	-56,142435	-34,896438	3
917425480	-56,151152	-34,895736	3
917425493	-56,159547	-34,895764	3
917556570	-56,158123	-34,898951	1
917523811	-56,163516	-34,908899	1
917622136	-56,163241	-34,911416	2
2269957515	-56,16351	-34,905866	2
2269957517	-56,163624	-34,906064	2
917687699	-56,136604	-34,906735	3
917392803	-56,149124	-34,92052	3
4162211255	-56,187555	-34,8929	2
917523908	-56,153422	-34,909094	1
1890536953	-56,164033	-34,912294	3
917687830	-56,150398	-34,91295	3
917720611	-56,168073	-34,889051	2
917589548	-56,160193	-34,912009	2
917392951	-56,186554	-34,908399	3

917425752	-56,156156	-34,890957	1
917720672	-56,165615	-34,889706	2
917556845	-56,16615	-34,895534	2
917589661	-56,178739	-34,892735	2
917425895	-56,166983	-34,898454	2
5202661109	-56,161652	-34,925865	3
917393175	-56,190771	-34,890274	3
917622556	-56,176838	-34,889739	1
917589820	-56,162577	-34,90445	1
917688161	-56,148852	-34,917565	2
917426019	-56,187794	-34,90754	2
917589903	-56,144373	-34,895834	1
917622677	-56,195576	-34,909051	3
917688263	-56,181055	-34,902768	2
917491707	-56,182993	-34,900861	2
917393430	-56,214651	-34,907933	1
917688354	-56,183697	-34,901934	1
917426226	-56,145895	-34,902833	3
917622836	-56,135322	-34,909841	2
917458997	-56,144415	-34,910726	3
917688404	-56,193125	-34,910739	2
917393493	-56,17854	-34,902892	2
917360733	-56,191413	-34,899321	2
917524576	-56,193321	-34,908887	3
917721187	-56,147667	-34,888688	3
917426285	-56,138543	-34,901237	3
917491899	-56,156249	-34,914271	1
917426380	-56,160364	-34,903024	1
917393634	-56,16419	-34,900935	1
5608263907	-56,1644	-34,900817	1
5608263915	-56,16442	-34,900633	3
917393686	-56,154162	-34,919355	2
917590320	-56,179705	-34,906219	3
917492076	-56,158914	-34,892563	3
917590393	-56,163627	-34,893416	1
917623174	-56,156472	-34,913378	1
917393802	-56,167346	-34,907975	1
917361062	-56,162603	-34,890632	3
917623259	-56,148826	-34,915229	3
917721565	-56,197533	-34,888122	3
917721573	-56,144671	-34,904353	1
917590502	-56,204508	-34,908356	2
917590513	-56,131069	-34,891907	3
917623295	-56,137801	-34,900368	3
917426735	-56,154677	-34,89124	1
917557837	-56,147533	-34,902921	3
917623384	-56,161854	-34,922192	2
917426809	-56,170844	-34,902248	2
917623432	-56,158421	-34,916562	3
917492390	-56,180548	-34,914395	1
917590703	-56,183692	-34,912738	2
2526008000	-56,182503	-34,913346	3
917557954	-56,149039	-34,909645	3
917590749	-56,177252	-34,902409	2
917623536	-56,172621	-34,897256	2
917426979	-56,163292	-34,910986	2
917459754	-56,207444	-34,909295	2
917427032	-56,186446	-34,901772	1
917590879	-56,193077	-34,900373	1

917623658	-56,159255	-34,928345	3
917590990	-56,173531	-34,904336	3
917394416	-56,172684	-34,911828	1
917427188	-56,191081	-34,908726	3
917427204	-56,192621	-34,894147	3
917558297	-56,201895	-34,901568	3
5605676073	-56,164728	-34,894964	2
917558337	-56,18206	-34,913599	3
917591119	-56,190533	-34,902998	2
917623893	-56,165108	-34,914934	3
917591143	-56,145515	-34,907339	1
917492842	-56,161921	-34,92336	3
917427307	-56,151422	-34,897344	1
917427357	-56,136803	-34,905681	1
1915835548	-56,170987	-34,920406	3
917623975	-56,192412	-34,895997	2
917525675	-56,165332	-34,890605	1
917492915	-56,160245	-34,889495	3
917492921	-56,199314	-34,905992	3
917427386	-56,158434	-34,898706	3
917492957	-56,170357	-34,911646	3
917427467	-56,149241	-34,889673	2
2147243296	-56,21169	-34,90513	1
917591342	-56,177843	-34,889843	3
917427507	-56,164504	-34,899858	3
917493087	-56,133791	-34,908983	3
917329265	-56,185817	-34,89092	3
917722502	-56,159047	-34,903101	3
917394853	-56,209585	-34,907155	1
4522137018	-56,186644	-34,905671	1
4522137022	-56,186455	-34,905566	1
4844410307	-56,155758	-34,891481	1
4522137028	-56,186189	-34,905638	1
917525964	-56,156759	-34,899009	2
917394923	-56,146304	-34,912372	3
917591573	-56,195506	-34,899203	3
917624342	-56,195545	-34,889871	3
1895224868	-56,155684	-34,908464	1
1895224869	-56,148702	-34,914841	2
1895224870	-56,148587	-34,914873	1
917722674	-56,139502	-34,906251	3
917624397	-56,166523	-34,909856	3
4384675460	-56,189954	-34,914029	2
917624454	-56,153421	-34,896324	2
917591712	-56,184604	-34,893293	2
917591737	-56,165634	-34,911302	3
917591767	-56,195448	-34,899609	2
917427931	-56,173758	-34,912845	2
917526249	-56,169118	-34,902182	3
917722915	-56,193713	-34,894229	1
917362481	-56,183926	-34,890182	3
917428020	-56,150862	-34,893647	2
917591865	-56,1677	-34,915315	1
917559127	-56,188091	-34,889142	3
917493595	-56,182316	-34,913491	2
917722979	-56,136968	-34,905719	1
917362545	-56,158811	-34,892002	1
917624697	-56,188542	-34,890106	1
917606157	-56,13573	-34,908685	1

917592055	-56,173765	-34,895316	1
917624840	-56,14221	-34,906811	3
917592075	-56,194693	-34,897927	2
917624848	-56,174191	-34,892384	2
2375145586	-56,200537	-34,907419	2
2375145588	-56,200276	-34,908011	1
917428344	-56,159755	-34,928554	2
917624996	-56,164212	-34,897174	3
917592236	-56,192832	-34,892284	1
917330110	-56,168309	-34,909267	1
917526724	-56,165225	-34,911549	1
917493986	-56,179218	-34,899257	2
917493988	-56,184635	-34,90561	1
917559528	-56,209217	-34,907946	1
917559543	-56,178565	-34,906886	1
917625089	-56,136926	-34,905822	1
917690632	-56,174948	-34,895408	3
917362974	-56,170705	-34,889321	3
917494070	-56,189945	-34,89694	2
917625155	-56,189411	-34,90292	1
917526902	-56,188619	-34,898649	1
917395834	-56,163872	-34,905638	3
917363097	-56,140842	-34,898152	2
917723546	-56,187124	-34,888562	3
917494171	-56,149614	-34,894422	3
917559738	-56,191856	-34,913089	2
917625278	-56,150647	-34,910702	2
917625290	-56,131663	-34,891443	1
917723630	-56,15206	-34,898069	1
917723649	-56,186453	-34,909327	1
917723659	-56,185637	-34,89481	2
917494284	-56,195476	-34,890628	1
917363215	-56,178982	-34,889954	3
917330451	-56,164602	-34,898906	3
917330487	-56,135511	-34,909784	2
917494347	-56,192611	-34,905011	1
917625428	-56,131787	-34,891854	3
917559897	-56,163032	-34,911397	1
917592691	-56,154402	-34,892753	1
1758059126	-56,188882	-34,888266	2
917428920	-56,146375	-34,912323	1
917592774	-56,145926	-34,891372	3
917494487	-56,154137	-34,888459	2
917625570	-56,188823	-34,908563	1
917527271	-56,157349	-34,898585	3
917560069	-56,193616	-34,906077	2
917560081	-56,153898	-34,898774	2
917592908	-56,16547	-34,889288	1
2620513102	-56,160836	-34,896155	1
2620513103	-56,161586	-34,896362	2
2620513106	-56,162779	-34,896775	3
917625709	-56,133502	-34,907164	1
917560186	-56,166979	-34,888935	2
917461950	-56,16012	-34,911958	3
917678004	-56,162513	-34,902646	3
917560270	-56,160377	-34,892961	2
917593054	-56,207783	-34,903838	1
917429269	-56,18697	-34,89255	3
1893981273	-56,192043	-34,901213	1

1893981274	-56,192193	-34,901223	2
1893981275	-56,192512	-34,902189	2
1893981276	-56,192653	-34,902198	2
4732574828	-56,157078	-34,891785	3
917560434	-56,192148	-34,898321	3
1901780184	-56,200747	-34,90651	1
1901780204	-56,199655	-34,906983	2
917495047	-56,163076	-34,910985	3
917396746	-56,150544	-34,890192	2
917560634	-56,180201	-34,889237	1
917626193	-56,193518	-34,907038	2
917528001	-56,159052	-34,912388	1
917429708	-56,198587	-34,911105	1
917593551	-56,181004	-34,900847	2
917626346	-56,173171	-34,907436	1
917593584	-56,168588	-34,895996	1
917626355	-56,130249	-34,893097	3
917560826	-56,131557	-34,891751	2
917495305	-56,188206	-34,903772	1
917364315	-56,182953	-34,909077	1
917364334	-56,184815	-34,894489	3
917593727	-56,165284	-34,892776	1
917528191	-56,163487	-34,897063	3
917495431	-56,14782	-34,913766	3
917724861	-56,185383	-34,893577	1
917364415	-56,199832	-34,905518	3
917397208	-56,180604	-34,908909	1
917528407	-56,209772	-34,911719	1
4543864665	-56,156519	-34,896962	2
1857990350	-56,185889	-34,891676	1
917561221	-56,16923	-34,911557	2
917593989	-56,135674	-34,909325	1
917594006	-56,186567	-34,892662	1
917430186	-56,148905	-34,919482	1
917626798	-56,16941	-34,915524	3
1857990362	-56,186035	-34,891378	3
917417690	-56,158288	-34,898887	3
917430238	-56,154716	-34,908769	1
1896341479	-56,149675	-34,908062	3
2323800041	-56,145869	-34,907573	3
917725214	-56,190954	-34,898763	3
917594154	-56,167661	-34,892965	1
917397569	-56,161461	-34,925899	1
4360233103	-56,136358	-34,898134	1
4360233108	-56,136445	-34,898264	1
4360233110	-56,135535	-34,900185	1
917430462	-56,151359	-34,896567	3
917594308	-56,180664	-34,895203	3
917594323	-56,21023	-34,904648	2
917692634	-56,169524	-34,908867	2
917397727	-56,199561	-34,90364	1
917594361	-56,170645	-34,918976	3
1891688717	-56,164868	-34,894894	1
1891688722	-56,165071	-34,895004	3
917561618	-56,154385	-34,907036	1
917725458	-56,130675	-34,904141	3
917594398	-56,181504	-34,901987	3
1891688735	-56,166007	-34,895483	2
917725478	-56,191904	-34,890359	1

917594437	-56,161838	-34,92234	2
917496139	-56,133147	-34,904979	2
917725577	-56,17592	-34,896809	1
917594522	-56,16516	-34,892092	2
917332453	-56,177275	-34,90034	1
2719310359	-56,164838	-34,895154	1
2719310366	-56,165175	-34,895184	1
917365279	-56,154459	-34,893217	2
917430824	-56,179344	-34,909759	3
917561898	-56,164011	-34,914836	3
917594666	-56,153683	-34,892226	3
917430839	-56,147025	-34,902895	2
917365340	-56,190258	-34,905827	3
917398138	-56,202286	-34,907684	1
917496456	-56,164126	-34,897169	2
917600202	-56,158622	-34,916357	1
917693144	-56,19435	-34,909891	1
2535842540	-56,193155	-34,899587	3
2535842542	-56,192031	-34,899359	2
2535842544	-56,192356	-34,899379	2
917463797	-56,186655	-34,907459	3
917398261	-56,154182	-34,913906	3
3086508802	-56,200687	-34,903235	1
917595054	-56,16257	-34,892376	2
1774969912	-56,145634	-34,896141	3
917464133	-56,157811	-34,898993	2
917529716	-56,161467	-34,913925	2
917529768	-56,188105	-34,904694	1
917365935	-56,185593	-34,890506	3
917562594	-56,163686	-34,894458	2
917595406	-56,190032	-34,896911	2
917562720	-56,182491	-34,895411	2
917497242	-56,201529	-34,910344	1
1858004384	-56,188704	-34,888092	1
917497250	-56,214588	-34,906177	1
4527220149	-56,171071	-34,92237	1
917431756	-56,168433	-34,908053	2
917530074	-56,157612	-34,921338	3
917497312	-56,154782	-34,89001	2
917431792	-56,163559	-34,902397	1
917497354	-56,161712	-34,923457	3
917595667	-56,154463	-34,892054	1
917530135	-56,166008	-34,897806	1
917399062	-56,157043	-34,908033	2
917399069	-56,16834	-34,915375	2
917399073	-56,173577	-34,888664	1
917399175	-56,165756	-34,914984	2
2152097424	-56,145015	-34,896013	1
917726974	-56,179373	-34,90947	1
1895261952	-56,168508	-34,909204	1
1895261961	-56,163192	-34,910942	3
917497610	-56,169816	-34,899528	2
1895261963	-56,169014	-34,911595	2
917595918	-56,159898	-34,907047	3
1895261976	-56,162972	-34,913919	1
917399325	-56,169882	-34,896089	3
2152097582	-56,1453	-34,896067	1
917497654	-56,170131	-34,894087	3
917399352	-56,156409	-34,898833	3

917366630	-56,180971	-34,914269	2
917530528	-56,158819	-34,914468	2
917563307	-56,186283	-34,898151	3
917596092	-56,159986	-34,914998	3
917465040	-56,157388	-34,926674	3
917497823	-56,173932	-34,902231	1
3071961065	-56,150315	-34,912902	2
917530667	-56,156989	-34,890624	2
917596214	-56,175269	-34,903852	2
917596219	-56,165374	-34,890213	2
917366845	-56,131345	-34,893275	1
917530711	-56,175154	-34,893556	2
917366899	-56,15733	-34,926781	1
917530747	-56,196541	-34,899693	1
917563523	-56,211125	-34,904829	2
917432460	-56,149645	-34,915018	3
917596308	-56,174593	-34,889519	2
917563611	-56,177366	-34,907736	2
917596392	-56,17528	-34,892459	1
4744964378	-56,200029	-34,910295	2
917563685	-56,161976	-34,906372	1
917596480	-56,206434	-34,908965	2
1895033158	-56,17361	-34,914323	1
917498261	-56,166051	-34,898094	2
917465501	-56,169013	-34,903151	3
1895033267	-56,150031	-34,921453	2
1895033277	-56,150221	-34,921592	3
917727718	-56,211032	-34,904908	2
917367276	-56,158807	-34,892175	2
917596664	-56,135655	-34,905449	3
917563947	-56,1381	-34,902437	1
917596721	-56,165062	-34,895141	1
1895033393	-56,162753	-34,927951	2
917400115	-56,169572	-34,915327	1
917695030	-56,182576	-34,912526	1
1895033406	-56,162335	-34,928306	2
917498439	-56,1695	-34,888398	1
917531223	-56,142882	-34,888952	2
917531235	-56,157644	-34,899203	3
917400176	-56,171919	-34,908288	1
917334668	-56,149039	-34,920272	3
917367437	-56,187865	-34,890221	3
917531292	-56,165431	-34,889686	3
2452417178	-56,164857	-34,910439	3
917498532	-56,200258	-34,910313	1
917596844	-56,175806	-34,888819	3
917596859	-56,189826	-34,909568	3
917334718	-56,202712	-34,901799	1
917531327	-56,154362	-34,903131	2
917596865	-56,165108	-34,894645	1
917367524	-56,135476	-34,909874	3
917367529	-56,147528	-34,895734	2
1869507308	-56,163759	-34,906728	3
917596921	-56,150984	-34,89359	2
917531421	-56,157672	-34,898774	2
917531460	-56,158368	-34,912605	2
917334877	-56,183295	-34,894812	1
917400444	-56,177199	-34,914334	3
917498783	-56,149065	-34,894821	1

917466036	-56,163896	-34,903577	2
917367732	-56,162222	-34,920812	1
917498837	-56,158942	-34,899457	1
917433405	-56,208621	-34,906854	2
917597246	-56,17001	-34,895025	1
917367956	-56,186409	-34,892176	1
917597366	-56,184341	-34,908239	2
917433647	-56,154874	-34,917017	1
917433706	-56,214093	-34,909538	1
917466537	-56,153784	-34,892401	1
2139712940	-56,154554	-34,914141	1
917597636	-56,170919	-34,899969	1
917597682	-56,149772	-34,894204	2
917433856	-56,152573	-34,898643	1
917433867	-56,166063	-34,911346	3
917696021	-56,143578	-34,90251	2
917532184	-56,164504	-34,89807	1
917401190	-56,150689	-34,893732	3
917728947	-56,205008	-34,902459	2
917499577	-56,171301	-34,903329	3
917532400	-56,206699	-34,910824	2
917597952	-56,196598	-34,910052	1
917565186	-56,190413	-34,8977	2
917434148	-56,149012	-34,916147	2
917532493	-56,163818	-34,906176	1
917466996	-56,188231	-34,893448	3
917565335	-56,205053	-34,902364	1
917598106	-56,169601	-34,908133	1
917663650	-56,188284	-34,891988	1
917598119	-56,178601	-34,893631	2
917434294	-56,186438	-34,89192	2
917499833	-56,193912	-34,892362	1
917434307	-56,139439	-34,899919	2
917598150	-56,153461	-34,914103	3
917598162	-56,155009	-34,913663	3
917565406	-56,153911	-34,895402	3
917336052	-56,184779	-34,90237	2
917434365	-56,16899	-34,916609	1
917467138	-56,153112	-34,89251	3
917663753	-56,129925	-34,89304	1
917598243	-56,200699	-34,907052	1
917729329	-56,164641	-34,896825	3
917729340	-56,163004	-34,913601	2
917500070	-56,188293	-34,914913	3
917598401	-56,162774	-34,913838	2
917598410	-56,166989	-34,898381	3
917434580	-56,15733	-34,900003	1
917664001	-56,162265	-34,918476	3
917565698	-56,132393	-34,891076	1
917532935	-56,146945	-34,905149	2
3524686095	-56,213933	-34,910266	1
3524686096	-56,198787	-34,911052	3
917369132	-56,205677	-34,910524	1
917500210	-56,187895	-34,906612	1
917500280	-56,181354	-34,900268	3
917434774	-56,17746	-34,906662	2
917402010	-56,166097	-34,910624	2
917533085	-56,157451	-34,917576	3
917402060	-56,167527	-34,892954	3

917500382	-56,153256	-34,919564	2
917533169	-56,151927	-34,890346	2
917434887	-56,140133	-34,899098	3
917598741	-56,193171	-34,899427	2
917369373	-56,191828	-34,912444	3
917434929	-56,196467	-34,911812	1
917533262	-56,154399	-34,894641	3
3227939409	-56,16442	-34,898833	1
917697149	-56,164617	-34,897052	2
917729918	-56,138277	-34,901546	3
917533316	-56,195873	-34,906233	3
4543672966	-56,156126	-34,902895	3
4543672967	-56,156286	-34,903126	1
917500589	-56,191872	-34,900282	2
917533357	-56,180844	-34,914372	3
917664480	-56,129577	-34,904381	1
917500652	-56,15369	-34,888058	3
917516361	-56,14102	-34,901914	2
917435125	-56,191867	-34,900779	2
917566217	-56,157796	-34,907794	1
917467922	-56,163772	-34,912458	2
917336870	-56,192397	-34,906963	3
917533512	-56,167761	-34,903884	2
917467982	-56,159477	-34,915496	2
917599071	-56,192816	-34,903166	3
917533536	-56,132967	-34,899525	3
917402494	-56,178087	-34,911147	2
917402516	-56,203465	-34,90803	2
917533613	-56,181388	-34,890649	3
917500859	-56,192508	-34,906	3
917435384	-56,180773	-34,905999	3
917435444	-56,158511	-34,89211	2
917697603	-56,185849	-34,901723	2
917533779	-56,1929	-34,912879	3
917533798	-56,133936	-34,905215	3
917533804	-56,154086	-34,913843	1
917501055	-56,201267	-34,905383	2
3689280648	-56,169893	-34,918576	1
917501068	-56,173435	-34,902249	1
917697683	-56,193223	-34,90981	3
917566651	-56,170154	-34,903231	2
917501116	-56,168135	-34,900124	1
917402865	-56,163069	-34,911064	2
917665020	-56,153985	-34,913963	2
917435683	-56,174644	-34,905439	1
917435690	-56,131808	-34,89154	2
917665095	-56,1875	-34,895503	3
3960665451	-56,165241	-34,891418	3
917403004	-56,154221	-34,892179	3
917665294	-56,137916	-34,902583	2
917501479	-56,186857	-34,905594	2
917468724	-56,161993	-34,906602	2
917468725	-56,159076	-34,888113	1
917698105	-56,146099	-34,912199	2
917403221	-56,18624	-34,888885	1
917567100	-56,170711	-34,908203	2
1862170252	-56,192854	-34,902626	3
917567133	-56,18707	-34,903685	2
917567155	-56,152456	-34,914274	1

917468853	-56,169297	-34,900594	1
917534399	-56,1885	-34,900974	1
917468865	-56,153465	-34,914008	2
917501644	-56,167445	-34,907005	3
917468884	-56,164547	-34,910471	2
917501653	-56,185095	-34,892662	2
917403348	-56,161419	-34,903063	1
917567204	-56,180005	-34,900448	3
917501683	-56,16503	-34,895463	1
917534457	-56,174093	-34,909719	2
917567267	-56,181679	-34,906001	2
917501747	-56,134522	-34,899802	2
917436212	-56,206237	-34,902927	1
917501822	-56,18499	-34,890486	2
917370760	-56,198126	-34,906388	2
917600146	-56,183784	-34,897981	3
917370794	-56,186142	-34,912205	1
917534654	-56,181578	-34,912452	2
917338053	-56,13833	-34,906021	2
917403629	-56,179079	-34,904113	3
917436414	-56,171076	-34,922403	2
917501978	-56,176949	-34,88891	3
917600287	-56,165641	-34,897109	2
917731370	-56,137134	-34,899387	2
917600314	-56,172853	-34,895245	2
917567561	-56,147132	-34,896045	3
917567594	-56,17855	-34,894027	1
917665899	-56,146916	-34,911812	2
917534834	-56,186508	-34,892351	2
917665908	-56,166254	-34,894734	1
917469310	-56,154481	-34,894202	3
917469315	-56,131475	-34,904331	2
917600400	-56,194305	-34,888669	1
917567639	-56,200111	-34,908391	1
917698737	-56,150054	-34,913367	1
917665967	-56,136392	-34,905719	3
1773205686	-56,158023	-34,892003	2
917502172	-56,203845	-34,910165	2
917666022	-56,191101	-34,899296	1
917731560	-56,200335	-34,910775	3
917534957	-56,151126	-34,89034	1
917534966	-56,160403	-34,889691	3
917338367	-56,162481	-34,918491	2
917436694	-56,186372	-34,912166	1
917469472	-56,14863	-34,894997	3
917502274	-56,148372	-34,90588	3
917666144	-56,131938	-34,891436	1
917535081	-56,152651	-34,912204	2
917600634	-56,175173	-34,897729	2
917436804	-56,155681	-34,908384	2
917371277	-56,140694	-34,90735	1
917698957	-56,155733	-34,925456	1
917502400	-56,16246	-34,913295	3
917600717	-56,173286	-34,906408	1
917600724	-56,156402	-34,902271	1
917600732	-56,153076	-34,923677	2
917535261	-56,132611	-34,905165	2
5134252613	-56,19163	-34,913194	2
917469784	-56,178182	-34,910561	2

917568088	-56,15428	-34,89863	1
917535345	-56,184236	-34,909168	1
917568126	-56,200779	-34,910316	2
917404326	-56,164014	-34,897395	3
2507831977	-56,165763	-34,892814	2
917601017	-56,173466	-34,89732	3
917601024	-56,194451	-34,908969	2
3230858044	-56,16138	-34,928402	3
917568327	-56,174734	-34,888728	1
917502796	-56,193117	-34,903186	2
917535566	-56,170811	-34,907258	2
917404511	-56,174399	-34,907322	1
917601138	-56,176899	-34,90449	3
917601161	-56,185936	-34,892688	2
917437331	-56,186092	-34,891174	2
917339071	-56,158345	-34,898763	2
917601217	-56,149829	-34,894326	2
917535690	-56,165881	-34,898035	2
917437401	-56,168992	-34,917588	2
917437433	-56,201939	-34,901465	3
917568519	-56,168544	-34,907088	2
917535778	-56,201444	-34,907413	3
917437494	-56,150931	-34,896462	1
917503029	-56,135681	-34,888477	1
917568584	-56,182281	-34,900604	2
917404823	-56,147581	-34,888828	2
917601451	-56,164233	-34,897567	2
917568692	-56,178439	-34,894843	1
917470397	-56,144241	-34,89397	3
917437629	-56,161331	-34,926988	3
917404866	-56,175824	-34,902862	2
917699789	-56,179527	-34,905531	3
917601498	-56,159299	-34,896478	1
917372123	-56,178274	-34,909675	2
917503205	-56,190299	-34,89747	1
917404931	-56,15269	-34,911172	2
917601548	-56,164096	-34,903591	3
917568797	-56,164628	-34,897342	3
917404996	-56,129436	-34,893419	1
917437778	-56,188249	-34,891276	3
5122227560	-56,149161	-34,920619	2
917437840	-56,166034	-34,898	3
5134253521	-56,191184	-34,913402	2
917503463	-56,195578	-34,890635	1
917437929	-56,16431	-34,901633	1
917732843	-56,154961	-34,914172	3
917732848	-56,180056	-34,904495	1
2152103421	-56,129617	-34,904478	2
917372417	-56,182696	-34,901522	1
917503539	-56,145632	-34,904901	2
917503564	-56,190894	-34,899281	1
917536418	-56,141777	-34,908192	1
917700287	-56,157512	-34,898113	2
917470926	-56,187024	-34,892393	3
917733097	-56,16268	-34,893932	3
917372660	-56,18356	-34,901049	1
917602042	-56,192202	-34,908806	2
917536560	-56,136407	-34,898208	1
917733186	-56,160052	-34,896002	1

917569444	-56,177971	-34,889019	2
917569451	-56,16647	-34,902994	1
917340090	-56,186967	-34,898602	3
917536730	-56,181151	-34,896218	2
3208961713	-56,200078	-34,908189	4
455778403	-56,1934	-34,90639	4
3208961710	-56,211307	-34,906053	4
3208961709	-56,18668	-34,90552	4
3208961715	-56,202886	-34,902906	4
3208961711	-56,203226	-34,906273	4
3208961708	-56,208325	-34,904942	4
3208961712	-56,209058	-34,910698	4
3208961714	-56,204138	-34,909344	4

Datos de sitios de demanda

Coordenada x	Coordenada y	Cantidad de demanda
-56,1563	-34,8956	1640
-56,166251	-34,898029	300
-56,2119	-34,9044	1350
-56,200324	-34,907355	0
-56,19457	-34,89101	2000
-56,1602	-34,8997	0
-56,167344	-34,898294	530
-56,193648	-34,90779	254
-56,170229	-34,907107	50
-56,178321	-34,897053	2000
-56,179785	-34,896024	2000
-56,176467	-34,898474	2000
-56,193659	-34,902161	43
-56,1637	-34,9104	6760
-56,176347	-34,900996	812
-56,20268	-34,908974	187
-56,20124	-34,909441	200
-56,198708	-34,904281	400
-56,196285	-34,906415	100
-56,151842	-34,911247	2000
-56,150261	-34,913192	2000
-56,188681	-34,891652	2000
-56,186281	-34,890392	2000
-56,206742	-34,908177	56
-56,200241	-34,903251	178
-56,202987	-34,906381	63
-56,203412	-34,907108	0
-56,208325	-34,904942	10610
-56,203823	-34,906554	2040
-56,207585	-34,906396	1890
-56,178605	-34,899408	310
-56,174199	-34,902213	60
-56,1625	-34,8945	0
-56,207129	-34,905471	210
-56,201858	-34,907585	2000
-56,162974	-34,911326	2000
-56,162742	-34,913569	2000
-56,165543	-34,910101	2000

-56,171617	-34,908042	2000
-56,167624	-34,909364	2000
-56,169347	-34,908785	2000
-56,167475	-34,909574	2000
-56,16221	-34,911231	2000
-56,202871	-34,905027	21
-56,200616	-34,909479	2000
-56,202694	-34,909162	2000
-56,188716	-34,908479	2000
-56,196491	-34,909061	2000
-56,186328	-34,908326	2000
-56,175969	-34,907588	2000
-56,182854	-34,908089	2000
-56,179393	-34,907836	2000
-56,179393	-34,907836	2000
-56,191849	-34,908721	2000
-56,1605	-34,9294	200
-56,207009	-34,906414	0
-56,206616	-34,907006	0
-56,209234	-34,907119	0
-56,207861	-34,906215	0
-56,204392	-34,904545	0
-56,16225	-34,88796	0
-56,1746	-34,9008	0
-56,205254	-34,902957	0
-56,17322	-34,91232	15392
-56,191	-34,90271	3118
-56,181328	-34,906654	400
-56,1513	-34,8917	0
-56,146434	-34,901368	300
-56,143303	-34,909307	1046
-56,193407	-34,904946	796
-56,141506	-34,900178	210
-56,172743	-34,910039	412
-56,15737	-34,90079	580
-56,156852	-34,907592	440
-56,167549	-34,898297	850
-56,166161	-34,901921	20
-56,178897	-34,90189	2000
-56,18372	-34,90776	2690
-56,19183	-34,905344	100
-56,16856	-34,902024	50
-56,201516	-34,905537	78
-56,197154	-34,906519	20
-56,206461	-34,903719	20
-56,154637	-34,912681	20
-56,193596	-34,904428	150
-56,204875	-34,905255	50
-56,16361	-34,912416	0
-56,153943	-34,903834	1500
-56,165905	-34,915798	602
-56,154572	-34,910882	1500
-56,207541	-34,90656	20
-56,210401	-34,90776	0
-56,191695	-34,904332	61

-56,202112	-34,905564	300
-56,192274	-34,900257	78
-56,185431	-34,902912	85
-56,2073	-34,905109	83
-56,21276	-34,90615	59
-56,173414	-34,901501	0
-56,16035	-34,88905	1800
-56,176992	-34,900933	2000
-56,173523	-34,905229	412
-56,154287	-34,912723	20
-56,19034	-34,903613	20
-56,200288	-34,905003	20
-56,16478	-34,90202	0
-56,17673	-34,90262	15310
-56,178111	-34,901539	0
-56,181508	-34,909797	5
-56,16914	-34,90763	870
-56,17322	-34,91232	5505
-56,156397	-34,913221	0
-56,18572	-34,90906	2300
-56,178963	-34,907933	220
-56,16502	-34,90067	0
-56,194	-34,8986	2000
-56,204567	-34,9059	0
-56,1516	-34,8938	1600
-56,181485	-34,903869	1500
-56,184307	-34,904263	1500
-56,1513	-34,8917	2098
-56,163697	-34,899223	1300
-56,176507	-34,903734	0
-56,1513	-34,8917	3749
-56,17816	-34,90156	3687
-56,18123	-34,90068	5535
-56,190612	-34,903842	0
-56,164615	-34,901098	0
-56,178057	-34,898715	2000
-56,181057	-34,896203	2000
-56,178599	-34,89799	2000
-56,184932	-34,892803	2000
-56,165274	-34,897897	0
-56,194384	-34,90618	1000
-56,195426	-34,906274	1000
-56,193212	-34,906181	1000
-56,181534	-34,890565	0
-56,161609	-34,914105	100
-56,188421	-34,904634	400
-56,187014	-34,905246	400
-56,187622	-34,904569	5
-56,212106	-34,908837	0
-56,211871	-34,908363	0
-56,21146	-34,90816	0
-56,207445	-34,907184	98
-56,200466	-34,905927	150
-56,205883	-34,907717	34
-56,174318	-34,908624	146

-56,190612	-34,903842	8971
-56,199214	-34,901758	21
-56,199068	-34,907033	43
-56,1861	-34,90664	29304
-56,18624	-34,8882	12145
-56,1645	-34,8959	0
-56,207832	-34,90633	2530
-56,14851	-34,913313	2000
-56,1659	-34,913943	2000
-56,178423	-34,898403	300
-56,159986	-34,911836	2000
-56,158252	-34,910768	2000
-56,14995	-34,89224	3059
-56,17873	-34,89941	7697
-56,18298	-34,90586	6242
-56,17596	-34,90358	2920
-56,17673	-34,90262	2538
-56,18888	-34,89384	4273
-56,15148	-34,91726	250
-56,17909	-34,90087	1033
-56,19767	-34,909454	1430
-56,155183	-34,899117	550
-56,200285	-34,908163	2000
-56,179681	-34,903119	2000
-56,184513	-34,895086	2000
-56,178586	-34,906244	2000
-56,178615	-34,904956	2000
-56,185517	-34,893421	2000
-56,196797	-34,910103	2000
-56,187885	-34,909456	2000
-56,17535	-34,908552	2000
-56,184421	-34,909234	2000
-56,180757	-34,90894	2000
-56,199033	-34,910275	2000
-56,177466	-34,908732	2000
-56,172085	-34,908334	2000
-56,194909	-34,909996	2000
-56,190209	-34,909667	2000
-56,1624	-34,8934	0
-56,211307	-34,906053	0
-56,17745	-34,900445	2000
-56,179687	-34,901302	2000
-56,179687	-34,901302	2000
-56,179687	-34,901302	2000
-56,182454	-34,913666	56
-56,181944	-34,89595	2000
-56,179504	-34,908062	2000
-56,180951	-34,902909	2000
-56,179527	-34,905664	2000
-56,2108	-34,90434	1380
-56,202437	-34,906764	1860
-56,190154	-34,904996	2136
-56,175426	-34,901975	2452
-56,212737	-34,905663	1816
-56,207522	-34,906589	1712

-56,186078	-34,906318	9144
-56,185436	-34,892067	440
-56,1661	-34,9166	780
-56,1354	-34,91	400
-56,1586	-34,89775	0
-56,183243	-34,891302	2200
-56,1354	-34,91	400
-56,195674	-34,906055	0
-56,189067	-34,904593	0
-56,186533	-34,90624	0
-56,199448	-34,907105	0
-56,203579	-34,905622	0
-56,204435	-34,907443	0
-56,193114	-34,901873	0
-56,201376	-34,90646	0
-56,178594	-34,912107	0
-56,1373	-34,904	46667
-56,183942	-34,905177	59
-56,164206	-34,898522	10
-56,197244	-34,906422	260
-56,152957	-34,91436	550
-56,183117	-34,900524	550
-56,18778	-34,89228	2135
-56,1629	-34,8988	0
-56,194935	-34,90629	0
-56,1575	-34,8981	810
-56,1575	-34,8981	810
-56,1709	-34,9151	780
-56,1698	-34,915	780
-56,163	-34,9129	780
-56,14295	-34,90972	400
-56,14485	-34,91106	400
-56,1468	-34,91283	400
-56,203226	-34,906273	0
-56,1478	-34,9139	400
-56,1487	-34,9162	400
-56,1489	-34,9175	400
-56,1485	-34,9187	400
-56,180903	-34,902832	200
-56,190482	-34,905186	550
-56,200038	-34,907163	45
-56,1803	-34,9033	200
-56,211251	-34,905144	6010
-56,1591	-34,923	40000
-56,168692	-34,909412	2200
-56,19136	-34,90592	300
-56,209058	-34,910698	0
-56,196582	-34,903296	20
-56,168971	-34,910414	550
-56,19458	-34,906178	300
-56,207357	-34,907334	203
-56,197193	-34,908342	20
-56,171215	-34,898963	20
-56,187624	-34,907483	2000
-56,184253	-34,907223	2000

-56,195498	-34,908054	2000
-56,198685	-34,908261	2000
-56,19094	-34,90774	2000
-56,180981	-34,907001	2000
-56,200078	-34,908189	400
-56,202886	-34,902906	10000
-56,19733	-34,90034	10000
-56,1693	-34,9116	10000
-56,1617	-34,9282	10000
-56,19395	-34,89262	20024
-56,16701	-34,89383	10000
-56,16701	-34,89383	300
-56,16701	-34,89383	43333
-56,175209	-34,895346	1100
-56,15472	-34,88766	2000
-56,147112	-34,897527	350
-56,1603	-34,89667	250
-56,154315	-34,91064	250
-56,173573	-34,901544	100
-56,15012	-34,91063	250
-56,179042	-34,89757	5
-56,17792	-34,898699	0
-56,16331	-34,914961	440
-56,15687	-34,912887	6700
-56,16414	-34,904987	100
-56,13679	-34,90475	1000
-56,2121	-34,9106	200
-56,2102	-34,9114	200
-56,2084	-34,9111	200
-56,190612	-34,903842	6700
-56,162755	-34,905123	250
-56,15316	-34,91682	250
-56,15787	-34,92537	250
-56,15523	-34,90912	250
-56,18549	-34,8887	3840
-56,15316	-34,91682	250
-56,18808	-34,89491	1100
-56,165034	-34,902147	250
-56,15271	-34,9124	250
-56,15316	-34,91682	250
-56,15929	-34,88882	8860
-56,15765	-34,91698	3132
-56,195464	-34,908016	3132
-56,160633	-34,897756	3000
-56,16264	-34,90443	580
-56,173411	-34,901051	0
-56,181552	-34,909799	370
-56,1405	-34,89718	4283
-56,18267	-34,89904	300
-56,1613	-34,9169	370
-56,15796	-34,92069	950
-56,21107	-34,91058	250
-56,1603	-34,92437	53
-56,1846	-34,90689	250
-56,2061	-34,9104	200

-56,2028	-34,9099	200
-56,19426	-34,90599	800
-56,14925	-34,91724	200
-56,19867	-34,90645	480
-56,199569	-34,905819	480
-56,2031	-34,90662	100
-56,1489	-34,92	200
-56,1865	-34,8899	100
-56,172	-34,8973	1020
-56,1631	-34,9064	100
-56,20787	-34,90737	100
-56,208092	-34,907723	100
-56,184881	-34,905527	100
-56,200813	-34,906513	480
-56,1723	-34,9146	250
-56,1748	-34,9143	250
-56,18	-34,9148	250
-56,184	-34,9157	250
-56,1885	-34,9149	250
-56,1496	-34,921	400
-56,152	-34,9229	400
-56,1542	-34,9243	400
-56,1557	-34,9256	400
-56,1578	-34,9273	400
-56,1909	-34,9137	250
-56,1962	-34,9117	250
-56,1986	-34,911	250
-56,1631	-34,9277	800
-56,1657	-34,9261	800
-56,1692	-34,9251	800
-56,1709	-34,9242	800
-56,1709	-34,9221	800
-56,1709	-34,9212	800
-56,1703	-34,9189	800
-56,1696	-34,9157	800
-56,16424	-34,8937	400
-56,16586	-34,8947	26667
-56,1706	-34,9208	400
-56,1539	-34,9215	400
-56,20344	-34,90895	8204
-56,17637	-34,9002	1803
-56,17453	-34,90106	745
-56,20384	-34,90604	6972
-56,1953	-34,8857	18088
-56,17525	-34,90077	1251
-56,19352	-34,89509	1244
-56,19857	-34,90312	82
-56,15357	-34,92012	1131
-56,1625	-34,9223	70

Población por segmento censal:

Población	Coordenada y	Coordenada x
868	-34,902965	-56,202287
487	-34,905039	-56,201185

196	-34,90363	-56,198101
422	-34,90542	-56,198177
959	-34,903254	-56,1954
755	-34,905255	-56,195394
1343	-34,908548	-56,214504
864	-34,904167	-56,206353
192	-34,905847	-56,205644
438	-34,907134	-56,209444
986	-34,907657	-56,20529
339	-34,910152	-56,211839
510	-34,910978	-56,210065
677	-34,910109	-56,206152
407	-34,90864	-56,208749
265	-34,910596	-56,208179
819	-34,909012	-56,203657
837	-34,907305	-56,200205
645	-34,909538	-56,201035
2051	-34,907737	-56,196852
1284	-34,910411	-56,196498
703	-34,911406	-56,198163
994	-34,907581	-56,194598
1893	-34,910684	-56,194227
943	-34,907218	-56,192219
404	-34,90691	-56,18797
718	-34,910178	-56,192061
452	-34,909842	-56,187509
409	-34,913858	-56,189396
816	-34,911946	-56,185173
799	-34,907288	-56,190047
957	-34,907092	-56,185839
516	-34,910013	-56,189818
1225	-34,909682	-56,185217
1110	-34,912467	-56,189506
902	-34,914108	-56,185666
808	-34,900927	-56,193011
982	-34,900875	-56,188528
950	-34,904538	-56,19269
261	-34,904543	-56,18838
1206	-34,901444	-56,19088
1441	-34,901168	-56,186788
466	-34,904365	-56,190369
1050	-34,903598	-56,186888
682	-34,904766	-56,186229
1137	-34,898073	-56,184201
1794	-34,913776	-56,182353
874	-34,91296	-56,178599
429	-34,90021	-56,184802
1224	-34,901973	-56,183774
885	-34,901321	-56,181378
698	-34,905168	-56,182569
568	-34,904517	-56,179608
996	-34,909034	-56,182402
940	-34,908785	-56,178948
116	-34,899584	-56,182245
1080	-34,903711	-56,184771

209	-34,902666	-56,180297
666	-34,906868	-56,182843
1483	-34,9066	-56,179056
453	-34,910855	-56,182151
270	-34,910627	-56,178753
646	-34,903575	-56,18292
194	-34,891032	-56,194075
678	-34,896443	-56,193235
565	-34,893187	-56,187286
1478	-34,896667	-56,186608
1831	-34,894065	-56,191447
1215	-34,894046	-56,183825
1102	-34,891011	-56,18313
1632	-34,897692	-56,189376
1177	-34,894207	-56,182322
1641	-34,896014	-56,181936
205	-34,897922	-56,17965
270	-34,895914	-56,177805
1543	-34,910873	-56,174947
1022	-34,896314	-56,174265
1152	-34,900513	-56,17788
1315	-34,900179	-56,172742
736	-34,902144	-56,177082
991	-34,903372	-56,17149
806	-34,906461	-56,175836
704	-34,906016	-56,172257
601	-34,908041	-56,169834
35	-34,908521	-56,176452
1293	-34,910434	-56,169325
437	-34,913726	-56,176229
735	-34,896594	-56,172075
622	-34,89889	-56,176158
989	-34,899774	-56,170953
723	-34,904116	-56,176114
1290	-34,90214	-56,170341
792	-34,905847	-56,174166
889	-34,905483	-56,170129
813	-34,908689	-56,171708
997	-34,908511	-56,174354
851	-34,913147	-56,171008
978	-34,913567	-56,17311
1148	-34,901184	-56,171563
856	-34,902339	-56,174375
962	-34,910918	-56,171708
940	-34,915395	-56,164221
607	-34,895301	-56,161962
450	-34,924277	-56,156815
445	-34,921059	-56,155501
1291	-34,918497	-56,154748
1396	-34,92045	-56,149128
1141	-34,915869	-56,1531
887	-34,912913	-56,152273
1790	-34,920045	-56,158474
1874	-34,917607	-56,164423
409	-34,917302	-56,157016

1284	-34,916245	-56,16138
804	-34,911974	-56,148839
2286	-34,911677	-56,147764
342	-34,908266	-56,150281
641	-34,90596	-56,153956
626	-34,912109	-56,154968
1066	-34,911021	-56,15736
702	-34,911554	-56,161206
1184	-34,908749	-56,166568
599	-34,908986	-56,162656
1250	-34,90747	-56,156831
990	-34,906324	-56,167458
851	-34,903711	-56,167808
818	-34,903869	-56,162007
1488	-34,905076	-56,158184
544	-34,900927	-56,168377
1384	-34,897954	-56,165554
448	-34,899293	-56,162387
703	-34,901022	-56,159212
531	-34,926519	-56,160675
1300	-34,923556	-56,155106
1189	-34,923231	-56,152408
2056	-34,919033	-56,153
1296	-34,918964	-56,150578
1406	-34,916293	-56,151109
805	-34,913902	-56,150331
1737	-34,921844	-56,160561
1270	-34,919511	-56,163655
451	-34,918641	-56,159581
1432	-34,915792	-56,158454
1098	-34,913119	-56,149309
1915	-34,910671	-56,147321
1251	-34,909686	-56,151297
943	-34,90721	-56,153245
1322	-34,915232	-56,15497
937	-34,912983	-56,157829
110	-34,913002	-56,160368
1139	-34,910503	-56,167043
1189	-34,909041	-56,160978
931	-34,909024	-56,157893
1577	-34,906338	-56,164981
828	-34,903231	-56,165542
1152	-34,905635	-56,161285
1569	-34,904398	-56,156028
1112	-34,899835	-56,167577
734	-34,900498	-56,165599
472	-34,90002	-56,160303
78	-34,901854	-56,157675
822	-34,926013	-56,158748
905	-34,916746	-56,149263
592	-34,909759	-56,153621
815	-34,914097	-56,160986
496	-34,911278	-56,164384
750	-34,90737	-56,16014
1146	-34,891366	-56,171869

1327	-34,891948	-56,174297
1261	-34,893465	-56,177853
220	-34,889747	-56,168031
499	-34,891648	-56,179734
194	-34,891468	-56,169352
321	-34,890726	-56,177221
701	-34,89262	-56,166254
1366	-34,892726	-56,163615
1323	-34,897113	-56,168867
267	-34,893493	-56,168936
1066	-34,888647	-56,163827
1134	-34,886535	-56,161523
942	-34,887107	-56,156378
1265	-34,890698	-56,157638
947	-34,889035	-56,153197
337	-34,88481	-56,154187
278	-34,881448	-56,156552
1934	-34,896942	-56,166877
162	-34,895473	-56,170056
1670	-34,89065	-56,161394
984	-34,885393	-56,159279
202	-34,889103	-56,155182
328	-34,888815	-56,151337
1601	-34,885102	-56,151496
552	-34,882829	-56,155577
1793	-34,907243	-56,139228
444	-34,909904	-56,138001
1213	-34,908555	-56,133537
1456	-34,888133	-56,139191
1579	-34,909213	-56,146581
2085	-34,909128	-56,143808
1119	-34,901349	-56,130038
259	-34,903177	-56,135741
1369	-34,904525	-56,140472
1162	-34,903673	-56,143357
1233	-34,903974	-56,146405
1621	-34,907501	-56,148245
1205	-34,904558	-56,15206
576	-34,900258	-56,15541
1716	-34,900597	-56,15246
1116	-34,899348	-56,148267
1614	-34,898284	-56,144271
575	-34,89987	-56,138551
743	-34,900307	-56,126677
1169	-34,892572	-56,133172
413	-34,897124	-56,140573
412	-34,895583	-56,15436
197	-34,893739	-56,145376
1485	-34,89215	-56,141778
795	-34,891925	-56,138562
1046	-34,89024	-56,146409
1294	-34,89167	-56,150906
1429	-34,910867	-56,145234
1343	-34,908321	-56,142174
1115	-34,904297	-56,128894

1460	-34,901046	-56,133683
735	-34,903413	-56,138907
1392	-34,905829	-56,14269
1601	-34,905941	-56,145382
1837	-34,906176	-56,14809
1298	-34,903834	-56,15001
1256	-34,902258	-56,154263
247	-34,901401	-56,151033
1065	-34,901821	-56,148365
914	-34,900889	-56,143657
541	-34,898516	-56,135505
519	-34,897704	-56,128827
911	-34,89488	-56,135026
1099	-34,895641	-56,137581
1233	-34,895584	-56,147409
265	-34,895335	-56,144059
826	-34,894012	-56,141257
1042	-34,890661	-56,135682
1372	-34,889264	-56,143165
482	-34,892903	-56,148083
1376	-34,896024	-56,12882
1351	-34,894566	-56,131635

ANEXO II CÓDIGO MODELO 1

```

from gurobipy import*
import xlrd
import osmnx as ox
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt

#.....
#Importar mapa de Montevideo desde OSM
north, south, east, west= -34.8880116, -34.9289626, -56.1292294, -56.2154017
G = ox.graph_from_bbox(north, south, east, west)

##Plotearlo e imprimir nro de nodos y arcos OSM
#print ("Nodos G = %s" % (len(G.nodes)))
#print ("Edges G = %s" % (len(G.edges)))
#ox.plot_graph(ox.project_graph(G))

#Reducir arcos y nodos según atributo haghway NX
highways_to_keep = ['primary','secondary','tertiary','oneway'] #elijo que
tipo de vías quiero conservar. Ver de sacarle oneeay
H = nx.MultiDiGraph()
for u, v, attr in G.edges(data=True):
    #if attr['highway'] in highways_to_keep:
        H.add_edge(u, v, attr_dict=attr)
NodesH={}
for u, attr in G.nodes(data=True):
    if u in H:
        NodesH[u]=G.node[u]
#print (NodesH)

#Guardar posicion de nodos en diccionario NX
positions={}
for u in NodesH:
    #print( "y ", NodesH[u]['y'])
    #print ("x ", NodesH[u]['x'])
    positions[u]=(NodesH[u]['x'],NodesH[u]['y'])
    # positions[u][0]=NodesH[u]['y']
    # positions[u][1]=NodesH[u]['x']
#print(positions)

#Guardar posicion de nodos en TXT
file = open("positions.txt", 'w')
for i in positions:
    file.write(str(i))
    file.write(' ')
    file.write(str(positions[i][0]))
    file.write(' ')
    file.write(str(positions[i][1]))
    file.write('\n')
file.close()

#Dibujar mapa en NX e imprimir ndos y arcos
print ("Nodos H = %s" % (H.number_of_nodes()))
print ("Arcos H = %s" % (H.number_of_edges()))
Antes=nx.draw(H, positions, arrows=False, with_labels=False,
node_size=2,edge_linewidth=1.5, edge_color="b")

```

```

#-----
#RESOLUCION UTILIZANDO GUROBI

#PARAMETROS
#Costes de estaciones y bicicletas
Coste15 = 18.5
Coste25 = 26.5
Coste35 = 37.5
CosteB = 0.4
P = 2500 #Presupuesto Total

r = 2 #Ratio anclajes/bicicletas
Dmin = 0.003 #Distancia mínima entre estaciones
Dlim = 0.0025 #Distancia
bo = 80

#Coordenadas que delimitan las zonas
#Zona=[limite inferior x, limite inferior y, limite superior x, limite
superior y, Poblacion]
Z1 = [-56.2154,-34.9289,-56.1841,-34.8880]
Z2 = [-56.1841,-34.9289,-56.1625,-34.8880]
Z3 = [-56.1625,-34.9289,-56.1292,-34.8963]
Z4 = [-56.1625,-34.8963,-56.1292,-34.8880]
ZT = [-56.2154,-34.9289,-56.1292,-34.8880]

#-----
#DATOS

#Leer coordenadas y tipos de estacion disponible en nodos potenciales
workbook = xlrd.open_workbook('Nodos.xlsx')
worksheet = workbook.sheet_by_name('Tipo_estacion')

Nodos = {}
for i in range(1594):
    for j in range(3):
        Nodo = int(worksheet.cell(i,0).value)
        x = worksheet.cell(i,1).value
        y = worksheet.cell(i,2).value
        Tipo_estacion = worksheet.cell(i,3).value
        Nodos [Nodo]= x , y , Tipo_estacion
#print("nodos", Nodos)

#Agrupar nodos según tipo de estacion disponible
Set_35 = []
for i in Nodos:
    if Nodos[i][2] == 3:
        Set_35.append(i)
Set_25 = []
for i in Nodos:
    if Nodos[i][2] == 2 or Nodos[i][2] == 3:
        Set_25.append(i)
Set_15 = []
for i in Nodos:
    if Nodos[i][2] == 1 or Nodos[i][2] == 2 or Nodos[i][2] == 3:
        Set_15.append(i)

Set_Existentes = {}
for i in Nodos:
    if Nodos[i][2] == 4:
        Set_Existentes[i]=(Nodos[i][0],Nodos[i][1])
print(Set_Existentes)

```

```

#Asignar zona a nodos potenciales
Zona={}
#Zona1 = []
#Zona2 = []
#Zona3 = []
#Zona4 = []
for i in Nodos:
    if Nodos[i][0] < Z1[2]:
        Zona[i]=1
        #Zona1.append(i)
    elif Nodos[i][0] < Z2[2] and Nodos[i][0] > Z2[0]:
        Zona[i]=2
        #Zona2.append(i)
    elif Nodos[i][0] > Z3[0] and Nodos[i][1] > Z3[3]:
        Zona[i]=3
        #Zona3.append(i)
    else:
        Zona[i]=4
        #Zona4.append(i)
#print(Zona1)

#Unificar información
#Numero de nodo = coordenada x, coordenada y, tipo estacion disponible, zona
for i in Nodos:
    Nodos[i] = Nodos[i][0], Nodos[i][1], Nodos[i][2], Zona[i]
#print("INFO de nodos",Nodos)

#Calcular distancias entre nodos
Distancias = {}
for i in Nodos:
    for j in Nodos:
        if i != j:
            d = ((Nodos[i][0] - Nodos[j][0])**2.0 + (Nodos[i][1] -
Nodos[j][1])**2.0) **0.5
            Distancias[i,j] = (d)

#Leer coordenadas, identificacion y cuantificacion de puntos de demanda
workbook = xlrd.open_workbook('MVD POINTS.xlsx')
worksheet = workbook.sheet_by_name('Demanda')

Demanda = {}
for i in range(361): #como puedo poner estos numeros como dato (o que me lea
toda la hoja)
    for j in range(3):
        x = worksheet.cell(i,0).value
        y = worksheet.cell(i,1).value
        Cantidad = worksheet.cell(i,3).value
        Demanda[i+1] = x , y , Cantidad
#print("demanda",Demanda)

workbook = xlrd.open_workbook('Personas por segmento.xlsx')
worksheet = workbook.sheet_by_name('Detalle')

for i in range(243):
    for j in range(5):
        x = worksheet.cell(i,4).value
        y = worksheet.cell(i,3).value
        Poblacion = worksheet.cell(i,0).value
        Demanda [i + 362]= x , y , Poblacion

#-----
#MODELO

```



```

m = Model("Bicis")

#VARIABLES

z = {}
z = m.addVar(vtype = GRB.INTEGER , name="Total_bicis")

e15 = {}
e25 = {}
e35 = {}
for i in Nodos:
    e15[i] = m.addVar(vtype = GRB.BINARY, name = "Estacion_de_15_%s" %i)
    e25[i] = m.addVar(vtype = GRB.BINARY, name = "Estacion_de_25_%s" %i)
    e35[i] = m.addVar(vtype = GRB.BINARY, name = "Estacion_de_35_%s" %i)

x = {}
for i in Nodos:
    x[i] = m.addVar(vtype = GRB.BINARY, name = "Nodo_estación_%s" %i)

y = {}
for i in Demanda:
    y[i] = m.addVar(vtype = GRB.BINARY, name = "Demanda_%s" %i)

m.update()

#RESTRICCIONES
Nodos2= Nodos.copy()
for i in Set_Existentes:
    del(Nodos2[i])

#Satisfacer demanda
for j in Demanda:
    lista={}
    for i in Nodos:
        if (((Nodos[i][0]- Demanda[j][0])**2 + (Nodos[i][1] -
Demanda[j][1])**2)**0.5) <= Dlim:
            lista[i] = Nodos[i]
    # m.addConstr(quicksum(x[i] for i in lista) - 1 <= len(lista)*y[j], name =
"cubrir_demandaA_%s" %j)
    m.addConstr(y[j] <= quicksum(x[i] for i in lista), name =
"cubrir_demandaB_%s" %j)

#Tipo de estación según cantidad de demanda
SumaDemandas = {}
for i in Nodos2:
    SumaDemandas[i] = 0.0
    for j in Demanda:
        if (((Nodos2[i][0]- Demanda[j][0])**2 + (Nodos2[i][1] -
Demanda[j][1])**2)**0.5) <= Dlim:
            SumaDemandas[i] = SumaDemandas[i] + Demanda[j][2]

Valores=[]
for i in SumaDemandas:
    Valores.append(SumaDemandas[i])
#print(Valores)

Max = max(Valores)
#print(Max)
#print(len(SumaDemandas))

for i in Nodos2:
    if SumaDemandas[i] >= Max*0.5:
        m.addConstr (x[i] == e35[i], name = "a_%s" %i)

```

```

if SumaDemandas[i] >= Max*0.25 and SumaDemandas[i] < Max*0.5:
    m.addConstr( e25[i] == x[i] , name = "b_%s" %i )
if SumaDemandas[i] < Max*0.25:
    m.addConstr( e15[i] == x[i], name = "c_%s" %i )

#Anulación de activacion de variables imposibles (tipos de estaciones)
S15 = set(Set_15)
S25 = set(Set_25)
S35 = set(Set_35)
Sno35 = S15-S35
Sno35no25 = S15-S25-S35

m.addConstr(quicksum(e35[i] for i in Sno35) == 0)
m.addConstr(quicksum(e25[i] for i in Sno35no25) == 0)

#Restriccion distancia minima entre estaciones sacando las existentes
for i in Nodos:
    for j in Nodos:
        if i > j:
            if Distancias[i,j] < Dmin:
                m.addConstr(x[j] <= 1- x[i], name = "Distancia_minima_%s_%s"
%(i,j))

#Relacion entre variables
for i in Nodos:
    m.addConstr(e15[i] + e25[i] + e35[i] == x[i], name =
"Total_estaciones_%s" %i))

#Restriccion presupuesto
m.addConstr(Coste35*(quicksum(e35[i] for i in Nodos2)) +
Coste25*quicksum(e25[i] for i in Nodos2) +
Coste15*(quicksum(e15[i] for i in Nodos2) )) +
CosteB*(z) <= P, name = "Presupuesto_total" )

#Estaciones actuales
for i in Set_Existentes:
    m.addConstr(e15[i] == 1, name = "Estaciones existentes_%s" %i))

#Relacion bicicletas y estaciones (anclajes)
m.addConstr(quicksum(e15[i] for i in Nodos2)*15*(1/r) + quicksum(e25[i] for i
in Nodos2)*25*(1/r) +
quicksum(e35[i] for i in Nodos2)*35*(1/r) == z, name =
"Relación_de_bicicletas_con_estaciones")

#FUNCION OBJETIVO
m.setObjective(quicksum(Demanda[j][2]*y[j] for j in Demanda ), GRB.MAXIMIZE)

m.write("Bicis.lp")

m.Params.timeLimit=50
m.optimize()

#-----
print("Cantidad de estaciones asignadas:", quicksum(x[i] for i in
Nodos).getValue())
print("Cantidad de estaciones 15 asignadas:", quicksum(e15[i] for i in
Nodos).getValue())
print("Cantidad de estaciones 25 asignadas:", quicksum(e25[i] for i in
Nodos).getValue())
print("Cantidad de estaciones 35 asignadas:", quicksum(e35[i] for i in
Nodos).getValue())

```

```

print("Cantidad de sitios de demanda cubierta:", quicksum(y[i] for i in
Demanda).getValue())

Est_15=[]
Est_25=[]
Est_35=[]
Estaciones =[]
for i in Nodos:
    if e15[i].x == 1:
        #print("Estaciones_15",i,e15[i].x)
        Est_15.append(i)
        Estaciones.append(i)
    if e25[i].x == 1:
        # print("Estaciones_25",i,e25[i].x)
        Est_25.append(i)
        Estaciones.append(i)
    if e35[i].x == 1:
        print("Estaciones_35",i,e35[i].x)
        Est_35.append(i)
        Estaciones.append(i)

print("Cantidad de bicicletas:", z.x + bo)

#Agregar posiciones existentes a mapa nx
for i in Set_Existentes:
    positions[i]=(Set_Existentes[i][0],Set_Existentes[i][1])

#DIBUJAR MAPA NX solo con estaciones
nx.draw_networkx_nodes(H, positions, Est_25,arrows=False, with_labels=False,
node_size=9, node_color="green")
nx.draw_networkx_nodes(H, positions, Est_15, arrows=False, with_labels=False,
node_size=9, node_color="red")
nx.draw_networkx_nodes(H, positions, Est_35,arrows=False, with_labels=False,
node_size=9, node_color="blue")
nx.draw_networkx_nodes(H, positions, Set_Existentes,arrows=False,
with_labels=False, node_size=9, node_color="yellow")
nx.draw_networkx_edges(H, positions, arrows=False,
with_labels=False,edge_linewidth=1.0, edge_color="silver")
plt.savefig("Modelo 1.png")

```

ANEXO III CÓDIGO MODELO 2

```

from gurobipy import*
import xlrd
import osmnx as ox
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt

#.....
#Importar mapa de Montevideo desde OSM
north, south, east, west= -34.8880116, -34.9289626, -56.1292294, -56.2154017
G = ox.graph_from_bbox(north, south, east, west)

##Plotearlo e imprimir nro de nodos y arcos OSM
#print ("Nodos G = %s" % (len(G.nodes)))
#print ("Edges G = %s" % (len(G.edges)))
#ox.plot_graph(ox.project_graph(G))

#Reducir arcos y nodos según atributo haghway NX
highways_to_keep = ['primary','secondary','tertiary','oneway'] #elijo que
tipo de vías quiero conservar. Ver de sacarle oneeay
H = nx.MultiDiGraph()
for u, v, attr in G.edges(data=True):
    #if attr['highway'] in highways_to_keep:
        H.add_edge(u, v, attr_dict=attr)
NodesH={}
for u, attr in G.nodes(data=True):
    if u in H:
        NodesH[u]=G.node[u]
#print (NodesH)

#Guardar posicion de nodos en diccionario NX
positions={}
for u in NodesH:
    #print( "y ", NodesH[u]['y'])
    #print ("x ", NodesH[u]['x'])
    positions[u]=(NodesH[u]['x'],NodesH[u]['y'])
    # positions[u][0]=NodesH[u]['y']
    # positions[u][1]=NodesH[u]['x']
#print(positions)

#Guardar posicion de nodos en TXT
file = open("positions.txt", 'w')
for i in positions:
    file.write(str(i))
    file.write(' ')
    file.write(str(positions[i][0]))
    file.write(' ')
    file.write(str(positions[i][1]))
    file.write('\n')
file.close()

#Dibujar mapa en NX e imprimir ndos y arcos
print ("Nodos H = %s" % (H.number_of_nodes()))
print ("Arcos H = %s" % (H.number_of_edges()))
Antes=nx.draw(H, positions, arrows=False, with_labels=False,
node_size=2,edge_linewidth=1.5, edge_color="b")

```

```

#-----
#RESOLUCION UTILIZANDO GUROBI

#PARAMETROS
#Costes de estaciones y bicicletas
Coste15 = 18.5
Coste25 = 26.5
Coste35 = 37.5
CosteB = 0.4
P = 2500 #Presupuesto Total

r = 2 #Ratio anclajes/bicicletas
Dmin = 0.003 #Distancia mínima entre estaciones
Dlim = 0.0025 #Distancia
bo = 80

#Coordenadas que delimitan las zonas
#Zona=[limite inferior x, limite inferior y, limite superior x, limite
superior y, Poblacion]
Z1 = [-56.2154,-34.9289,-56.1841,-34.8880]
Z2 = [-56.1841,-34.9289,-56.1625,-34.8880]
Z3 = [-56.1625,-34.9289,-56.1292,-34.8963]
Z4 = [-56.1625,-34.8963,-56.1292,-34.8880]
ZT = [-56.2154,-34.9289,-56.1292,-34.8880]

#-----
#DATOS

#Leer coordenadas y tipos de estacion disponible en nodos potenciales
workbook = xlrd.open_workbook('Nodos.xlsx')
worksheet = workbook.sheet_by_name('Tipo_estacion')

Nodos = {}
for i in range(1594):
    for j in range(3):
        Nodo = int(worksheet.cell(i,0).value)
        x = worksheet.cell(i,1).value
        y = worksheet.cell(i,2).value
        Tipo_estacion = worksheet.cell(i,3).value
        Nodos [Nodo]= x , y , Tipo_estacion
#print("nodos", Nodos)

#Agrupar nodos según tipo de estacion disponible
Set_35 = []
for i in Nodos:
    if Nodos[i][2] == 3:
        Set_35.append(i)
Set_25 = []
for i in Nodos:
    if Nodos[i][2] == 2 or Nodos[i][2] == 3:
        Set_25.append(i)
Set_15 = []
for i in Nodos:
    if Nodos[i][2] == 1 or Nodos[i][2] == 2 or Nodos[i][2] == 3:
        Set_15.append(i)

Set_Existentes = {}
for i in Nodos:
    if Nodos[i][2] == 4:
        Set_Existentes[i]=(Nodos[i][0],Nodos[i][1])
print(Set_Existentes)

```

```

#Asignar zona a nodos potenciales
Zona={}
#Zona1 = []
#Zona2 = []
#Zona3 = []
#Zona4 = []
for i in Nodos:
    if Nodos[i][0] < Z1[2]:
        Zona[i]=1
        #Zona1.append(i)
    elif Nodos[i][0] < Z2[2] and Nodos[i][0] > Z2[0]:
        Zona[i]=2
        #Zona2.append(i)
    elif Nodos[i][0] > Z3[0] and Nodos[i][1] > Z3[3]:
        Zona[i]=3
        #Zona3.append(i)
    else:
        Zona[i]=4
        #Zona4.append(i)
#print(Zona1)

#Unificar información
#Numero de nodo = coordenada x, coordenada y, tipo estacion disponible, zona
for i in Nodos:
    Nodos[i] = Nodos[i][0], Nodos[i][1], Nodos[i][2], Zona[i]
#print("INFO de nodos",Nodos)

#Calcular distancias entre nodos
Distancias = {}
for i in Nodos:
    for j in Nodos:
        if i != j:
            d = ((Nodos[i][0] - Nodos[j][0])**2.0 + (Nodos[i][1] -
Nodos[j][1])**2.0) **0.5
            Distancias[i,j] = (d)

#Leer coordenadas, identificacion y cuantificacion de puntos de demanda
workbook = xlrd.open_workbook('MVD POINTS.xlsx')
worksheet = workbook.sheet_by_name('Demanda')

Demanda = {}
for i in range(361): #como puedo poner estos numeros como dato (o que me lea
toda la hoja)
    for j in range(3):
        x = worksheet.cell(i,0).value
        y = worksheet.cell(i,1).value
        Cantidad = worksheet.cell(i,3).value
        Demanda[i+1] = x , y , Cantidad
#print("demanda",Demanda)

workbook = xlrd.open_workbook('Personas por segmento.xlsx')
worksheet = workbook.sheet_by_name('Detalle')

for i in range(243):
    for j in range(5):
        x = worksheet.cell(i,4).value
        y = worksheet.cell(i,3).value
        Poblacion = worksheet.cell(i,0).value
        Demanda [i + 362]= x , y , Poblacion

#-----
#MODELO

```

```

m = Model("Bicis")

#VARIABLES

z = {}
z = m.addVar(vtype = GRB.INTEGER , name="Total_bicis")

e15 = {}
e25 = {}
e35 = {}
for i in Nodos:
    e15[i] = m.addVar(vtype = GRB.BINARY, name = "Estacion_de_15_%" %i)
    e25[i] = m.addVar(vtype = GRB.BINARY, name = "Estacion_de_25_%" %i)
    e35[i] = m.addVar(vtype = GRB.BINARY, name = "Estacion_de_35_%" %i)

x = {}
for i in Nodos:
    x[i] = m.addVar(vtype = GRB.BINARY, name = "Nodo_estación_%" %i)

y = {}
for i in Demanda:
    y[i] = m.addVar(vtype = GRB.BINARY, name = "Demanda_%" %i)

F = {}
for i in Nodos:
    F[i] = m.addVar(vtype = GRB.CONTINUOUS, lb = 0.0 , name = "F_%" %i)

m.update()

#RESTRICCIONES
Nodos2= Nodos.copy()
for i in Set_Existentes:
    del(Nodos2[i])

#Satisfacer demanda
for j in Demanda:
    lista={}
    for i in Nodos:
        if (((Nodos[i][0]- Demanda[j][0])**2 + (Nodos[i][1] -
        Demanda[j][1])**2)**0.5) <= Dlim:
            lista[i] = Nodos[i]
    m.addConstr(quicksum(x[i] for i in lista) - 1 <= len(lista)*y[j], name =
    "cubrir_demandaA_%" %j)
    m.addConstr(y[j] <= quicksum(x[i] for i in lista), name =
    "cubrir_demandaB_%" %j)

#Tipo de estación según cantidad de demanda
SumaDemandas = {}
for i in Nodos:
    SumaDemandas[i] = 0.0
    for j in Demanda:
        if (((Nodos[i][0]- Demanda[j][0])**2 + (Nodos[i][1] -
        Demanda[j][1])**2)**0.5) <= Dlim:
            SumaDemandas[i] = SumaDemandas[i] + Demanda[j][2]
Valores=[]
for i in SumaDemandas:
    Valores.append(SumaDemandas[i])
print(Valores)

Max = max(Valores)
print(Max)

```

```

print(len(SumaDemandas))

for i in Nodos:
    if SumaDemandas[i] >= Max*0.5:
        m.addConstr (F[i] == e35[i]*SumaDemandas[i] + e25[i]*Max*0.5 +
            e15[i]*Max*0.25, name = "a_%s" %i)
    if SumaDemandas[i] >= Max*0.25 and SumaDemandas[i] < Max*0.5:
        m.addConstr( e25[i]*SumaDemandas[i] + e15[i]*Max*0.25 == F[i] , name
            = "b_%s" %i )
    if SumaDemandas[i] < Max*0.25:
        m.addConstr( e15[i]*SumaDemandas[i] == F[i], name = "c_%s" %i )

#Anulo activacion de variables imposibles (tipos de estaciones )
S15 = set(Set_15)
S25 = set(Set_25)
S35 = set(Set_35)
Sno35 = S15-S35
Sno35no25 = S15-S25-S35

m.addConstr(quicksum(e35[i] for i in Sno35) == 0)
m.addConstr(quicksum(e25[i] for i in Sno35no25) == 0)

#Restriccion distancia minima entre estaciones sacando las existentes
for i in Nodos:
    for j in Nodos:
        if i > j:
            if Distancias[i,j] < Dmin:
                m.addConstr(x[j] <= 1- x[i], name = "Distancia_minima_%s_%s"
                    %i,j))

#Relacion entre variables
for i in Nodos:
    m.addConstr(e15[i] + e25[i] + e35[i] == x[i], name =
        "Total_estaciones_%s" %i)

#Restriccion presupuesto
m.addConstr(Coste35*(quicksum(e35[i] for i in Nodos2)) +
    Coste25*quicksum(e25[i] for i in Nodos2) +
    Coste15*(quicksum(e15[i] for i in Nodos2) )) +
    CosteB*(z) <= P, name = "Presupuesto_total" )

#Estaciones actuales
for i in Set_Existentes:
    m.addConstr(e15[i] == 1, name = "Estaciones_existentes_%s" %i)

#Relacion bicicletas y estaciones (anclajes)
m.addConstr(quicksum(e15[i] for i in Nodos2)*15*(1/r) + quicksum(e25[i] for i
    in Nodos2)*25*(1/r) +
    quicksum(e35[i] for i in Nodos2)*35*(1/r) == z, name =
    "Relación_de_bicicletas_con_estaciones")

#FUNCION OBJETIVO
m.setObjective(quicksum(Demanda[j][2]*y[j] for j in Demanda + quicksum(F[i]
    for i in Nodos ), GRB.MAXIMIZE)

m.write("Bicis.lp")

m.Params.timeLimit=50
m.optimize()

#-----

```



```

print("Cantidad de estaciones asignadas:", quicksum(x[i] for i in
    Nodos).getValue())
print("Cantidad de estaciones 15 asignadas:", quicksum(e15[i] for i in
    Nodos).getValue())
print("Cantidad de estaciones 25 asignadas:", quicksum(e25[i] for i in
    Nodos).getValue())
print("Cantidad de estaciones 35 asignadas:", quicksum(e35[i] for i in
    Nodos).getValue())
print("Cantidad de sitios de demanda cubierta:", quicksum(y[i] for i in
    Demanda).getValue())

Est_15=[]
Est_25=[]
Est_35=[]
Estaciones =[]
for i in Nodos:
    if e15[i].x == 1:
        #print("Estaciones_15",i,e15[i].x)
        Est_15.append(i)
        Estaciones.append(i)
    if e25[i].x == 1:
        # print("Estaciones_25",i,e25[i].x)
        Est_25.append(i)
        Estaciones.append(i)
    if e35[i].x == 1:
        print("Estaciones_35",i,e35[i].x)
        Est_35.append(i)
        Estaciones.append(i)

print("Cantidad de bicicletas:", z.x + bo)

#Agregar posiciones existentes a mapa nx
for i in Set_Existentes:
    positions[i]=(Set_Existentes[i][0],Set_Existentes[i][1])

#DIBUJAR MAPA NX solo con estaciones
nx.draw_networkx_nodes(H, positions, Est_25,arrows=False, with_labels=False,
    node_size=9, node_color="green")
nx.draw_networkx_nodes(H, positions, Est_15, arrows=False, with_labels=False,
    node_size=9, node_color="red")
nx.draw_networkx_nodes(H, positions, Est_35,arrows=False, with_labels=False,
    node_size=9, node_color="blue")
nx.draw_networkx_nodes(H, positions, Set_Existentes,arrows=False,
    with_labels=False, node_size=9, node_color="yellow")
nx.draw_networkx_edges(H, positions, arrows=False,
    with_labels=False,edge_linewidth=1.0, edge_color="silver")
plt.savefig("Modelo 2.png")

```