



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### DIMENSIONAMIENTO Y ALGORITMO PARA LA DISTRIBUCIÓN DE ELECTROLINERAS ALIMENTADAS POR SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA RECARGA DE BICICLETAS ELÉCTRICAS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO

**CHAVARREA CAÑIZARES EVELYN MELISA**

**evelyn.chavarrea@epn.edu.ec**

**MERA MOLINA IVÁN GABRIEL**

**ivan.mera@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: ING. ORDOÑEZ FREDDY, Ph.D.**

**freddy.ordonez@epn.edu.ec**

**CO-DIRECTOR: ING. SORIA RAFAEL, D.Sc.**

**rafael.soria01@epn.edu.ec**

**Quito, Septiembre 2018**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **CHAVARREA CAÑIZARES EVELYN MELISA Y MERA MOLINA IVÁN GABRIEL**, bajo nuestra supervisión.

---

ING. FREDDY ORDOÑEZ, Ph.D.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

ING. RAFAEL SORIA, D.Sc.

**CODIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Nosotros, **Chavarrea Cañizares Evelyn Melisa y Mera Molina Iván Gabriel**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Chavarrea Cañizares Evelyn Melisa

---

Mera Molina Iván Gabriel

## DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar principal en mi vida, por haber confiado siempre en mí incluso cuando yo no lo hacía, por haberme enseñado grandes valores que me hacen ser la persona que soy y son mi mayor ejemplo de esfuerzo, fortaleza y superación, sé que mi vida no me alcanzará para agradecerles todo lo que me han dado y todo lo que han hecho por mí.

A William mi querido hermano mayor que siempre ha estado conmigo a pesar de las peleas discusiones por su apoyo no solo económico sino sentimental y sobre todo por los consejos que me has dado que me permitieron llegar aquí y querer ser siempre mejor.

A mi hermano Diego por siempre apoyarme y demostrarme que siempre es posible salir adelante a pesar de los problemas o adversidades y en especial por darnos a toda la familia una hermosa pequeña que siempre con su inocencia logra hacerme sonreír incluso en los días de estrés, malas noches y ser esa pequeña chispa que te recuerda lo hermosa, simple y sencilla que es la vida.

A todos mis amigos que de una u otra forma son parte de lo que me he convertido la familia que uno escoge, nueva y muy diversa además de haber compartido muchas alegrías y tristezas

Finalmente a Gabriel por ser ese amigo y compañero de vida durante todo este tiempo, por haber sido parte de mis alegrías y tristezas, por haberme acompañado en mis triunfos y más aún en las derrotas y darme fuerzas para continuar.

Chavarrea Melisa

## DEDICATORIA

A mi familia, empezando por mis padres los cuales no solo han sido el apoyo fundamental sino un gran ejemplo de perseverancia, trabajo, disciplina, respeto y honradez durante todos estos años de vida.

A mi hermana que me ha enseñado el valor de luchar por tus sueños y siempre buscar la excelencia. Y a mi hermano, que con sus juegos e inocencia me recuerda lo más importante que siempre hay que disfrutar de las pequeñas cosas de la vida y no tomárnosla muy en serio.

A mis amigos, la familia que uno escoge, las personas que siempre están ahí y con los que he compartido un sin número de alegrías, pero principalmente han estado en momentos difíciles, siempre siendo el apoyo desinteresado que he necesitado

Finalmente a Melisa, por ser el apoyo incondicional durante estos años, por la paciencia y sobre todo por ser la persona incondicional con la que he compartido sueños, alegrías, penas, victorias, derrotas y siempre permitirme sostener su mano para caminar hacia adelante.

Mera Gabriel

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por todas las bendiciones que me ha dado principalmente por brindarme la  
dicha de tenernos a mi lado

A todas las personas e instituciones que colaboraron con mi educación a lo largo  
de todo este tiempo y en especial a los DSc Rafael Soria y PhD Freddy Ordóñez  
quienes fueron los mentores en la realización de este trabajo, especialmente por  
todo el tiempo y esfuerzo que nos supieron brindar para su culminación.

Chavarrea Melisa

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por cada día de vida, pero principalmente por permitirme tener a mi familia  
y mis amigos junto a mi todos estos años.

A mis maestros, que durante toda mi vida académica desde la escuela, colegio y  
finalmente en la universidad, los que han sabido guiarme no solamente en mi  
desarrollo como profesional, sino en mi crecimiento como persona, siendo un  
ejemplo de profesionalismo e inculcándome la responsabilidad que tenemos con  
el desarrollo de nuestro país. En especial a, Dr. Freddy Ordoñez y Dsc. Rafael  
Soria, que son los mentores del presente trabajo, por su paciencia y tiempo  
durante este tiempo.

A todas las instituciones que colaboraron en el desarrollo del presente trabajo.

Mera Gabriel

# ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
Pregunta de Investigación.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Alcance.....	2
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Historia de la bicicleta moderna.....	3
1.2. La bicicleta eléctrica.....	4
1.2.1. Partes de la bicicleta eléctrica.....	5
1.3. Historia y evolución de los Sistema de bicicleta compartida.....	5
1.4. Producción Fotovoltaica.....	8
1.5. Estación de carga para bicicletas eléctricas (electrolinera).....	9
1.6. Movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ).....	10
1.6.1. La situación actual de la movilidad DMQ.....	11
1.6.2. La bicicleta en la ciudad de Quito.....	11
1.7. Herramientas de simulación.....	12
1.7.1. ArcGIS.....	12
1.7.2. PVsyst.....	13
2. METODOLOGÍA.....	14

2.1.	Criterio para la selección del modelo .....	14
2.2.	Recolección de datos .....	15
2.2.1.	Paradas del sistema “Bici-Quito” .....	16
2.2.2.	Puntos de demanda o puntos atractores .....	19
2.2.3.	Caracterización de la bicicleta eléctrica estándar .....	22
2.3.	Cálculo de los escenarios en ArcGIS .....	23
2.3.1.	Modelo matemático utilizado para la localización de las electrolinerías en el DMQ en el software ArcGIS .....	23
2.3.2.	Proceso realizado para el cálculo. ....	29
2.4.	Simulación en PV-Syst .....	35
2.4.1.	Información meteorológica en el DMQ .....	35
2.4.2.	Orientación del arreglo fotovoltaico .....	36
2.4.3.	Requerimientos del usuario .....	37
2.4.4.	Análisis de sombras en el sistema fotovoltaico .....	38
2.4.5.	Elementos del sistema fotovoltaico aislado .....	41
2.4.6.	Parámetros de pérdidas del sistema fotovoltaico .....	43
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	44
3.1.	Análisis de datos obtenidos .....	44
3.1.1.	Categorización de las paradas del sistema .....	47
3.1.2.	Sub-zonificación .....	49
3.1.3.	Análisis de tamaño de la estación de recarga .....	50
3.1.4.	Cálculo del número de estaciones necesarias en los escenarios de simulación .....	53
3.1.5.	Atractividad de los puntos de demanda .....	54
3.2.	Ubicación de las estaciones de recarga por escenarios .....	55
3.2.1.	Primer escenario .....	55
3.2.2.	Segundo escenario .....	58
3.2.3.	Tercer escenario .....	61
3.3.	Simulación de las electrolinerías programa PVsyst .....	64
3.3.1.	Dimensionamiento de las electrolinerías .....	64

3.3.2. Efecto del seguimiento solar en la producción de energía .....	65
4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	73
4.1. Conclusiones .....	73
4.2. Trabajos futuros.....	75
Referencias Bibliográficas .....	76
ANEXO I.....	78
ANEXO II.....	83
ANEXO III, IV, V .....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Partes de la bicicleta eléctrica.....	4
Figura 1.2. Bicicletas blancas de Amsterdam. ....	6
Figura 1.3. Modelo ganador para Copenhague.....	6
Figura 1.4. Sistema de bicicleta compartida SAMBA Rio de Janeiro.....	7
Figura 1.5. Estación del sistema de bicicletas públicas de Parma con tejadillo fotovoltaico. ....	7
Figura 1.6. Consumo mundial de energía por fuente de energía. ....	8
Figura 1.7. Atlas Solar del potencial fotovoltaico del Ecuador. ....	9
Figura 1.8. Proporción de la distribución modal de viajes desglosada por modos de transporte-2014. ....	11
Figura 2.1. Modelo clásico de modelamiento de sistemas de transporte de cuatro etapas.....	14
Figura 2.2. Estaciones BICIQUITO. ....	19
Figura 2.3. Perímetro de circulación BICIQUITO. ....	19
Figura 2.4. Densidad poblacional por manzanas 2010.....	20
Figura 2.5. Puntos atractores de la población. ....	21
Figura 2.6. Bicicleta estándar - Cuarta generación. ....	22
Figura 2.7. Método de sustitución de vértices Teiz-Bart.....	27
Figura 2.8. Ejemplo transformación de impedancia.....	28
Figura 2.9. Solución transformación lineal. ....	29
Figura 2.10. Solución transformación potencial.....	29
Figura 2.11. Solución transformación exponencial. ....	29
Figura 2.12. Zonificación del DMQ.....	30
Figura 2.13. Red de análisis "Calles de Quito". ....	31
Figura 2.14. Escenarios variando el número de escenarios. ....	34
Figura 2.15. Orientación panel fotovoltaico. ....	37
Figura 2.16. Distribución horaria PV-Syst. ....	38
Figura 2.17. Perfil de sombras de la ciudad de Quito.....	39
Figura 2.18. Escenarios de sombras cercas PV-Syst.....	40
Figura 2.19. Esquema sistema fotovoltaico aislado .....	41
Figura 3.1. Cuadro de análisis de demanda por estación del sistema BiciQ. ....	45
Figura 3.2. Análisis de los movimientos del sistema BiciQ en los diferentes horarios. ....	45
Figura 3.3. Análisis de los movimientos del sistema BiciQ en los diferentes horarios. ....	46
Figura 3.4. Sub-zonificación de la ciudad de Quito. ....	49

Figura 3.5. Estaciones de recarga seleccionadas por el programa ArcGIS, primer escenario.....	57
Figura 3.6. Estaciones de recarga seleccionadas por el programa ArcGIS, segundo escenario.....	60
Figura 3.7. Estaciones de recarga seleccionadas por el programa ArcGIS, tercer escenario.....	62
Figura 3.8. Rendimiento escenario "Parque - electrolinera mediana".....	67
Figura 3.9. Energía producida y energía requerida en el escenario "Norte- pequeña".	68
Figura 3.10. Análisis mensual la electrolinera en el escenario "Centro Norte mediana".	69
Figura 3.11. Comportamiento semanal de la electrolinera escenario "Centro Norte mediana".	69
Figura 3.12. Radiación efectiva incidente electrolinera "Centro Norte mediana"-10 de septiembre.....	70
Figura 3.13. Radiación efectiva incidente - electrolinera "Centro Norte mediana"-1 de diciembre.....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de viajes en los diferentes modos de transporte proyectados al 2014. ....	11
Tabla 2. Información general del sistema Bici Quito .....	16
Tabla 3. Reporte mensual del sistema de bicicleta pública periodo enero 2016-diciembre 2017 con el número de viajes realizados. ....	16
Tabla 4. Cuantificación de usuarios del sistema Bici Quito en el periodo 2012-2017..	17
Tabla 5. Análisis de movimientos en horarios de mayor demanda del día jueves 6 de julio del 2017. ....	17
Tabla 6. Porcentaje de demanda por estación del sistema Bici Quito en el periodo 2012-2014. ....	18
Tabla 7. Especificaciones bicicleta eléctrica estándar.....	23
Tabla 8. Matriz Origen-Destino. ....	26
Tabla 9. Cuadro comparativo de transformación de impedancia.....	29
Tabla 10. Atractividad de los puntos de demanda.....	33
Tabla 11. Parámetros de orientación PV-Syst.....	36
Tabla 12. Requerimientos del usuario.....	37
Tabla 13. Características principales del panel fotovoltaico. ....	41
Tabla 14. Características de la batería .....	42
Tabla 15. Análisis porcentual de los viajes por estación. ....	48
Tabla 16. Categorización de las estaciones del sistema BiciQ.....	49
Tabla 17. Categorización de las zonas. ....	50
Tabla 18. Número de anclajes de recarga por estación. ....	51
Tabla 19. Categorización de estaciones de tamaño pequeño. ....	51
Tabla 20. Categorización de estaciones de tamaño mediano. ....	52
Tabla 21. Categorización de estaciones de tamaño grande.....	52
Tabla 22. Resumen de la clasificación de los tamaños de la estación. ....	53
Tabla 23. Número de estaciones para cada escenario. ....	53
Tabla 24. Peso puntos atractores "Centros comerciales".....	54
Tabla 25. Mapas resultados del primer escenario. ....	55
Tabla 26. Estaciones seleccionadas primer escenario.....	56
Tabla 27. Mapas resultados del segundo escenario. ....	58
Tabla 28. Estaciones seleccionadas segundo escenario. ....	59
Tabla 29. Mapas resultados del tercer escenario.....	61
Tabla 30. Estaciones seleccionadas tercer escenario.....	63
Tabla 31. Dimensionamiento de las electrolinerías .....	64

Tabla 32. Comparación del rendimiento de los diferentes escenarios con seguimiento y sin seguimiento.....	65
Tabla 33. Energía producida en los diferentes escenarios.....	66
Tabla 34. Análisis de ganancia de la energía producida aplicando seguimiento solar.	67
Tabla 35. Análisis de ganancia por hora en el escenario electrolinera “Centro Norte mediana”-10 de septiembre. ....	71
Tabla 36. Análisis de ganancia por hora en el escenario electrolinera “Centro Norte mediana”- 1 de diciembre. ....	72

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo realizar el dimensionamiento y la distribución de electrolineras fotovoltaicas para bicicletas eléctricas en Quito.

Mediante una recopilación de datos en organismos especializados se observó que solo un 0,3% de todos los viajes realizados en Quito corresponde a viajes en bicicleta. Por otra parte, al encontrar pocos estudios sobre bicicleta eléctrica con recarga fotovoltaica alrededor del mundo, el presente trabajo adquiere una relevancia en la implementación de sistemas de transporte alternativos. Así se realizó un análisis de los datos del sistema de bicicleta pública “BiciQ”, con lo cual se dividió la ciudad en 9 zonas. Se ubicaron 50 estaciones candidatas en locaciones óptimas. Luego se procedió a ubicar los puntos atractores, cada uno con su peso (atractividad).

Con estos datos se simularon 3 escenarios con 150, 300 y 500 bicicletas utilizando el programa ArcGIS obteniendo 13, 23 y 33 electrolineras respectivamente, donde se optimiza las soluciones en función de la distancia electrolinera-punto atractor. Para el dimensionamiento se utilizó el software PVsyst, optando por 3 tamaños de electrolineras y 4 escenarios de sombreado, donde las electrolineras presentan una eficiencia del 86% al 98% utilizando seguimiento solar en un eje y una ganancia energética con respecto a sistemas fotovoltaicos estacionarios, del orden del 4% al 20%.

**Palabras clave:** Electrolinera, sistemas fotovoltaicos, seguimiento solar, bicicleta eléctrica, sistema bicicleta compartida.

## ABSTRACT

The objective of this work is to carry out the sizing and distribution of photovoltaic recharging stations for electric bicycles in Quito.

Through a collection of data in specialized organizations, it was observed that only 0.3% of all trips made in Quito correspond to bicycle trips. On the other hand, few studies were found on electric bicycle with photovoltaic recharge around the world, the present work acquires a relevance in the implementation of alternative transport systems. This was an analysis of the data of the public bicycle system "BiciQ", which divided the city into 9 zones. 50 candidate stations were located in optimal locations. Then we proceeded to locate the claiming points, each with its weight (atractividad).

With this data, 3 scenarios were simulated with 150, 300 and 500 bicycles using the ArcGIS program, obtaining 13, 23 and 33 photovoltaic recharge stations respectively, where the solutions are optimized according to the distance recharging stations-attractor point. For the dimensioning, the PVsyst software was used, opting for 3 sizes of recharging stations and 4 shading scenarios, maintaining an efficiency of 86% to 98% using solar tracking on one axis and an energy gain with respect to stationary photovoltaic systems, order of 4% to 20%.

**Keywords:** Electric recharging station, photovoltaic systems, solar tracking, electric bicycle, shared bicycle system.

# **“DIMENSIONAMIENTO Y ALGORITMO PARA LA DISTRIBUCIÓN DE ELECTROLINERAS ALIMENTADAS POR SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA RECARGA DE BICICLETAS ELÉCTRICAS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO”**

## **INTRODUCCIÓN**

El crecimiento del parque automotor en la ciudad de Quito es causante de conflictos en el uso del espacio público, así como de problemas de salud pública (ej. estrés, afecciones respiratorias, etc.), [1]. El uso de energías alternativas en movilidad es una opción para la reducción de los conflictos urbanos asociados a la movilidad [2]. El uso de bicicletas eléctricas como medio de transporte ha demostrado múltiples beneficios energéticos, medioambientales y en salud [3], además, el uso de bicicleta evita la congestión vehicular, ayuda a la optimización del uso del espacio público y puede generar fuentes de empleo adicional [2].

En la actualidad, varias ciudades han apostado por sistemas de bicicletas públicas como alternativa a la movilidad, por ejemplo, Rio de Janeiro, Santiago, México, Munich, etc. Algunos de estos sistemas incluyen bicicletas eléctricas [3], en los cuales su eficiencia energética puede verse mejorada con el uso de sistemas fotovoltaicos para recarga de las baterías [4].

Existe poca literatura acerca de la implementación de electrolinerías fotovoltaicas para bicicletas eléctricas en una red urbana. En la ciudad de Quito no se han realizado estudios para implementar un sistema de electrolinerías alimentadas por paneles fotovoltaicos para recargas de bicicletas eléctricas. Con el objetivo de implementar un sistema de electrolinerías fotovoltaicas para bicicletas eléctricas, públicas y privadas en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), es necesario llevar a cabo estudios del impacto energético, social y económico de dicha implementación. En este trabajo se busca encontrar la mejor distribución de las estaciones de recarga de bicicletas eléctricas, desde un punto de vista energético, en la ciudad de Quito.

## **Pregunta de Investigación**

¿Cuál es la mejor localización para la instalación de estaciones de recarga de bicicletas eléctricas alimentadas por sistemas fotovoltaicos con seguimiento solar en el Distrito Metropolitano de Quito?

## **Objetivo general**

Dimensionar y desarrollar un algoritmo para distribuir electrolinerías alimentadas por sistemas fotovoltaicos para recarga de bicicletas eléctricas el Distrito Metropolitano de Quito.

## **Objetivos específicos**

- Obtener y analizar los datos de recorrido y uso de bicicletas en Quito obtenidos en las entidades especializadas mediante herramientas estadísticas para determinar el uso de las ciclo vías en el DMQ.
- Dimensionar una estación o estaciones de recarga fotovoltaica estándar en función de las necesidades de movilización
- Desarrollar un algoritmo para la distribución de las estaciones de recarga para las bicicletas eléctricas en el DMQ.
- Caracterizar los aspectos técnicos de la bicicleta eléctrica estándar a ser usada en este estudio, así como las características de su batería.

## **Alcance**

El alcance de este proyecto es la ubicación de las estaciones de recarga de bicicletas eléctricas, mediante el análisis estadístico de los datos obtenidos e implementación del algoritmo para la ubicación de las estaciones en el DMQ, en los diferentes escenarios; a la par se analiza los tamaños de electrolinerías a ser implementadas en el DMQ tomando en cuenta la disponibilidad solar y el espacio en las diferentes localidades elegidas. Una vez obtenidos los mapas con las estaciones ubicadas en los diferentes horarios se analizan por grupos y se obtiene un mapa final por cada escenario. Una vez culminado dicho análisis se realiza un estudio de sombras para cada tamaño de electrolinería y escenario de sombras cercanas en la cual la estación ha sido ubicada, tomando también en cuenta la influencia del relieve que rodea a la ciudad. Posteriormente se analiza la ganancia energética que se obtiene en las diferentes estaciones de recarga al dotarla de un sistema de seguimiento solar, con respecto a un sistema estático.

# **1. MARCO TEÓRICO**

En esta sección se presenta la revisión bibliográfica.

En un principio se describe la evolución de la bicicleta y de los sistemas de bicicleta compartida. Además, se describe brevemente el escenario actual de las energías renovables y en especial de los sistemas fotovoltaicos a nivel mundial. Luego se realiza una descripción de la situación actual de la movilidad en la ciudad Quito.

Finalmente, se presentan las alternativas que se han implementado alrededor del mundo en busca de contrarrestar el conflicto de movilidad existente, principalmente centrándonos en sistemas de bicicletas compartida en las ciudades.

## **1) JUSTIFICACIÓN**

El aprovechamiento de recursos energéticos renovables ha surgido como alternativa para atender las necesidades del desarrollo en el mundo [4], la implementación de bicicletas eléctricas, alimentadas por electricidad de origen renovable, puede ser una forma innovadora de transporte urbano de corta distancia. Dicha tecnología ha evolucionado con el pasar de los años, han surgido las bicicletas eléctricas asistidas las cuales requieren que el ciclista realice solo una parte del esfuerzo, la tecnología de control a bordo ayuda al ciclista a complementar su esfuerzo con energía electromecánica [5].

Este trabajo de titulación estudia la selección y distribución de electrolinerías para recarga de baterías de las bicicletas eléctricas en la zona centro-norte de la ciudad de Quito, las cuales son alimentadas mediante paneles fotovoltaicos. Mediante datos obtenidos en las entidades responsables por el sistema de bicicleta compartida en el país (Secretaría de Movilidad del DMQ, EMTOP, Bici-Quito), se realiza un análisis de los patrones de viaje y se evalúan las necesidades de movilidad de los usuarios del sistema de bicicleta eléctrica compartida para determinar la distribución de electrolinerías. No existe un estudio específico para la ciudad de Quito que considere la interacción entre los patrones de viaje y las necesidades de movilidad de los usuarios. Por lo tanto, este trabajo pretende solventar esta falta de información.

### **1.1. Historia de la bicicleta moderna**

La historia de la bicicleta se remonta a 1885. En este año apareció un modelo muy similar al que usamos en la actualidad, se puede decir que este año marco un antes y un después en la historia de la bicicleta, en este año la cadena de transmisión [6].

Antes de la cadena de transmisión, la tracción de la rueda delantera se lograba mediante pedales, estos estaban ubicados en el medio de la rueda delantera [7]. De esta forma se

lograba el movimiento de la rueda delantera y la inercia impulsaba las dos llantas posteriores de manera que se tenía una especie de triciclos o a su vez una sola rueda trasera, en este modelo se tenía una rueda delantera de gran diámetro ya que con el impulso en el radio corto de los pedales se movilizaba la rueda delantera con su gran diámetro.

El modelo de 1885 se conoce como “bicicleta moderna segura” ya que soluciona el problema que representa la gran desproporción que existía en el tamaño de las ruedas. Esta nueva bicicleta era mucho más baja lo que permitía que la pérdida de equilibrio se solucionase en la mayoría de los casos colocando los pies y apoyándolos en el suelo firme. En las posteriores décadas la bicicleta no tuvo un cambio significativo en su diseño, sin embargo, el cambio principalmente se da en la evolución de los materiales, pasado a usar aluminio aleaciones y en los últimos años el apareamiento de materiales compuestos [8].

## 1.2. La bicicleta eléctrica

La bicicleta eléctrica es una tecnología que surge en paralelo con la creciente popularidad del uso de bicicleta compartida. En China la venta de bicicletas eléctricas creció desde 1999 cuando se vendieron 150.000 unidades, a un estimado de 21 millones en 2007; se estima que hay entre 40 y 50 millones de bicicletas eléctricas en las calles de China [9]. Las bicicletas eléctricas, particularmente las bicicletas eléctricas auxiliares de pedales, aparecen y funcionan como las bicicletas tradicionales (ver Figura 1.1). Estas requieren que el ciclista pedalee y la tecnología de control a bordo ayuda al ciclista a complementar el esfuerzo con energía electromecánica.

Esto disminuye el tiempo del recorrido y reduce la fatiga en los usuarios, sobre todo en terreno montañoso. Estos beneficios hacen que las bicicletas eléctricas sean más atractivas para los ciclistas casuales, que de otra manera podrían evitar las bicicletas tradicionales [5].



Figura 1.1. Partes de la bicicleta eléctrica.  
(Fuente: [5])

### 1.2.1. Partes de la bicicleta eléctrica

- 1) **Batería:** en la actualidad las tecnologías Ni- MH o las de plomo han quedado obsoletas frente a las baterías de tecnología Litio que actualmente se utilizan en todo el mundo. Dentro de Litio hay varias clases: Li-Fe, Li-PO y Litio-Ion siendo esta última la tecnología más extendida [10].
- 2) **Sensor de pedaleo y controlador:** envía información de la velocidad detectada al pedalear al controlador el cual recibe la señal del sensor PAS (*Pedal assisted sensor*), y envía electricidad al motor dependiendo el nivel de asistencia que se encuentre definido.
- 3) **Motor:** Es una de las partes más importantes de la bicicleta eléctrica y puede ser tipo HUB (delantero o trasero), son los más populares y se puede instalar en la rueda delantera o trasera, en este caso su ciclo no es afectado. También existen los motores tipo central cuya instalación es más compleja, pero poseen la ventaja que se puede hacer uso de los cambios de la bicicleta y permite optimizar la relación par-velocidad.

### 1.3. Historia y evolución de los Sistema de bicicleta compartida.

Se dice que la idea original nace en Holanda en 1968, la primera generación de sistemas de bicicleta compartida se los denominó “sistemas abiertos”, pues no disponían de ningún sistema de seguridad o seguimiento, es decir las bicicletas se prestaban sin pedir ningún documento o dinero a cambio. Uno de los hitos más importantes se dio en la ciudad de Ámsterdam en 1968 donde un grupo de activistas presentaron la propuesta de bicicletas gratuitas llamado “bicicletas blancas” (ver Figura 1.2). Los activistas consiguieron bicicletas usadas y las pintaron de blanco para proceder a distribuir las en la ciudad, una idea que en las primeras semanas funcionó, a partir de aquí aparecieron varios problemas con lo cual todas las bicicletas se perdieron, fueron robadas, pintadas y vendidas, o incluso eran desechadas en los canales de la capital [11].



Figura 1.2. Bicicletas blancas de Amsterdam.  
(Fuente: [9])

En una segunda generación de sistemas de bicicleta compartida, se tenía a las bicicletas encadenadas en parqueaderos especiales, estos poseían una cerradura que se abría generalmente insertando una moneda, de igual forma este modelo no tuvo ningún sistema que registre al usuario ni seguimiento de los vehículos.

El dinero depositado por las bicicletas no garantizaba la devolución de estas. Un ejemplo de este sistema es el instalado en Copenhague en 1995 (ver Figura 1.3), donde el principal ingreso era la publicidad que se colocaba en las bicicletas, pero esta alcanzaba solamente para financiar el mantenimiento del sistema.



Figura 1.3. Modelo ganador para Copenhague.  
(Fuente: [12])

En una tercera generación se tuvo un sistema más robusto tanto del registro de los usuarios como del seguimiento al uso de la bicicleta, así como un plan completo de operación. Estos cambios ocasionaron un incremento en el depósito por el uso de las bicicletas, el cual se vio reflejado en un sistema más eficiente y que además prestaba más comodidades para el usuario.

El sistema paradigmático de esta generación fue el Velo'v de Lyon, ciudad francesa, inaugurado en 2001. Este tipo de sistemas son aquellos que en la actualidad se aplican en varias ciudades alrededor del mundo, incluyendo en América Latina en ciudades como Río de Janeiro y Santiago de Chile (ver figura 1.4).



Figura 1.4. Sistema de bicicleta compartida SAMBA Rio de Janeiro.  
(Fuente: [13])

Los nuevos sistemas de bicicleta compartida a los cuales se les puede llamar cuarta generación buscan la integración con otros sistemas de transporte público existentes a través del uso de una tarjeta inteligente recargable que se la utiliza para realizar diferentes gestiones y pagos.

Estos sistemas introducen componentes tecnológicos más avanzados y actualmente se busca sistemas que incluyan el uso de bicicletas eléctricas y electrolineras fotovoltaicas, por ejemplo en la ciudad de Parma en Italia (ver figura 1.5) [3].

Otro ejemplo claro es el sistema Alemán *Call-a-bike* que es un sistema que funciona a través de empresa de transporte público *Die Bahn*. En este sistema se envía un mensaje para la solicitud del código de desbloqueo de la bicicleta previa inscripción al servicio [11].



Figura 1.5. Estación del sistema de bicicletas públicas de Parma con tejadillo fotovoltaico.  
(Fuente: [14])

## 1.4. Producción Fotovoltaica

La mitigación del cambio climático ha motivado la utilización creciente de energías renovables, que son las tecnologías de generación eléctrica de más rápido crecimiento alrededor del mundo. Su consumo aumenta en promedio a una tasa anual de 2,3%, como se muestra en la figura 1.6 [15].

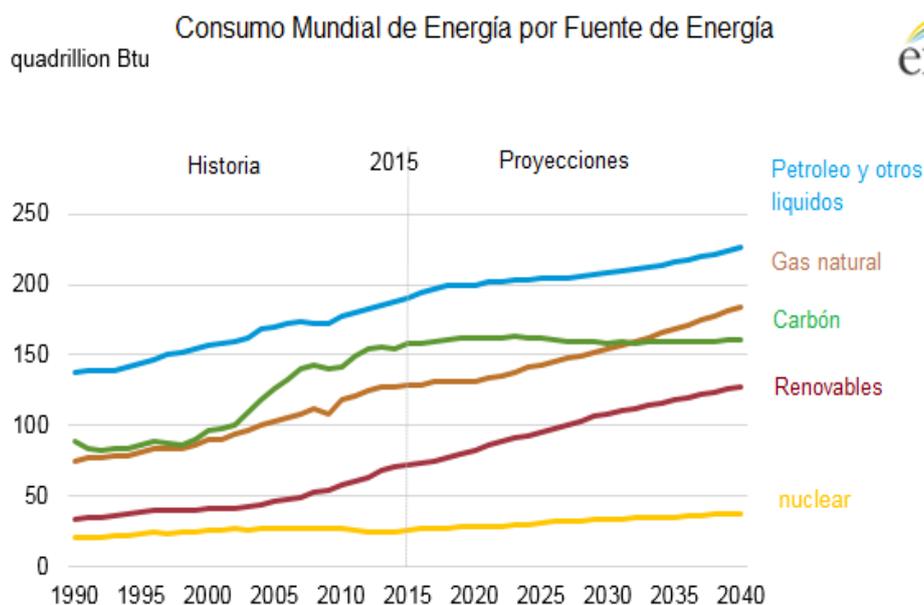


Figura 1.6. Consumo mundial de energía por fuente de energía.  
(Fuente: [15])

Según el informe anual de la *International Energy Agency* (IEA) – *Photovoltaic Power Systems* (PVPS) la capacidad instalada fotovoltaica mundial ha visto un incremento de cerca de 75 GW adicional en todo el mundo llegando así a un 50% superior a la capacidad instalada de 2015 y elevando la capacidad instalada acumulada a aproximadamente 300 GW [16].

El Ecuador, al encontrarse en la zona ecuatorial es un país privilegiado en radiación solar. De acuerdo al *Global Solar Atlas* ("Aplicación GSA"), generado por SOLARGIS, el potencial fotovoltaico que tiene el país es importante debido a su nivel de irradiación solar global anual que varía entre 1.461 kWh/m<sup>2</sup> a 1.607 kWh/m<sup>2</sup> [17]. Ver Figura 1.7.

En Ecuador, en enero del 2013, el CONELEC concedió permisos para la construcción de 355 MW de sistemas fotovoltaicos en 91 proyectos. Entre esos 15 serían con potencias mayores a 1MW y 76 menores a 1MW, lo cual representaría aproximadamente el 0.2% de la capacidad de generación eléctrica total a nivel nacional [18].

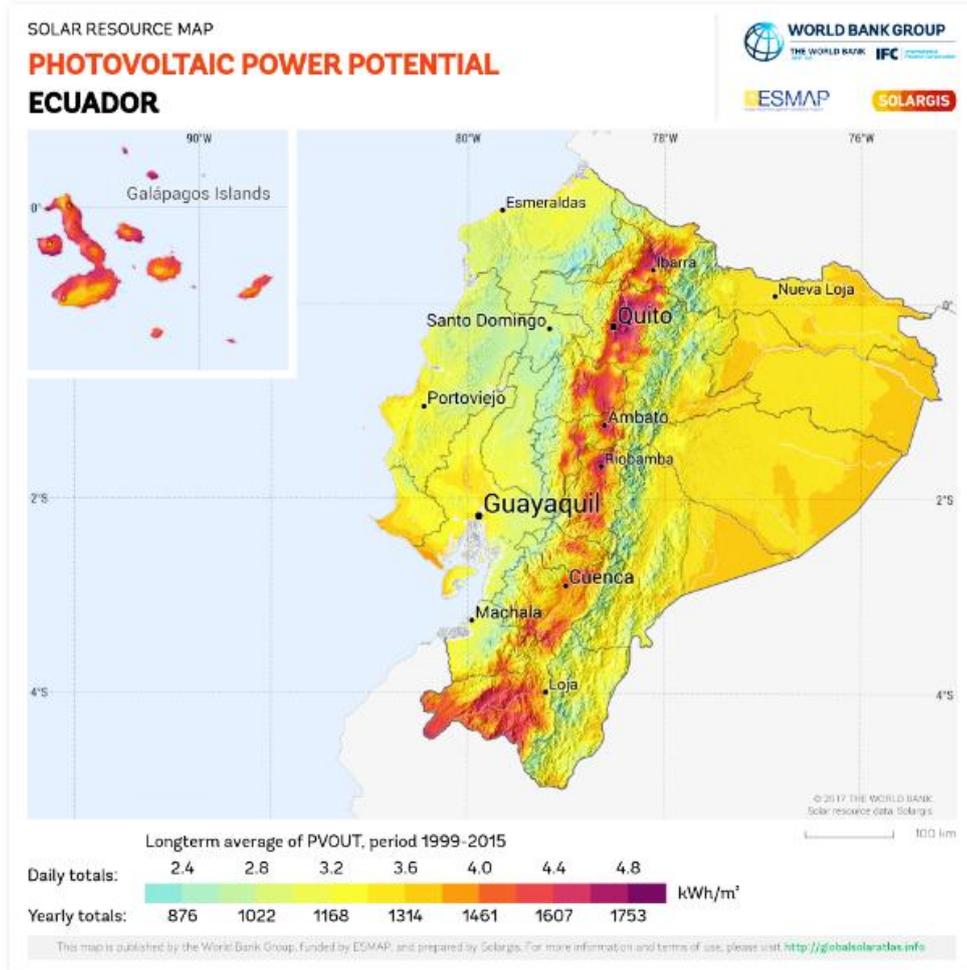


Figura 1.7. Atlas Solar del potencial fotovoltaico del Ecuador.  
 (Fuente:[17])

Varios de los proyectos fueron revocados llegando así al 2015 con una capacidad instalada de 26MW. El avance en instalaciones fotovoltaicas en Ecuador se ha visto truncado y su crecimiento es más lento que lo previsto inicialmente.

### 1.5. Estación de carga para bicicletas eléctricas (electrolinera)

Las electrolineras fotovoltaicas cumplen tres funciones principales en el sistema de bicicleta compartida, brindar seguridad física, son el punto de alquiler y deben realizar la carga de las baterías

- 1) **Seguridad física:** Se puede usar desde un simple mecanismo que asegura la bicicleta con un candado, manipulado por personal o a su vez por el usuario, a un sistema electromecánico automático o semiautomático, que simplifica el proceso de ingreso y salida de las bicicletas, así como también nos proporciona información sobre el número de bicicletas disponibles en la estación.

- 2) Punto de alquiler de bicicletas:** Este identifica de alguna manera al usuario permitiéndole tener acceso a la bicicleta, en el caso de que sea automático el sistema electromecánico se desbloqueará automáticamente caso contrario el personal hará este trabajo. Este sistema debe permitir identificar a su vez a cada bicicleta que ingrese o salga de la estación, asegurando el retorno de cada bicicleta. En el caso de que el sistema esté conformado por varias estaciones, las estaciones deben estar vinculadas para coordinar operaciones entre sí, esto se lo puede realizar de forma inalámbrica, o con un cableado entre estaciones. Los datos compartidos entre las estaciones son de vital importancia, se puede conocer la distribución de las bicicletas en las estaciones, e identificar los requerimientos de cada estación.
- 3) Carga de las baterías:** es la función principal de la electrolinera, la electrolinera fotovoltaica carga a las baterías mediante la energía proveniente de los paneles fotovoltaicos, los mismos que están ubicados en la parte superior de la estación sobre el tejado, es decir forman un tejadillo fotovoltaico, el mismo cumple la función de proteger las bicicletas de las inclemencias del clima [5].

Tomando en cuenta estos tres puntos y sus prestaciones se selecciona el tipo de electrolinera que se utiliza para el análisis en este trabajo. Por tanto, se selecciona una electrolinera de mecanismo simple y de manipulación por el personal de servicio, la cual no requiere un gasto energético extra como en el caso de ser automática o semiautomática.

## **1.6. Movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)**

La movilidad es un aspecto importante en la sociedad y se encuentra ligada con el desarrollo del territorio, por ende, de su planificación. En los últimos 10 años en el DMQ se ha tenido incrementos anuales de incorporación de vehículos por año de entre 5% y 10%. Estas condiciones repercuten de forma negativa a la ciudad agravando las congestiones de tráfico [1]. Sin embargo, la implementación del servicio de bicicleta publica – “Bici-Quito” en el DMQ ha cambiado positivamente esta situación, incrementado el número de viajes y la percepción de la ciudadanía respecto de este modo de transporte. En el 2014 se realizaron alrededor de 3.000 desplazamientos diarios en ese sistema, el cual empezó a funcionar desde agosto del 2012 con 25 estaciones y 425 bicicletas; al momento se disponen de 625 bicicletas que atienden la creciente demanda y se tiene proyectada su ampliación [1].

### 1.6.1. La situación actual de la movilidad DMQ.

En el DMQ se realiza un aproximado de 4'600.000 viajes en los diferentes modos de transportes como se muestra en la

Tabla 1 y en la Figura 1.8.

Se puede observar que los viajes en bicicleta representan apenas el 0,3% (14.000 viajes/día) ya que no se ha logrado masificar este modo de transporte, pero se logró avances a partir del 2012 con la implantación del servicio de bicicleta pública "Bici-Quito" este sistema contribuye a que la ciudadanía empiece a usar este medio de transporte.

Tabla 1. Número de viajes en los diferentes modos de transporte proyectados al 2014.

Motorizado	Transporte público	2.800.000	61,3%
	Transporte privado	1.050.000	23,0%
No motorizados	Peatonal	700.000	15,3%
	Bicicleta	15.000	0,3%
		4.565.000	100,0%

(Fuente [1])

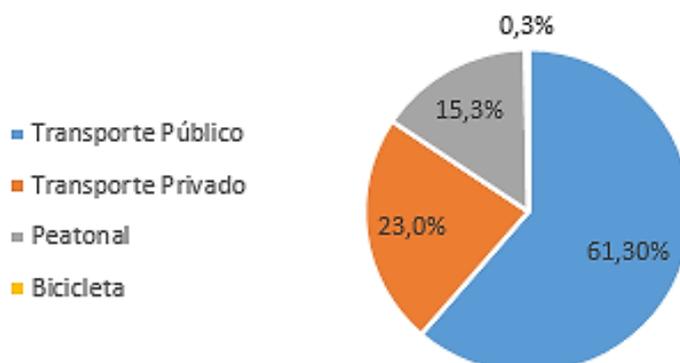


Figura 1.8. Proporción de la distribución modal de viajes desglosada por modos de transporte-2014.

(Fuente: [1])

### 1.6.2. La bicicleta en la ciudad de Quito

En varias ciudades alrededor del mundo, se demostró que el uso de la bicicleta es una opción para mejorar la movilidad urbana [19]. Es importante potencializar el uso de la bicicleta como una opción para la movilidad dentro de la ciudad de Quito con el objetivo de reducir los índices de contaminación, la incidencia de enfermedades relacionadas y transformar la experiencia de transitar en la ciudad [1].

La bicicleta es una tecnología que está sub-representada en la ciudad, pero puede ser considerada un eje fundamental que acerca a Quito a cumplir los objetivos de Desarrollo Sostenible y el Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Distrito Metropolitano de Quito [19].

Una visión de movilidad integral busca generar las mejores condiciones para que los ciudadanos se movilicen diariamente y que lo hagan de la manera más sostenible y eficiente posible. Incorporar este tipo de transporte permitirá que el paradigma de una movilidad eficiente emerja siendo más eficaz y económico para los traslados personales dentro de la urbe quiteña [1].

Desde la perspectiva económica, el ciclismo es una iniciativa que promete crecimiento y a su vez, busca adherirse a los principios de desarrollo sostenible. Existe la posibilidad de producir y reforzar el turismo de ciclismo en la ciudad, lo que incentivaría la economía respondiendo a la necesidad de generar recursos sostenibles en el tiempo.

## **1.7. Herramientas de simulación**

### **1.7.1. ArcGIS**

Es un software que permite organizar, recopilar, administrar, compartir, analizar, y distribuir información de carácter geográfica. Este software incluye la herramienta profesional (*Network Analyst*) la cual contiene una gran cantidad de mapas utilizables [20]. Además, permite realizar un análisis espacial basado en redes. El presente proyecto utiliza el análisis de red ubicación-asignación cuyo objetivo es elegir entre las instalaciones candidatas la(s) más adecuada(s) de modo que satisfagan la demanda de manera más eficiente [21]. Existen siete tipos de problemas en la capa de ubicación-asignación:

- Minimizar la impedancia
- Maximizar la cobertura
- Maximizar la cobertura capacitada
- Minimizar las instalaciones
- Maximizar la asistencia
- Maximizar la cuota de mercado
- Cuota de mercado objetivo

El análisis de red ubicación-asignación está compuesto por seis capas de entidades: instalaciones, puntos de demanda, líneas, barreras de punto, barreras de línea y barreras de polígono.

- Instalaciones: Representan una ubicación candidata para la instalación del servicio requerido, esta puede ser de carácter obligatorio o no obligatorio.
- Puntos de demanda: Este campo representa la demanda a ser satisfecha por el servicio.

- Líneas: son generadas por el solucionador y unen las instalaciones con sus puntos de demanda asignados representados por una línea recta, que no refleja la forma real de la trayectoria dentro de la red por el esfuerzo computacional que requiere.
- Barreras de punto, línea y polígono: restricciones temporales dentro de sectores de la red [22].

### **1.7.2.PVsyst**

Es un programa informático que permite realizar el diseño, simulación y análisis de datos de una instalación fotovoltaica. El software fue desarrollado por la Universidad de Ginebra y la demo se encuentra disponible en la página <http://www.pvsyst.com>. Es totalmente operativa durante quince días, fecha a partir de la cual sólo están disponibles ciertas opciones. Este programa permite importar fácilmente datos meteorológicos de las bases de datos más usadas como PVGIS y Meteonorm. Esta parte es fundamental para el cálculo de la instalación de las estaciones de recarga, pues en ocasiones el programa PVsyst no tendrá datos meteorológicos de la ubicación en que se desea instalar el sistema fotovoltaico. Dispone de una base de datos muy completa de módulos, inversores, acumuladores, entre otros, y de una considerable colección de datos meteorológicos y de irradiación. Permite simular instalaciones aisladas, conectadas a red e instalaciones de bombeo. En la simulación de la instalación, el programa permite determinar todo tipo de características y parámetros de la instalación, los módulos, su disposición, las posibles sombras que vayan a interponerse en el camino de la radiación solar, etc. [23].

## 2. METODOLOGÍA

A continuación, se detalla la metodología utilizada para el presente trabajo, en el cual se describe los pasos a seguir desde la recolección de los datos hasta la obtención final de los mapas con la distribución de las estaciones de recarga de bicicleta eléctrica.

### 2.1. Criterio para la selección del modelo

La metodología clásica para el modelamiento de sistemas de transporte según Ortúzar consta de una secuencia de cuatro etapas, las cuales son: generación de viajes, distribución, reparto modal y asignación [23]. Figura 2.1.

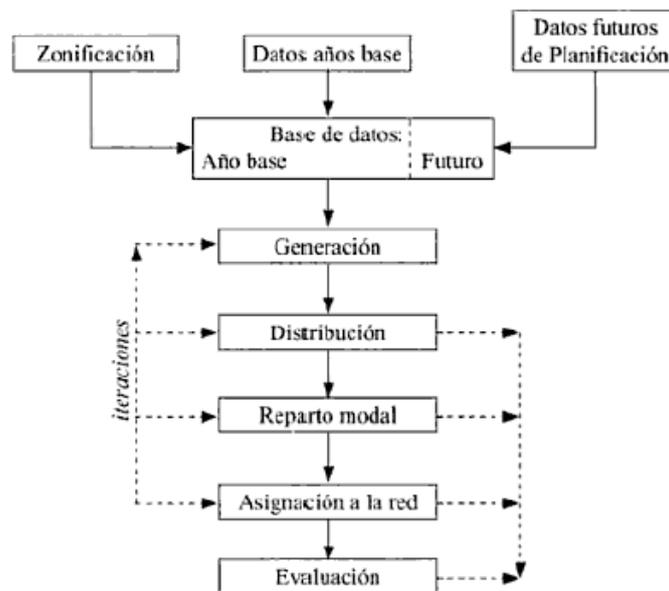


Figura 2.1. Modelo clásico de modelamiento de sistemas de transporte de cuatro etapas.  
(Fuente: [24])

Se conoce actualmente que las decisiones no siempre siguen esta secuencia, dependen de la forma de la función de utilidad asumida para explicar todas las decisiones de viaje, este modelo actual nos indica que se debe analizar una gama más amplia que la mencionada previamente.

En el presente proyecto de titulación se toma en cuenta varios de los procedimientos de la metodología clásica de modelamiento de sistemas de transporte anteriormente descrita.

- **Recolección de datos:** Se realiza una recopilación de la información disponible en la red y proveída por la Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT) acerca del sistema de bicicleta pública “Bici- Quito”.

Lo cual permite obtener el mapa de ciclo vías existentes, las paradas del sistema “Bici-Quito” y su perímetro de circulación. Esta información será trasladada al mapa elaborado en el software ArcGIS.

Adicionalmente, se obtiene los puntos de demanda de la ciudad de Quito los cuales se clasifican en diez grupos y de igual manera se los ubica en el mapa elaborado en el software ArcGIS.

Para la ubicación de las estaciones de recarga se realiza visitas de campo en las locaciones candidatas a lo largo de la ciudad, se toma en cuenta dos factores importantes para su selección (espacio disponible para la instalación de la estación de recarga y disponibilidad solar).

- **Construcción de un modelo analítico:** Para la selección de las estaciones de recarga se utiliza el software ArcGIS el cual contiene la herramienta profesional *Network Analyst*, la misma que permite la ubicación óptima de las estaciones según un modelo matemático que será posteriormente descrito.
- **Generación y verificación de soluciones:** Los datos recolectados son analizados dando como resultado los horarios de análisis, tamaño de las estaciones y los tres escenarios de simulación, cada uno de estos escenarios tienen su análisis propio dependiendo del horario y del número de estaciones a ser seleccionadas, y con ello la cantidad de demanda a ser atendida. El ingreso de estos datos y de otras variables al software ArcGIS se los realiza de forma manual. Estas variables se detallan posteriormente.
- **Evaluaciones de soluciones:** Una vez obtenidos los mapas de los diferentes escenarios se realiza un análisis de la ubicación de las estaciones de recarga y de la producción fotovoltaica de las mismas en los escenarios seleccionados dentro de la ciudad.

Cabe recalcar que se delimita a la zona centro-norte de la ciudad de Quito como la zona de estudio en donde se realizará el análisis. Posterior al análisis de los datos obtenidos se realiza una sub-zonificación que se mostrará más adelante.

## **2.2. Recolección de datos**

En esta sección se presenta los datos recopilados en la red y provistos por la Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT) acerca del sistema de bicicleta pública “Bici- Quito”.

Adicionalmente, se presentan los puntos de demanda según su clasificación en diez grupos, la ubicación de las estaciones de recarga y los escenarios de simulación.

### 2.2.1. Paradas del sistema “Bici-Quito”

Se muestran los datos acerca del sistema de bicicleta pública “Bici-Quito” ya instalado en la ciudad de Quito. En estos datos consta la información estadística solicitada a través de la AMT de la ciudad de Quito, así como mapas de rutas y paradas ya existentes de “BiciQ”.

En las Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6 se presenta los datos obtenidos en la AMT sobre el sistema de bicicleta pública.

Tabla 2. Información general del sistema Bici Quito

Área de cobertura	18 km <sup>2</sup>	Residentes (4.448 hab/km <sup>2</sup> )	80.065
N.º de estaciones	26	Distancia entre estaciones	500 a 1.000 m
N.º de bicicletas	613 (man. y eléc.)	N.º bicicletas operativas	230
N.º de bicicletas eléctricas	296	N.º bicicletas convencionales	317
Tipo de préstamo	Manual	N.º de anclajes para bicicletas	509
Horario	7h00 / 19H00 L-V	Tiempo de servicio	364 días/año
	8H00 / 17H30 S-D	Viajes día (promedio)	497(2016)

(Fuente: AMT)

Tabla 3. Reporte mensual del sistema de bicicleta pública periodo enero 2016-diciembre 2017 con el número de viajes realizados.

Reporte mensual viajes 2017	
Mes	Cantidad
Enero	9.891
Febrero	9.420
Marzo	11.174
Abril	12.555
Mayo	19.165
Junio	11.908
Julio	22.286
Agosto	20.548
Septiembre	20.703
Octubre	13.255
Noviembre	13.750
Diciembre	11.331
Total	175.986

(Fuente: AMT)

Tabla 4. Cuantificación de usuarios del sistema Bici Quito en el periodo 2012-2017.

Período	Habilitados	Potenciales usuarios
2012-08-01 a 2013-07-31	7.463	1.564
2013-08-01 a 2014-07-31	22.039	9.626
2014-08-01 a 2015-07-31	7.926	8.270
2015-08-01 a 2016-07-31	2.118	4.816
2016-08-31 a 2017-07-31	2.143	2.962
2017-08-01 a 2017-05-01	173	495
Total	41.862	27.733

(Fuente: AMT)

Tabla 5. Análisis de movimientos en horarios de mayor demanda del día jueves 6 de julio del 2017.

ESTACIÓN	Préstamo bicicleta			Devolución bicicleta		
	8-9 AM	12-1 PM	5-6 PM	8-9 AM	12-1 PM	5-6 PM
Administración Mariscal	6	6	2	5	8	9
Administración Zonal Norte	1	4	1	3	5	4
Alameda	4	4	3	1	2	1
Colegio Militar	1	4	12	2	2	4
Cruz del Papa	7	6	9	7	6	5
El Ejido	4	3	8	4	7	5
Estadio Olímpico	2	7	5	4	9	7
FLACSO	1	6	1	9	4	2
Guápulo	0	4	0	0	3	0
IESS	3	7	7	2	6	3
La Y	6	3	2	1	4	4
Las Cámaras	8	9	11	8	7	11
Ministerio de Agricultura	8	8	5	5	10	6
N.N.U. U	1	2	8	2	4	1
Parque Navarro	0	1	3	0	2	1
Plaza de las Américas	0	1	1	0	0	1
Portugal	8	4	8	6	8	6
San Gabriel	3	1	0	0	0	0
Santa Clara	4	6	1	4	2	4
Santa Teresita	6	7	4	1	6	4
Santo Domingo	3	3	2	0	1	6
Seminario Mayor	2	1	1	0	1	3
Universidad Católica	8	9	5	3	5	7
Universidad Central	3	4	3	2	4	7
Plaza de Toros	Cerrada temporalmente					
Asamblea Nacional	Cerrada temporalmente					
Plaza Grande	Cerrada temporalmente					

(Fuente: AMT)

Tabla 6. Porcentaje de demanda por estación del sistema Bici Quito en el periodo 2012-2014.

	Estación	Demanda (viajes)	%
A	Cruz del Papa	130.531	8%
B	Portugal	116.616	7%
C	Estadio Olímpico	110.900	7%
D	Las Cámaras	97.875	6%
E	Ministerio de Agricultura	91.529	6%
F	El Ejido	90.003	5%
G	Universidad Católica	86.336	5%
H	Adm. La Mariscal	83.751	5%
I	Santa Teresita	82.237	5%
J	IESS	80.614	5%
K	N.N.U.U	79.558	5%
L	FLACSO	77.764	5%
M	Adm. Zonal Norte	59.405	4%
N	Colegio Militar	58.778	4%
O	Santa Clara	56.918	4%
P	Alameda	52.438	3%
Q	La Y	46.836	3%
R	Universidad Central	35.748	2%
S	Seminario Mayor	34.494	2%
T	Plaza de Toros	34.457	2%
U	San Gabriel	32.644	2%
V	Santo Domingo	28.416	2%
W	Asamblea Nacional	26.138	2%
X	Plz. De las Américas	23.977	1%
		1'618.538	100%

(Fuente: AMT)

A continuación, se presenta los mapas obtenidos de la web BiciQ (Figura 2.2 y Figura 2.3) de donde se puede obtener los siguientes datos:

- Ciclo vías actualmente existentes
- Paradas del sistema BiciQ
- Perímetro de circulación del sistema BiciQ
- Lista de paradas



Figura 2.2. Estaciones BICIQUITO.  
(Fuente: AMT)



Figura 2.3. Perímetro de circulación BICIQUITO.  
(Fuente: AMT)

### 2.2.2. Puntos de demanda o puntos atractores

Se selecciona las principales ubicaciones de afluencia de personas las mismas que fueron distribuidas en diez grupos: densidad poblacional, paradas sistema BiciQ, paradas del sistema de transporte de metro, museos de Quito, centros comerciales, entidades

públicas, supermercados y mercados, paradas de transporte público, parques y universidades los cuales representan, o se asocian, a la presencia de potenciales usuarios del sistema, los cuales se presentan en el ANEXO I.y se han introducido en el software ArcGIS.

**1) Densidad poblacional:** Es el punto demandante más básico pero esencial debido a que, a mayor cantidad de personas en un determinado lugar, se tendrá una mayor demanda de sistemas de transporte en general.

Para obtener esta información se recurrió a la base de datos el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) [25] , de la cual se obtuvo un archivo en formato *shapefile* (.shp), el cual se muestra en la Figura 2.4. Esta figura presenta el número de personas por cada manzana según una subdivisión predeterminada, este archivo se lo puede visualizar utilizando el software ArcMap.

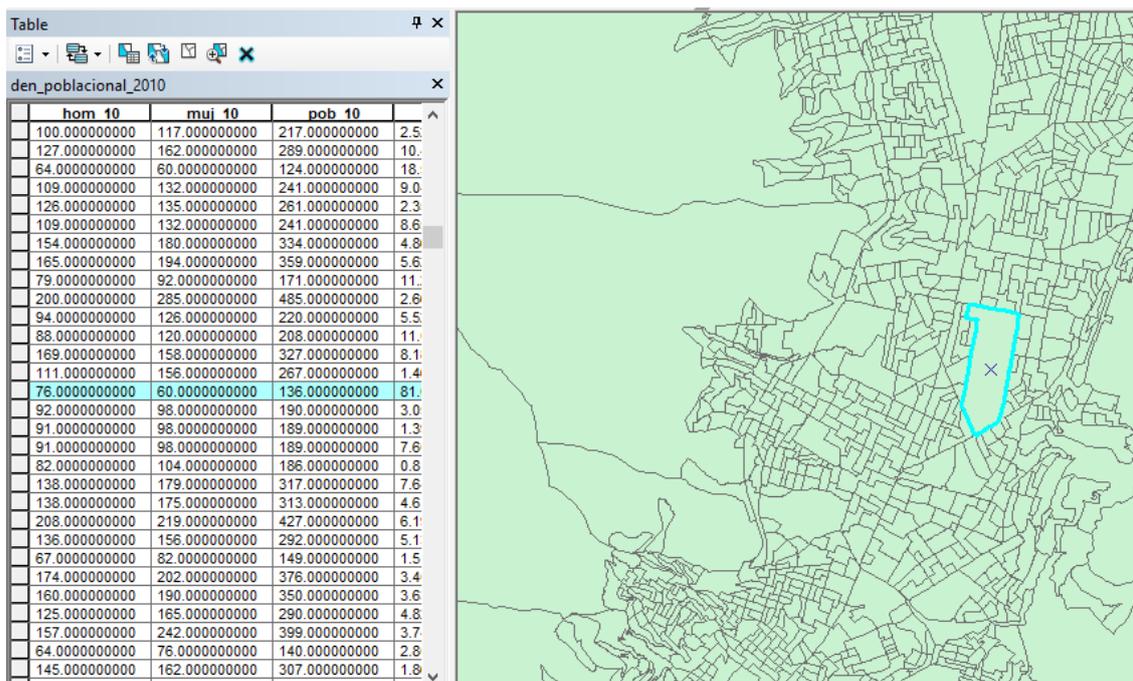


Figura 2.4. Densidad poblacional por manzanas 2010.  
(Fuente: [25])

A los datos obtenidos se los ubicó como centroides de población, distribuidos en el perímetro del sistema de manera que se los colocó en el mapa en forma de puntos demandantes (Ver Figura 2.5).

**2) Centros comerciales:** Son puntos en los que se concentran entidades en las cuales se pueden realizar una diversidad de actividades, convirtiéndoles en puntos

demandantes, así como atractores, de servicios de transporte. Se seleccionó manualmente los más importantes en el perímetro usando el buscador de Google – *Google maps*.

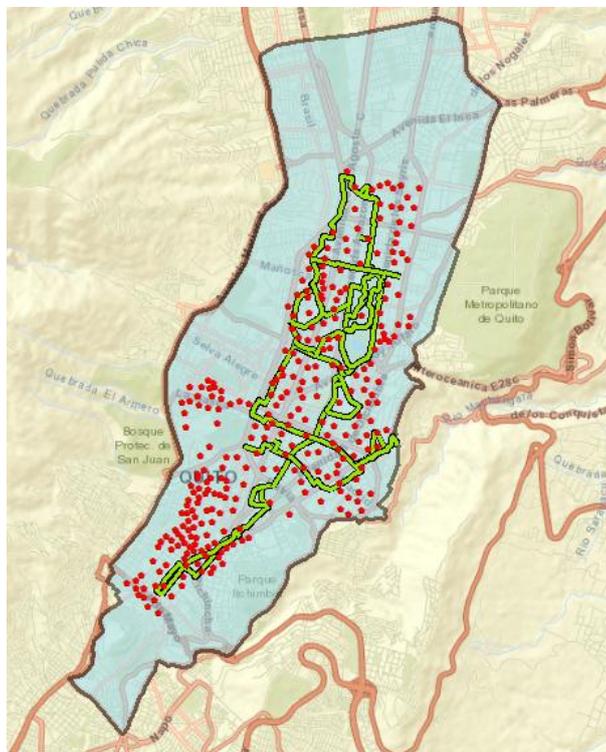


Figura 2.5. Puntos atractores de la población.  
(Fuente: Elaboración propia programa ArcGIS)

- 3) **Museos de Quito:** Existe una variedad de museos en la ciudad de Quito, se han seleccionado los más importantes basándonos en la página del Ministerio de Turismo.
- 4) **Paradas de transporte público metropolitano:** Se muestran las paradas de los ejes principales de transporte público de la ciudad: Trolebús (Centro), Ecovía (Oriente), Corredor Occidental (Occidente), se obtuvieron datos de la página de la Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros [26].
- 5) **Entidades públicas:** Se seleccionó a las entidades públicas más representativas usando el buscador de Google [27].
- 6) **Supermercados y mercados:** Puntos tanto atractores como demandantes en la vida diaria de los ciudadanos, se obtuvo la información de las páginas de los supermercados más importantes (Santa María, Mega - Supermaxi, Tía), así como del buscador de Google.

- 7) **Universidades:** Son entidades en donde se muestra una mayor aceptación de sistemas alternativos de transporte (BiciQ), se seleccionaron las universidades con mayor número de estudiantes basándonos en datos obtenidos a través del Senescyt.
- 8) **Paradas del sistema BiciQ:** Son puntos relevantes que nos muestran el movimiento existente real de bicicletas en la ciudad, se obtuvieron los datos de ubicación de paradas, así como de préstamos, demandas, paradas de mayor demanda, etc. A través de la Agencia Metropolitana que es la encargada de administrar los datos de los sistemas de transporte [28].
- 9) **Parques:** Espacios destinados a diversas actividades en su mayoría de recreación por otra parte también son espacios en los que se puede realizar transferencia con otros sistemas de transporte, así se convierten en puntos atractores de viajes realizados en bicicleta.
- 10) **Paradas del sistema de transporte Metro:** Son las futuras paradas del sistema Metro de Quito las mismas que se utilizan en el tercer escenario, como paradas obligatorias en el análisis [29].

### 2.2.3. Caracterización de la bicicleta eléctrica estándar

Las bicicletas eléctricas son vehículos híbridos, existe una gran variedad y diversidad de modelos, entre ellas las plegables. Las bicicletas plegables no han captado mucha atención para sistemas de bicicleta compartida, ni para el público en general. Este trabajo considera el uso de un tipo de bicicleta de cuarta generación no plegable, como se muestra en la Figura 2.6.



Figura 2.6. Bicicleta estándar - Cuarta generación.  
(Fuente: [30])

Según el Comité Europeo de Normalización una bicicleta debe cumplir ciertos requerimientos para ser considerada una *Electrically Power Assisted Cycles* (EPAC) d. A continuación se detallan los requerimientos importantes [31].

- Potencia nominal máxima del motor debe ser de 200-250 [W].
- Tensión máxima del sistema de 48 [V].
- Peso deberá ser inferior a 40 [kg].
- Velocidad máxima de asistencia con el motor 25 km/h, por encima de este límite el motor se desactivará.
- La activación del motor se realizará cuando se pedalea, caso contrario se desactivará.
- Deberá contar con elementos de protección para la batería y controlador, debido al riesgo de incendio de los mismos.

En la Tabla 7 se especifica los requerimientos de la bicicleta escogida para el análisis posterior y cálculos de la estación de recarga.

Tabla 7. Especificaciones bicicleta eléctrica estándar.

ESPECIFICACIONES	
PARTES	DETALLE
Autonomía	40-45 km
Motor	250W trifásico silencioso con función P.A.S
Cargador	Electrónico inteligente dedicado
Tiempo de carga	2-4 horas
Velocidad máx.	25 km/h
Peso	23 kg
Capacidad max.	120 kg

(Fuente: SOONERBIKE [30])

## 2.3. Cálculo de los escenarios en ArcGIS

Se describe el proceso realizado en el programa ArcGIS para la simulación de los diferentes escenarios, pero primero es necesario describir el modelo matemático utilizado en el presente trabajo.

### 2.3.1. Modelo matemático utilizado para la localización de las electrolinerías en el DMQ en el software ArcGIS.

A continuación, se describe el modelo matemático utilizado en la localización óptima de las electrolinerías en el Distrito Metropolitano de Quito.

Para empezar, se define el problema a resolver siendo este del tipo “p-median”. Este tipo de problema es aquel en donde se conoce la distribución espacial de las instalaciones y

la distribución espacial de la demanda existente, y su cantidad, en el perímetro seleccionado. El objetivo es encontrar la ubicación para un número determinado de instalaciones que satisfagan la demanda. Estas ubicaciones serán óptimas cuando se minimice los esfuerzos de viajes<sup>1</sup> ponderados desde los puntos de demanda hasta las instalaciones más cercanas [32].

## 1) Definición matemática del problema

Para la resolución del problema es necesario definir una serie de elementos que intervienen en el comportamiento del sistema. Así tenemos:

- Instalaciones candidatas: Son lugares adecuados para establecer las instalaciones de servicio. Las instalaciones no pueden ser seleccionadas fuera de este grupo definido.
- Número de instalaciones candidatas propuestas “p”: Este número puede ser cambiado según se lo requiera. Cada problema “*p-median*” tiene una solución óptima para cada configuración existente.
- Datos de entrada para el algoritmo del problema “*p-median*”:
  - Un número finito de puntos de demanda, cada uno con la ubicación específica y la cantidad de demanda que debe satisfacer.
  - Un número finito de instalaciones candidatas, que son las únicas posiciones donde se puede establecer las instalaciones seleccionadas.
  - Distancias entre puntos de demanda y las ubicaciones candidatas, se calcula las distancias mediante una red de vías o distancias euclidianas. Este valor es una medida de impedancia<sup>2</sup> y puede ser tiempo, costo monetario o bien distancia en metros.
  - Número de instalaciones a seleccionarse, este valor depende de los requerimientos del usuario y puede variar según se lo requiera.
- Función objetivo: Es la parte esencial de cada optimización, es una función que evalúa la calidad de la solución y devuelve un valor numérico. El algoritmo de optimización busca una solución para la cual la función objetivo devuelva un valor máximo o mínimo según se requiera.

En el presente trabajo la función objetivo es la impedancia total desde cada punto de demanda hasta la instalación más cercana en la red vial. El algoritmo de optimización buscará minimizar la función objetivo.

---

<sup>1</sup> Esfuerzos de viaje: se define como la cantidad (distancia o tiempo) de movilizarse de un lugar a otro.

<sup>2</sup> Impedancia: es una medida de oposición que presenta un circuito a una corriente cuando se aplica una tensión, en este trabajo se realiza una analogía, definiendo la misma como una medida de oposición a trasladarse de un punto A hacia un punto B

Basado en el trabajo realizado por Narula, Ogbu, Samuelsson [33] en el cual plantea un problema “p-median” como se describe a continuación:

$$Z = \sum_i \sum_j a_i d_{ij} X_{ij} \quad \text{Ecuación 1}$$

Así tenemos:

$$\sum_j X_{ij} = p \quad \text{Ecuación 2}$$

Con:

$$X_{ij} \leq X_{jj}, \quad X_{jj} = 0 \text{ ó } 1, \quad i, j = 1 \dots n, \quad p < m \leq n$$

En donde:

Z: El valor de la función objetivo a ser minimizada.

n: Es el número de puntos de demanda existentes.

p: Es el número de instalaciones a ser localizadas.

$a_i$ : Es el valor de demanda existente en cada locación i.

$d_{ij}$ : Es la distancia desde el punto de demanda i hasta la instalación más cercana j

$X_{ij}$ : Es la decisión o variable de asignación espacial. Toma el valor de 1 si la demanda en la ubicación i se asigna a una ubicada en j, y el valor de 0 en caso contrario.

$X_{ij} = 1$ , si la demanda desde el punto i es satisfecha por una instalación en la ubicación candidata j. Así el conjunto de los puntos de demanda es el mismo que el de los puntos candidatos, por lo tanto i y j tienen el mismo rango de 1 a n.

## 2) Algoritmo para la resolución del problema

El programa ArcGIS contiene su módulo *Network Analyst* el mismo que no utiliza un solo proceso individual sino más bien una serie de procesos para llegar a encontrar una solución óptima. A continuación, se realiza una descripción de los mismos.

- Generación matriz origen-destino: Se define como matriz origen-destino a la tabla en la que se organiza básicamente cuatro valores: origen, destino, viajes generados y viajes atraídos. Las columnas corresponden a los destinos de viaje, mientras que las filas corresponden al origen de los viajes realizados. Un modelo de matriz típica es el que observa en la Tabla 8.

Tabla 8. Matriz Origen-Destino.

Origen/destino	1	2	j	Viajes generados
1	$V_{11}$	$V_{12}$	$V_{1j}$	$VG_1$
2	$V_{21}$	$V_{22}$	$V_{2j}$	$VG_2$
i	$V_{i1}$	$V_{i2}$	$V_{ij}$	$VG_i$
Viajes atraídos	$VA_1$	$VA_2$	$VA_j$	Total de viajes

(Fuente: [34])

Siendo:

$V_{ij}$  : Viajes realizados con origen i hacia el destino j

$VG_1$  : Viajes generados desde el destino 1

$VA_1$  : Viajes atraídos hacia el destino 1

En este trabajo, la matriz origen- destino estará conformada por la impedancia de las trayectorias más cortas, relacionando todas las instalaciones candidatas y los puntos de demanda existentes a lo largo de la red definida.

- Edición de Hillsman: Lo que realiza Hillsman en 1984 es definir una estructura matemática general denominada Modelo Lineal Unificado (ULM), este modelo posee la formulación del modelo “p-median” simple (Hakimi; ReVelle y Swain), así como el modelo de localización simple de plantas de Balinsky y también el modelo de localización de conjuntos de Toregas [35].

Esta herramienta permite resolver diversos tipos de problemas utilizando la heurística general de resolución.

- Sustitución de vértices de Teitz y Bart: Es un algoritmo muy utilizado para resolver problemas del tipo “p-median”. Para empezar, crea una configuración de carácter arbitrario de “p” instalaciones candidatas, todas las instalaciones candidatas no seleccionadas pasan a formar un grupo. Lo que realiza este algoritmo es intercambiar instalaciones utilizadas en la configuración con instalaciones de este grupo, para evaluar y obtener una menor impedancia. Si existe más de un intercambio se toma el que menor impedancia total produzca. Así se tiene que cada instalación de la configuración se intercambia sucesivamente con cada instalación del grupo no considerado y el cambio se acepta solo si la impedancia disminuye. El algoritmo se termina cuando ya no queden localizaciones que al intercambiarse con instalaciones del grupo disminuyan la impedancia total [36].

En la Figura 2.7 se observa cómo actúa el algoritmo, para la misma tenemos que la impedancia de cada nodo es de 1, excepto el nodo A cuyo valor de impedancia es 2. Se observa en la configuración inicial al sumar los nodos (A, C, D y F) la impedancia total es cinco. Mientras que en la configuración óptima al sumar los nodos (B, C, E y F) su impedancia total es cuatro.

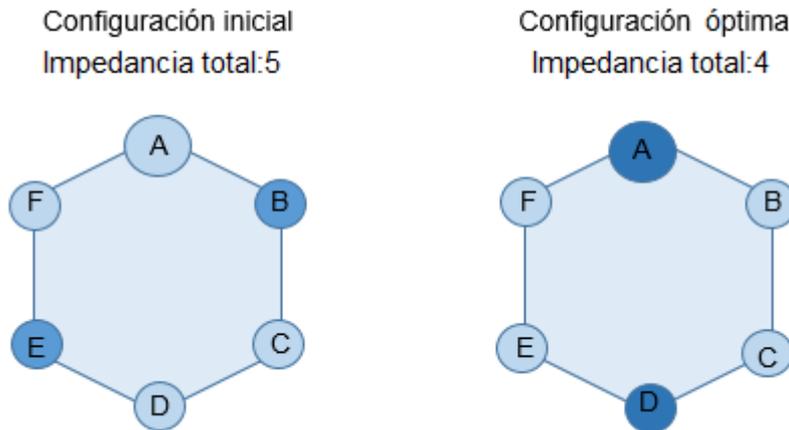


Figura 2.7. Método de sustitución de vértices Teiz-Bart.  
(Fuente:[36])

El algoritmo de Teiz-Bart entrega mejores resultados al encontrar una solución óptima el tiempo de ejecución del algoritmo no se puede establecer ya que depende del número de intercambios para cada problema [32].

- Meta heurística: Es un método heurístico que tiene como objetivo resolver problemas de optimización combinatoria en donde se busca encontrar un objeto matemático finito que maximice o minimice según se requiera una función especificada por el usuario [37]. En el presente trabajo se utiliza este proceso para combinar las soluciones refinadas en los anteriores algoritmos. La meta heurística concluye cuando ya no es posible realizar ninguna mejora.

### 3) Parámetros utilizados en la solución en ArcGIS.

#### - Cutoff Distance (distancia máxima)

Mediante este parámetro se escoge el valor máximo de distancia que exista entre el punto de demanda y la instalación a la que se encuentre asignada. Si el punto de demanda sobrepasa este límite no se asigna a la instalación, además esta distancia se mide mediante la ruta más corta dentro de la red.

En el presente trabajo se designó como distancia máxima a la distancia que los usuarios del sistema están dispuestos a recorrer para llegar a la electrolinera. Se usó un valor de 500 [m].

**- Problema de minimizar impedancia**

Se escogió este problema dentro de la capa de ubicación- asignación ya que reduce la distancia total que debe recorrer el público para llegar a las instalaciones elegidas, además ofrece la opción de transformación de impedancia en la cual se tiene tres opciones: lineal, potencial y exponencial

Se presenta un ejemplo simple para una fácil comprensión.

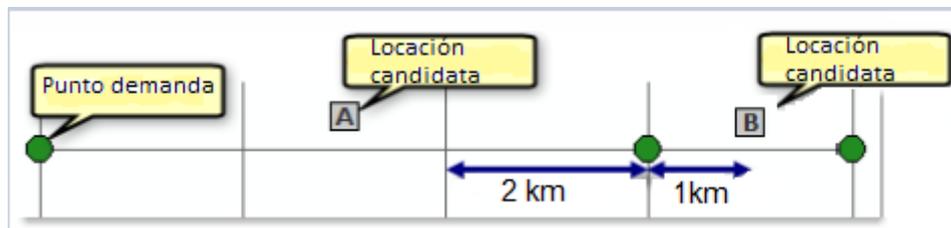


Figura 2.8. Ejemplo transformación de impedancia.

Transformación lineal: Esta dada por la ecuación:

$$\text{Imp}_{tr_{df}} = \lambda * \text{impedance}_{df} \quad \text{Ecuación 3}$$

Transformación potencial: Esta dada por la ecuación

$$\text{Imp}_{tr_{df}} = \text{impedance}_{df}^{\lambda} \quad \text{Ecuación 4}$$

Transformación exponencial: Esta dada por la ecuación

$$\text{Imp}_{tr_{df}} = e^{(\lambda * \text{impedance}_{df})} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

d: son los puntos de demanda.

f: son las instalaciones.

$\text{Impedance}_{df}$  : es la impedancia de red de la trayectoria más corta entre d y f

$\text{Imp}_{tr_{df}}$  : es la impedancia de red transformada entre la instalación y el punto de demanda.

$\lambda$ : Lambda denota el parámetro impedancia

Aplicando las ecuaciones: 3, 4 y 5 tenemos las instalaciones de la solución con las diferentes transformaciones de impedancia.

Tabla 9. Cuadro comparativo de transformación de impedancia.

Instalación	Transformación	impedancia total	Instalación solución
A	Lineal	$3+3+5=11$	
B		$7+1+1=9$	X
A	Potencial	$3^2+3^2+5^2=43$	X
B		$7^2+1^2+1^2=51$	
A	Exponencial	$e^{0,02*3}+e^{0,02*3}+e^{0,02*5}=3.23$	
B		$e^{0,02*7}+e^{0,02*1}+e^{0,02*1}=3.23$	X

(Fuente:[22])

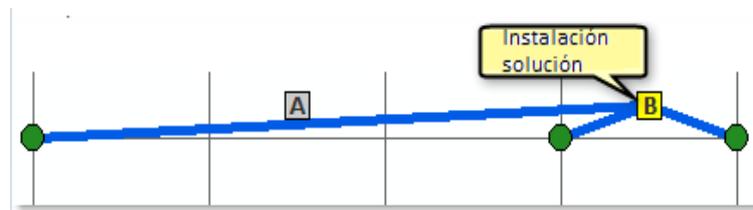


Figura 2.9. Solución transformación lineal.  
(Fuente:[22])

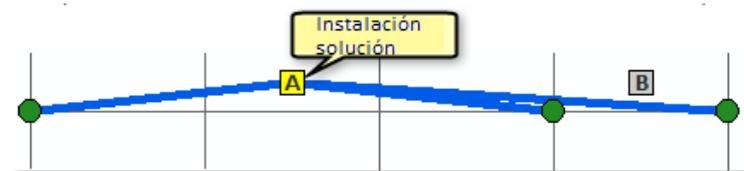


Figura 2.10. Solución transformación potencial.  
(Fuente:[22])

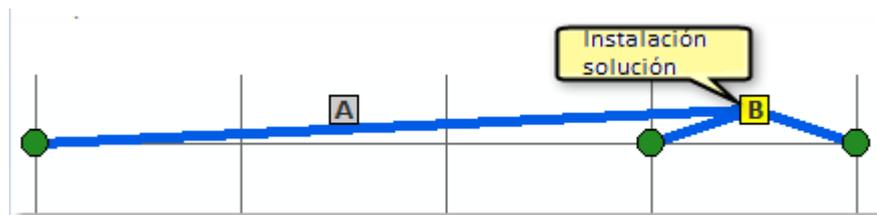


Figura 2.11. Solución transformación exponencial.  
(Fuente:[22])

Se ha optado por la utilización de la transformación potencial, como se observa en la Figura 2.10 la instalación escogida se encuentra más centralizada, de esta manera no se carga a una minoría de “Puntos atractores” lejanos, con distancias comparativamente excesivas que deberán ser recorridas por los usuarios.

### 2.3.2. Proceso realizado para el cálculo.

A continuación, se describe el proceso realizado en el programa ArcGIS para la localización óptima de las electrolineras en el Distrito Metropolitano de Quito.



Por todo lo mencionado este sector se convierte en idóneo para la implementación de un sistema de transporte como el de bicicleta eléctrica. Cabe aclarar que en este perímetro se encuentra el sistema de ciclo vías, las mismas que están adecuadas específicamente para el tránsito seguro de bicicletas y se encuentran en funcionamiento actualmente.

Posteriormente sobre dicho mapa se crea un *shapefile* de tipo red, que contiene un sistema interconectado de elementos, como bordes (líneas) y cruces de conexión (puntos), llamado "Calles de Quito", como se puede ver en la Figura 2.13.

Además, en la misma figura se puede observar el traslado de la información acerca de las ciclo vías existentes en este sector de la ciudad las cuales se encuentran representadas con una línea gruesa continua de color verde.

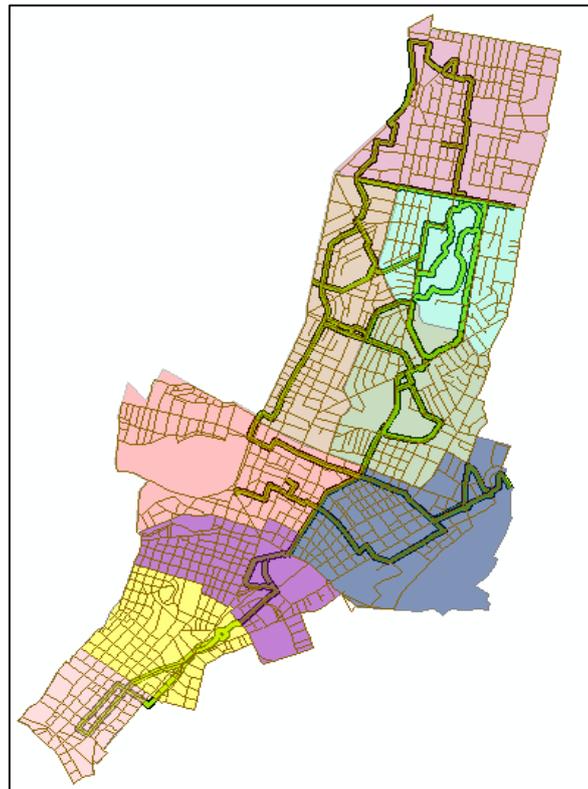


Figura 2.13. Red de análisis "Calles de Quito".  
(Fuente: Elaboración propia)

## 2) Puntos de demanda

Los puntos de demanda o puntos atractores representan a los usuarios potenciales del sistema de bicicletas eléctricas, así como también a entidades o centros comerciales muy visitados por los usuarios, lo que también los convierte en destinos de viajes. Cada punto de demanda presenta una serie de propiedades que describen sus atributos principales, los mismos que deben ser llenadas por el usuario.

Como principal característica para los puntos de demanda tenemos la cantidad de usuarios. Este dato se ingresará en la propiedad “Peso” para cada punto de demanda. El peso es una ponderación relativa asignada a la instalación para valorar su atractivo. La conveniencia o la predisposición de una instalación con respecto a otra se denomina “atractividad” (Ver ANEXO I.).

### **3) Instalaciones candidatas.**

Las instalaciones candidatas se las seleccionó tomando en cuenta 3 factores principales:

- Disponibilidad solar.
- Espacio para la instalación.
- Cercanía a la ciclo vías habilitadas.

Una vez ubicadas en el mapa se procede a introducir manualmente la propiedad “Peso” la cual en este presente trabajo representa el tamaño de la estación de recarga. (ANEXO II.).

### **4) Factor de atractividad**

Una vez ubicados los puntos demandantes es necesario cuantificar la influencia que tienen los mismos en la selección de las paradas.

Para ello es necesario considerar la “atractividad”. La atractividad se define como la influencia o el peso que tendrá cada punto atractor en la simulación.

El puntaje se lo realiza sobre 100 puntos, como podemos observar en la Tabla 10. La cuantificación se realiza tomando en cuenta el número de viajes que son capaces de atraer los “puntos demandantes o puntos atractores”. El grupo de puntos atractores con mayor puntuación es el de paradas ya existentes del sistema BiciQ (90 pts.), que nos proporcionan información de viajes que se han realizado durante los años de funcionamiento, por lo que obtiene el puntaje más alto en el análisis. De igual manera, otro grupo de puntos atractores con alto puntaje es el que representa a las paradas del metro de Quito (85 pts.), ya que son puntos de conexión con un sistema de transporte que conecta a toda la ciudad; esto también se muestra en estudios realizados en la ciudad de Madrid [39], que toma con carácter obligatorio a este tipo de paradas. Así, observando la Tabla 10, se tiene que el grupo de puntos atractores con el menor puntaje en nuestro análisis es el que representa a los museos de la ciudad (20 pts.).

Tabla 10. Atractividad de los puntos de demanda.

Puntos Atractores	Atractividad/100 pts.
Centros comerciales	80
Entidades públicas	50
Museos	20
Paradas BiciQ	90
Paradas de buses	50
Población	30
Supermercados y mercados	65
Universidades	75
Parques	80
Paradas Metro Quito	85

(Fuente: Elaboración propia)

Una vez establecidos los valores de atractividad para cada punto, se los debe cuantificar dentro de cada categoría. Para esto en la mayoría de los casos, se utilizó datos obtenidos del buscador Google que nos proporciona la información sobre las valoraciones de usuarios. Esto proporciona un valor numérico que representa el mayor o menor número de visitas en los distintos puntos atractores.

Utilizando esta información se calcula la atractividad de cada punto, utilizando la ecuación más adelante descrita:

$$atr_i = (v_G * atr_g) / v_{g\text{máx}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Siendo:

$atr_i$ : Atractividad individual.

$v_G$ : Valoración obtenida de Google para cada punto atractor individual.

$atr_g$ : Atractividad por grupo de puntos atractores.

$v_{G\text{máx}}$ : Valoración máxima de cada grupo de puntos atractores.

De esta manera obtenemos la atractividad para cada punto de demanda o punto atractor dentro de cada grupo, así el valor máximo que podrá tener cualquier punto está limitado por la atractividad grupal mostrada en la Tabla 10.

## 5) Escenarios de simulación

Existen varias maneras de plantear escenarios como en el trabajo realizado en la ciudad de New York (ver *NYC Dept. City Planning*, 2009) [40], en el cual se trabaja en función del área que cubre el sistema, aumentándola o disminuyéndola para ver los efectos producidos. De igual manera en el trabajo realizado por el Departamento de Geografía

Humana de la Universidad Complutense de Madrid se trabajó con escenarios variando el número de estaciones [39]. (Ver Figura 2.14).

En nuestro trabajo se plantean tres escenarios en los cuales varía el número de bicicletas que dispone el sistema para su funcionamiento, esta variación influye directamente en el número de estaciones. Se lo realiza de esta manera ya que el análisis considera un perímetro de cobertura del sistema fijo debido a la limitación de la ciclo vías funcionales en la ciudad.

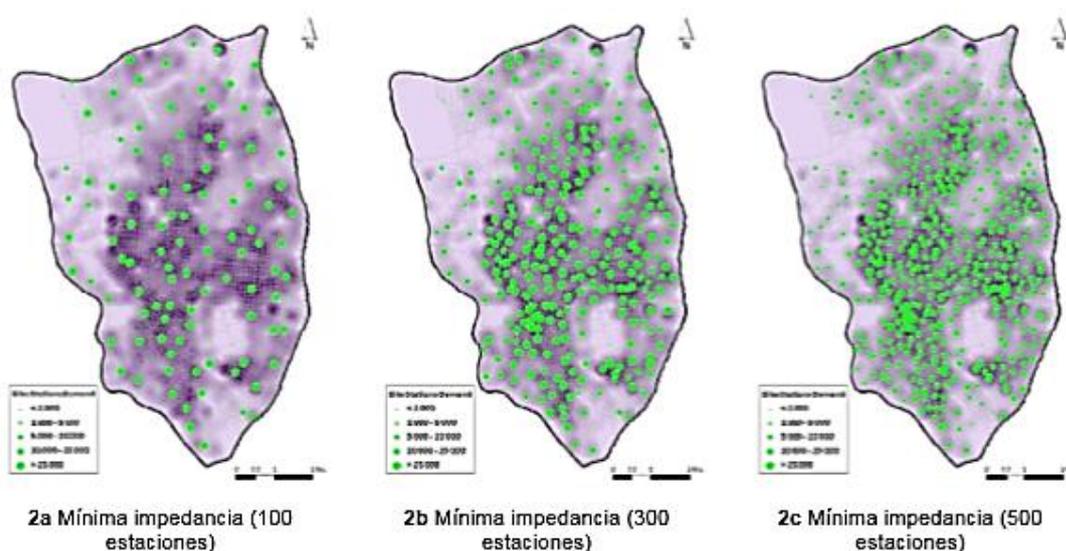


Figura 2.14. Escenarios variando el número de estaciones.  
(Fuente: [39])

Se toma como base los datos proporcionados por la AMT de la Tabla 2, en la cual se menciona que el sistema de BiciQ posee 150 bicicletas eléctricas funcionales. Se toma este valor como inicial y se proyecta un incremento en dos etapas. La primera etapa con un aumento de 150 bicicletas eléctricas al 2020 y una segunda etapa con un incremento de 200 bicicletas eléctricas, llegando al escenario máximo de 500 bicicletas eléctricas al 2022. Aplicando la ecuación más adelante descrita se obtiene el número de estaciones necesarias para cada escenario.

$$E = \frac{B}{A} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

E= Número de estaciones requeridas en cada escenario

B= Bicicletas funcionales dentro de cada escenario

A= Número promedio de anclajes para bicicletas en las estaciones (En este caso el número de anclajes depende del tamaño de las estaciones de recarga posteriormente analizado).

## **2.4. Simulación en PV-Syst**

Las electrolineras se ubicarán dentro de la ciudad de Quito, específicamente en el sector centro-norte dentro del perímetro de funcionamiento del sistema BiciQ y limitado por la ciclo vías existentes que se detalla en la Figura 2.12

### **2.4.1. Información meteorológica en el DMQ**

Esta información se debe ingresar ya que son datos de entrada en nuestro proceso de simulación. En el país la institución encargada de obtener y administrar esta información es el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). En su base de datos la Provincia de Pichincha cuenta con un total de 35 estaciones meteorológicas que en su mayoría son pluviométricas es decir solo nos permite medir la cantidad de lluvias en la zona. De estas estaciones 8 son estaciones climatológicas principales y están en la capacidad de obtener datos de radiación, aunque los mismos no se incluyen en el boletín anual que presenta la institución [41].

Por otra parte, en el DMQ mediante la Secretaría del Medio Ambiente, se obtienen datos de las 8 estaciones existentes, las mismas que nos proporcionan una serie de datos meteorológicos entre los cuales se encuentran datos de radiación solar [42]. La dificultad de utilizar estos datos es que la Secretaría no posee datos en formato de año típico meteorológico (.TMY), que son datos que no pertenecen a un año específico sino es una serie sintética en función de la media de valores históricos. Por otra parte, la página de la Secretaría no permite descargar los archivos en el formato que utiliza el programa, lo que dificulta el trabajo con esta base de datos.

Otra forma de obtener la información meteorológica de la ciudad de Quito, y la escogida en el presente trabajo, es usando información de bases de datos existentes de entidades internacionales dedicadas a esto. Estas son capaces de entregar datos meteorológicos en la localidad que se requiera, cuyos datos son obtenidos a través de estaciones localizadas en diferentes partes alrededor del mundo o a su vez, mediante fotografías satelitales.

Entre las más recomendadas y comerciales para trabajar con PvSyst tenemos: PVGIS, NASA-SEE, Meteonorm, WRDC, Meteocontrol, *Statelight*, Soda, *National Renewable Energy Laboratory –National Solar Radiation Data Base* [43].

- **Base de datos Meteonorm**

Se escogió la base de datos Meteonorm debido a que presenta una serie de ventajas al interactuar con PVsyst. Entre las principales ventajas tenemos:

- Nos permite trabajar con TMY en los períodos 1981-1990 y 1991-2010
- La información está dada por estaciones meteorológicas ubicadas estratégicamente, esta información es complementada por satélites que cubren zonas en donde no existen estaciones.
- Nos proporciona gran cantidad de información, entre la que tenemos: radiación global, directa y difusa en superficie horizontal e inclinada, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, radiación UV, nubosidad, entre otros más.
- Trabaja con formatos compatibles con PVsyst y otros softwares para aplicaciones de energía solar.

Esta base de datos se la obtuvo a través del programa PVsyst que cuenta con la facilidad de importar datos de forma gratuita de las fuentes Meteonorm y NASA-SEE.

## 2.4.2. Orientación del arreglo fotovoltaico

Este aspecto determina la orientación que tendrá el arreglo fotovoltaico, incluyendo los ángulos de orientación si se trata de un sistema fijo o posee seguimiento solar, también se define la inclinación del eje y el ángulo de rotación al utilizar seguimiento solar.

El presente trabajo considera dos tipos de arreglos diferentes, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 11 y graficados en la Figura 2.15. Se optó por realizar el dimensionamiento del sistema estático para poder evidenciar las ventajas de implementar seguimiento solar en aplicaciones fotovoltaicas en la ciudad de Quito.

Tabla 11. Parámetros de orientación PV-Syst.

Superficie fotovoltaica	Selección de parámetros
Arreglo con seguimiento en eje inclinado u horizontal Norte-Sur	Inclinación del eje = $0^{\circ}$ Ángulo de Azimut = $0^{\circ}$ Fi mín. = $-75^{\circ}$ Fi máx. = $75^{\circ}$
Arreglo fijo	Inclinación de la superficie = $5^{\circ}$ Ángulo de Azimut = $0^{\circ}$

(Fuente: Elaboración propia)

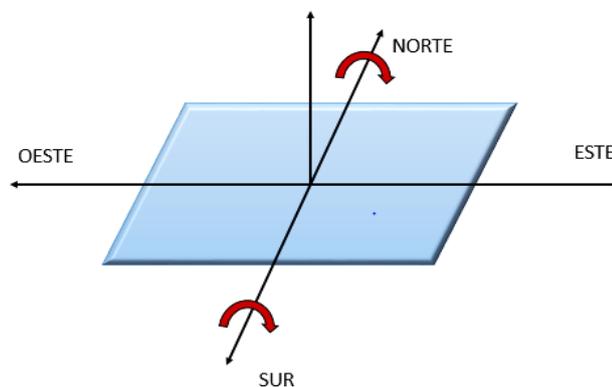


Figura 2.15. Orientación panel fotovoltaico.  
(Fuente. Elaboración propia)

Debido a la posición geográfica del Ecuador, el arreglo fotovoltaico se colocará cerca de la línea ecuatorial para lo cual se recomienda un ángulo de inclinación de  $5^\circ$  para obtener una ganancia máxima y un ángulo azimutal de  $0^\circ$  para arreglos estáticos [44]. Tomando en cuenta la consideración anterior, vamos a trabajar con una inclinación del eje de  $0^\circ$  y un ángulo azimutal de  $0^\circ$  para el arreglo con seguimiento en un eje. Para este también se define el límite mínimo y máximo de rotación del eje, el mismo que será de  $-75^\circ$  en el este y  $75^\circ$  al oeste.

### 2.4.3. Requerimientos del usuario

En esta sección se procede a determinar la demanda energética que debe ser cubierta por la estación. Se coloca los objetos a ser recargados, así como su número, potencia y horas de uso diarias. Dentro de este análisis se encuentra otro aspecto importante como lo es la distribución de las horas de uso en el día de cada bicicleta eléctrica, para esto se debe llenar un diagrama distribuyendo las horas de uso de las electrolineras. A continuación, en la Tabla 12 se muestran los parámetros que son requeridos para el cálculo del sistema.

Tabla 12. Requerimientos del usuario

Número	Aplicación	Potencia [W]	Uso diario [h]	Energía necesaria a cada hora [Wh]
4	Bicicleta eléctrica	90	4	1.440

(Fuente: Elaboración propia)

Por otra parte, se debe proceder a llenar el diagrama especificando las horas en que estará en uso el sistema (Ver Figura 2.16).

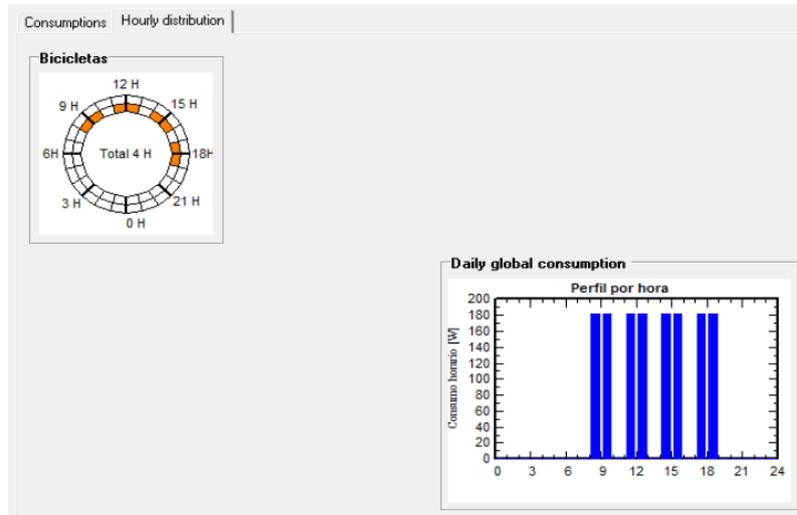


Figura 2.16. Distribución horaria PV-Syst.  
(Fuente: Elaboración propia mediante programa de simulación PV-Syst)

Para esto se tomarán las horas de las cuales se poseen datos de movimientos de bicicletas proporcionados por la Agencia Metropolitana de Tránsito sobre el sistema de bicicleta pública “BiciQ”.

#### 2.4.4. Análisis de sombras en el sistema fotovoltaico

Este aspecto se lo debe considerar en todo análisis de sistemas fotovoltaicos ya que la influencia de las sombras producida por elementos externos, o a su vez por el mismo arreglo fotovoltaico, afecta considerablemente en la eficiencia de los paneles fotovoltaicos. Este aspecto se puede notar de mayor manera en la mañana, así como en las últimas horas de la tarde.

A continuación, se describen los dos efectos de los diferentes tipos de sombras existentes en un arreglo fotovoltaico.

##### 1) Efecto producido por sombras del mismo arreglo fotovoltaico

En el presente trabajo se omite este análisis debido a las características del arreglo fotovoltaico usado. En este caso el arreglo no produce sombra relevante sobre sí mismo debido al sistema de seguimiento usado que actúa como un solo panel.

##### 2) Influencia de objetos externos al entorno del arreglo fotovoltaico.

Se analiza dos tipos de sombras, la primera será el efecto de sombras producidas por el horizonte a lo que se conoce como sombras lejanas, el segundo tipo de sombras que se analizará son las sombras producidas por edificaciones cercanas a las instalaciones.

- **Horizonte o sombras lejanas**

Para este análisis se procede a construir un perfil de acuerdo con el horizonte de nuestra ubicación, este perfil muestra las elevaciones y su influencia por hora en el sistema.

El perfil de sombras utilizado es el construido en el trabajo de Morales (2017) [44], en el cual se elabora un perfil con las principales elevaciones que afectan a un arreglo fotovoltaico ubicado en el centro-norte de la ciudad, como podemos observar en la Figura 2.17. Se consideró al volcán Pichincha al Oeste de la ciudad y por el Este al cerro Agustinsucho y Chusiagüiro

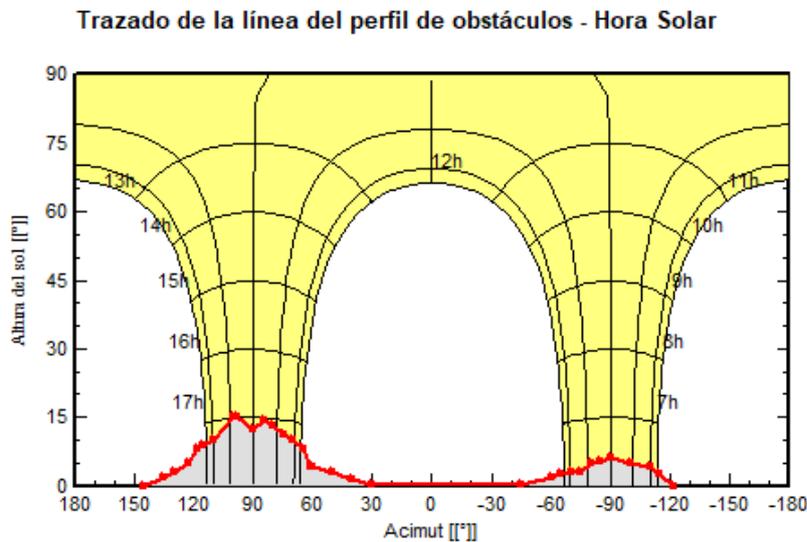


Figura 2.17. Perfil de sombras de la ciudad de Quito.  
(Fuente: Elaboración propia)

- **Sombras producidas por edificaciones cercanas a la instalación fotovoltaica**

El principal problema al analizar las sombras producidas por edificaciones cercanas, es que no se realiza el análisis a una sola instalación sino a una serie de instalaciones localizadas en varios puntos en la ciudad de Quito, de tal manera que cada una de las instalaciones tendrá un escenario particular de edificaciones a su alrededor.

Resulta complicado realizar un análisis individual por lo que se tuvo la necesidad de establecer cuatro escenarios que describen correctamente el paisaje urbanístico que rodea a las estaciones de recarga. Esta estrategia es válida debido a que el índice de influencia no varía significativamente en nuestro análisis.

Para ello se toma como referencia el trabajo realizado por Samuelson, Claussnitzer [45]. Con lo cual se procede a generar edificaciones tomando en cuenta la altura máxima de las edificaciones existentes en el lugar, el tipo de edificaciones, las zonas verdes, así como árboles existentes y la densidad de edificaciones, de cada escenario. De tal manera que represente un promedio de la influencia de las sombras generadas por las

mismas. A continuación, se describen los cuatro escenarios generados y de forma gráfica se muestra en la Figura 2.18:

- Zona Centro Colonial: Este modelo se caracteriza por presentar edificaciones de corte colonial como iglesias, casas antiguas con un techado característico, así como la presencia de plazas, cabe recalcar la escasa presencia de edificios modernos de gran altura.
- Zona Norte Central (Universidades): Esta situación refleja la de paradas que se encuentra en una zona que cuenta con edificios modernos de un tamaño medio-alto, domicilios de 2 a 3 pisos, edificaciones de gran longitud como supermercados, así como la presencia de árboles y parques.
- Zona Norte: Esa zona presenta edificaciones modernas de una altura considerable, se caracteriza por estar rodeada de edificios que sirven como oficinas y centros financieros.
- Zona parques: Aquí consideramos paradas que se ubican en las inmediaciones de parques, en donde las principales fuentes de sombreado son árboles de la zona.

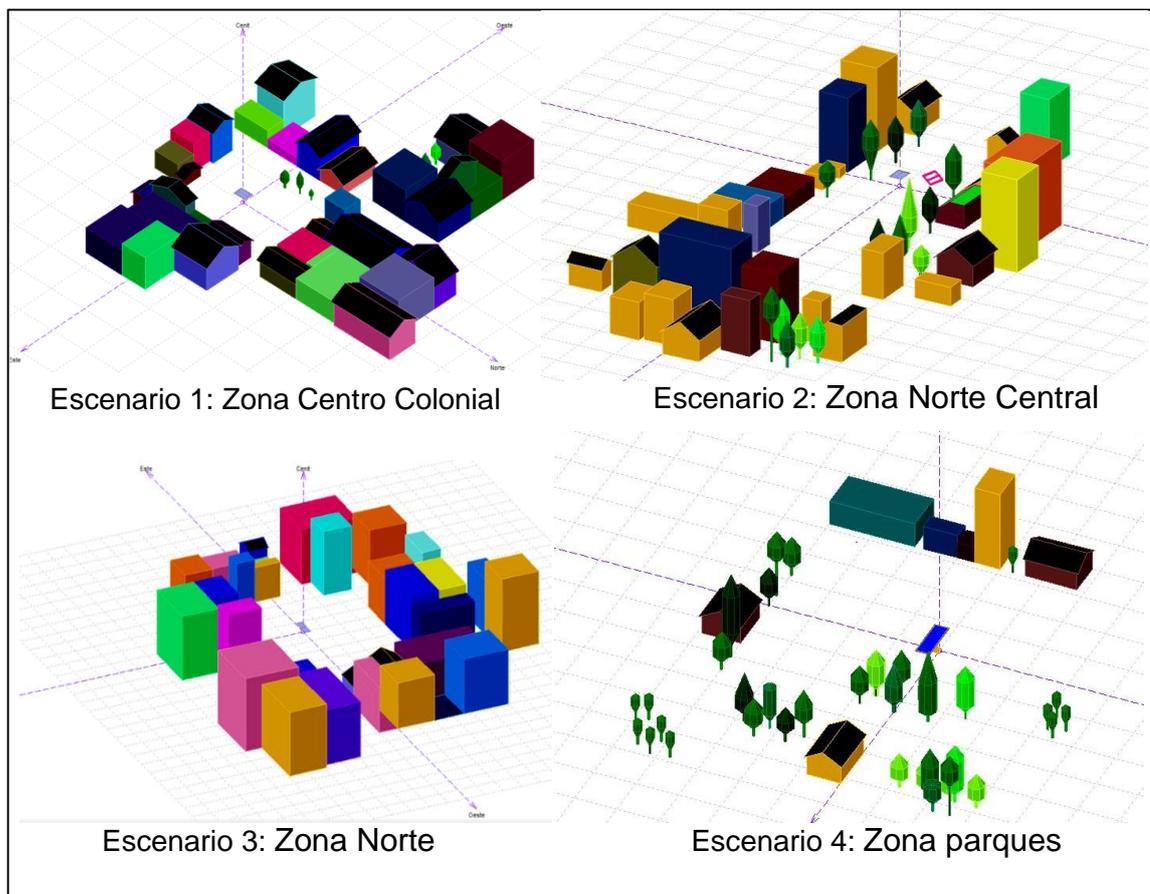


Figura 2.18. Escenarios de sombras cercas PV-Syst.  
(Fuente: Elaboración propia programa PV-Syst)

## 2.4.5. Elementos del sistema fotovoltaico aislado

Para el funcionamiento de un sistema fotovoltaico aislado se requiere una serie de elementos los cuales seguirán una configuración, la cual se observa en la Figura 2.19.

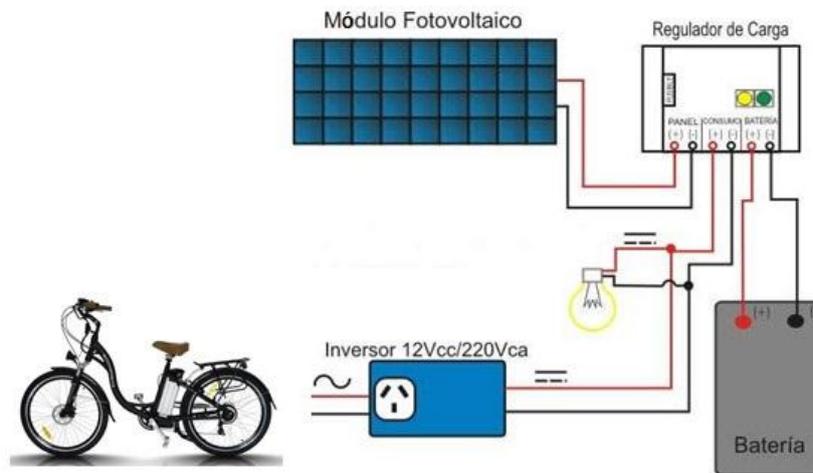


Figura 2.19. Esquema sistema fotovoltaico aislado  
(Fuente: Elaboración propia)

A continuación, se describen las principales características de los elementos utilizados:

- **Panel fotovoltaico**

El panel seleccionado para el estudio será un panel que cumpla con los parámetros de los paneles existentes en el mercado nacional. Es decir, se seleccionó un panel comercial. La Tabla 13, se muestra las características principales del panel fotovoltaico:

Tabla 13. Características principales del panel fotovoltaico.

Marca		Zhonan
Modelo		PR-105P6-36
Número de celdas		36
Tecnología		Poli cristalino
Eficiencia nominal	%	14,8
Eficiencia de la celda	%	17,4
Potencia máxima	pmp (Wp)	105
Voltaje potencia máxima	vmp (V)	17,75
Corriente de máxima potencia	imp (A)	5,92
Voltaje en circuito abierto	voc (V)	21,77
Corriente de corto circuito	isc (A)	6,29
Dimensiones	mm	1.060*670*35
Peso módulo	kg	8,37

(Fuente: Elaboración propia)

- **Regulador**

Es un elemento esencial en instalaciones fotovoltaicas autónomas ya que es el encargado de controlar cargas y descargas excesivas en las baterías, así evitando daños mayores en las mismas. Existen varios tipos de reguladores para sistemas fotovoltaicos, para este trabajo se trabajará con un regulador del tipo MPPT o seguidor de punto de máxima potencia. Es un regulador que optimiza la correspondencia entre los paneles fotovoltaicos y el banco de baterías. Es decir, convierten una salida de corriente continua de mayor voltaje de los paneles fotovoltaicos a la tensión más baja necesaria para cargar las baterías. Es decir, controla permanentemente la tensión de trabajo de los paneles fotovoltaicos, haciendo que estos trabajen siempre en el punto de potencia máxima, de tal modo que en todo momento el sistema fotovoltaico proporciona la potencia máxima que el panel está dispuesto a suministrar.

- **Batería**

Son los elementos que se encargan de acumular la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico, para ser utilizada en los días en que el sistema no pueda generar la energía requerida. Para determinar las baterías del sistema es necesario determinar los días de autonomía. Es decir, los días en el que sistema debe satisfacer las necesidades del usuario sin generar energía adicional, utilizando la acumulada en las baterías.

A continuación, en la Tabla 14 presentamos los valores ingresados en la simulación.

Tabla 14. Características de la batería

Batería	
Marca	Toyama
Modelo	NPG150-12
Voltaje nominal (V)	12
Capacidad nominal 10h (Ah)	150
Tecnología	Plomo Gel
Dimensiones (mm)	241*484*171
Peso (kg)	44
Resistencia interna (mΩ)	2
Sistema	
Días de autonomía (días)	2
L.O.L (%)	3
Voltaje (V)	12

(Fuente: Elaboración propia)

## 2.4.6. Parámetros de pérdidas del sistema fotovoltaico

Se tomarán en cuenta ciertos factores que influyen en la eficiencia total del sistema fotovoltaico. El programa nos da ciertos parámetros para tomar en cuenta. A continuación, se muestran los parámetros de pérdidas del campo fotovoltaico.

- Parámetros térmicos: Se los caracterizará mediante un factor de pérdida térmica denominado "U" que constará de dos componentes: un componente constante,  $U_c$ , y otro factor proporcional a la velocidad del viento,  $U_v$ . Se utilizará el valor por defecto de módulos montados al aire libre.
- Pérdida óhmica: La resistencia induce pérdidas entre la potencia disponible de los módulos y la potencia en los terminales de subconjunto. De igual manera se toma el valor por defecto que nos proporciona el programa.
- Calidad de módulos o *Mismatch*: Un parámetro que mide las diferencias eléctricas existentes entre los módulos fotovoltaicos en un arreglo. Se utilizará el valor por defecto que nos da el programa.
- Pérdidas por acumulación de polvo y suciedades: Para esto se tomará el valor por defecto del programa que es el de 3%, debido a que la ubicación de los arreglos es al aire libre.
- Pérdidas IAM: Son las pérdidas que se producen debido a la reflexión que posee el propio vidrio del panel fotovoltaico. De igual manera se tomará valores que el programa da por defecto
- Factor de degradación de los paneles: Para este valor se tomará el valor dado por el fabricante de los módulos que nos da una pérdida del 20% después de 25 años, así tendremos una pérdida anual de 0,8% [46].

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Análisis de datos obtenidos

A continuación, se realiza el análisis de los datos obtenidos en la AMT así como de los diferentes gráficos estadísticos obtenidos de las mismas.

- Área de cobertura: 18 km<sup>2</sup> (Tabla 2)

Nos muestra el área total que cubre el sistema de ciclo vías funcionales de la ciudad de Quito el mismo que presenta una extensión relativamente pequeña y que puede ser abarcada sin problema por la bicicleta eléctrica seleccionada.

- Número de bicicletas:

Bicicletas totales: 613

Bicicletas convencionales: 317

Bicicletas eléctricas: 296

Bicicletas operativas: 230

Número de anclajes: 509

Para nuestro proyecto se utiliza exclusivamente bicicletas eléctricas cuyo total es 296, de las cuales se trabajará únicamente considerando una base de 150 bicicletas eléctricas operativas, las mismas que serán distribuidas adecuadamente en las electrolíneas.

- Reporte mensual de viajes 2017

Como se puede observar en la Tabla 4, los meses con mayor número de viajes coincide con los períodos vacacionales, así como en la época que menor cantidad de precipitaciones existen en nuestra ciudad, que son los meses de Julio, Agosto y Septiembre, tendencia que se mantendrá para nuestro proyecto.

Como se puede observar en la Figura 3.1, la misma que fue obtenida en los períodos que más usuarios presentó Bici Quito, se observa que las paradas “Cruz del Papa”, “Portugal”, “Estadio Olímpico”, “Las Cámaras”, presentan mayor cantidad de viajes en este período de tiempo, por lo que se concluye que el sector del parque La Carolina es el que más movimiento presenta a lo largo de estos años.

De igual forma la gran mayoría de paradas mantienen un nivel de uso intermedio, y se observa que las paradas que menos viajes presentaron son sectores en el que el uso de bicicleta se ve reemplazado por otros medios de transporte, en la mayoría de los casos, con bicicleta convencional.

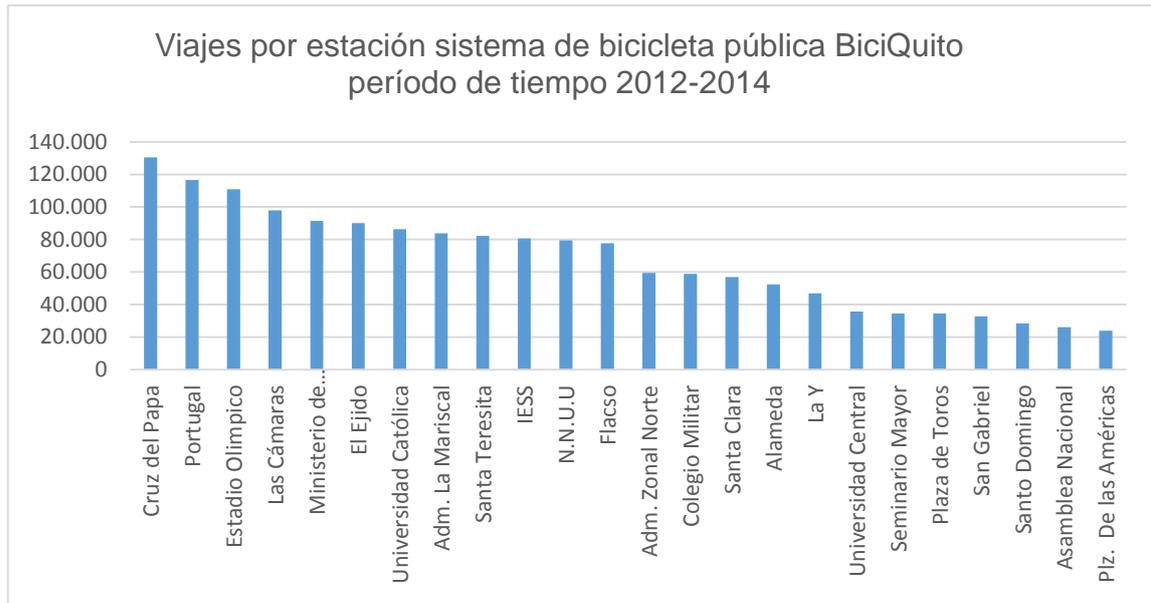


Figura 3.1. Cuadro de análisis de demanda por estación del sistema BiciQ. (Fuente: Elaboración propia)

A continuación se muestra las gráficas de los datos obtenidos a través de la Agencia Metropolitana de Tránsito donde se puede observar las estaciones que poseen mayor movilidad de bicicletas en los horarios de mayor demanda del día jueves 6 de julio del 2017.

Así como las estaciones de menor flujo de bicicletas ya sea en préstamos o devoluciones de las mismas.

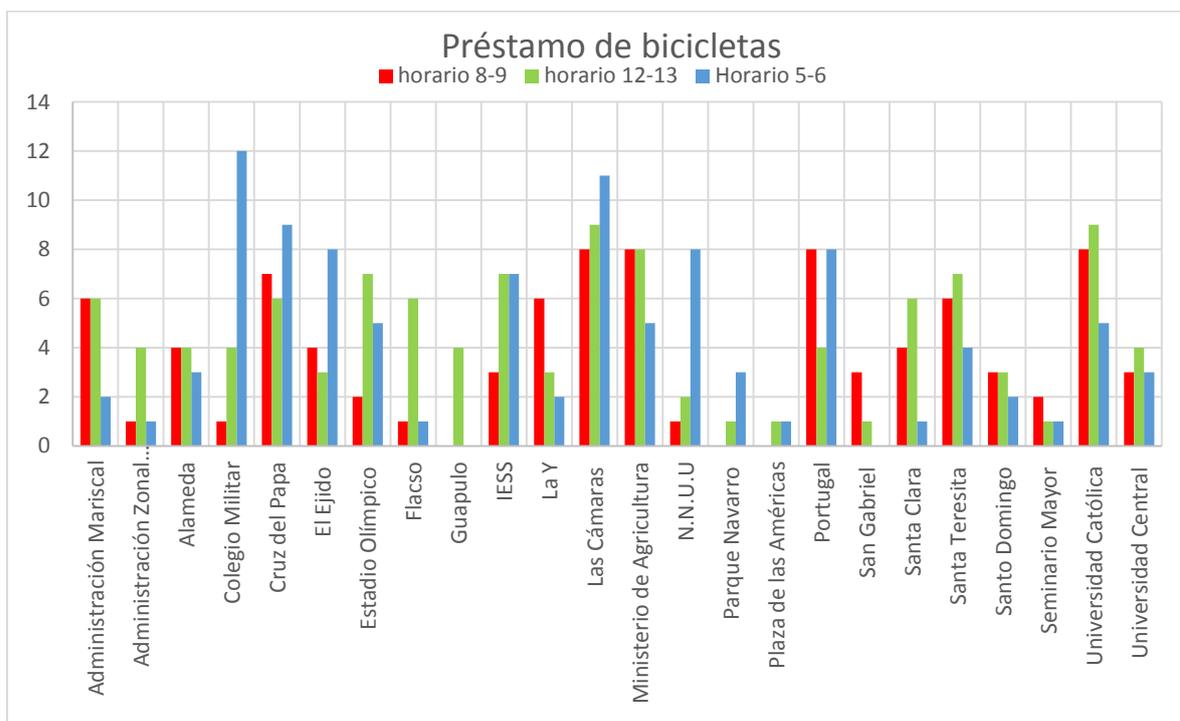


Figura 3.2. Análisis de los movimientos del sistema BiciQ en los diferentes horarios. (Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar en la Figura 3.2 las estaciones que realizan mayor número de préstamos dentro del sistema “BiciQ” son: Las cámaras, Cruz del Papa, Ministerio de Agricultura, Universidad Católica, Administración la Mariscal.

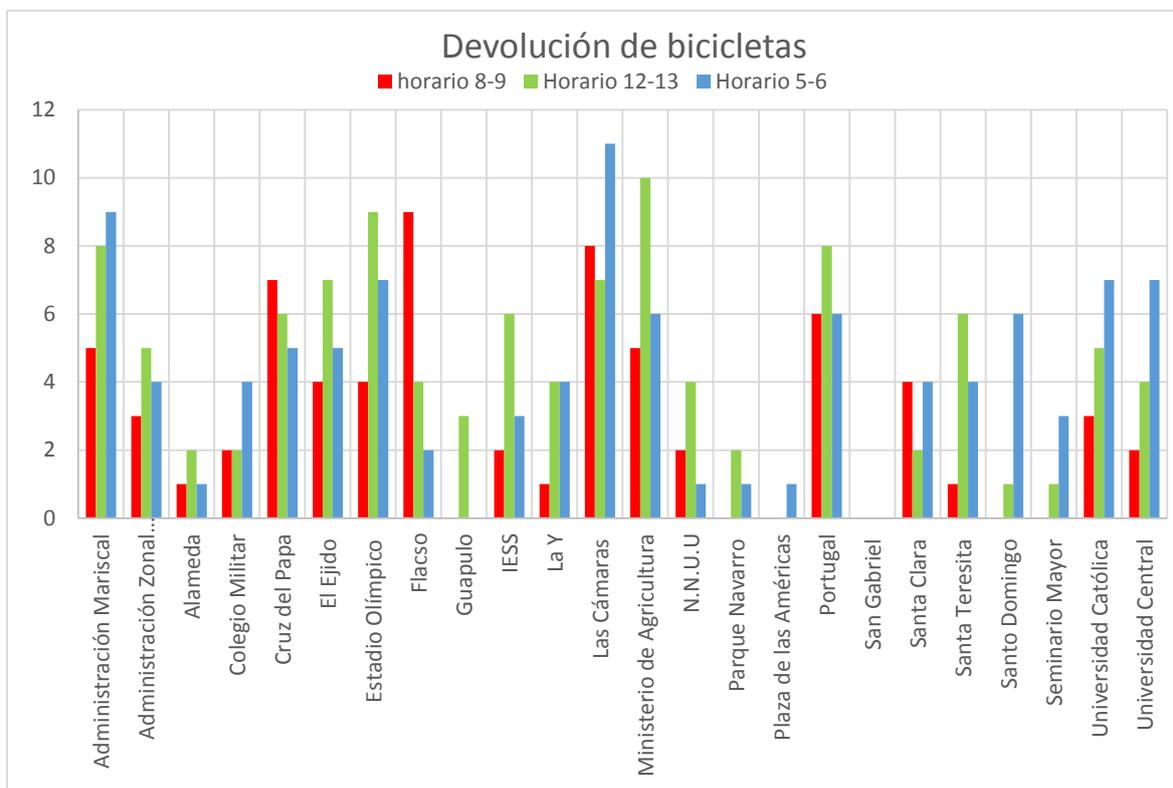


Figura 3.3. Análisis de los movimientos del sistema BiciQ en los diferentes horarios. (Fuente: Elaboración propia)

En la Figura 3.3 se puede visualizar que las estaciones que reciben el mayor número de bicicletas, dentro del sistema de bicicleta pública “BiciQ” las cuales son: Las Cámaras, Ministerio de Agricultura, Administración la Mariscal, Portugal, Cruz del Papa, El Ejido y Estadio Olímpico.

Al analizar las Figura 3.2 y Figura 3.3 se puede evidenciar que las estaciones que proveen mayor número de bicicletas al sistema son coincidentes en su mayoría con las que reciben de igual forma mayor número de bicicletas, es decir, dichas estaciones son las que mayor movimiento presentan dentro del sistema en los diferentes horarios y esto indica la necesidad de ubicar estaciones de mayor tamaño en dichos sectores.

### **3.1.1. Categorización de las paradas del sistema.**

Mediante el análisis de los datos obtenidos se ha logrado realizar la categorización de cada parada del sistema de bicicleta compartida BiciQ, mediante una evaluación porcentual del número de viajes realizados por cada estación con respecto al número total de viajes realizados por el sistema a la misma hora Tabla 15 y se las ha clasificado en tres tipos según su diferencia porcentual.

- Paradas atractoras [A]: Son aquellas estaciones localizadas en zonas comerciales, empresariales y académicas las cuales en el inicio de la jornada laboral tendrán más anclajes libres que bicicletas disponibles.

Las paradas atractoras son aquellas que poseen una variación mayor o igual a 2% con signo negativo debido a que se está analizando préstamos menos devoluciones.

- Paradas generadoras [G]: Son aquellas localizadas en zonas mayormente residenciales y las cuales deberán tener más bicicletas disponibles que anclajes.

Las paradas generadoras cumplen con el mismo principio que las atractoras con la diferencia que su variación será mayor o igual a 2% con signo negativo debido a que se está analizando préstamos menos devoluciones.

- Paradas mixtas [M]: Aquellas que cumplen la función de generadoras y atractoras a la par, ubicadas mayormente en sectores turísticos y de transferencia con otros sistemas de transporte.

Dichas paradas se tomarán en cuenta si su variación máxima es de 2%.

El resumen de los resultados obtenidos se muestra en la Tabla 16.

Tabla 15. Análisis porcentual de los viajes por estación.

ESTACIÓN	Análisis porcentual de los viajes por estación						G	M	A
	Préstamo bicicleta			Devolución bicicleta			Préstamos/Devolución		
	8-9 AM	12-1 PM	5-6 PM	8-9 AM	12-1 PM	5-6 PM	8-9 AM	12-1 PM	5-6 PM
Administración Mariscal	6,7	5,5	2,0	7,2	7,5	8,9	-0,5	-2,1	-7,0
Administración Zonal Norte	1,1	3,6	1,0	4,3	4,7	4,0	-3,2	-1,1	-3,0
Alameda	4,5	3,6	2,9	1,4	1,9	1,0	3,0	1,7	2,0
Colegio Militar	1,1	3,6	11,8	2,9	1,9	4,0	-1,8	1,7	7,8
Cruz del Papa	7,9	5,5	8,8	10,1	5,7	5,0	-2,3	-0,2	3,9
El Ejido	4,5	2,7	7,8	5,8	6,6	5,0	-1,3	-3,9	2,9
Estadio Olímpico	2,2	6,4	4,9	5,8	8,5	6,9	-3,5	-2,1	-2,0
FLACSO	1,1	5,5	1,0	13,0	3,8	2,0	-11,9	1,7	-1,0
Guápulo	0,0	3,6	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,8	0,0
IESS	3,4	6,4	6,9	2,9	5,7	3,0	0,5	0,7	3,9
La Y	6,7	2,7	2,0	1,4	3,8	4,0	5,3	-1,0	-2,0
Las Cámaras	9,0	8,2	10,8	11,6	6,6	10,9	-2,6	1,6	-0,1
Ministerio de Agricultura	9,0	7,3	4,9	7,2	9,4	5,9	1,7	-2,2	-1,0
N.N.U.U	1,1	1,8	7,8	2,9	3,8	1,0	-1,8	-2,0	6,9
Parque Navarro	0,0	0,9	2,9	0,0	1,9	1,0	0,0	-1,0	2,0
Plaza de las Américas	0,0	0,9	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,9	0,0
Portugal	9,0	3,6	7,8	8,7	7,5	5,9	0,3	-3,9	1,9
San Gabriel	3,4	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,9	0,0
Santa Clara	4,5	5,5	1,0	5,8	1,9	4,0	-1,3	3,6	-3,0
Santa Teresita	6,7	6,4	3,9	1,4	5,7	4,0	5,3	0,7	0,0
Santo Domingo	3,4	2,7	2,0	0,0	0,9	5,9	3,4	1,8	-4,0
Seminario Mayor	2,2	0,9	1,0	0,0	0,9	3,0	2,2	0,0	-2,0
Universidad Católica	9,0	8,2	4,9	4,3	4,7	6,9	4,6	3,5	-2,0
Universidad Central	3,4	3,6	2,9	2,9	3,8	6,9	0,5	-0,1	-4,0
Plaza de Toros	Cerrada temporalmente								
Asamblea Nacional	Cerrada temporalmente								
Plaza Grande	Cerrada temporalmente								

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 16. Categorización de las estaciones del sistema BiciQ.

HORARIOS	Estaciones																										
	Administración Mariscal	Administración Zonal Norte	Alameda	Colegio Militar	Cruz del Papa	El Ejido	Estadio Olímpico	FLACSO	Guápulo	IESS	La Y	Las Cámaras	Ministerio de Agricultura	N.N.U.U	Parque Navarro	Plaza de las Américas	Portugal	San Gabriel	Santa Clara	Santa Teresita	Santo Domingo	Seminario Mayor	Universidad Católica	Universidad Central	Plaza de Toros	Asamblea Nacional	Plaza Grande
	8-9 AM	M	A	G	M	A	M	A	A	M	M	G	A	M	M	M	M	M	G	M	G	G	G	M	X	X	X
	12-1 PM	A	M	M	M	M	A	A	M	M	M	M	M	A	A	M	M	A	M	G	M	M	M	G	M	X	X
5-6 PM	A	A	G	G	G	G	A	M	M	G	A	M	M	G	G	M	M	M	A	M	A	A	A	X	X	X	

(Fuente: Elaboración propia.)

### 3.1.2. Sub-zonificación

Como se puede observar en la Figura 3.4 se ha optado por realizar la sub-zonificación del perímetro de circulación del sistema BiciQ, dividiendo así el mismo en nueve sub-zonas que abordan la totalidad de las ciclo vías existentes.

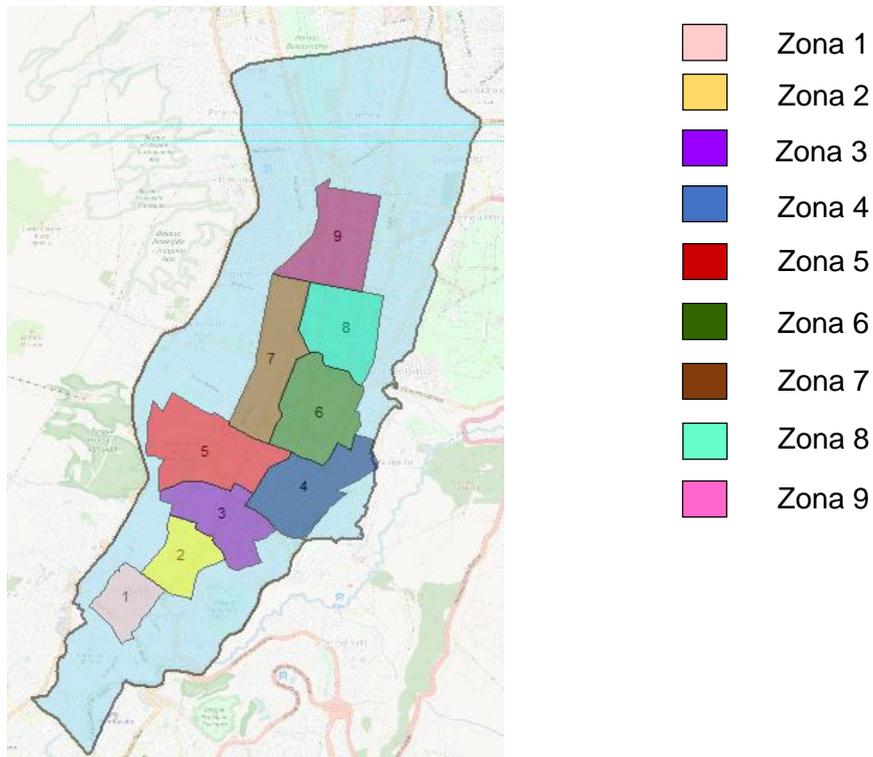


Figura 3.4. Sub-zonificación de la ciudad de Quito.  
(Fuente: Elaboración propia)

Con la finalidad de organizar de mejor manera la distribución de las electrolinerías alrededor de la ciclo vías la sub-zonificación se la ha realizado tomando en cuenta principalmente los datos entregados por la Agencia Metropolitana de Tránsito (Ver Tabla 5), considerando aspectos determinantes como: rutas (ciclo vías), cantidad de usuarios en cada zona, zonas atractoras, también se han considerado características de la topografía y tránsito de la ciudad.

Siguiendo el mismo principio utilizado en la categorización de las estaciones, se realizó el análisis de los viajes realizados por zona mediante la agrupación respectiva de las estaciones y de esta manera se obtuvo la categorización de las zonas en los tres tipos antes mencionados. Esto permitió saber cuál es el número de anclajes requeridos por cada estación dependiendo a la zona que pertenezca, como se observa en la Tabla 17.

Tabla 17. Categorización de las zonas.

		ZONAS								
HORARIOS		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8	Zona 9
	8-9 AM	G	G	M	G	G	A	G	A	M
	12-1 PM	M	M	A	M	G	G	M	A	A
	5-6 PM	A	M	G	A	A	G	M	G	M

(Fuente: Elaboración propia)

### 3.1.3. Análisis de tamaño de la estación de recarga

El área que ocupe cada estación estará determinada por ciertos factores que influyen directamente en la dimensión de cada electrolinería. Si bien se puede optar por un tamaño estándar en cada estación, basándonos en la Tabla 5, se ha optado por trabajar con 3 tamaños de electrolinería debido a la diferencia de movimientos existentes en varios sectores, lo cual permite una mejor distribución de las electrolinerías. Estos tamaños serán determinados analizando ciertos factores que influyen directamente con el área de las electrolinerías. A continuación, se presenta cómo se obtuvieron dichos factores:

- Número de anclajes para recarga por estación

Basándose en la Tabla 18 se realiza una clasificación de las paradas por su mayor número de movimientos, así se definen tres tamaños: pequeñas, medianas y grandes.

Tabla 18. Número de anclajes de recarga por estación.

	Máx. préstamo	Máx. devoluciones	Total
Santo Domingo	2	6	8
Alameda	4	2	6
IESS	7	6	13
El Ejido	8	5	13
Universidad Católica	9	5	14
Guápulo	4	3	7
Administración Mariscal	6	8	14
Parque Navarro	3	1	3
Universidad Central	3	7	13
Santa Teresita	7	6	8
Santa Clara	6	2	10
Colegio Militar	12	4	16
Ministerio de Agricultura	8	10	18
FLACSO	6	4	10
Las Cámaras	11	11	22
Seminario Mayor	1	3	4
San Gabriel	3	0	3
Cruz del Papa	9	5	14
Portugal	8	6	14
Estadio Olímpico	7	9	16
Plaza de las Américas	1	1	2
N.N.U.U	8	1	9
Administración Zonal Norte	4	5	9
La "Y"	6	1	7

(Fuente: Elaboración propia)

- Estaciones pequeñas: no reciben un número de viajes significativo. En la Tabla 19 se observa las paradas pertenecientes a este grupo.

Tabla 19. Categorización de estaciones de tamaño pequeño.

Paradas tamaño pequeño	Total movimientos
Parque Navarro	3
San Gabriel	3
Plaza de las Américas	2
Seminario Mayor	4

(Fuente: Elaboración propia)

Se ha optado por colocar cuatro anclajes para este tipo de paradas.

- Paradas medianas: representa el mayor número de estaciones existentes, son estaciones que se encuentran en el rango medio de tamaño, así tenemos:

Tabla 20. Categorización de estaciones de tamaño mediano.

Paradas tamaño mediano	Total movimientos
Santo Domingo	8
Alameda	6
Guápulo	7
Santa Teresita	8
Santa Clara	10
FLACSO	10
N.N.U.U	9
Administración Zonal Norte	9
La "Y"	7
IESS	13
El Ejido	13
Universidad Católica	14
Administración Mariscal	14
Universidad Central	13
Cruz del Papa	14
Portugal	14

(Fuente: Elaboración propia)

Basándose en los movimientos descritos en la Tabla 20, se optó por colocar estaciones con doce anclajes para este tipo de estaciones.

- Paradas grandes: el tipo de estación que más anclajes posee, se ubican en zonas donde mayor número de movimientos se presentó. Ver Tabla 21.

Tabla 21. Categorización de estaciones de tamaño grande.

Paradas tamaño grande	Total movimientos
Colegio Militar	16
Ministerio de Agricultura	18
Las Cámaras	22
Estadio Olímpico	16

(Fuente: Elaboración propia)

Basándose en la Tabla 21 se optó por realizar electrolinerías con veinte anclajes los cuales satisfacen a las zonas que mayor demanda de movimientos presentan tanto para préstamos, como para devoluciones.

Este trabajo utiliza dos conceptos: anclaje y espacio de recarga.

El primero se refiere al total de espacios que sirven para alojar bicicletas, es decir abarca los espacios con tomacorrientes de carga y espacios para almacenar bicicletas sin puntos

de recarga que se ubican fuera de la superficie cubierta por el techado fotovoltaico, a un costado de la estación principal. Mientras que los espacios de recarga son únicamente los espacios con tomacorrientes de carga que se ubican cubiertos por el techado fotovoltaico.

Basándose en las Tabla 19, Tabla 20 y Tabla 21 se optó por realizar electrolineras con 4, 8 y 12 espacios de recarga. Se siguió también la metodología utilizada en la ciudad de Madrid, que recomienda que el número de anclajes sea aproximadamente el doble del número de bicicletas alojadas, en nuestro caso 8, 12 y 20 anclajes [39]. Así se determinó los tres tamaños de electrolineras presentados continuación la Tabla 22:

Tabla 22. Resumen de la clasificación de los tamaños de la estación.

Electrolinera	Número de bicicletas	Número de anclajes
Pequeña	4	8
Mediana	8	12
Grande	12	20

(Fuente: Elaboración propia)

### 3.1.4. Cálculo del número de estaciones necesarias en los escenarios de simulación

Los tres escenarios elegidos para el análisis como se explicó anteriormente se realizan mediante la variación del número de bicicletas que dispone el sistema para su funcionamiento tomando como base 150 bicicletas eléctricas y posteriormente realizando dos incrementos de 150 y 200 bicicletas respectivamente.

Mediante la aplicación de la Ecuación 7 se obtiene el número de estaciones a ubicarse en cada escenario cuyos resultados se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Número de estaciones para cada escenario.

Escenario	Número de bicicletas eléctricas	Número promedio de anclajes	Número de estaciones
1	150	13	13
2	300	13	23
3	500	13	39

(Fuente: Elaboración propia)

### 3.1.5. Atractividad de los puntos de demanda

Como se menciona anteriormente para los puntos de demanda es necesario cuantificar la influencia que estos tienen sobre la selección de las paradas, creando así un nuevo término "atractividad". La atractividad es una ponderación relativa asignada a la instalación para valorar su atractivo, conveniencia o predisposición de un punto respecto a otro.

Por ejemplo, para el grupo de "centros comerciales" se tiene una atractividad grupal de 80 pts., de tal manera que la atractividad que tendrá el centro comercial con mayor número de valoraciones será de 80 pts., como es el caso del C.C Quicentro Shopping, con 11.303 valoraciones en Google. Posteriormente se debe cuantificar los demás puntos dentro de su grupo así se tiene que los centros comerciales con menor valoración tendrán una atractividad menor a 80 pts., siguiendo la Ecuacion 6, cuyos resultados se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24. Peso puntos atractores "Centros comerciales".

Número	Punto atractor	Número de valoraciones Google	Atractividad/80 pts.
1	Centro Comercial "Espiral"	2118	14,99
2	Centro Comercial "La Manzana"	186	1,32
3	Centro Comercial "Montúfar"	237	1,68
4	Centro Comercial "Gran Pasaje"	31	0,22
5	Centro Comercial " Ipiales Mires"	109	0,77
6	Centro Comercial "Multicentro"	1.073	7,59
7	Centro Comercial "El Jardín"	5.127	36,29
8	Centro Comercial " Iñaquito"	7.432	52,60
9	Centro Comercial "Caracol"	1.862	13,18
10	Centro Comercial "Quicentro "	11.303	80,00
11	Centro Comercial "N.N.U.U"	1.542	10,91
12	Centro Comercial "Plaza de las Américas"	3225	22,83
13	Centro Comercial "La Y"	120	0,85
14	Mercado Artesanal	769	5,44
15	Centro Comercial "Quitús"	199	1,41

(Fuente: Elaboración propia)

Se realizó el mismo proceso para obtener el valor de atractividad de todos grupos de puntos atractores. Ver ANEXO I.

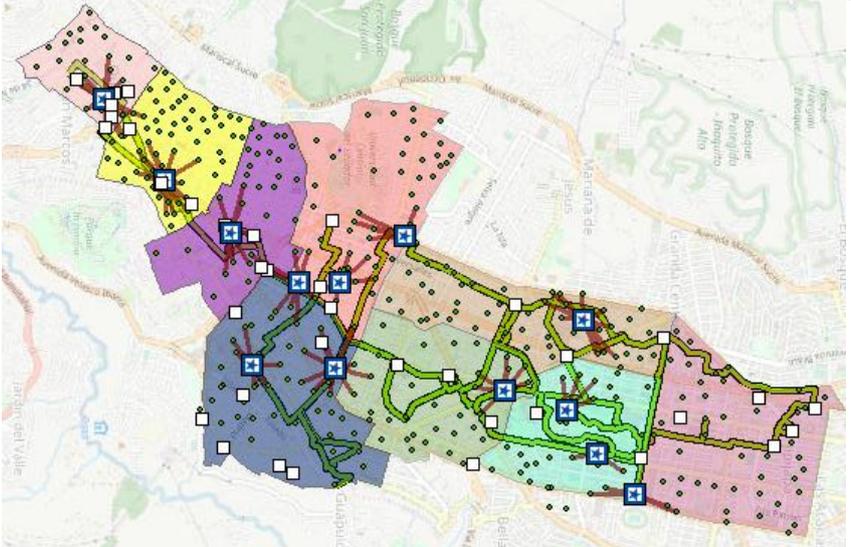
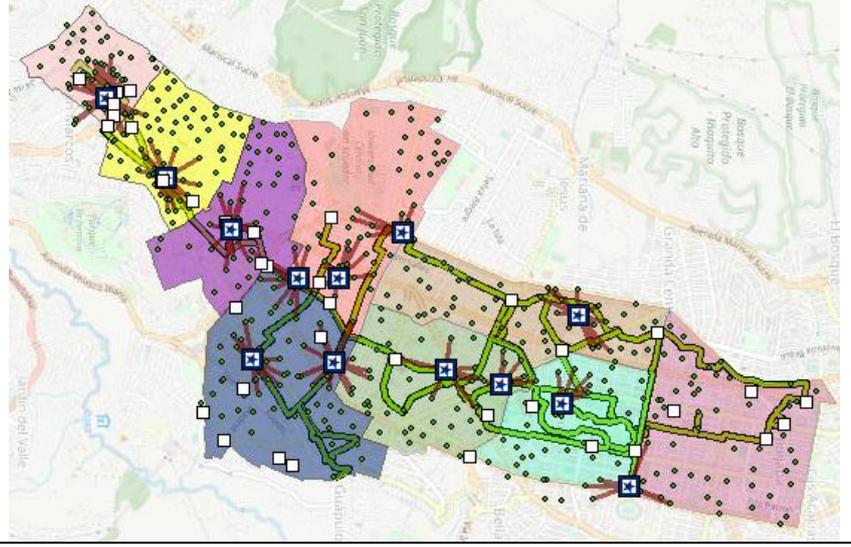
### 3.2. Ubicación de las estaciones de recarga por escenarios

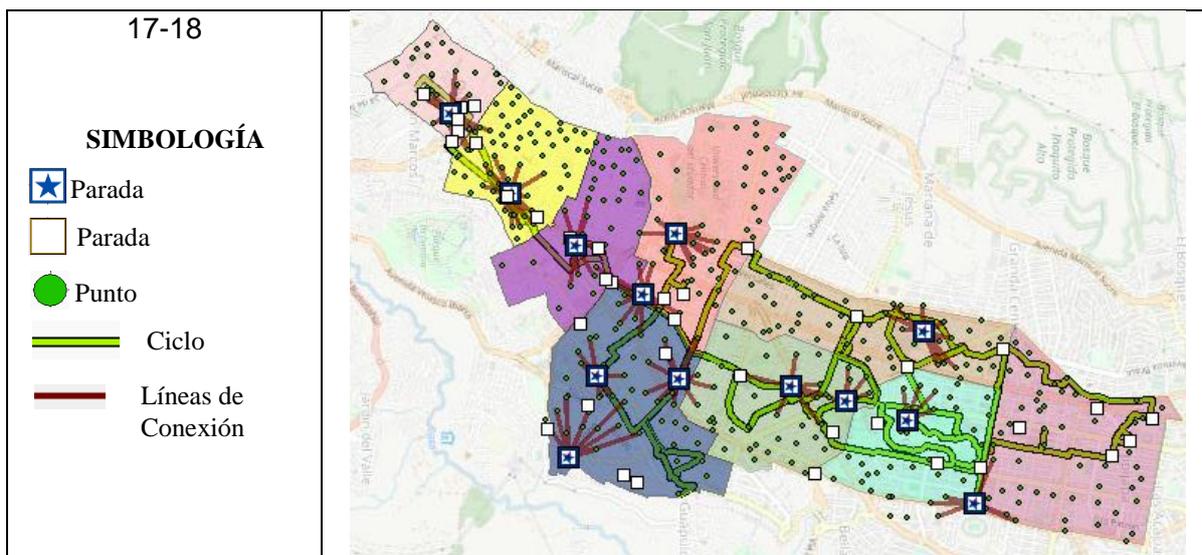
Posterior al ingreso de todos los datos obtenidos y necesarios para la simulación en el programa ArcGIS se obtiene nueve mapas (tres mapas por cada escenario dependiendo del horario de análisis). Dichos resultados se muestran en las Tabla 25, Tabla 27 y Tabla 29.

#### 3.2.1. Primer escenario

El primer escenario muestra como resultado 13 estaciones seleccionadas. Para ello se muestran tres mapas, los que corresponden a las horas con mayor cantidad de viajes.

Tabla 25. Mapas resultados del primer escenario.

Primer escenario: 13 estaciones	
Horario	Mapa
<p>8-9</p> <p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Parada seleccionada</li> <li> Parada candidata</li> <li> Punto atractor</li> <li> Ciclo</li> <li> Líneas de Conexión</li> </ul>	
<p>12-13</p> <p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Parada</li> <li> Parada</li> <li> Punto</li> <li> Ciclo</li> <li> Líneas de Conexión</li> </ul>	



(Fuente: Elaboración propia)

Como podemos observar en la Tabla 25 los tres mapas presentan algunas paradas en común mientras que otras no se repiten. Las distintas soluciones se deben a que la “atractividad” que presentan ciertos puntos de demanda varía según el horario analizado. Lo que deriva en la selección de distintas paradas para cada horario. Esto se lo realizó para los tres escenarios: 13, 23 y 39 estaciones de recarga a ser ubicadas.

Para la selección de las 13 estaciones se procedió a sumar la “atractividad” captada por cada estación en los 3 horarios. Al final se seleccionó las paradas que mayor “atractividad” captan sumando los tres horarios, de esta manera se obtiene la Tabla 26 donde se muestra los nombres de las estaciones seleccionadas y la atractividad captada por las mismas.

Tabla 26. Estaciones seleccionadas primer escenario.

N.º	Estaciones	Atractividad captada
1	Banco Central	1.258
2	Sur parque "El Ejido"	689
3	Iglesia Santa Teresita	870
4	Santa Clara	383
5	Parque Gabriela Mistral	702
6	EPN	754
7	Seminario Mayor	527
8	Plaza Chica	1.013
9	Cruz del papa	536
10	Teresa de Cepeda	588
11	Ministerio de Agricultura	475
12	El Jardín "La Carolina"	549
13	Estadio " Olímpico Atahualpa"	903

(Fuente: Elaboración propia)

Atractividad total  
captada: 9.247

A continuación, en la Figura 3.5 se muestra el mapa final del escenario 1 realizado en ArcGIS, el cual se obtiene después de la selección de las estaciones de recarga.

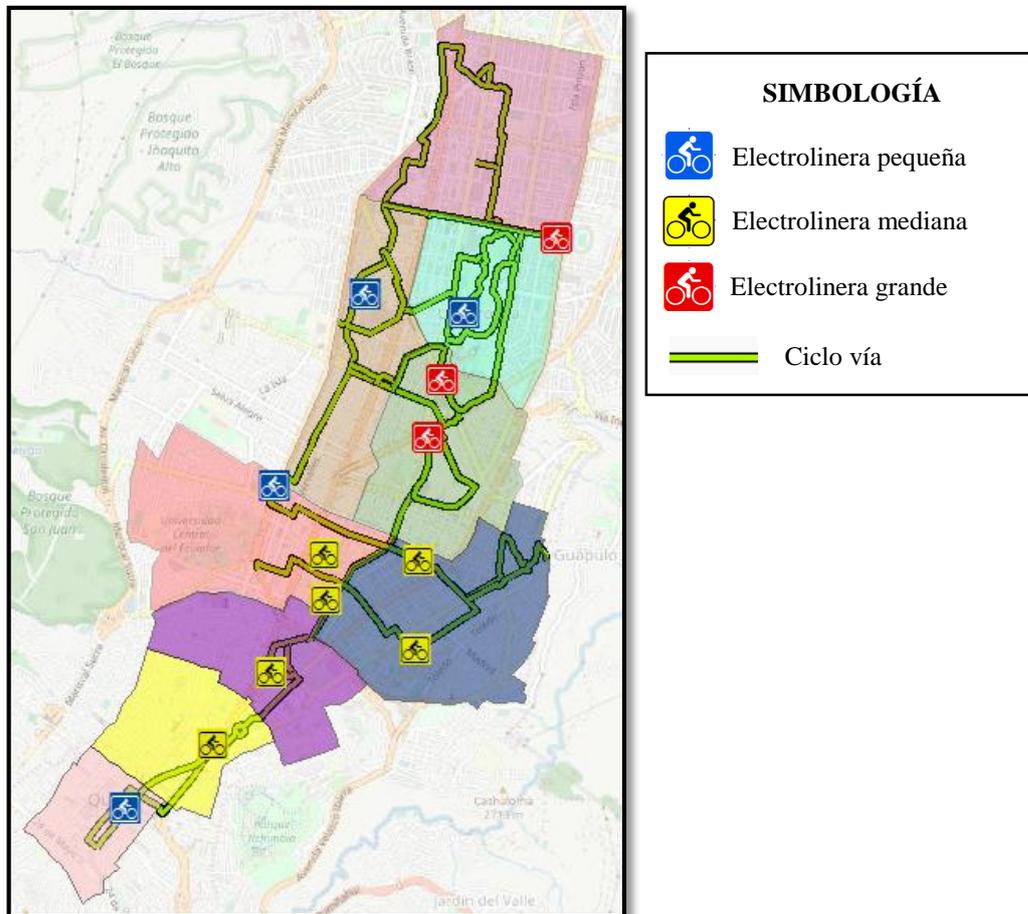


Figura 3.5. Estaciones de recarga seleccionadas por el programa ArcGIS, primer escenario. (Fuente: Elaboración propia)

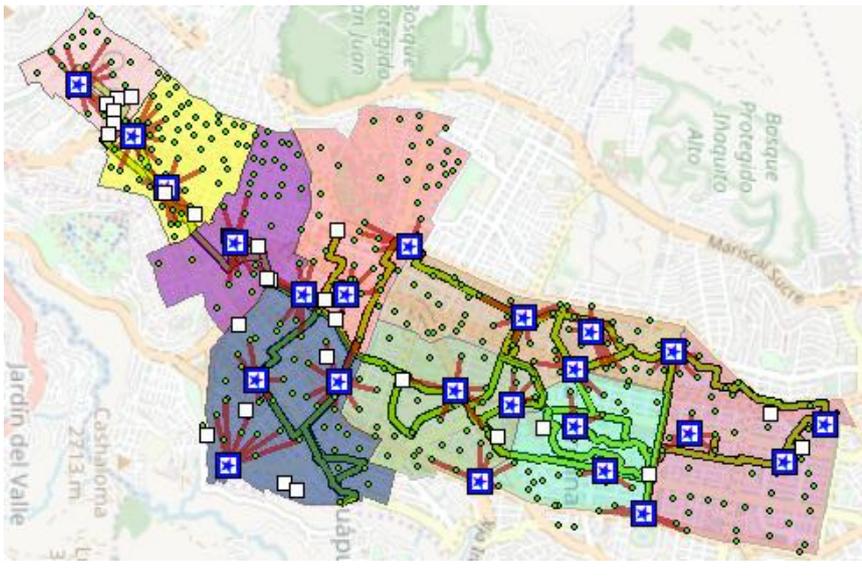
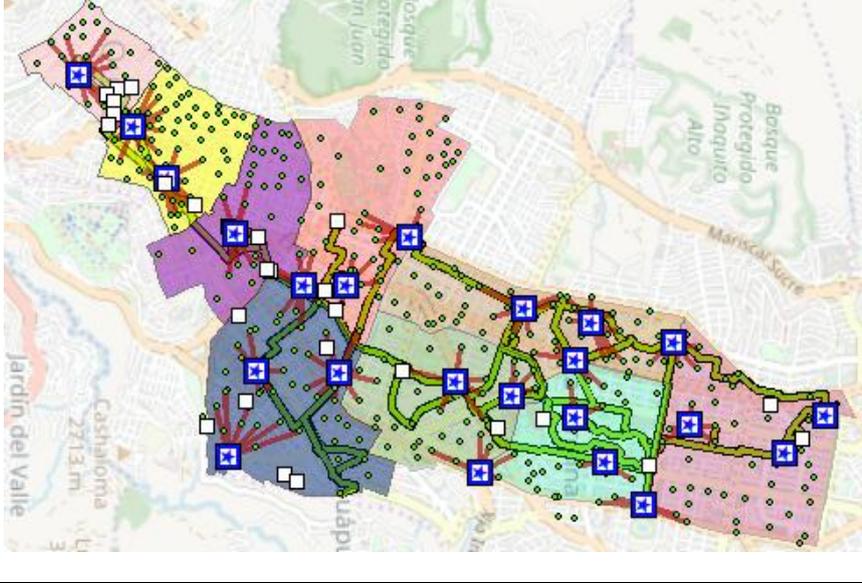
Como se puede observar en la Figura 3.5 las paradas seleccionadas captan la mayor atracción posible dentro de sus respectivas zonas, en su mayoría cada zona posee una estación de recarga a excepción de la zona 4. Dicha zona posee tres estaciones de recarga, esto se debe a su acumulación de puntos atractores, siendo un factor influyente la existencia de tres universidades dentro de ella. Por otro lado, en la zona 9 no se localiza ninguna estación de recarga debido a que en la misma no se encuentran muchos destinos con una atracción significativa (puntos atractores en su mayoría la población).

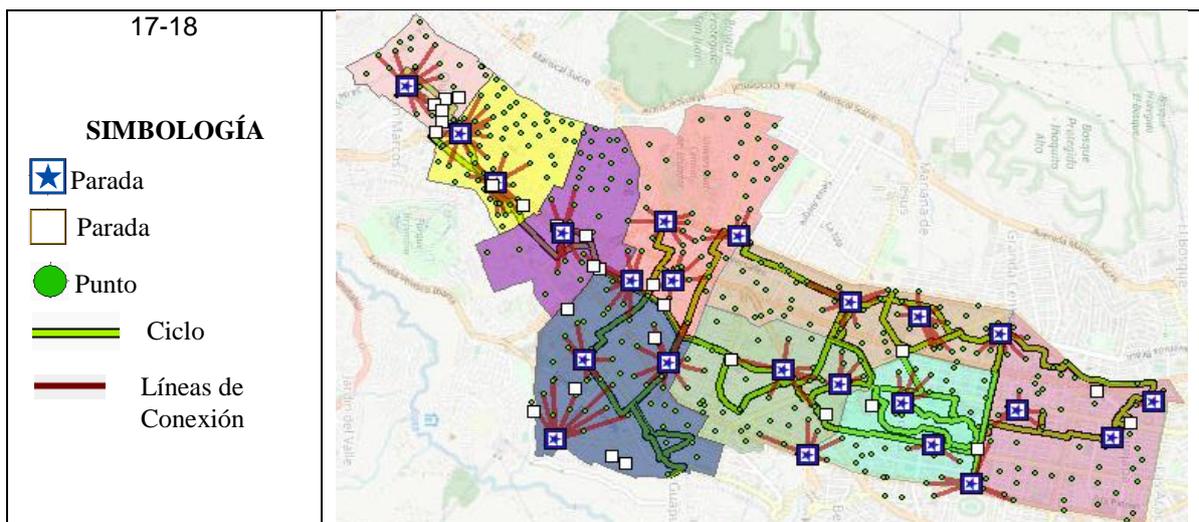
En el ANEXO III, IV, V se puede visualizar de forma más interactiva los resultados obtenidos en el escenario en un formato A3, los cuales se encuentran plasmados en un mapa final en *Adobe Illustrator*.

### 3.2.2. Segundo escenario

En el presente escenario como resultado se escoge 23 estaciones. De igual forma en la Tabla 27 se muestran tres mapas obtenidos mediante la simulación en el programa ArcGIS, los mismos que corresponden a los tres horarios de análisis.

Tabla 27. Mapas resultados del segundo escenario.

Segundo escenario:23 estaciones	
Horario	Mapa
<p>8-9</p> <p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Parada</li> <li> Parada</li> <li> Punto</li> <li> Ciclo</li> <li> Líneas de Conexión</li> </ul>	
<p>12-13</p> <p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Parada</li> <li> Parada</li> <li> Punto</li> <li> Ciclo</li> <li> Líneas de Conexión</li> </ul>	



(Fuente: Elaboración propia)

Similar al escenario 1, se seleccionan las paradas que captan mayor atractividad, cuyos resultados se muestran en laTabla 28 y de forma gráfica, en la Figura 3.6.

Tabla 28. Estaciones seleccionadas segundo escenario.

N.º	Estaciones	Atractividad captada
1	Banco Central	1.205
2	Sur parque "El Ejido"	689
3	Iglesia Santa Teresita	851
4	Santa Clara	526
5	Parque Gabriela Mistral	702
6	EPN	720
7	Plaza Argentina	366
8	U. Central	224
9	La "Y"	299
10	Parque Genaro Larrea	434
11	Parque la Tortuga	240
12	Seminario Mayor	699
13	San Gabriel	427
14	Plaza de las Américas	307
15	Plaza de Santo Domingo	882
16	Plaza del Teatro	400
17	Cruz del Papa	523
18	Teresa de Cepeda	443
19	Ministerio de Agricultura	681
20	El Jardín "La Carolina"	455
21	Portugal "La Carolina"	325
22	Estadio " Olímpico Atahualpa"	903
23	Plataforma Gubernamental	299

(Fuente: Elaboración propia)

Atractividad total  
captada:12.600

Como se observa en la Tabla 28 las estaciones que captan mayor atractividad dentro de la urbe quiteña en este escenario son “Banco Central” y “Estadio Olímpico Atahualpa” con 1.205 y 903 respectivamente. Esto se debe principalmente al sector donde se encuentran localizadas, ya que captan un número importante de puntos demandantes.

A continuación, en la Figura 3.6 se muestra el mapa final del escenario 2 realizado en el programa ArcGIS, el cual se obtiene después de la selección de las estaciones de recarga.

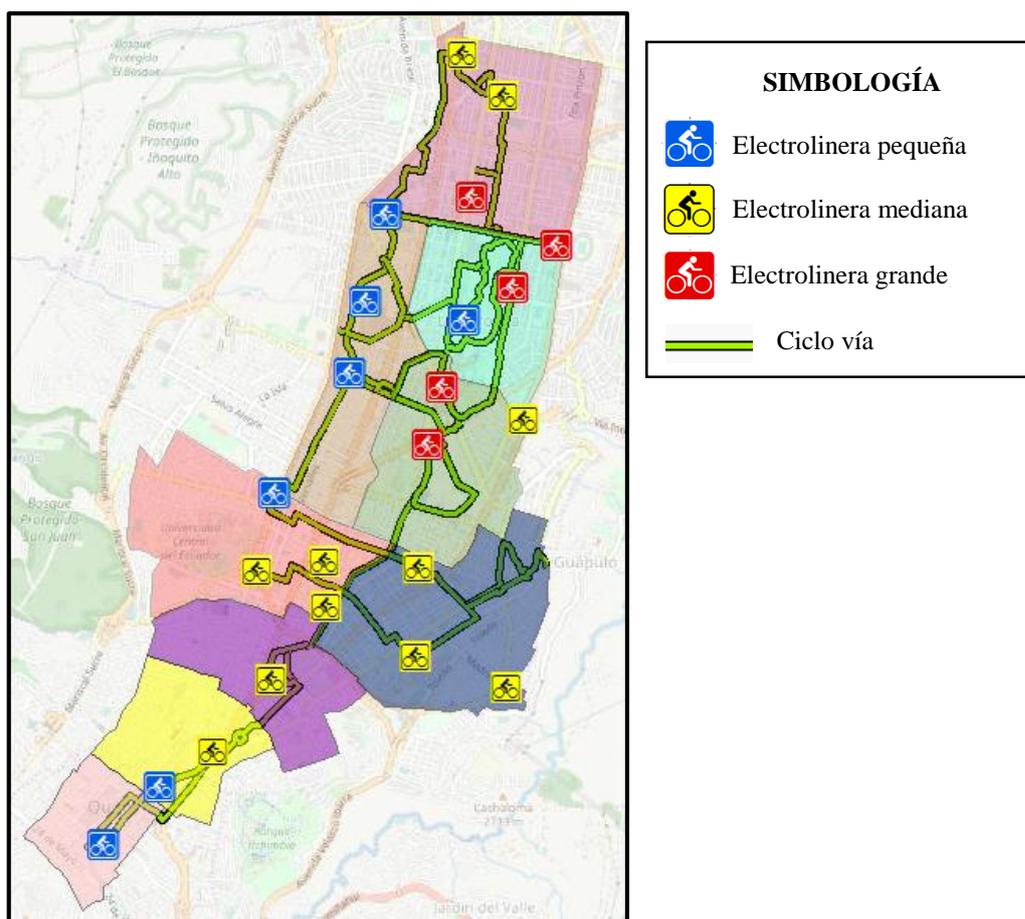


Figura 3.6. Estaciones de recarga seleccionadas por el programa ArcGIS, segundo escenario. (Fuente: Elaboración propia)

En la Figura 3.6 se puede observar de forma gráfica las paradas seleccionadas en el escenario 2, donde se destaca la presencia mayoritaria de estaciones de recarga de tamaño mediano en las zonas 3, 4 y 5.

Además, en las zonas 1 y 7 se denota la presencia de estaciones de tamaño pequeño debido al poco espacio que dichas locaciones presentan. Por otro lado, las zonas 6 y 8

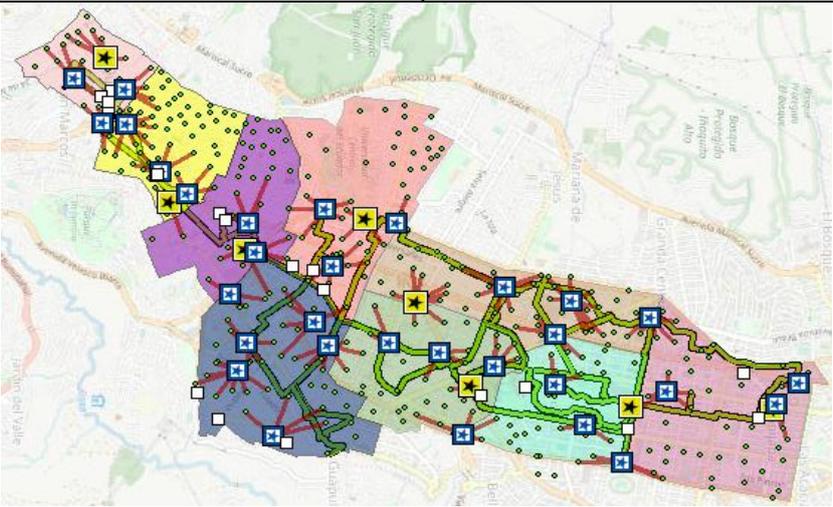
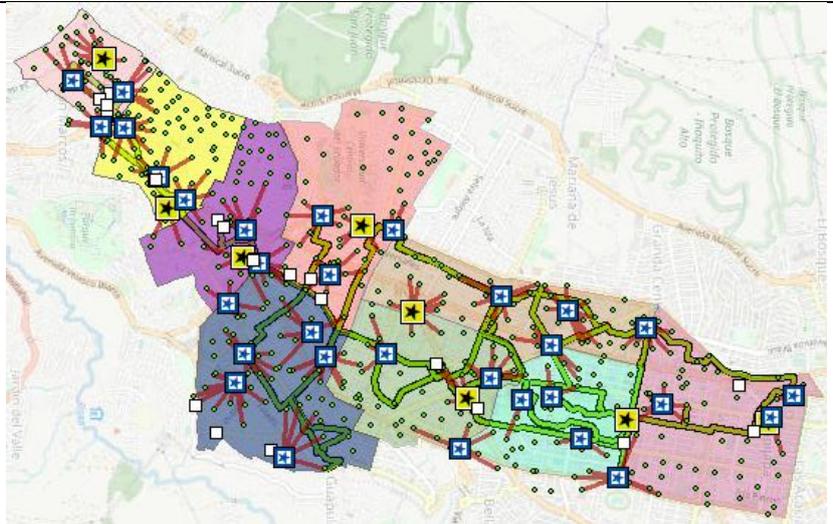
presentan tamaños de estaciones grandes dividido a la gran demanda del sector y a la disponibilidad de espacio ya que se encuentran en el sector del parque La Carolina.

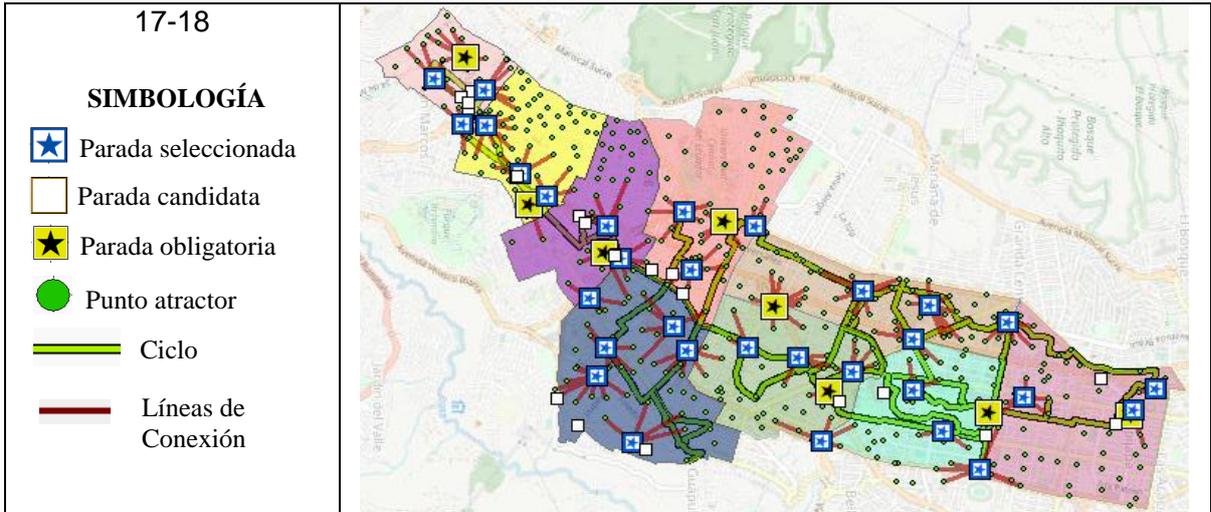
En el ANEXO IV se puede visualizar de forma más interactiva los resultados obtenidos en el escenario 2, en un formato A3, los cuales se encuentran plasmados en un mapa final realizado en *Adobe illustrator*.

### 3.2.3. Tercer escenario

En el escenario final se realiza la selección de 39 estaciones de recarga, los resultados obtenidos en cada horario de análisis se presentan en la Tabla 29.

Tabla 29. Mapas resultados del tercer escenario.

Tercer escenario: 39 estaciones	
Horario	Mapa
<p>8-9</p> <p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Parada seleccionada</li> <li> Parada candidata</li> <li> Parada obligatoria</li> <li> Punto atractor</li> <li> Ciclo</li> <li> Líneas de Conexión</li> </ul>	
<p>12-13</p> <p><b>SIMBOLOGÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Parada seleccionada</li> <li> Parada candidata</li> <li> Parada obligatoria</li> <li> Punto atractor</li> <li> Ciclo</li> <li> Líneas de Conexión</li> </ul>	



(Fuente: Elaboración propia)

De igual manera que lo realizado en los escenarios anteriores, se selecciona las 39 estaciones que captan mayor atracción, con la diferencia que en este escenario se implementan ocho paradas obligatorias, las cuales corresponden a las estaciones del Metro de Quito. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 30 y de forma gráfica en la Figura 3.7.

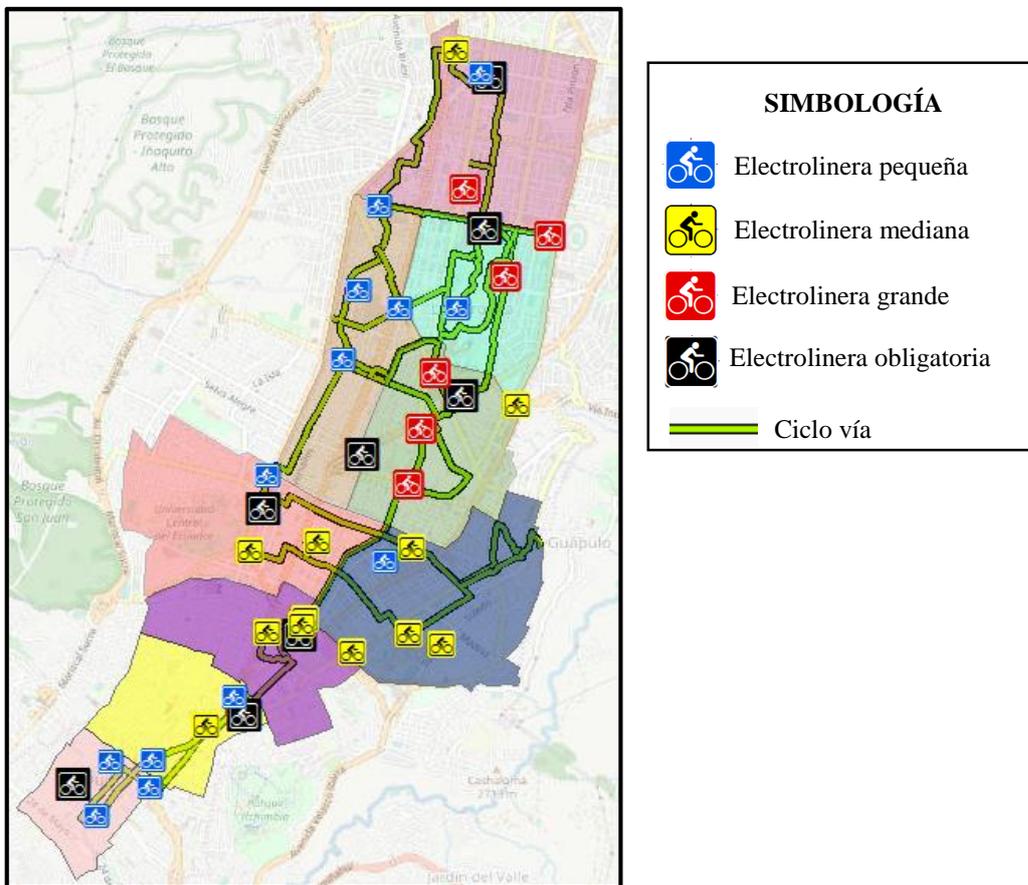


Figura 3.7. Estaciones de recarga seleccionadas por el programa ArcGIS, tercer escenario.  
(Fuente: Elaboración propia)

En la Figura 3.7 se observa que ciertas zonas poseen una acumulación de estaciones de recarga, esto se debe al incremento de estaciones a ubicar y a la restricción en cuanto a la distancia que puede existir entre una estación de recarga y la ciclo vía. Además, se denota la falta de estaciones en ciertos tramos de la ciclo vías, debido a la infraestructura en dichos lugares que imposibilita la instalación de estaciones de recarga.

En la Tabla 30 se muestra la atraktividad captada por cada una de las estaciones seleccionadas, siendo las de mayor atraktividad las estaciones de “Estadio Olímpico Atahualpa”, “Alameda” y “EPN”.

Tabla 30. Estaciones seleccionadas tercer escenario.

Nº	Estaciones	Atraktividad captada
1	San Francisco	503
2	Alameda	710
3	Ejido	574
4	U. Central	558
5	La Pradera	597
6	El Jardín	400
7	Iñaquito	345
8	Jipijapa	240
9	Banco Central	470
10	Central " El Ejido"	338
11	COFIEC	324
12	Arco " El Ejido"	131
13	Santa Clara	593
14	Parque Gabriela Mistral	520
15	EPN	635
16	Fiscalía General del Estado	228
17	Plaza Argentina	334
18	U. Central	467
19	La "Y"	299
20	CEC EPN	326
21	Seminario Mayor	244
22	San Gabriel	427
23	Plaza de las Américas	307
24	Plaza de Santo Domingo	509
25	Montúfar	385
26	Plaza las Conceptas	186
27	Plaza del Teatro	265
28	El Churo	245

Atraktividad total  
captada: 15.059

29	Plaza Foch	269
30	Cruz del Papa	483
31	El Florón	256
32	Teresa de Cepeda	443
33	Plaza de toros	115
34	Colegio Militar	174
35	Ministerio de Agricultura	169
36	El Jardín "La Carolina"	463
37	Portugal "La Carolina"	325
38	Estadio "Olímpico Atahualpa"	903
39	Plataforma Gubernamental	299

(Fuente: Elaboración propia)

En el caso de la estación "Estadio Olímpico Atahualpa" es una de las estaciones que mayor atraktividad capta en los tres escenarios, lo cual evidencia la gran demanda que tendría el sistema en este sector.

En el primer escenario se observa que la estación que mayor atraktividad capta con 1.258 es "Banco Central" y en el tercer escenario la que mayor atraktividad capta es "Estadio Olímpico Atahualpa" con 903, esto se debe al incremento del número de estaciones ubicadas y con ello, a la redistribución de la demanda.

En el ANEXO V se puede visualizar de forma más interactiva los resultados obtenidos en el escenario 3, en un formato A3, realizado en *Adobe illustrator*.

### 3.3. Simulación de las electrolineras programa PVsyst

#### 3.3.1. Dimensionamiento de las electrolineras

En la Tabla 31 muestra el número de componentes necesarios para los diferentes tamaños de electrolineras, así como el área fotovoltaica en cada caso.

Tabla 31. Dimensionamiento de las electrolineras

Tamaño	Número de bicicletas	Número de paneles	Número de baterías	Área fotovoltaica
Pequeña	4	3	2	2,1 m <sup>2</sup>
Mediana	8	7	4	5,0 m <sup>2</sup>
Grande	12	10	6	7,1 m <sup>2</sup>

(Fuente: Elaboración propia)

### 3.3.2. Efecto del seguimiento solar en la producción de energía

En el presente trabajo, el aspecto más importante que se analiza es la ganancia que se obtiene al aplicar seguimiento solar en las diferentes ubicaciones que tienen las electrolineras descritas en capítulos anteriores. Se realizó un análisis para determinar el efecto de la estrategia de seguimiento solar utilizada.

Para el presente análisis se determina el “rendimiento solar” siendo la relación entre la energía suministrada y la energía demandada por los usuarios mensualmente en el transcurso de un año. Mostrando el rendimiento del sistema en los diferentes escenarios existentes en la Tabla 32.

Tabla 32. Comparación del rendimiento de los diferentes escenarios con seguimiento y sin seguimiento.

Escenarios	Rendimiento (seguidor) [%]	Rendimiento (sin seguidor) [%]
Centro Histórico-pequeña	94	83
Centro Norte - pequeña	98	78
Centro Norte- mediana	94	90
Norte- grande	90	82
Norte- mediana	93	84
Norte - pequeña	86	73
Parque - grande	97	92
Parque - mediana	98	94
Parque - pequeña	95	82

(Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar en la

Tabla 32 de la simulación realizada, para electrolineras con seguimiento solar y sin seguimiento solar.

Se obtiene rendimientos muy buenos en electrolineras con seguimiento solar en el año analizado, siendo este del 98 % en el mejor escenario (Parque- Electrolinera grande) y del 86% en el escenario con menor rendimiento (Norte- Electrolinera pequeña).

Para electrolineras sin seguimiento solar tenemos una relación directa con el caso anterior, siendo los mismos escenarios, pero presentando una disminución de rendimiento, siendo el mejor de 94% y el menor de 73%.

Se tiene un aumento promedio aproximado de 10 % en el rendimiento con lo cual se observa el efecto positivo de implementar seguimiento solar en las electrolineras.

Previamente se realiza la agrupación de los escenarios según su tamaño y en base a la energía producida en los diversos escenarios con seguimiento y sin seguimiento solar. (Ver Tabla 33).

Se observa que en los escenarios de tamaño pequeño los de mayor energía producida son “Centro Norte- pequeña” con 521,61 [kWh] en el caso de seguimiento y “Centro Histórico-pequeña” con 443,84 [kWh] en el caso sin seguimiento, esto se debe a las sombras producidas por las edificaciones cercanas.

En los escenarios de tamaño mediano la mayor energía producida en el caso de seguimiento con (1.038,87 [kWh]) y sin seguimiento con (996,80 [kWh]) es la misma, la cual corresponde la estación “Parque-mediana

En los escenarios de tamaño grande la estación con mayor energía producida es “Parque-grande” con 1.531,70 [kWh] en el caso con seguimiento y 1.463,90 [kWh] en el caso sin seguimiento solar.

Tabla 33. Energía producida en los diferentes escenarios.

Escenarios	Energía producida [kWh] (con seguidor)	Energía producida [kWh] (sin seguidor)
Parque - pequeña	506,14	442,19
Centro histórico-pequeña	502,60	443,84
Centro norte - pequeña	521,64	415,27
Norte - pequeña	457,83	391,15
Centro norte- mediana	998,62	950,00
Norte- mediana	983,66	894,33
Parque - mediana	1038,87	996,80
Parque - grande	1531,70	1463,90
Norte- grande	1426,90	1293,20

(Fuente: Elaboración propia)

Se observa que en los escenarios de tamaño mediano y grande la influencia de las sombras es similar al utilizar o no seguimiento solar.

Como se observa en la Tabla 34 se realiza un análisis de la ganancia en energía producida al aplicar el seguimiento solar denotando que el escenario que presenta mayor porcentaje de ganancia energética al aplicar el seguimiento solar es “Centro Norte-pequeña” con 20 % de ganancia, por otra parte, el escenario que menor ganancia presenta es el “Parque-mediana” con 4 %.

Esto evidencia los escenarios en los cuales la influencia de las sombras es mayor y a la vez demuestra las ubicaciones donde la implementación de seguimiento solar es más relevante.

Tabla 34. Análisis de ganancia de la energía producida aplicando seguimiento solar.

Escenarios	Ganancia de energía producida [%]
Centro Histórico-pequeña	11,69
Centro Norte - pequeña	20,39
Centro Norte- mediana	4,87
Norte- grande	9,37
Norte- mediana	9,08
Norte - pequeña	14,56
Parque - grande	4,43
Parque - mediana	4,05
Parque - pequeña	12,63

(Fuente: Elaboración propia)

Además, se observa que las estaciones en las cuales el seguimiento solar presenta mayores ganancias son las estaciones de tamaño pequeño.

A continuación, se presenta un análisis mensual del rendimiento en el mejor escenario con seguimiento y sin seguimiento solar el cual corresponde a la simulación del escenario "Parque-electrolinera mediana", cuyo resultado se muestra en la Figura 3.8

Como se puede observar en la Figura 3.8 el rendimiento mensual se encuentra en el rango de 92%-100%, siendo los meses de abril con (92.8%) y noviembre (92.5%) los meses que menor rendimiento presentan.

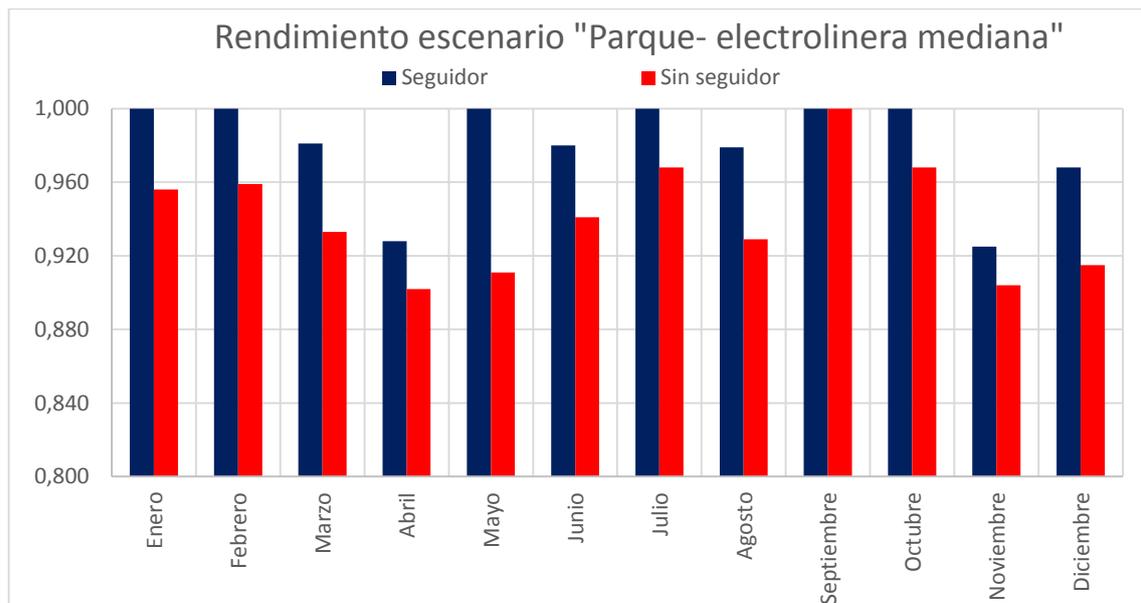


Figura 3.8. Rendimiento escenario "Parque - electrolinera mediana".

(Fuente: Elaboración propia)

Por otra parte, los meses de enero, febrero, mayo, julio, septiembre y octubre presentan un rendimiento del 100%, por lo que en esos meses la energía producida es como mínimo igual a la energía demandada, y en algunos casos puede existir energía sobrante.

Esto se debe principalmente a que la ubicación del escenario es idónea para la producción fotovoltaica, es decir carece de la presencia de edificaciones u objetos que produzcan un sombreado que reduzca la eficiencia, lo que permite que el seguidor solar produzca mayor ganancia energética en comparación a otros escenarios.

A continuación, se procede a realizar un análisis mensual del escenario de menor rendimiento utilizando seguimiento solar el cual corresponde a la simulación del escenario "Norte- pequeña".

Como se puede observar en la Figura 3.9, se presenta claramente un comportamiento opuesto al caso anterior, en el que la energía producida es menor a la requerida, así en los meses de diciembre con 34,32 kWh y febrero 35,6 kWh son en los que menor energía se produce.

Una de las causas es la disminución de la radiación solar en estos meses. Por otro lado, dicho escenario presenta condiciones adversas para la producción fotovoltaica, ya que las edificaciones a su alrededor son de gran altura y por ende sus sombras, esto combinado a la utilización de una superficie fotovoltaica pequeña.

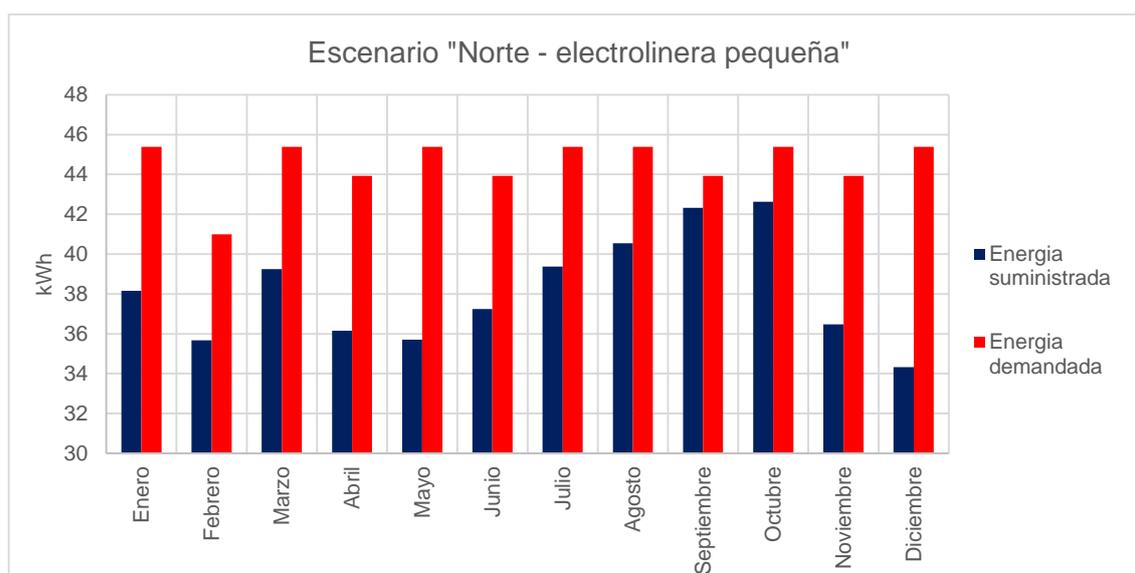


Figura 3.9. Energía producida y energía requerida en el escenario "Norte- pequeña".  
(Fuente: Elaboración Propia)

Para poder entender mejor el funcionamiento de las electrolineras y su rendimiento se realiza un análisis semanal y horario del escenario "Centro Norte- mediana" en el mes de

junio. Ya que como se puede observar en la Figura 3.10 en este mes se tiene un rendimiento similar al utilizar o no seguimiento solar.

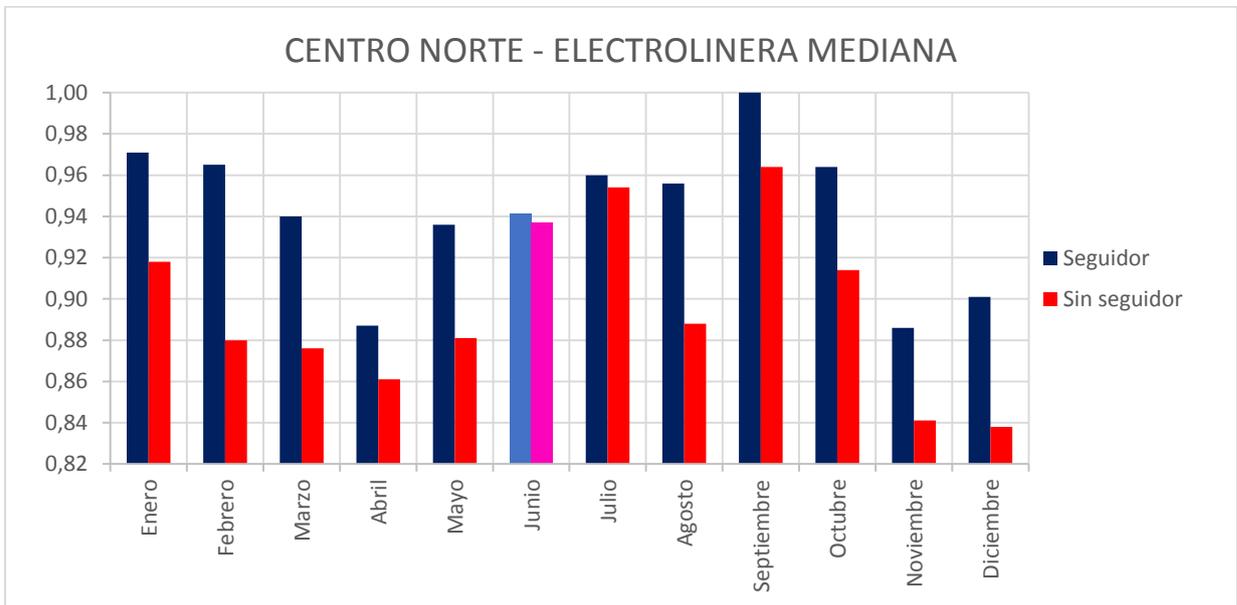


Figura 3.10. Análisis mensual la electrolinera en el escenario "Centro Norte mediana".  
(Fuente: Elaboración propia)

Se eligió analizar el comportamiento de la electrolinera durante la primera semana funcional del mes de junio (1 de junio al 5 de junio). (Ver Figura 3.11)

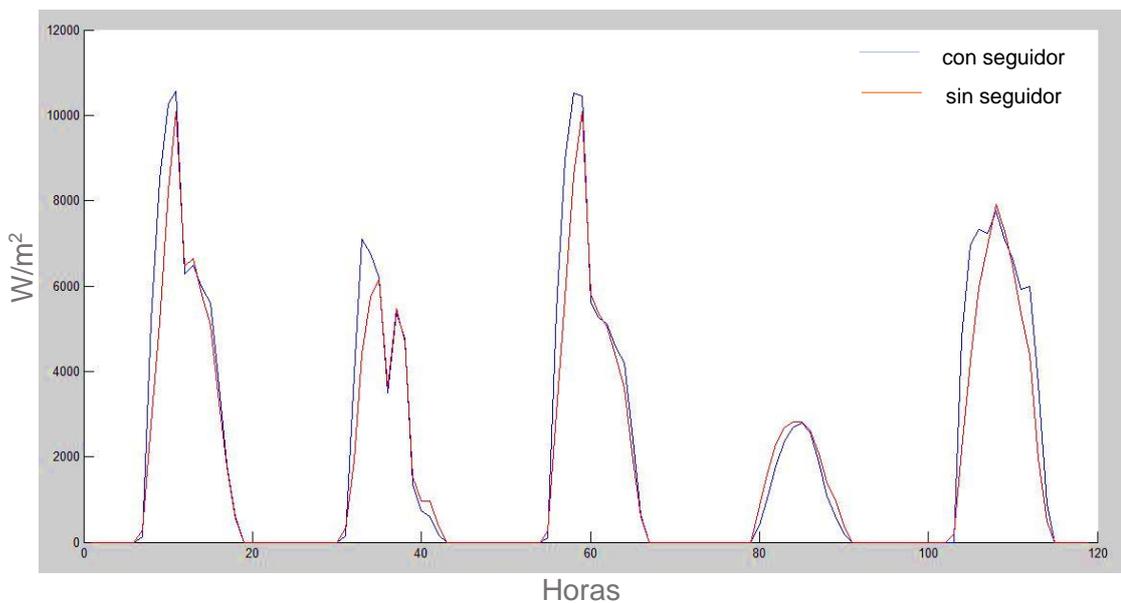


Figura 3.11. Comportamiento semanal de la electrolinera escenario "Centro Norte mediana".  
(Fuente: Elaboración propia)

En la Figura 3.11 se puede observar la radiación efectiva incidente sobre la superficie, aquí se destaca el comportamiento de la electrolinera sin seguidor el cual se asemeja al de la electrolinera con seguidor, teniendo una baja radiación el día jueves y picos máximos de recepción en los días lunes y miércoles. En horas cercanas al medio día se presentan los picos máximos en la radiación efectiva incidente, superando los  $10.000 \text{ W/m}^2$  y bajando a menos de  $4.000 \text{ W/m}^2$  el día jueves. En este escenario se observa como la implementación del seguidor, si bien aporta al aumento en la radiación captada, no representa un aumento significativo, lo que se traduce a un rendimiento similar en los dos casos.

De igual manera podemos analizar la radiación efectiva incidente durante un día en particular. Las mejores fechas para realizar este tipo análisis son los equinoccios (21 de marzo y 21 de septiembre) y solsticios (solsticio de verano: 21 de junio y solsticio de invierno: 21 de diciembre), pero estos días pueden presentar condiciones climatológicas adversas, por lo cual se escoge el 10 de septiembre, al ser un día cercano al equinoccio y donde las condiciones climáticas son favorables para analizar el comportamiento de la electrolinera, como se observa en la Figura 3.12 y sus datos trasladados a la Tabla 35.

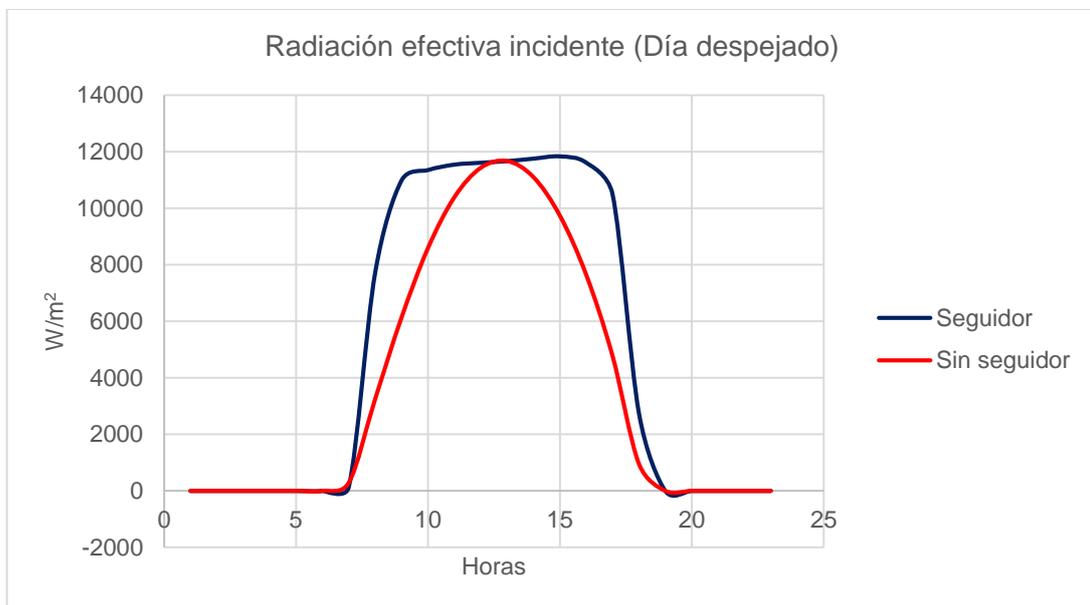


Figura 3.12. Radiación efectiva incidente electrolinera “Centro Norte mediana”-10 de septiembre. (Fuente: Elaboración propia)

En un día que presenta condiciones climáticas idóneas se tiene radiación efectiva cercana a  $12.000 \text{ W/m}^2$  y se evidencia que las horas con mayor ganancia se presentan tanto a las 6 p.m. (65%), como a las 8 a.m. (58%), mientras que a la 1 p.m. el seguidor

solar no produce ganancia, como se puede observar en la Tabla 35, así en el día la ganancia del sistema es de 24%.

Tabla 35. Análisis de ganancia por hora en el escenario electrolinera “Centro Norte mediana”-10 de septiembre.

Hora	Seguidor [W/m <sup>2</sup> ]	Sin seguidor [W/m <sup>2</sup> ]	Ganancia %
7	131	283	0,00
8	7.702	3.242	57,91
9	10.976	6.127	44,18
10	11.347	8.580	24,39
11	11.540	10.384	10,02
12	11.607	11.428	1,54
13	11.664	11.669	0,00
14	11.752	11.104	5,51
15	11.833	9.746	17,64
16	11.611	7.654	34,08
17	10.498	4.778	54,49
18	2.757	960	65,18
Total	113416,45	85954,699	24,21

(Fuente: Elaboración propia)

Por otra parte, si se analiza en días de alta nubosidad como el 1 de diciembre, se observa un cambio significativo en su comportamiento, presentando una radiación efectiva máxima cerca a los 3.000 W/m<sup>2</sup> valor relativamente bajo con respecto al escenario anterior en el cual se tiene una radiación efectiva cercana a los 12.000 W/m<sup>2</sup>. (Ver Figura 3.13)

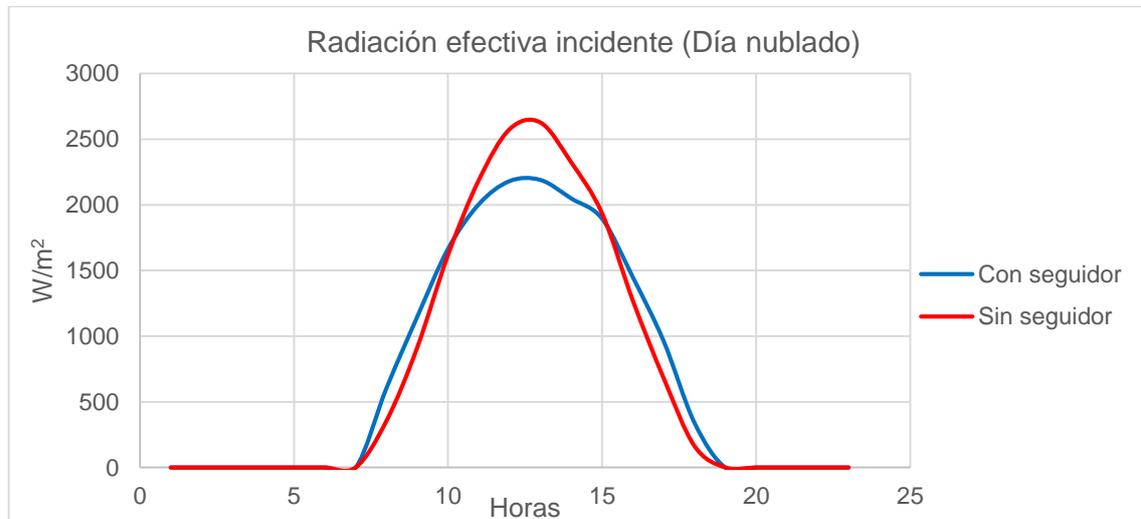


Figura 3.13. Radiación efectiva incidente - electrolinera “Centro Norte mediana”-1 de diciembre. (Fuente: Elaboración propia)

En la Tabla 36 se observa que las horas con mayor ganancia son a las 8 a.m. con 41% y a las 6 p.m. con 52%, siendo similar al anterior análisis.

La principal diferencia entre los dos escenarios es en el intervalo de tiempo desde las 11 a.m. hasta las 3 p.m. donde no existe ganancia en el sistema, así en este escenario no existe ganancia energética en un día donde las condiciones climáticas son adversas.

Tabla 36. Análisis de ganancia por hora en el escenario electrolinera "Centro Norte mediana"- 1 de diciembre.

Hora	Seguidor [Wh/m <sup>2</sup> ]	Sin seguidor [Wh/m <sup>2</sup> ]	Ganancia %
8	604	354	41,36
9	1.147	913	20,44
10	1.665	1.619	2,78
11	2.005	2.190	0,00
12	2.182	2.577	0,00
13	2.190	2.627	0,00
14	2.049	2.323	0,00
15	1.894	1.936	0,00
16	1.448	1.270	12,32
17	962	680	29,33
18	340	163	52,13
Total	16.486	16.651	0,00

(Fuente: Elaboración propia)

## **4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

### **4.1. Conclusiones**

En la actualidad los programas de bicicleta pública están cobrando una gran importancia en diferentes partes del mundo. Existen estudios que analizan las claves del éxito de la implementación de estos sistemas, estos estudios van desde el tipo de bicicleta, el tipo de préstamo, la topografía. Así, uno de los elementos fundamentales es la correcta distribución de las estaciones. En el presente trabajo ha quedado en evidencia la falta de una metodología que relacione la demanda existente en cada ciudad con la localización óptima de paradas.

Para esto, la utilización de programas GIS en conjunto con modelos de optimización, nos permitieron desarrollar un modelo aplicable para la ciudad Quito. Permitiendo relacionar los puntos de mayor demanda en la ciudad, el sistema vial, la ciclo-vía habilitada y los espacios disponibles para la instalación de estaciones, entre otros aspectos. Así se obtuvo resultados que consideran la realidad específica de la ciudad de Quito.

La solución de mínima impedancia permite reducir la distancia que debe recorrer el usuario para llegar a la instalación que provee el servicio, ubicando a la estación de forma central con respecto a los puntos de demanda. Sin embargo, se observa algunos problemas, como es el caso del escenario 1 con la ubicación de 13 estaciones de recarga en el cual no se cubre la totalidad del perímetro de circulación. Por lo tanto, el escenario 1 no es el idóneo para una implementación por su déficit de cobertura.

En el escenario 3 se observa que en algunas zonas existen un número excesivo de estaciones de recarga las cuales se encuentran en locaciones cercanas entre sí, lo cual evidencia un problema dentro del sistema ya que incrementan la impedancia de la red en conjunto, sin mostrar un incremento sustancial con respecto a la demanda cubierta del mismo.

Para mitigar el problema suscitado en el escenario 3 se recomienda ampliar el perímetro de circulación, así como la implementación de nuevas ciclo vías que permitan una distribución más homogénea que solucione el problema de acumulación de estaciones de recarga que se presenta en el dicho escenario.

En el escenario 2 se observa una correcta distribución de las estaciones, ya que no presentan espacios dentro de la ciudad que no poseen estaciones y no existe una aglomeración de las mismas en ninguna zona. Este es el escenario ideal a implementarse en el perímetro de circulación y ciclo vías existentes y actualmente habilitadas en la ciudad de Quito.

Al evaluar los escenarios en los cuales se varia el número de estaciones, se evidencia que el incremento de estaciones de recarga aumenta la demanda cubierta por el sistema y disminuye a su vez los espacios dentro de la ciudad que no poseen estaciones. Sin embargo, el incremento excesivo de estaciones puede repercutir negativamente tanto en costos como en la población cubierta.

Al realizar el dimensionamiento de las estaciones de recarga fotovoltaica en el programa PV-Syst, el principal problema se presenta al tener un alto número de estaciones a ser ubicadas, lo que conlleva a la creación de igual cantidad de escenarios de sombreado cercano. Como solución se realizó cuatro escenarios que representan los paisajes urbanísticos existentes en la ciudad generando aleatoriamente edificios acordes a cada paisaje. Con lo cual se logró simular apropiadamente cada una de las posibilidades.

Al analizar la ganancia obtenida al utilizar seguimiento en un eje con respecto a un sistema estático en los diferentes escenarios se obtiene un valor máximo de 20,39% en el escenario “Centro Norte- electrolinera pequeña” y un mínimo de 4,05% en el escenario “Parque- electrolinera mediana” con lo cual se puede concluir que en algunos casos no es recomendable la aplicación de seguimiento solar.

Finalmente, al analizar los escenarios simulados en el programa PV-Syst, en el cual se realizó el dimensionamiento de la estación de recarga, se denota el alto rendimiento que dichas estaciones poseen, dando como resultado los rendimiento de 86% a 98% en el caso con seguimiento, y de 73% al 94% en el caso sin seguimiento solar. Esto evidencia la aplicabilidad de proyecto planteado en este trabajo.

## 4.2. Trabajos futuros

Se recomienda mejorar los resultados obtenidos de la presente investigación con información actualizada acerca de los puntos demandantes, en el caso de los dos escenarios proyectados a 2020 y 2022.

Para los escenarios proyectados es aconsejable que los trabajos futuros implementen nuevas variables como información de tráfico del Distrito Metropolitano de Quito o nuevos puntos de demanda (en caso de existir en ese momento) para el análisis de ubicación-asignación en ArcGIS y de esta manera mejorar los mapas obtenidos.

En futuros análisis se recomienda tomar en cuenta la energía a ser utilizada por el sistema de seguimiento solar en las estaciones de recarga y lograr de esta manera la autonomía de las mismas.

Con los actuales proyectos planteados que buscan la ampliación de las ciclo vías al sector sur del Distrito Metropolitano de Quito y a los valles, futuros trabajos deben orientar el estudio a la ubicación de estaciones de recarga en estos sectores.

En el caso de ampliación de las ciclo vías al sector sur del DMQ y a los valles es aconsejable la creación de nuevos escenarios de sombras cercanas que sean acordes a las condiciones de dichos lugares para un apropiado análisis.

Los resultados obtenidos en este estudio pueden ser de gran utilidad para tener una prospectiva de medio plazo y realizar análisis de viabilidad en la implementación de las estaciones de recarga de bicicletas.

Se recomienda realizar un estudio relacionado a estrategias de seguimiento solar, ya que como se pudo observar existen algunos meses en el año y escenarios en donde se puede suspender el seguimiento, y se obtienen resultados muy similares en cuanto a la eficiencia de las electrolineras.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Secretaria de Movilidad, «DIAGNÓSTICO DE LA MOVILIDAD EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO PARA EL PLAN METROPOLITANO DE DESARROLLO TERRITORIAL (PMOT). QUITO». 30-oct-2014.
- [2] A. Monzón de Cáceres, G. Rondinella, y PROBICI, *PROBICI guía de la movilidad ciclista: métodos y técnicas para el fomento de la bicicleta en áreas urbanas*. Madrid: IDAE, 2010.
- [3] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, *Guía metodológica para la implantación de sistemas de bicicletas públicas en España*. Madrid: IDAE, 2007.
- [4] Aquino José Antonio, Herrera Tokunaga, y Jorge Sánchez, «Las fuentes renovables, las electrolinerías y el balance neto -Tiempo de oportunidad». .
- [5] C. Cherry, S. Worley, y D. Jordan, «Electric Bike Sharing--System Requirements and Operational Concepts», 1024211, ago. 2010.
- [6] D. V. Herlihy, *Bicycle: the history*. New Haven: Yale University Press, 2004.
- [7] CONY STURM, «El origen de la bicicleta», 14-oct-2011. .
- [8] Daniel Balmaceda, *Historia de las palabras*. Sudamerica, 2011.
- [9] Frank E. Jamerson y Ed Benjamin, «Electric Bikes Worldwide Reports-20.000,000 Light Electric Vehicles in 2007», octavo, may 2007.
- [10] «Página Española de la Bicicleta Eléctrica». .
- [11] Carlos Felipe Pardo, Patricia Calderón, Bernardo Baranda, Cécile Medina, Jonas Hagen, y Xavier Treviño, «Experiencias y lecciones de sistemas de transporte público en bicicleta para América Latina». .
- [12] Lots Research, «WORLD'S MOST ATTRACTIVE BIKE SHARING SYSTEM», *LOTS- strategie design consultarecy*. [En línea]. Disponible en: <http://lotsdesign.se/wordpress/portfolio-item/openbike/>.
- [13] Elías Alarcón, «Mi bici tu bici: El sistema de bicicletas públicas de Rosario se pone a punto para salir a la calle.», *WEBPERIODISMO narrar en una nueva ecología mediática*, 31-ago-2015. .
- [14] ARC.nos, «BicinCittà», *BicinCittà*. [En línea]. Disponible en: <http://www.bicincitta.com/Default.aspx>.
- [15] U.S. Energy Information Administration, «September 14, 2017 [www.eia.gov/ieo](http://www.eia.gov/ieo) International Energy Outlook 2017», 0484(2017), sep. 2017.
- [16] International Energy Agency, «Annual Report 2016», 2016.
- [17] SOLARGIS, «GLOBAL SOLAR ATLAS», *GLOBAL SOLAR ATLAS*, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://globalsolaratlas.info/>. [Accedido: 12-jul-2018].

- [18] CONELEC, «LAS ENERGÍAS RENOVABLES ANÁLISIS DEL REGULADOR». 05-jul-2013.
- [19] Secretaria General Del Consejo, «COMISIÓN DE MOVILIDAD», Secretaria General Del Consejo, Quito, IC-O-2017-207, ago. 2017.
- [20] «Introducción a ArcGIS», *ArcGIS*, 18-oct-2017. .
- [21] Sonia Aguirre Sanz, «Optimización de redes con ArcGIS Network Analyst», *Geo-innova*. .
- [22] Environmental Systems Research Institute, «Análisis de ubicación - asignación», *ArcGIS*. [En línea]. Disponible en: [https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.4/extensions/network-analyst/location-allocation.htm#ESRI\\_SECTION3\\_F8EBCD830EDA464384FEC1E54DBA2707](https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.4/extensions/network-analyst/location-allocation.htm#ESRI_SECTION3_F8EBCD830EDA464384FEC1E54DBA2707). [Accedido: 12-ene-2018].
- [23] Carlos Espín Herráiz, *Manual de usuario PVsyst*. España: Grupo IDEA.
- [24] J. de D. Ortúzar, L. G. Willumsen, Á. Ibeas Portilla, y L. Dell'Olio, *Modelos de transporte*. Santander: Ediciones de la Universidad de Cantabria, 2011.
- [25] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, «Densidad poblacional por manzanas 2010», INEC, Quito, 2010.
- [26] Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, «Sistema metropolitano de transporte». [En línea]. Disponible en: <http://www.quito.gob.ec/index.php/municipio/245-sistema-metropolitano-de-transporte>.
- [27] Google, «Entidades públicas». [En línea]. Disponible en: [google.com.ec](http://google.com.ec). [Accedido: 10-ene-2018].
- [28] «Sistema de bicicleta pública Quito», AMT, Quito.
- [29] Fausto Miranda, «Metro de Quito», Secretaria de movilidad de Quito, Quito.
- [30] «SOONERBIKE», *SOONERBIKE*, 2015. [En línea]. Disponible en: [http://www.justar.es/eh-city\\_28.html](http://www.justar.es/eh-city_28.html). [Accedido: 15-ene-2018].
- [31] European Standard prEN15194, «Cycles – Electrically power assisted cycles – EPAC Bicycles». 24-dic-2004.
- [32] Christof Kaiser, «Optimising the Location of Services», jul-2000. [En línea]. Disponible en: <https://www.trash.net/~ck/mastersthesis/>. [Accedido: 20-mar-2018].
- [33] S. C. NARULA, U. I. OGBU, y H. M. SAMUELSON, «An algorithm for the p-median problem.», *Oper. Res.*, pp. 709-713., 1977.
- [34] Observatorio Urbano de la Gran Área Metropolitana OUGAM, «Programa de investigación en desarrollo urbano sostenible ProDUS». .
- [35] E L Hillsman, «The p-median structure as a unified linear model for location-allocation analysis», vol. 16, pp. 305-318, 1984.

- [36] M. B. Teitz y P. Bart, «Heuristic Methods for Estimating the Generalized Vertex Median of a Weighted Graph», *Oper. Res.*, vol. 16, n.º 5, pp. 955-961, oct. 1968.
- [37] C. Blum y A. Roli, «Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison», *ACM Comput. Surv.*, vol. 35, n.º 3, pp. 268-308, sep. 2003.
- [38] ArcGis, «Elegir mapa base», *Ayuda de ArcGIS Online*. [En línea]. Disponible en: <https://doc.arcgis.com/es/arcgis-online/create-maps/choose-basemap.htm>. [Accedido: 05-ene-2018].
- [39] M. Latorre, J. Gutiérrez-Puebla, y J.C. García-Palomares, «Distribución espacial de estaciones de bicicletas públicas mediante modelos de localización óptima». Universidad Complutense de Madrid., 19-sep-2012.
- [40] NYC Dept. City Planning, «BIKE-SHARE Opportunities in New York City». .
- [41] INAMHI, «Red de estaciones Meteorológicas». [En línea]. Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/red-de-estaciones-meteorologicas/>. [Accedido: 10-mar-2018].
- [42] Secretaria de Ambiente, «Red de monitoreo atmosferico». [En línea]. Disponible en: <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/informes>. [Accedido: 08-feb-2018].
- [43] National Renewable Energy Laboratory, «National Solar Radiation Database». [En línea]. Disponible en: <https://nsrdb.nrel.gov/>. [Accedido: 10-feb-2018].
- [44] Carlos Edison Morales Cumba, «Estudio energético en sistemas fotovoltaicos empleando seguimiento solar en regiones ecuatoriales», EPN, Quito, 2017.
- [45] H. Samuelson, S. Claussnitzer, A. Goyal, Y. Chen, y A. Romo-Castillo, «Parametric energy simulation in early design: High-rise residential buildings in urban contexts», *Build. Environ.*, vol. 101, pp. 19-31, may 2016.
- [46] PV-Syst, «PVsyst 6». .

## ANEXO I.

### PUNTOS DE DEMANDA (ATRACTORES)

- Centros comerciales.

Nº	Nombre	Número de valoraciones " Google"	Atractividad
1	Centro Comercial "Espiral"	2118	15
2	Centro Comercial "La Manzana"	186	1
3	Centro Comercial "Montufar"	237	2
4	Centro Comercial "Gran Pasaje"	31	0
5	Centro Comercial " Ipiales Mires"	109	1
6	Centro Comercial "Multicentro"	1073	8
7	Centro Comercial "El Jardín"	5127	36

8	Centro Comercial "Iñaquito"	7432	53
9	Centro Comercial "Caracol"	1862	13
10	Centro Comercial "Quicentro "	11303	80
11	Centro Comercial "N.N.U.U"	1542	11
12	Centro Comercial "Plaza de las Américas"	3225	23
13	Centro Comercial "La Y"	120	1
14	Mercado Artesanal	769	5
15	Centro Comercial "Quitús"	199	1

(Fuente: Elaboración propia)

- Entidades públicas.

Nº	Nombre	Número de valoraciones " Google "	Atractividad
1	Secretaría de la Movilidad	4	1
2	Ministerio Coordinador de Seguridad	5	1
3	Secretaría Nacional de gestión de la Política	2	1
4	Municipio de Quito	53	14
5	Ministerio de Turismo	4	1
6	Dirección Provincial Consejo de la Judicatura	3	1
7	Registro Civil	51	13
8	Consejo Provincial de Pichincha	8	2
9	Contraloría General del Estado	16	4
10	Ministerio de Relaciones Laborales	7	2
11	IESS	18	5
12	INEC	2	1
13	Corporación Financiera Nacional	5	1
14	Consejo de la Judicatura	8	2
15	Defensoría Pública	15	4
16	Ministerio del Ambiente	4	1
17	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable	6	2
18	Superintendencia de Bancos del Ecuador	6	2
19	Consejo de la Judicatura	37	10
20	INEN	4	1
21	Ministerio de Industrias y Productividad	3	1
22	EPMMOP (Matriz)	4	1
23	Ministerio de Relaciones Exteriores	29	8
25	CNE	23	6
26	MAGAP	24	6
27	AMT	1	0
28	Ministerio de Educación	51	13
29	Plataforma Financiera Gubernamental	31	8
30	Registro Civil	58	15
31	Corte Nacional de Justicia	6	2
32	Ministerio del Deporte	190	50

(Fuente: Elaboración propia)

- Museos.

Nº	Nombre	Número de valoraciones "Google"	Atractividad
1	Museo de la Ciudad	255	16
2	Museo de Arte Precolombino Casa del Alabado	135	8
3	Museo Arte Contemporáneo de Quito	318	20
4	Museo Manuela Sáenz	27	2
5	Museo etnohistórico de artesanías del Ecuador	112	7
6	Museo Alberto Mena Caamaño	96	6
7	Museo Numismático	33	2
8	Museo de Medicina	21	1
9	Museo Dominicano de Arte Fray Pedro Bedón	3	0
10	Museo Muñoz Mariño	19	1
11	Museo de Arquitectura Ecuatoriana	6	0
12	Museo de San Francisco	29	2
13	Museo Jacinto Jijón y Caamaño	14	1
14	Museo de Historia Natural Gustavo Orces	4	0
15	Museo Abya Ayala	41	3
16	Museo de Ciencias Naturales	29	2
17	Expofixión	8	1
18	Museo Dinosaurios	6	0
19	Museo de artesanías "Olga Fisch Folklore"	21	1
20	Museo de la Presidencia	4	0
21	Museo Casa Sucre	118	7
22	Museo San Lázaro	77	5
23	Salón de la ciudad	53	3
24	Centro Cultural Metropolitano	165	10
25	Museo Casa de la Cultura Ecuatoriana	19	1

(Fuente: Elaboración propia)

- Paradas sistema BiciQ.

Nº	Nombre	Pesos obtenidos			Atractividad		
		8-9	12-13	5-6	8-9	12-13	5-6
1	Santo Domingo	3	4	8	17	20	33
3	Alameda	5	6	4	28	30	16
4	IESS	5	13	10	28	65	41
5	Ejido	8	10	13	45	50	53
6	U. Católica	11	14	12	62	70	49
7	Parque Navarro	0	3	4	0	15	16
8	Guapulo	0	7	0	0	35	0
9	Adm. Mariscal	11	14	11	62	70	45
10	Santa Teresita	7	13	8	39	65	33

11	Santa Clara	8	8	5	45	40	20
12	U. Central	5	8	10	28	40	41
13	Colegio Militar	3	6	16	17	30	65
14	Ministerio de Agricultura	13	18	11	73	90	45
15	Las Cámaras	16	16	22	90	80	90
16	FLACSO	10	10	3	56	50	12
17	Seminario Mayor	2	2	4	11	10	16
18	San Gabriel	3	1	0	17	5	0
19	Cruz del Papa	14	12	14	79	60	57
20	Portugal	14	12	14	79	60	57
21	Estadio	8	16	12	45	80	49
22	N.N.U.U	3	6	9	17	30	37
23	Plaza de las Américas	0	1	2	0	5	8
24	Adm. Zonal Norte	4	9	5	23	45	20
25	La "Y"	7	7	10	39	35	41

(Fuente: Elaboración propia)

- Paradas metro de Quito.

Nº	Nombre	Atractividad
1	San Francisco	80
2	Alameda	80
3	El Ejido	80
4	Universidad Central	80
5	La Pradera	80
6	La Carolina	80
7	Iñaquito	80
8	Jipijapa	80

(Fuente: Elaboración propia)

- Paradas transporte público.

Nº	Nombre	Número de valoraciones " Google"	Atractividad
1	Trolebús "Santo Domingo"	70	37
2	Trolebús "Plaza Chica"	60	32
3	Trolebús "Plaza del Teatro"	65	34
4	Trolebús "Montúfar"	50	26
5	Trolebús "Hermano Miguel"	55	29
6	Trolebús "Banco Central"	64	34
7	Trolebús "Alameda"	75	39
9	Trolebús "El Ejido"	70	37
11	Trolebús "La Mariscal"	60	32
13	Trolebús "Santa Clara"	60	32

16	Trolebús "La Colón"	80	42
19	Trolebús "Cuero y Caicedo"	55	29
20	Trolebús "Mariana de Jesús"	70	37
21	Trolebús "El Florón"	65	34
22	Trolebús "Estadio"	85	45
23	Trolebús "La Y"	80	42
25	Trolebús "Estación la Y"	95	50
26	Ecovía "Simón Bolívar"	75	39
27	Ecovía "Eugenio Espejo"	95	50
28	Ecovía "Casa de la Cultura"	70	37
29	Ecovía "De las Universidades"	95	50
30	Ecovía "Galo Plaza"	70	37
31	Ecovía "Manuela Cañizares"	65	34
32	Ecovía "Baca Ortiz"	90	47
33	Ecovía "Orellana"	85	45
34	Ecovía "La Paz"	65	34
35	Ecovía "Oswaldo Guayasamín"	70	37
37	Ecovía "Bellavista"	70	37
39	Ecovía "Eloy Alfaro"	70	37
40	Ecovía "Benalcázar"	65	34
41	Ecovía "Naciones Unidas"	75	39
42	Ecovía "24 de Mayo"	65	34
43	Ecovía "Los Sauces"	70	37
44	Ecovía "Jipijapa"	60	32
45	Corredor "Central"	95	50
46	Corredor "Seminario Mayor"	90	47
47	Corredor "Mariana de Jesús"	75	39
48	Corredor "Mañosca"	80	42
49	Corredor "Brasil"	75	39
50	Corredor "La Y"	95	50

(Fuente: Elaboración propia)

- Supermercados y mercados.

Nº	Nombre	Número de valoraciones " Google"	Atractividad
1	Supermaxi "12 de Octubre"	1824	32
2	Supermaxi " América"	203	4
3	Supermaxi "Multicentro"	196	3
4	Megamaxi "6 de Diciembre"	3754	65
5	Supermaxi "El Jardín"	212	4
6	Supermaxi "Quicentro"	252	4
7	Santa María "Centro"	303	5
8	Santa María " Santa Clara"	582	10
9	TIA "Quito Sucre"	110	2
10	TIA "Quito Centro"	90	2

11	TIA "Alameda"	62	1
12	AKI " El Ejido"	42	1
13	TIA " El Ejido"	90	2
14	TIA " Plataforma Gubernamental"	85	1
15	Mercado Central	905	16
16	Mercado Ipiales	839	15
17	Mercado Santa Clara	2018	35
18	Mega Santa María	650	11
19	Mercado Iñaquito	2170	38

(Fuente: Elaboración propia)

- **Universidades.**

Nº	Nombre	Número de valoraciones " Google "	Atractividad
1	Pontificia Universidad Católica	138	55
2	Escuela Politécnica Nacional	188	75
3	Universidad Politécnica Salesiana	80	32
4	Universidad Central del Ecuador	123	49
5	Facultad de Medicina U. Central	22	9
6	Universidad de las Américas	158	63
7	Universidad Andina Simón Bolívar	40	16
8	Instituto Tecnológico Metropolitano	4	2
9	Universidad Tecnológica Equinoccial	76	30
11	Universidad Metropolitana	18	7

(Fuente: Elaboración propia)

- **Parques.**

Nº	Nombre	Atractividad
1	Alameda	45
2	Parque del Arbolito	25
3	El Ejido	65
4	La Carolina	80

(Fuente: Elaboración propia)

## ANEXO II.

- **PARADAS CANDIDATAS**

Nº	Nombre	Tamaño	Atractividad
1	San francisco	Obligatorias	1
2	Alameda	Obligatorias	1
3	Ejido	Obligatorias	1
4	U. Central	Obligatorias	1
5	La Pradera	Obligatorias	1
6	El Jardín	Obligatorias	1

7	Iñaquito	Obligatorias	1
8	Jipijapa	Obligatorias	1
9	La Floresta	Pequeñas	4
10	Seminario Mayor	Pequeñas	4
11	San Gabriel	Pequeñas	4
12	Plaza de las Américas	Pequeñas	4
13	Plaza de Santo Domingo	Pequeñas	4
14	Plaza Grande	Pequeñas	4
15	Plaza Chica	Pequeñas	4
16	San Agustín	Pequeñas	4
17	Huerto San Agustín	Pequeñas	4
18	Montufar	Pequeñas	4
19	Plaza Las Conceptas	Pequeñas	4
20	Plaza del Teatro	Pequeñas	4
21	El Churo	Pequeñas	4
22	Plaza Borja Yerovi	Pequeñas	4
23	Plaza Foch	Pequeñas	4
24	Julio Zaldumbide	Pequeñas	4
25	Parque Miravalle	Pequeñas	4
26	Carolina-Eloy Alfaro	Pequeñas	4
27	Carolina-Parque botánico	Pequeñas	4
28	Cruz del Papa	Pequeñas	4
29	El Florón	Pequeñas	4
30	Teresa de Cepeda	Pequeñas	4
31	Plaza de Toros	Pequeñas	4
32	Banco Central	Medianas	8
33	Plaza Simón Bolívar	Medianas	8
34	Parque Juan Montalvo	Medianas	8
35	Sur parque "El Ejido"	Medianas	8
36	Central " El Ejido"	Medianas	8
37	Cofiec	Medianas	8
38	Arco " El Ejido"	Medianas	8
39	Iglesia Santa Teresita	Medianas	8
40	Plaza Veintimilla	Medianas	8
41	Santa Clara	Medianas	8
42	Parque Gabriela Mistral	Medianas	8
43	EPN	Medianas	8
44	Fiscalía General del Estado	Medianas	8
45	Plaza Argentina	Medianas	8
46	U. Central	Medianas	8
47	La "Y"	Medianas	8
48	CEC EPN	Medianas	8
49	Parque Genaro Larrea	Medianas	8
50	Parque la Tortuga	Medianas	8

51	Sebastián de Benalcázar	Medianas	8
52	Colegio Militar	Grandes	12
53	Ministerio de Agricultura	Grandes	12
54	El Jardín "La Carolina"	Grandes	12
55	Portugal "La Carolina"	Grandes	12
56	NNUU "La Carolina"	Grandes	12
57	Estadio " Olímpico Atahualpa"	Grandes	12
58	Plataforma Gubernamental	Grandes	12

(Fuente: Elaboración propia)

**ANEXO III, IV, V**  
**MAPAS DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE RECARGA DE BATERÍAS PARA**  
**BICICLETAS ELÉCTRICAS CON PANELES FOTOVOLTAICOS**