UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



La bicicleta compartida como modo de transporte alternativo en la Ciudad de Guatemala bajo el modelo de ciudades inteligentes

Trabajo de graduación presentado por Juan Andrés Rivera Gándara para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil Arquitectónica

Guatemala,

2022

La bicicleta compartida como modo de transporte alternativo en la Ciudad de Guatemala bajo el modelo de ciudades inteligentes

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



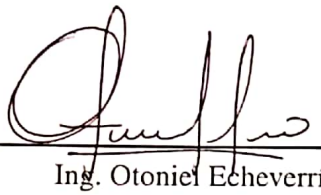
La bicicleta compartida como modo de transporte alternativo en la Ciudad de Guatemala bajo el modelo de ciudades inteligentes

Trabajo de graduación presentado por Juan Andrés Rivera Gándara para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil Arquitectónica

Guatemala,

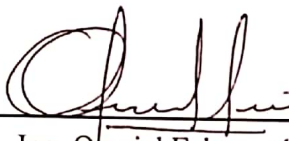
2022

Vo.Bo.:

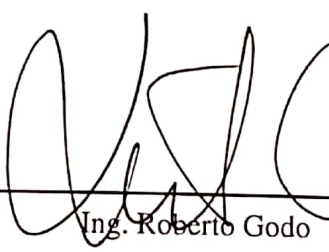
(f) 

Ing. Otoniel Echeverría

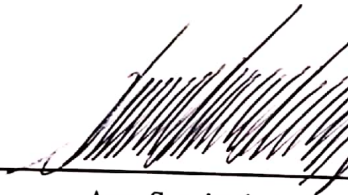
Tribunal Examinador:

(f) 

Ing. Otoniel Echeverría

(f) 

Ing. Roberto Godo

(f) 

Arq. Sergio de León

Fecha de aprobación: Guatemala, 23 de junio de 2022.

PREFACIO

La bicicleta compartida como modo de transporte es de interés dado su potencial para su incorporación en la ciudad de Guatemala, tomando como referencia la planificación de modos de transporte para ciudades inteligentes y aprovechando las herramientas aprendidas durante la carrera como CYPE Arquímedes, QGIS y Revit.

La idea de desarrollar este trabajo de graduación surge de mi interés en el urbanismo y el uso de herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) para la planificación y el análisis de datos. Habiendo trabajado en un proyecto para la generación de un Atlas Metropolitano para la Ciudad de Guatemala, decidí aplicar los aprendizajes adquiridos en el uso de QGIS junto con los conocimientos de ingeniería para desarrollar una metodología de selección de infraestructura para la bicicleta compartida.

Aprovecho este apartado para agradecer a mi familia, amigos, asesores y colegas quienes me apoyaron y dedicaron de su valioso tiempo para la revisión, guía y retroalimentación de esta investigación.

CONTENIDO

Página

PREFACIO . . . . . **IV**

LISTA DE CUADROS . . . . . **X**

LISTA DE GRÁFICOS . . . . . **XII**

RESUMEN . . . . . **XIV**

I. INTRODUCCIÓN **1**

II. ANTECEDENTES **3**

III. JUSTIFICACIÓN **4**

IV. OBJETIVOS **7**
A Objetivo general 7
B Objetivos específicos 7

V. ALCANCE **8**

VI. Área de estudio **9**

VII. Ciudad de Guatemala **10**
A Contexto 10
1 Orígenes 10
2 Territorio 10
3 Clima 11
4 Demografía 11
5 Tipología vial 14
B Alternativas de transporte en la Ciudad de Guatemala 15
1 Transporte público 15
2 Transporte privado 20
C Tendencias de tráfico 22
D Paradojas de movilidad 23
1 Paradoja de Braess 23
2 Paradoja de Downs-Thomson-Mogridge 24
E La bicicleta como modo de transporte 24
F Ciclovías 26
1 Tipologías 26
2 Componentes 28
3 Elementos protectores 30

4 Ciclovías disponibles en la Ciudad de Guatemala . . . 31
5 Desafíos de movilidad en bicicleta en la Ciudad de Guatemala . . . 33

VIII. ¿Qué es una ciudad? . . . **36**

IX. ¿Qué son las ciudades inteligentes? . . . **37**
A Capa de servicios . . . 38
B Capa de infraestructura . . . 38
C Capa digital . . . 39
1 Generación de data . . . 39
2 Identificación de información relevante . . . 39
3 Internet of Things . . . 40

X. Implicaciones de ciudades inteligentes . . . **41**
A Manejo y gobernanza de infraestructura . . . 41
1 Manejo de las nuevas capas de servicios . . . 41
2 Gobernanza de sistemas socio-técnicos . . . 41
3 Manejo y gobernanza de la información digital . . . 42

XI. Desarrollo e implementación de modelos de transportes en ciudades inteligentes . . . **43**
A Sistemas de transporte inteligentes . . . 43
1 Impulsores de transición . . . 43
2 Estrategias de transición . . . 44

XII. Bicicletas compartidas como modo de transporte de ciudades inteligentes . . . **46**
A Casos de éxito . . . 47
1 Ecobici . . . 47
2 El Bicing . . . 47
3 Santander Cycles . . . 48
B Equipamiento tecnológico . . . 48
1 Monitoreo de rutas . . . 49
2 Monitoreo de usuarios . . . 49
3 Salud y confort . . . 51
4 Zona de uso . . . 52
5 Aplicación móvil y plataforma . . . 53

XIII. METODOLOGÍA . . . **54**
A Comparativa entre alternativas de transporte principales . . . 54
B Encuesta de auto-llenado digital . . . 54
C Interpretación de resultados de encuesta . . . 56
D Caracterización del territorio . . . 58
1 Barreras . . . 58
2 Distritos . . . 59

3 Puntos de permeabilidad . . . 62
4 Puntos de interés . . . 63
E Caracterización de distritos . . . 64
F Equipamiento disponible . . . 64
1 Transporte colectivo . . . 64
2 Centrales de transferencia potenciales . . . 64
G Propuesta de equipamiento . . . 65
1 Propuesta de rutas . . . 65
2 Trazo de rutas . . . 65
3 Análisis de rutas con sentidos . . . 65
4 Clasificación de rutas por tipología . . . 66
5 Identificación e intervención de nodos . . . 66
6 Equipamiento/tramos especiales . . . 68
7 Selección de estaciones de bicicletas . . . 68
8 Análisis de cobertura de estaciones . . . 69
H Propuesta de equipamiento digital . . . 70
1 Monitoreo de rutas . . . 70
2 Aplicación . . . 71
I Presupuesto preliminar de infraestructura . . . 71
1 Cuantificación . . . 71
2 Presupuesto . . . 75
J Guía de diseño de infraestructura y funcionamiento del modo de transporte . . . 75

XIV. RESULTADOS . . . 76
A Comparativa modos de transporte más utilizados vs. la bicicleta compartida . . . 76
B Hallazgos de la encuesta . . . 76
C Caracterización del territorio . . . 77
1 Barreras . . . 77
2 Distritos . . . 78
3 Puntos de permeabilidad distrital . . . 79
4 Puntos de interés . . . 79
5 Caracterización de distritos . . . 79
D Análisis de rutas . . . 80
1 Recorridos . . . 80
2 Tipología . . . 80
3 Nodos . . . 81
4 Equipamiento en tramos especiales . . . 81
5 Cobertura . . . 83
E Visión de ciudades inteligentes . . . 85
1 Inclusión y accesibilidad . . . 85
2 Equipamiento digital . . . 85
F Análisis de presupuesto . . . 88

XV. Manual de diseño **91**
A Guías y manuales de referencia consultados 91
1 Título y designación 91
2 Matriz de comparación 91
B Ley de tránsito en Guatemala 92
C El usuario y la bicicleta 94
D Planificación 94
1 Herramientas de planificación y obtención de información 94
2 Consideraciones para la reestructuración de calles 94
3 Criterios de selección de rutas para nuevas ciclovías 94
4 Estudios de impacto vial 95
E Ciclovías 95
1 Tipologías 96
2 Elementos de protección 97
3 Anchos de ciclovías 98
4 Procesos de selección 99
F Intervención de intersecciones 100
1 Cruces de ciclistas 100
2 Cajas de espera 100
3 Cajas de cruce en dos etapas 100
4 Camellones centrales como bahías de espera 100
5 Detección de ciclistas en intersecciones 100
G Señalización para ciclovías 101
1 Señalización horizontal 101
2 Señalización vertical 102
H Intervenciones especiales 106
1 Transiciones entre tipologías de ciclovía 106
2 Ingresos a propiedades sobre la ciclovía 106
3 Carriles de solo virar 106
4 Paradas de bus 106
5 Zonas de carga y descarga 106
I Detección de ciclistas en ciclovías 106
J Parqueo para bicicletas 107
1 Tipos 107
2 Posicionamiento 107
K Iluminación 107
1 Criterios de selección 107
2 Posicionamiento 107
L Drenajes 107

XVI. CONCLUSIONES **108**

XVII. RECOMENDACIONES **110**

XVIII. BIBLIOGRAFÍA **112**

XIX. Glosario **116**

XX. APÉNDICES **117**

LISTA DE CUADROS

Cuadro **Página**

1 Sensores para conteo de ciclistas parte 1 50
2 Sensores para conteo de ciclistas parte 2 50
3 Población estudiantil 2019 55
4 Orígenes y destinos de encuestados residentes de la Ciudad de Guatemala 57
5 Orígenes y destinos de encuestados residentes en la periferia de la Ciudad de Guatemala 57
6 Cuantificación de kilómetros por tipología 72
7 Equipamiento calles compartidas 73
8 Equipamiento ciclovías convencionales 73
9 Equipamiento ciclovías protegidas 74
10 Señalización nodos ciclovías 1 vía 74
11 Señalización nodos ciclovías doble vía 74
12 Barreras viales 78
13 Caracterización por distrito 80
14 Centrales de transferencia 84
15 Publicaciones consideradas 91
16 Matriz de comparación de publicaciones analizadas 92
17 Metodología de diseño de infraestructura para ciclistas 95
18 Cuadro de anchos de ciclovías por tipología 98

LISTA DE GRÁFICOS

Ilustración **Página**

1 Área de estudio . . . 9
2 Crecimiento de la mancha urbana . . . 11
3 Tamaño actual de la mancha urbana . . . 12
4 Temperatura mínima y máxima ciudad de Guatemala . . . 13
5 Precipitación Ciudad de Guatemala . . . 13
6 Población agrupada por rangos de edades para el municipio de Guatemala . . . 13
7 Tipología vial según el POT . . . 14
8 Modos de transporte utilizados en la Ciudad de Guatemala . . . 15
9 Rutas del transmetro . . . 16
10 Cobertura de rutas del transmetro dentro de la ciudad de Guatemala . . . 17
11 Rutas de los buses urbanos . . . 17
12 Cobertura de rutas de los buses urbanos dentro de la ciudad de Guatemala . . . 18
13 Rutas transurbano . . . 18
14 Cobertura de rutas de los transurbanos dentro de la ciudad de Guatemala . . . 19
15 Cobertura de rutas del transporte colectivo dentro de la ciudad de Guatemala . . . 20
16 Incremento en el parque vehicular departamento de Guatemala . . . 21
17 Conteos de bicicletas . . . 22
18 Incremento vehicular entre el 2019 y 2020 en los puntos de medición de la ciudad de Guatemala . . . 23
19 Radios ciudad de Guatemala . . . 25
20 Plan maestro ciclovías Ciudad de Guatemala . . . 26
21 Distribución de edades en usuarios de Ecobici en la ciudad de México . . . 26
22 Diagramas de tipologías de ciclovías . . . 29
23 Prolongación de curva en intersección . . . 30
24 Elementos de protección . . . 30
25 Ciclovías existentes . . . 31
26 Condiciones inadecuadas en ciclovías . . . 32
27 Condiciones inadecuadas en ciclovías . . . 32
28 Puente ciclo-peatonal . . . 35
29 Áreas de interés de las ciudades inteligentes. . . . 37
31 Usos globales Ecobici . . . 48
32 Equipamiento digital . . . 51
33 Equipamiento digital parte II . . . 52
34 Lógica estructuración de encuesta . . . 55
35 Calculadora Sample Size . . . 56
36 Mapa barreras viales . . . 59
37 Mapa barreras por uso de suelo . . . 60
38 Mapa barreras naturales . . . 61

39 Mapa distritos . . . 61
40 Mapa permeabilidad distrital . . . 62
41 Mapa puntos de interés . . . 64
42 Mapa rutas propuestas . . . 66
43 Tipología de nodos ciclovías en un sentido . . . 67
44 Tipología de nodos ciclovías doble vía . . . 68
45 Tipología de nodos especiales . . . 69
46 Tipología de nodos en ciclovías . . . 70
47 Centrales de transferencia reales . . . 71
48 Funciones de la aplicación digital . . . 72
49 Configuración cotizador . . . 75
50 Estructura de presupuesto . . . 75
51 Comparativa entre modos de transporte en distancias cortas . . . 76
52 Mapa de análisis de ciclovías por sentidos . . . 81
53 Mapa rutas propuestas por tipología . . . 82
54 Mapa cobertura de estaciones propuestas . . . 84
55 Pantallas estaciones bicicletas . . . 86
56 Pantallas funciones y rutas . . . 87
57 Análisis de datos de estaciones . . . 87
58 Análisis de datos de recorridos . . . 88
59 Análisis de datos de denuncias . . . 88
60 Gestión de rutas . . . 89
61 Datos de usuarios . . . 89
62 Porcentajes por capítulo del presupuesto . . . 90
63 Montos por capítulo del presupuesto . . . 90
64 Costo por kilómetro lineal según tipología de ciclovía . . . 90
65 selección de ciclovías por tipología . . . 99
66 Detección de ciclistas en intersecciones . . . 101
67 Señales reglamentarias para ciclovías . . . 103
68 Señales preventivas para ciclovías . . . 104
69 Señales para guía y orientación de ciclovías A . . . 105
70 Señales para guía y orientación de ciclovías B . . . 105

RESUMEN

Las ciudades se definen y abordan desde distintas perspectivas; no obstante dos componentes esenciales al momento de analizar una ciudad son las personas y los sistemas que la conforman. Las interrelaciones entre los habitantes y los sistemas, como la infraestructura y los servicios de una ciudad, resultan complejas de definir dado que existen diferentes variables. El contexto de los habitantes, sus necesidades, motivaciones, aspiraciones y problemas contribuyen a la diversidad de factores a considerar. Desde este punto de vista resultaría difícil determinar los factores que mejoran o perjudican la movilidad en una ciudad. En estos casos resulta conveniente analizar la ciudad por medio de la visión de ciudades inteligentes ya que está se enfoca en crear soluciones basadas en las personas, la calidad de vida y la eficiencia de sus servicios por medio de herramientas tecnológicas. Esto se logra por medio de una capa de información digital compuesta por servicios e infraestructura para recopilar y acceder datos en tiempo real. De esta forma, se genera un repositorio de información que puede ayudar a predecir tendencias o comportamientos, establecer correlaciones y optimizar procesos. Bajo este escenario, los modelos de transporte pueden incrementar su productividad y mejorar la experiencia del usuario cuando se implementan desde el punto de vista de ciudades inteligentes (IGLUS & EPFL, 2020)

Las alternativas de transporte generadas y las mejoras en los sistemas existentes parten de un legado de información recopilado de infraestructura como cámaras, sistemas de posicionamiento global (GPS por sus siglas en inglés), teléfonos inteligentes, sensores, entre otros, que recopilan información de los ciudadanos y su interacción con los sistemas. Siendo esta la propuesta de valor de la visión de una ciudad inteligente, es posible replantear modelos de transporte y generar nuevas alternativas. Las ciclovías y modelos de bicicletas compartidas, como modo de transporte alternativo, se convierten en parte de la solución al tráfico y la gran cantidad de automóviles (Stamatiadis et al., 2017). En la actualidad, la eficiencia del uso del automóvil disminuye conforme incrementa el tránsito (congestionamientos), por lo que es necesario buscar otras opciones (IGLUS & EPFL, 2020)

La bicicleta, además de su uso recreativo, cuenta con un alto potencial para emplearse como una alternativa sostenible de transporte dentro de una ciudad al ser de bajo costo, tener un impacto ambiental bajo y poseer una alta eficiencia (en términos de espacio ocupado y capacidad de llegar de un punto A a un punto B) (Stamatiadis et al., 2017). No obstante, se requiere de infraestructura y planificación para que el movilizarse en bicicleta o algún vehículo de propulsión humana (velocípedo) sea viable. Ciudades alrededor del mundo han reconocido la oportunidad de solventar problemas como el congestionamiento vehicular por medio del fomento del uso de bicicletas compartidas. Abordar la bicicleta como un modo de transporte desde la visión de ciudades inteligentes es esencial para maximizar su rendimiento, aumentar el número de usuarios, facilitar la transición de un modo a otro y mejorar la conectividad de una ciudad. Además, por medio de herramientas digitales que permitan generar data en tiempo real sobre el modelo de transporte, es posible alcanzar una mejor planificación e inversión de los recursos (IGLUS & EPFL, 2020) (Smart City Press, 2019).

Aunque muchas de las ciudades inteligentes se enfocan y buscan la automatización de los mo-

dos de transporte para reducir los errores humanos (accidentes de tránsito, infracciones, bloqueo de intersecciones, etc) y el congestionamiento, resulta conveniente analizar la bicicleta compartida desde esta perspectiva dado que es un modo de transporte cuya infraestructura cuenta con una alta facilidad de implementación, al requerir una menor inversión que otras alternativas (trenes, metros, teleféricos, etc.) y además ha resultado de gran ayuda para otras áreas urbanas importantes como Londres, Manhattan, Bogotá, Amsterdam, París, etc. Ante esta premisa, el siguiente trabajo de graduación pretende elaborar un plan piloto para el desarrollo de un modo de transporte de bicicleta compartida para conectar la ciclovía de la avenida Reforma y Américas con las universidades: Francisco Marroquín, Rafael Landívar y del Valle, bajo la visión de ciudades inteligentes. (IGLUS & EPFL, 2020).

I. INTRODUCCIÓN

La bicicleta compartida es un sistema de transporte público que permite la adquisición de una bicicleta por un período de tiempo limitado a través de una tarifa regularmente estandarizada (Bicing, 2020). Las bicicletas pertenecientes al sistema podrán ser utilizadas dentro de una zona de uso definida por el proveedor del servicio. Al integrar una capa digital al servicio que le permita a los usuarios acceder al mismo a través de una aplicación y a los proveedores del servicio obtener información sobre el funcionamiento del mismo, el sistema de bicicletas compartidas se convierte en un sistema de transporte inteligente. Este está alineado a la visión de ciudades inteligentes, las cuales buscan mejorar la calidad de vida de los habitantes de una ciudad y mejorar la eficiencia del sus servicios. En el caso de los sistemas de transporte, las ciudades inteligentes buscan: diversificar los modos de transporte, reducir los tiempos y distancias de viajes, aumentar el grado de confort de los usuarios, minimizar los costos de funcionamiento y contar con un repositorio de información para la toma de decisiones (creación de nueva infraestructura, intervención de la infraestructura existente, etc.) (IGLUS & EPFL, 2020)

En la ciudad de Guatemala la bicicleta se utiliza principalmente para uso recreativo y los servicios de bicicletas compartidas están limitados a trayectos cortos, además no cuentan con equipamiento digital, por lo que existe la oportunidad de replicar, mejorar y proponer esta modalidad en otros puntos de la Ciudad. De igual forma, la falta de opciones y/o condiciones inadecuadas de servicios de transporte público resulta en un uso preferencial de vehículos particulares (comprenden más del 50 % del parque vehicular) como automóviles (Municipalidad de Guatemala y Municipalidad de Mixco, 2019), los cuales generan congestionamientos vehiculares. Según la Municipalidad de Guatemala, las personas que circulan en la ciudad de Guatemala pasan en promedio más de dos horas en el tráfico al día. Como parte de la solución para mejorar las condiciones de movilidad de la ciudad se busca proponer la bicicleta compartida como alternativa de transporte público bajo la visión de ciudades inteligentes.

Esta investigación analiza los lineamientos y consideraciones generales de los sistemas de transporte para ciudades inteligentes, la bicicleta compartida y los criterios para el desarrollo de la infraestructura necesaria para el correcto funcionamiento del servicio. De igual forma, se realiza una investigación sobre el contexto de la Ciudad de Guatemala y la zona de estudio considerando variables como las alternativas de transporte disponibles, los desafíos del territorio en cuanto a movilidad, entre otros. El entregable del trabajo es un anteproyecto con los trazos de las rutas, propuesta de ubicaciones de estaciones, descripción del funcionamiento del servicio, técnicas de recolección de datos, funciones principales de la aplicación y plataforma web del servicio, descripción del tipo de la información a ser recolecta y un índice para guiar a las personas interesadas en el proceso de desarrollo de infraestructura para sistemas de bicicletas compartidas inteligentes.

El desarrollo del anteproyecto parte de un estudio (encuesta) de las necesidades de los potenciales usuarios, para determinar las razones de elección de un modo de transporte y contar con un referente en cuanto a contexto de la población hacia la cual se diseña el servicio de bicicletas compartidas. Posteriormente, se generó un levantamiento de información sobre el área de estudio para apoyar al proceso de selección de nuevas rutas. Los trazos se hacen basados en la metodología propuesta por la Guía de diseño e infraestructura de la Universidad Autónoma de México. La selección de tipología y equipamiento de basa principalmente en la Guía de diseño para ciclovías urbanas de la Asociación Nacional de Funcionarios de Transporte de la Ciudad (NACTO, por sus siglas en inglés). La selección del equipamiento digital y funciones de la aplicación y plataforma web se hace

con base en la información de interés para las ciudades inteligentes y referentes de casos de éxito de servicios de bicicletas compartidas.

II. ANTECEDENTES

El aumento en el parque vehicular, especialmente en los vehículos individuales motorizados como los automóviles, representa un desafío para la movilidad en la Ciudad de Guatemala, resultando en congestionamientos vehiculares y tiempos promedio en tráfico superiores a 2 horas diarias. La falta de cobertura y costo de implementación de sistemas de transporte colectivo resaltan la necesidad de la búsqueda de nuevas alternativas que cumplan con las necesidades de los usuarios. Por ende, se decide analizar la viabilidad de la bicicleta compartida como modo alterno de transporte.

Se reconoce que la bicicleta es un modo de transporte con ventajas significativas respecto a los modos motorizados en distancias cortas y que a su vez ocupa menos espacio que un automóvil. Sus beneficios también han sido reconocidos por la Municipalidad de Guatemala, la cual la cataloga como un modo de transporte sostenible, con beneficios más allá de su uso recreacional por lo que ha optado por desarrollar un plan maestro de ciclovías en la ciudad. No obstante, existen diversos desafíos en cuanto al espacio y la infraestructura disponible para movilizarse en bicicleta, así como obstáculos para la incorporación de este modo como la inseguridad y la falta de cultura vial. Por ende, a través de esta investigación, se decide abordar el desarrollo de un modo de transporte de bicicletas compartidas a través de la visión de ciudades inteligentes para resolver estas problemáticas y generar un manual de diseño que contemple los criterios para maximizar la eficiencia del servicio y adaptarlo a las necesidades específicas de los usuarios.

Las ciudades inteligentes buscan mejorar el rendimiento de los sistemas de una ciudad y la calidad de vida de sus habitantes a través de la incorporación de una capa digital. De esta forma se cuenta con la infraestructura que le permite a los desarrolladores y gestores de los servicios mejorar los procesos de planificación y tomar decisiones apoyadas en datos. De igual forma, los servicios de una ciudad inteligente proveen información a los usuarios y servicios adicionales que mejoran la experiencia y confort de los ciudadanos. Por ejemplo, los sistemas de bicicletas compartidas inteligentes permiten a los usuarios conocer la ubicación de las bicicletas, las estaciones, las rutas, tiempos de viaje y pueden efectuar pagos a través de ellas. Estos servicios generan un mayor número de usuarios y son esenciales cuando se busca integrar o popularizar un modo de transporte alternativo como la bicicleta.

Para la elaboración de la presente investigación se consultaron diferentes manuales para el diseño de las ciclovías, trazos de rutas, equipamiento tecnológico entre otros, los cuales se detallan en el capítulo XV Manual de diseño.

III. JUSTIFICACIÓN

La bicicleta es un modo de transporte alternativo de gran alcance que ha sido utilizado por ciudades alrededor del mundo. Actualmente, se encuentra dentro de las tendencias de movilidad de mayor potencial a causa de su sostenibilidad económica y ambiental. El bajo costo de su infraestructura y mantenimiento, al compararlo con el equipamiento de otras alternativas de transporte como un tren o un carril de automóviles, resulta atractivo. Además, al ser un modo de transporte que ocupa menos espacio que un carro es posible recuperar espacios públicos para el peatón, sembrar más árboles en una ciudad y mejorar la calidad de vida urbana. Al mismo tiempo, su inserción en la red vial resulta poco perjudicial por el espacio limitado que requiere (Namiot & Sneps-Sneppe, 2019).

Habiendo reconocido algunas ventajas de la bicicleta como modo de transporte y considerando la problemática de la movilidad en la ciudad de Guatemala, se decide realizar una investigación relacionada al uso de bicicletas compartidas como modo de transporte alternativo y complementario ya que se cree que por medio del mismo será posible contribuir a un modo de transporte eficiente, de bajo costo y con una alta capacidad de usuarios. Dado que el uso de la bicicleta representa un gran cambio para un usuario acostumbrado a una sociedad de vehículos motorizados, se debe buscar que el uso de la bicicleta sea lo más cómodo posible y que su eficiencia en tiempos y costos sea mayor al resto de alternativas en trayectos cortos. Para poder lograrlo, desarrollar un modelo de transporte público desde la perspectiva de las ciudades inteligentes resulta conveniente.

Las ciudades inteligentes se enfocan en crear ciudades para las personas, mejorando la vida de sus habitantes, la calidad de sus servicios y presentando soluciones a los desafíos de una ciudad por medio de una tecnología enfocada al usuario. Abordar un nuevo modo de transporte con esta visión permitirá un servicio diseñado para que los guatemaltecos de la capital se movilicen a través de bicicletas compartidas en el día a día. La tecnología ayudará a crear las condiciones de seguridad necesarias, incrementar el número de personas que utilizan las bicicletas como transporte primario y facilitará la accesibilidad al uso de este modo sin tener la necesidad de comprar una bicicleta ni preocuparse por su mantenimiento. Servicios digitales como aplicaciones con información sobre la cantidad de bicicletas por ubicación, los espacios de parqueo, las rutas disponibles, la compatibilidad con el transporte público y el número de viajes diarios ayudarán a los planificadores (La Municipalidad de Guatemala por ejemplo) a tomar decisiones informadas para adaptar el servicio con base en las necesidades de los ciudadanos. A través de estos mismos servicios es posible obtener retroalimentación de los usuarios y comprender qué aspectos necesitan mejorar y cuáles funcionan (Kwan, s.f.).

Actualmente, en la ciudad de Guatemala no existe un modelo de bicicletas compartidas a gran escala y la infraestructura de ciclovías está en desarrollo, por lo que se cree que a través de la investigación será posible generar un apoyo a la municipalidad de Guatemala y otras ciudades que quieran implementar la bicicleta compartida como alternativa de movilidad. Se espera que este trabajo logre maximizar la eficacia del modelo de transporte propuesto, tomando en cuenta las consideraciones para garantizar el confort y seguridad del usuario así como la integración de la alternativa con los modos de transporte existentes y las tecnologías disponibles para mejorar la comodidad del usuario al desplazarse en bicicleta. La solución del congestionamiento vehicular, según la visión de ciudades inteligentes, no recae en un modo de transporte único sino que se obtiene por medio de la diversificación y combinación de modos de transporte. Por ende, la bicicleta compartida puede ser parte de la solución (Martínez, 2019).

Al analizar las ciclovías implementadas recientemente, como por ejemplo la ciclovía de la zona 1 sobre la 6ta y 7ma avenida y la de la calzada Roosevelt, se observa que no cuentan con las condiciones necesarias para garantizar la seguridad y protección a los ciclistas de otros modos de transporte de mayor tamaño y velocidad. Además, no todas las ciclovías están conectadas entre ellas, en algunas intersecciones no existen semáforos para ciclistas y se observa que, en la mayoría de casos, no son compatibles con el transporte colectivo. Esta situación despierta la necesidad de la intervención de las ciclovías actuales y el considerar estos factores para las futuras rutas, de manera que las condiciones sean tales que naturalmente incremente el flujo de ciclistas. El aumento en la cantidad de personas que usan la bicicleta representa consecuentemente una disminución de usuarios en el resto de modos de transporte, por lo que mejorarían las condiciones del tránsito una vez que un número considerable de usuarios se movilice en bicicleta.

Adicionales a los beneficios en la calidad de vida y la salud de los habitantes que utilizan las bicicletas compartidas, se generan nuevas oportunidades laborales a raíz de la implementación de nuevos servicios de generación de información (data) y servicios de telecomunicaciones. Al compararla con otros modos de transporte, la bicicleta compartida resulta más económica que usar y mantener un carro. A diferencia de un transporte colectivo, las bicicletas compartidas son un servicio libre de horarios adaptándose al usuario y con la infraestructura adecuada son una alternativa amigable con el ambiente, saludable y segura para movilizarse dentro de la ciudad. Así mismo, las bicicletas ocupan menos espacio que un automóvil; al comparar 40 personas en dos modelos de transporte (automóviles y bicicletas) se observó que las bicicletas ocupan 6 veces menos espacio que los automóviles. El mantenimiento de las ciclovías es menor que el de una calle y su costo de implementación es menor que el de la ampliación de una calle al ser menor el espacio que se necesita.

Entre el 2020 y el 2023 la municipalidad de Guatemala invertirá 423 millones de quetzales en 23 pasos a desnivel. Este monto podría ser utilizado para implementar ciclovías en todas las calles de la ciudad de Guatemala (3004 km lineales) a un costo promedio por kilómetro lineal de Q140,800.00. Esta relación permite demostrar el alcance y la factibilidad en términos económicos de un modelo de transporte basado en la bicicleta. En la actualidad el 76 % de la vía pública en la ciudad de Guatemala está destinada a los automóviles, un 22 % destinado al transporte público y solamente un 2 % a los peatones y ciclistas. Al replantear la distribución del espacio público para beneficiar a diferentes modos de transporte se alcanzaría una mayor fluidez en las calles y avenidas de la ciudad. Esta mejoraría con la introducción de las bicicletas compartidas y la ampliación de la red de ciclovías existentes. (Municipalidad de Guatemala y Municipalidad de Mixco, 2019)(Municipalidad de Guatemala, 2016).

Desde el punto de vista legal, la ley de tránsito ampara a los ciclistas, estableciendo en el artículo 66 la prioridad de vía ante cualquier modo de transporte a excepción de los peatones; se especifica la prioridad de paso en el artículo 126. En el artículo 67 el reglamento ley de tránsito indica que en las calles en donde no existan carriles para los ciclistas, la circulación será compartida. Inclusive si existe una ciclovía, el ciclista podrá movilizarse por la vía pública. La existencia de reglamentos y leyes que protegen al ciclista hace factible el desarollo de un modelo de transporte que se adapte a la vía pública y que salvaguarde la seguridad de los usuarios (Municipalidad de Guatemala y Municipalidad de Mixco, 2019).

Al analizar el territorio, se observa que las dimensiones del municipio de Guatemala, su composición y su clima son adecuados para movilizarse en bicicleta en la mayoría de lugares. La ciudad cuenta con un radio promedio de 10 kilómetros los cuales pueden ser recorridos, como ciclista, a

una velocidad de 20 km/hr, en 30 minutos. El clima es templado y la temperatura promedio del territorio es de 25°C. A pesar de todos los beneficios de usar la bicicleta para moverse dentro de la ciudad, aún existen otros desafíos como la inseguridad, las divisiones entre zonas ocasionadas por los barrancos y la gran cantidad de personas que se movilizan desde municipios aledaños a la capital, por ejemplo. No obstante, plantear el modelo de la bicicleta compartida desde la visión de ciudades inteligentes permite desarrollarlo considerando el contexto y utilizando la tecnología para solucionar los desafíos y maximizar su alcance (Municipalidad de Guatemala y Municipalidad de Mixco, 2019).

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Presentar la bicicleta compartida como un modo de transporte integral y alternativo desde la visión de ciudades inteligentes en la zona de estudio de la ciudad de Guatemala a través de una guía de diseño de infraestructura y funcionamiento del modo de transporte.

B. Objetivos específicos

- Describir los modos de transporte públicos y privados que circulan en la ciudad de Guatemala.
- Definir el funcionamiento de un modo de transporte de bicicleta compartida en ciudades inteligentes.
- Comparar las ventajas y desventajas de la bicicleta compartida en la ciudad de Guatemala con las alternativas de transporte existentes.
- Desarrollar el modelo de bicicletas compartidas dentro de la zona de estudio.

V. ALCANCE

El presente trabajo de investigación contempla el desarrollo de un sistema de bicicletas compartidas como alternativa de transporte dentro del área de estudio. Este abarca los lineamientos generales y características del funcionamiento del servicio, el desarrollo de trazos para nuevas ciclovías, el equipamiento en cuanto a señalización, los elementos de protección respectivos, la propuesta de ubicación de estaciones y sensores para la generación de datos.

En la Ciudad de Guatemala se reconoce a la bicicleta como una alternativa de transporte sostenible por parte de la Municipalidad; sin embargo, la cantidad de usuarios e infraestructura de este modo es limitada. Por ende se propone el desarrollo del sistema considerando el contexto de la ciudad y se genera una guía de referencia con los temas aplicables en cuanto a infraestructura y funcionamiento del sistema para la Ciudad de Guatemala y específicamente, la zona de estudio.

A manera de delimitar el desarrollo de la propuesta se decide trabajar a nivel de anteproyecto los trazos de las rutas y cuantificación de equipamiento. No se considera dentro del presupuesto el equipamiento digital complementario como el desarrollo de la aplicación y la plataforma web; sin embargo, se describen las funciones y características de los mismos.

Para el desarrollo de la infraestructura (trazo de rutas y colocación de estaciones) se apoyó en la metodología propuesta por la Guía de diseño e infraestructura de la Universidad Autónoma de México (UNAM). La selección del equipamiento necesario se basó en los parámetros de diseño y buenas prácticas de la Guía para el diseño de ciclovías urbanas de la La Asociación Nacional de Funcionarios de Transporte de la Ciudad de Estados Unidos (NACTO, por sus siglas en inglés) al ser un referente de diseño que contempla múltiples publicaciones y manuales de diseño de alrededor del mundo.

VI. Área de estudio

El presente trabajo se enfocará en desarrollar un modo de transporte dentro de la zona de estudio la cuál se encuentra constituida por el punto de origen de los viajes, siendo el corredor central de la Avenida Las Américas y la Avenida Reforma; y los destinos, siendo las Universidades Francisco Marroquín, Rafael Landívar y del Valle (ver Figura 1).

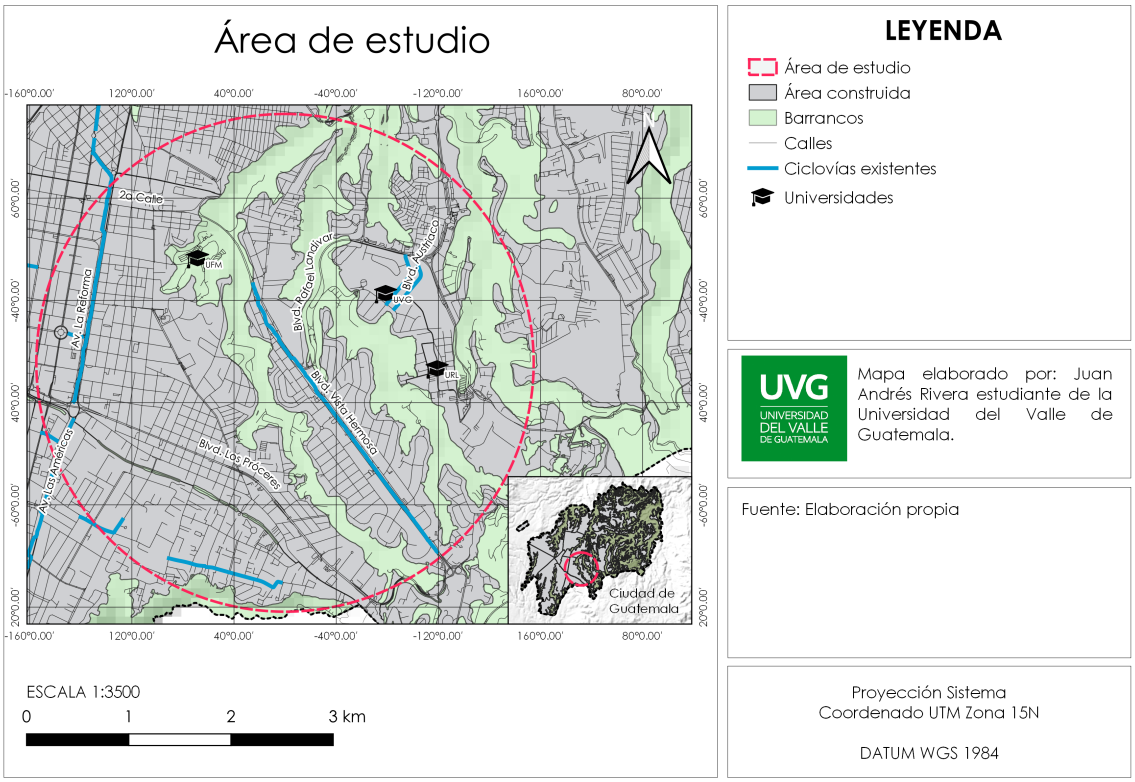


Figura 1. Área de estudio
(Fuente: Elaboración propia)

VII. Ciudad de Guatemala

A. Contexto

1. Orígenes. El suceso de eventos que desencadenó el traslado de la ciudad capital de Guatemala, del valle de Panchoy al valle de la Ermita, se dio después de los terremotos de Santa Marta en 1773. En aquel entonces, la ciudad que hoy en día se conoce como Antigua Guatemala se encontraba en el auge económico, político, social y cultural. Por lo que hubo incertidumbre sobre el traslado de la ciudad y una disputa entre dos bandos de ciudadanos: los terracionistas, quienes querían reconstruir la Antigua Guatemala, encabezados por el Arzobispo Pedro Cortéz y Larraz; y los traslacionistas, quienes querían mover la ciudad a una nueva ubicación, encabezados por Martín de Mayorga (Barrios, 2012).

El presidente de la Real Audiencia, Martín de Mayorga, fue un actor determinante en el traslado de la ciudad al conseguir la Cédula Real, en la cual el rey Carlos III aprueba y reconoce el traslado de la capital de Guatemala y la declara como la "Nueva Guatemala de la Asunción". Hoy en día, esta ciudad continúa siendo la capital del país desde enero de 1776. En sus 245 años desde su fundación la capital ha experimentado una serie de cambios físicos, políticos, sociales y culturales, entre los cuales cabe mencionar la expansión de la ciudad y el cambio del estilo de vida de los habitantes. Inicialmente la actual Ciudad de Guatemala fue concebida para el peatón y un modo de transporte basado en carrozas y caballos, dado que no existía el automóvil. El tener que movilizarse a pie representaba la necesidad de una ciudad con una escala humana en donde las distancias recorridas debían ser cortas y todas las actividades esenciales se debían encontrar en la cercanía de las viviendas. La vida social era fundamental para la ciudad y por ende contaba con abundantes espacios públicos al aire libre como parques y aceras amplias (Barrios, 2012).

La modernización y la introducción de los vehículos motorizados dentro del desarrollo de la Ciudad de Guatemala resultaron en un desplazamiento de las actividades comerciales y económicas fuera del centro histórico, así como de la importancia del peatón. La planificación de la ciudad cambió y se adaptó para incluir al carro. Consecuentemente, las distancias recorridas incrementaron y la mancha urbana: empezó a crecer considerablemente (ver Figuras 2 y 3). A medida que la ciudad se expandió, se fueron generando distritos de vivienda, centros de negocios, zonas de industria y ciudades dormitorio. Los distritos en conjunto con el aumento en la población resultan en un caos vehicular dentro de la ciudad y uno de los mayores desafíos urbanos de la capital (Barrios, 2012).

2. Territorio. La Ciudad de Guatemala cuenta con una extensión de 228 km2, se encuentra asentada a 1,500 metros sobre el nivel del mar (msnm) en una depresión tectónica de gran extensión denominada graben, en la región fisiográfica de tierras volcánicas altas (Castillo et al., 2021)(Morataya, 2011). La configuración del graben se asemeja a la configuración de un valle, no obstante se produce por los movimientos tectónicos y no por la erosión del agua como sucede en los valles, por lo que el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) lo cataloga como el Valle tectónico de la Ciudad de Guatemala. La mayoría del graben cuenta con un relleno piroclástico producto de la acumulación de material proveniente de erupciones volcánicas de gran magnitud, las cuales, al rellenar parte del mismo, generaron una gran planicie. Las pendientes del valle tectónico varían entre el 4 % y el 18 % (MAGA, 2001). Al ser un suelo erosionable, la escorrentía y el flujo de cauces de agua por el graben fueron generando los característicos barrancos que comprenden alrededor del 41 % del territorio de la ciudad. Los barrancos cuentan con una orientación predominante de norte a sur o de sur a norte ya que en el graben se encuentra la divisoria de las vertientes del mar

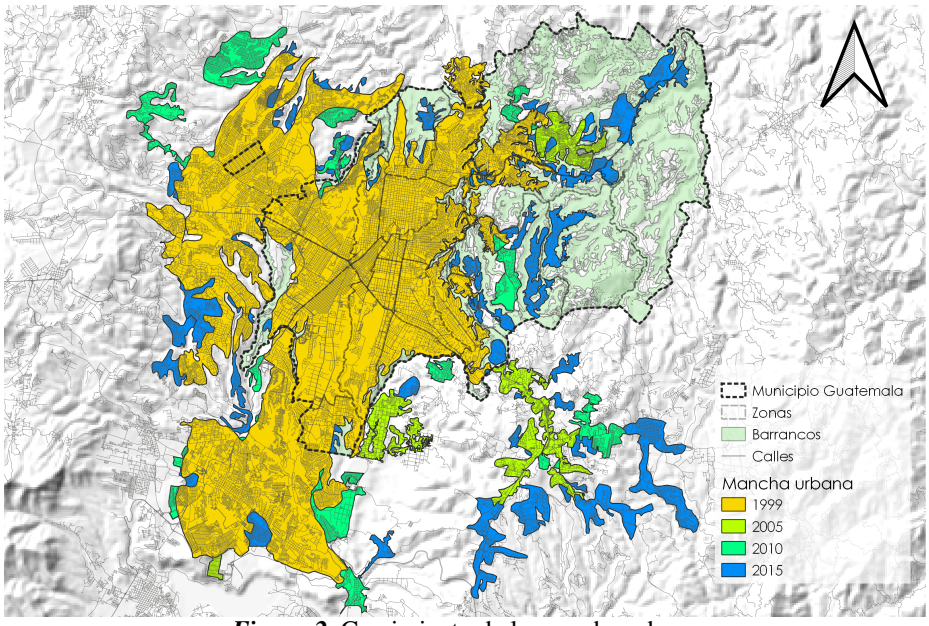


Figura 2. Crecimiento de la mancha urbana
(Fuente: Elaboración propia con base en datos de Lourdes Barth)

Caribe y el Pacífico (Monterroso et al., 2014) (Castillo et al., 2021).

Al sur de la Ciudad de Guatemala, el graben se encuentra delimitado por la caldera del Lago de Amatitlán y una cadena de volcanes. Al oriente se encuentra limitado por las fallas de Santa Catarina Pinula y al occidente por las fallas de Mixco. Al norte, se encuentran los intrusivos de San Raymundo y San Pedro Ayampuc. Las partes altas del valle tectónico que colindan con las fallas mencionadas anteriormente son denominados horts y los causantes de la acumulación del material piroclástico que le dio la forma a las planicies del graben (MAGA, 2001).

El crecimiento y planificación de la Ciudad de Guatemala se ha visto, en gran medida, influenciado por el territorio de tal manera que inclusive los planes de zonificación se desarrollaron considerando límites naturales. Tal es el caso del trazo de cada una de las zonas de la ciudad capital y los barrancos. Al mismo tiempo, estos accidentes geográficos representan obstáculos en cuanto a la movilidad interzonal y a la conectividad de la ciudad con los municipios aledaños (Barrios, 2012).

3. Clima. La temperatura en la Ciudad de Guatemala oscila entre los 13°C y 27°C la mayor parte del año, considerándose un clima templado y fresco (ver Figura 4). Aproximadamente la mitad del año es considerada la época lluviosa en donde existe una probabilidad de por lo menos 29 % de ocurrencia de precipitaciones. La magnitud de las lluvias varía dependiendo de los meses y se intensifica con la llegada de tormentas y depresiones tropicales (ver Figuras 4 y 5)(Cedar Link Ventures, 2021).

4. Demografía. Según los datos del censo poblacional del 2018, la densidad poblacional del municipio de Guatemala es de 4,050 habitantes por km2, con un total de 923,392 habitantes. Por otro lado, los datos de la encuesta CIMES realizada en el 2011 indican un valor superior, siendo de 5,264 habitantes por km2 y un total de 1,200,192 habitantes. Es importante reconocer que estos valores únicamente son representativos de la cantidad de personas que residen dentro de la ciudad capital y que no hacen referencia a la cantidad de personas que interactúan día a día en la ciudad.

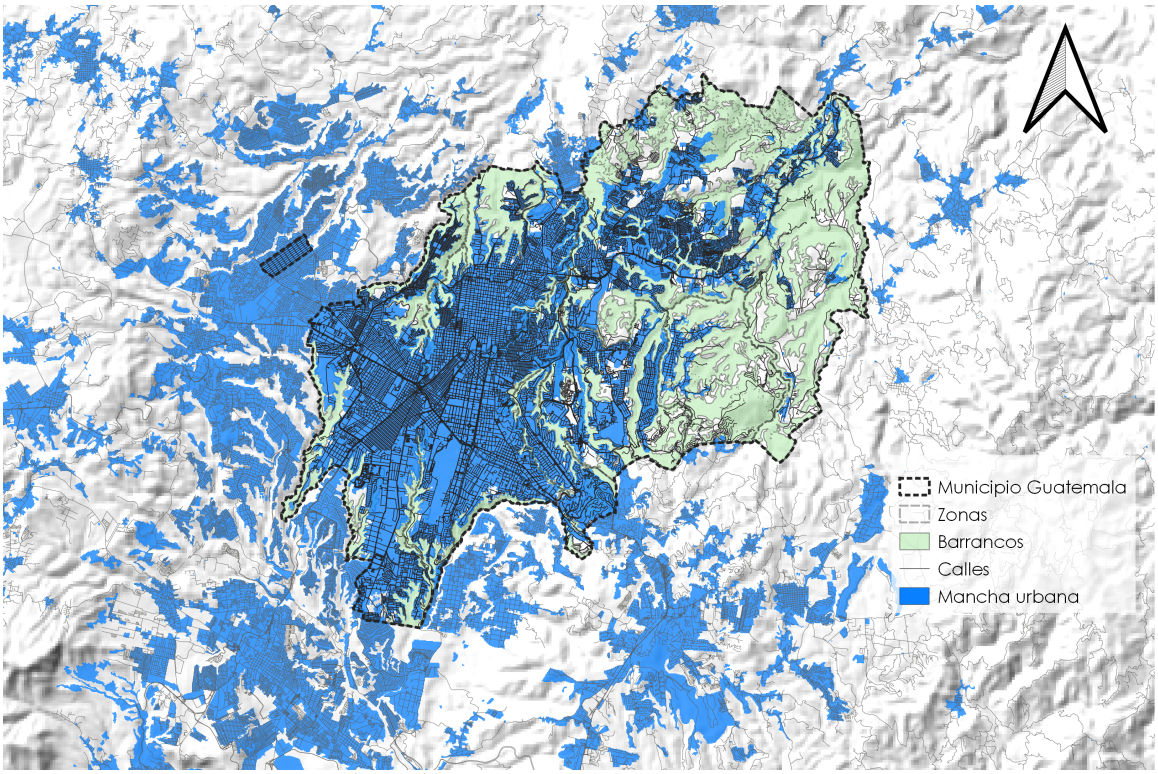


Figura 3. Tamaño actual de la mancha urbana
(Fuente: Elaboración propia)

Un porcentaje significativo de las personas en la ciudad residen en la periferia y visitan la ciudad principalmente por motivos de trabajo y estudio. La razón de la gran cantidad de personas en la capital es la centralización de servicios y entidades del gobierno, sugiriendo que el radio de influencia de la ciudad es superior a 60km (Morataya, 2011). Algunas instituciones como el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) toman en cuenta que la ciudad trasciende los límites municipales y agrupa a los diferentes municipios interconectados con el municipio de Guatemala bajo el concepto de área metropolitana de Guatemala, al ser parte de una misma agrupación de personas que interactúan día a día (IARNA, 2013).

El presente trabajo se enfocará en la Ciudad de Guatemala comprendida como el territorio dentro del municipio de Guatemala y se tomará como referencia los datos del último censo poblacional. El 47.51 % de los habitantes son hombres y el 52.49 % son mujeres, siendo la mayoría. Es posible catalogar la población de la ciudad como relativamente joven dado que el 78.55 % de la población es menor a 50 años (ver Figura 6) (INE, 2018).

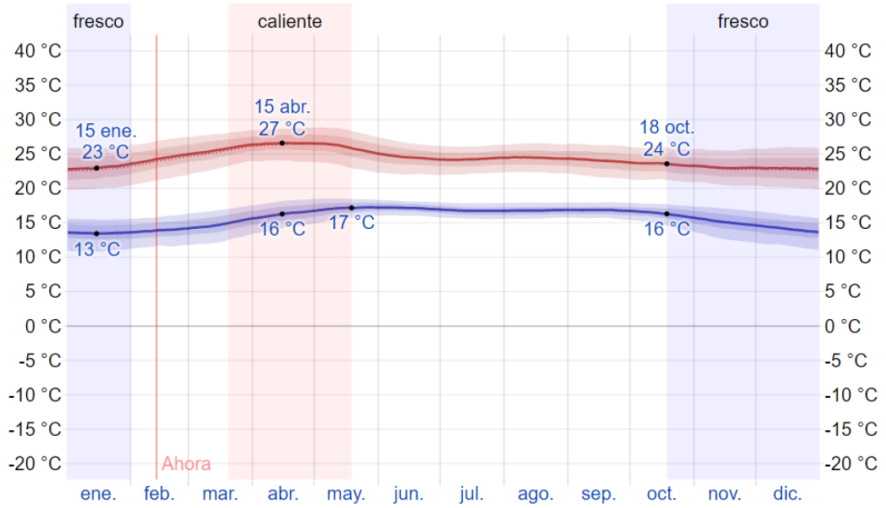


Figura 4. Temperatura mínima y máxima ciudad de Guatemala
(Fuente: Cedar Link Ventures, 2021)

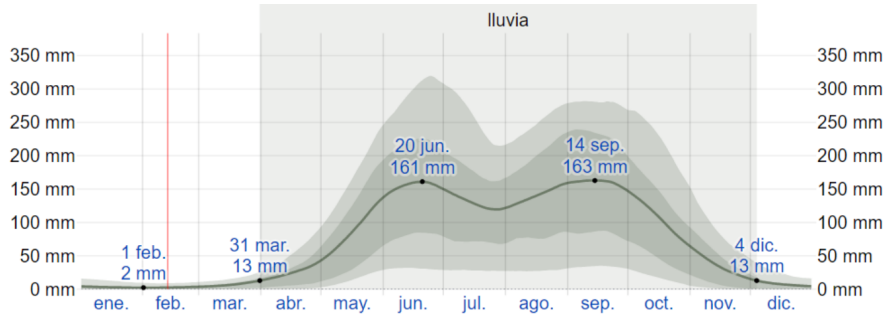


Figura 5. Precipitación Ciudad de Guatemala
(Fuente: Cedar Link Ventures, 2021)



Figura 6. Población agrupada por rangos de edades para el municipio de Guatemala
(Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Poblacional)

5. Tipología vial. La Ciudad de Guatemala cuenta con una clasificación de las vías o calles dentro de su territorio según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT)(ver Figura 7). El sistema vial primario se conforma por las vías T0, T1, T2, T3, T3X, T4 y T5. Esta clasificación se basa en el ancho proyectado de una calle en la vía pública. Según el POT, las vías se designan con el afán de incluir diversos modos de transporte adicionales al automóvil. Con base en esta clasificación se designa la zonificación del POT. A continuación se describen los anchos de las siguientes categorías de vialidades:

- T5: vialidades con un ancho de 50 m o más que generan G5. Su función primordial es la comunicación del municipio de Guatemala con el resto de municipios y países por medio de una red de primer orden.
- T4: vialidades de entre 40 m y 50 m que generan G5. Su objetivo es la conexión con los municipios aledaños y abarca a las vías de la ciudad de segundo orden.
- T3: vialidades con un ancho de entre 30 m y 40 m que generan G4. Su objetivo es comunicar las diferentes zonas de la ciudad.
- T2: vialidades de entre 20 m y 30 m que generan G3. Se designan para comunicar las delegaciones y barrios.
- T0: vialidades que con su ancho actual generan zonificación G3. Se utilizan para la comunicación local.
- T3X: vialidades con pendientes mayores a 20° ubicadas, por lo general, en zonas G0 o G1. Su función es la misma que la de las T3.
- T1: vialidades con un ancho de entre 10 m y 20 m que no producen zonificación. Su función es servir de acceso a las propiedades de los bloques donde se ubica.

(Municipalidad de Guatemala, s.f.-b) (Municipalidad de Guatemala, s.f.-a)

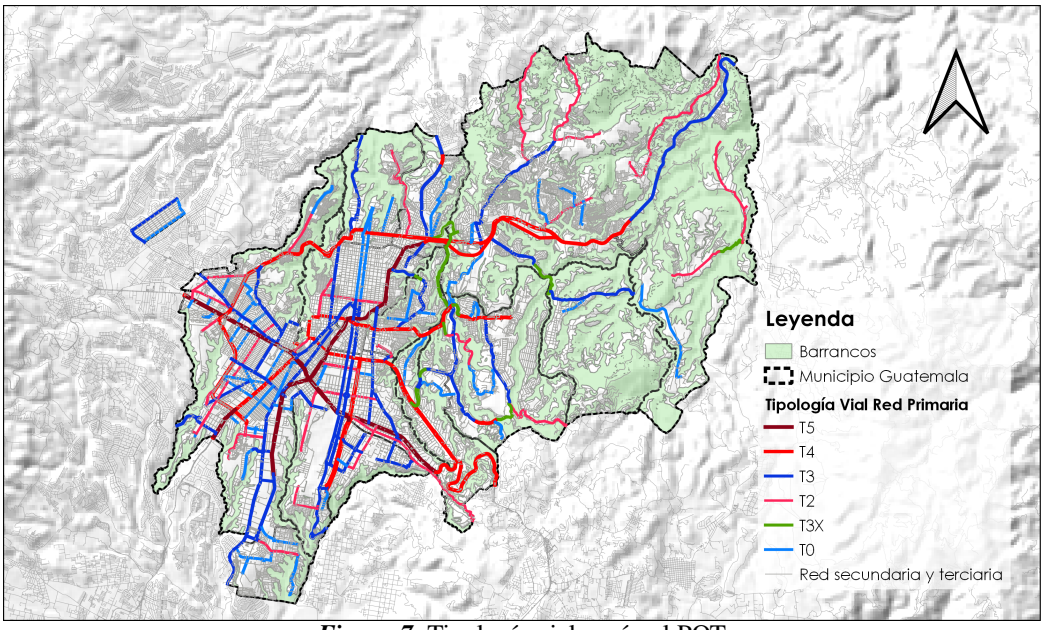


Figura 7. Tipología vial según el POT
(Fuente: Elaboración propia con datos del POT)

B. Alternativas de transporte en la Ciudad de Guatemala

En el 2020, en la Ciudad de Guatemala circulaban en promedio 3 millones de personas al día. La mitad de ellas provenientes de municipios aledaños. Los modos que utilizan para movilizarse son variados (ver Figura 8), pero pueden catalogarse bajo modos de transporte públicos y modos de transporte privados, siendo las clasificaciones más generales. El siguiente estudio se enfocará en los modos de transporte principales dentro de cada una de las categorías con base en la cantidad de usuarios que los utilizan. De estas dos clasificaciones la más predominante es la categoría de vehículos privados, abarcando el 50 % de la cantidad de modos utilizados para movilizarse dentro de la Ciudad de Guatemala (Cosenza, 2020).

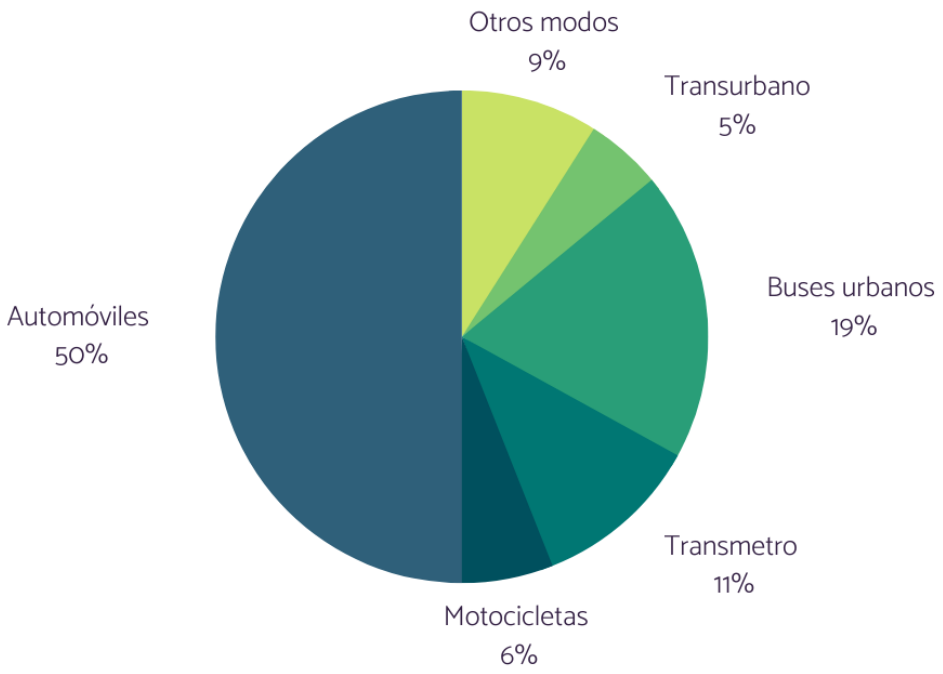


Figura 8. Modos de transporte utilizados en la Ciudad de Guatemala
(Fuente: Cosenza, 2020)

1. Transporte público.

a. Servicios públicos principales. Los modos de transporte públicos son todos aquellos servicios que cuentan con un sistema de infraestructura y vehículos para movilizar a un grupo de personas dentro de un territorio, generalmente a lo largo de una serie de rutas y paradas predeterminadas, dentro de un horario establecido, por medio del pago de un servicio disponible a todo público. El consejo municipal de la Ciudad de Guatemala identifica distintos tipos de servicios de transporte públicos disponibles dentro de la capital, los cuales serán descritos a continuación (Consejo Municipal de la Ciudad de Guatemala, 2009). Dentro del alcance de la investigación se trabajará únicamente

con las alternativas de movilidad propias del municipio de Guatemala.

- Servicio de transporte colectivo urbano: consta de un servicio de rutas y trasbordos establecidos cuyas unidades circulan con regularidad dentro del municipio de Guatemala y las áreas de influencia. Dentro de esta clasificación se encuentran: los buses urbanos o buses rojos, buses extraurbanos, el transurbano y el transmetro.

- Servicio de transporte colectivo urbano masivo rápido de autobuses: abarca un servicio de buses articulados de alta y mediana capacidad que cumple con las características del transporte colectivo urbano pero que adicionalmente cuenta con vías exclusivas para movilizarse, además posee un sistema de tarifas regulado. Un ejemplo de este servicio son los buses del transmetro con carriles propios.

El servicio de transmetro empieza a funcionar en la Ciudad de Guatemala desde el 2007. En la actualidad cuenta con 8 líneas (ver Figura 9) con una longitud total de 117.94 km, de las cuales 3 son líneas de transporte colectivo masivo rápido, y opera con 207 unidades según datos oficiales. Este servicio beneficia a más de 350,000 usuarios diarios (Municipalidad de Guatemala y Municipalidad de Mixco, 2019). La tarifa en cada línea del Transmetro de paradas continuas es de Q1.00 y de Q2.00 para las líneas con carriles exclusivos. Existen usuarios exentos de pago como adultos mayores y personas con discapacidades. El servicio de Transmetro cuenta con una cobertura estimada del 24 % del territorio construido de la Ciudad de Guatemala. Este dato se obtiene al realizar un análisis asumiendo que cada parada es accesible dentro de un radio máximo de 500 m (ver Figura 10). No obstante, se epera que la cobertura del servicio incremente a medida que se habiliten las líneas planificadas para sectores como el Blvd. Vista Hermosa y el Blvd. Los Próceres.

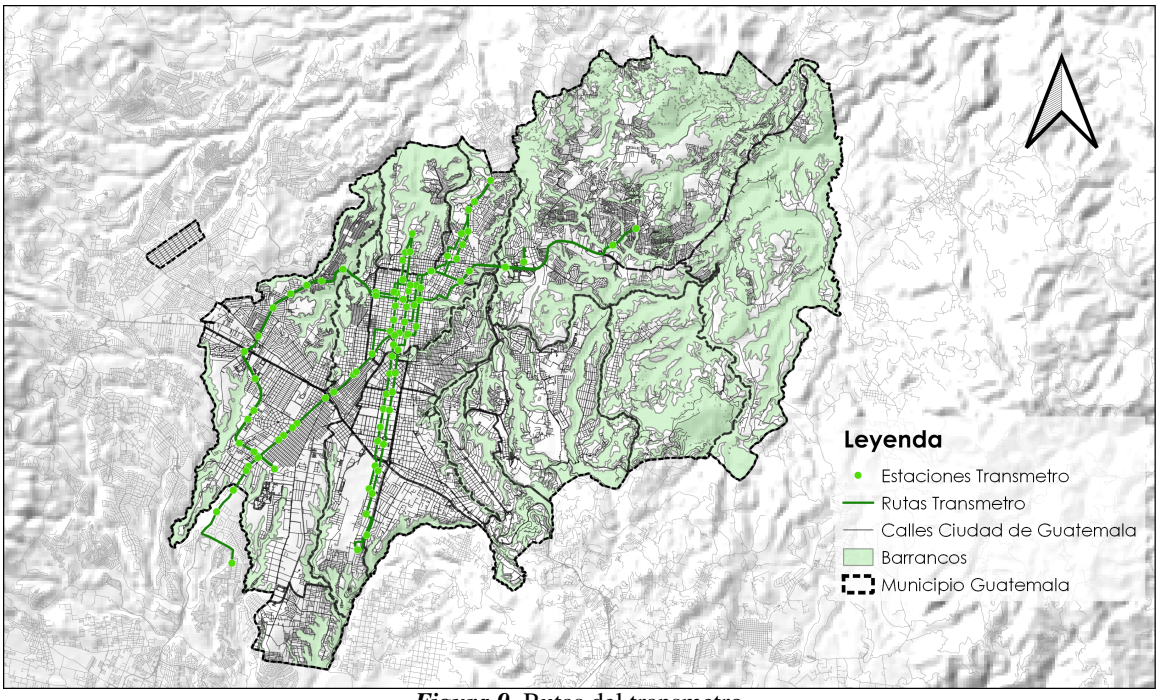


Figura 9. Rutas del transmetro
(Fuente: Elaboración propia con datos de la DIGM)

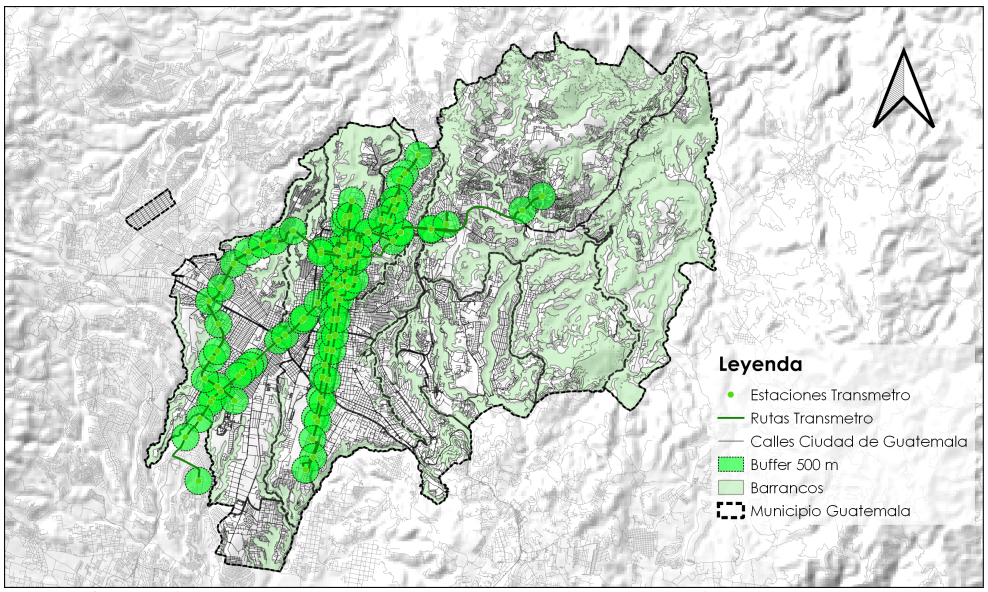


Figura 10. Cobertura de rutas del transmetro dentro de la ciudad de Guatemala
(Fuente: Elaboración propia con datos de la DIGM)

En el 2016 la flota de autobuses urbanos registrados fue de 2,776 unidades, con un total de 105 rutas aprobadas (ver Figura 11), aunque solo 74 rutas se encontraban en funcionamiento para el 2019 con una longitud total de 1,123 km. Se estima que la capacidad del servicio es de 450,000 pasajeros diarios. El uso del servicio tiene una tarifa aprobada de Q1.10 (Municipalidad de Guatemala y Municipalidad de Mixco, 2019), aunque en la actualidad este valor es mayor llegando a encontrarse entre Q2.00 y Q6.00. Al realizar un análisis de cobertura con base en las paradas identificadas por la Dirección de Información Geográfica Municipal (DIGM) se estimó que el servicio cuenta con una cobertura aproximada del 33.4 % del territorio edificable de la Ciudad de Guatemala (el que no se encuentra dentro de barrancos), asumiendo que las paradas de las rutas tienen un radio de influencia de 500 m alrededor de la misma (ver Figura 12).

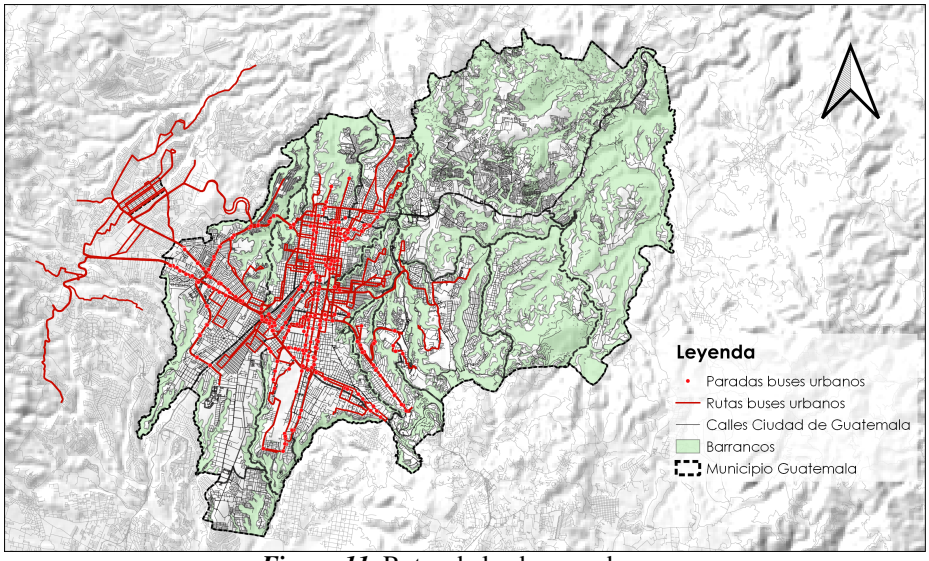


Figura 11. Rutas de los buses urbanos
(Fuente: Elaboración propia con datos de la DIGM)

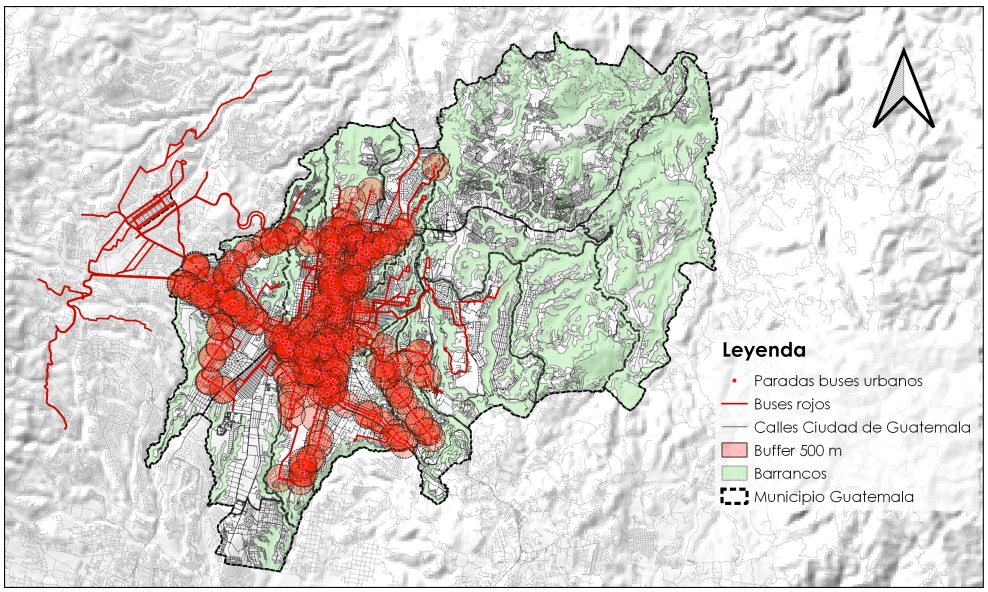


Figura 12. Cobertura de rutas de los buses urbanos dentro de la ciudad de Guatemala
(Fuente: Elaboración propia con datos de la DIGM)

El servicio del Transurbano inicia operaciones en el 2010 y cuenta con 445 unidades distribuidas en 50 rutas (ver Figura 13), con una longitud total de 1,259 km. Tiene una capacidad de 266,000 personas diarias y un costo autorizado de Q1.10 (Municipalidad de Guatemala y Municipalidad de Mixco, 2019); sin embargo, al igual que los buses urbanos en el último año a raíz de la pandemia del COVID-19 se ha presentado un aumento en la tarifa. Al realizar el análisis de cobertura, se observa que en sus 50 rutas cuenta con una cobertura estimada del 35 % del área edificable asumiendo radios de cobertura en cada parada registrada de 500 m (ver Figura 14). No obstante, para este servicio no se contaba con información de todas las paradas registradas del servicio, limitándose a la información proporcionada por la DIGM, pudiendo ser mayor la cobertura de este servicio.

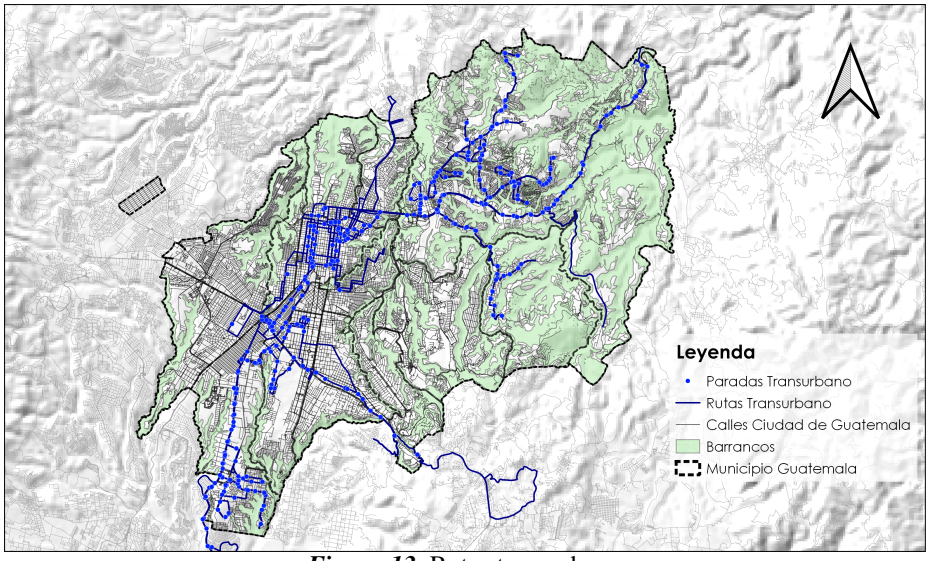


Figura 13. Rutas transurbano
(Fuente: Elaboración propia con datos de la DIGM)

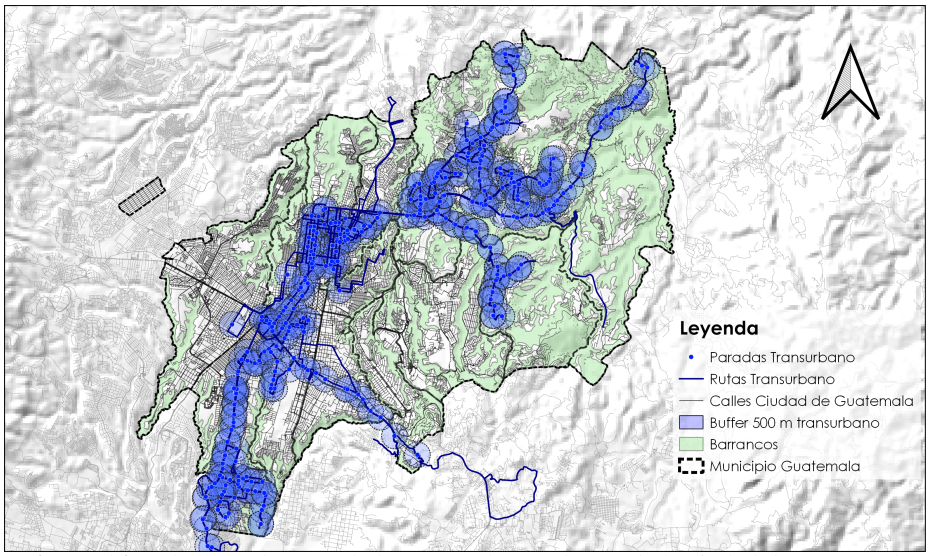


Figura 14. Cobertura de rutas de los transurbanos dentro de la ciudad de Guatemala (Fuente: Elaboración propia con datos de la DIGM)

Después de analizar por separado las coberturas de las alternativas de transporte colectivo, se observó que el servicio con la mayor cobertura en el municipio es el Transurbano, seguido por los buses urbanos (buses rojos) y por último, el Transmetro. Sin embargo, los primeros dos cuentan con más de mil kilómetros en rutas, mientras que el Transmetro con tan solo 117.94 km logra alcanzar una cobertura tan solo un 10 % menor que el Transurbano con mucho menos rutas. Al combinar las capas con la información sobre la accesibilidad de cada alternativa es posible estimar la cobertura global de los servicios de transporte colectivos dentro de la ciudad, rondando alrededor del 56.5 % del territorio construido. A pesar de que la sumatoria de los porcentajes de cobertura para cada servicio da como resultado 92 % este valor no es representativo. Esto se debe a que muchas de las rutas entre servicios, e inclusive dentro del mismo servicio a excepción del Transmetro, cuentan con traslapes a lo largo de sus recorridos. Es decir que existen rutas que pasan por el mismo lugar, por lo que la cobertura real estimada con la suposición de accesibilidad a una parada de cualquiera de los servicios de transporte colectivo es de 500 m es del 56.5 % (ver Figura 15).

A nivel municipal estos servicios representan un alto costo para la ciudad dado que se requiere de un subsidio para las tres alternativas descritas. Este sirve para mantener bajas y accesibles las tarifas del servicio. Sin embargo, la calidad del servicio se ve limitada y afectada de manera negativa al contar con fondos insuficientes para su operación y restricciones en las tarifas. Según el Centro de Estudios Urbanos y Regionales (CEUR), se otorgan alrededor de 7 millones de quetzales mensuales por subsidio de los autobuses urbanos y el Transurbano que circula dentro de la Ciudad de Guatemala (Méndez, 2015).

b. Otros servicios de transporte público. Adicionales a las alternativas presentadas, los servicios de taxi y Uber también son parte del transporte colectivo y ambos cuentan con similitudes en cuanto a funcionamiento. Estos se consideran parte de las opciones de transporte colectivo dado que son servicios disponibles al público general. Dentro de sus principales ventajas se encuentran su flexibilidad y disponibilidad los 365 días del año. Además, las tarifas se generan con base en la distancia y la demanda del servicio (IRU, 2016).

En cuanto a los taxis, existen diferentes servicios como los taxis amarillos y blancos (siendo estos

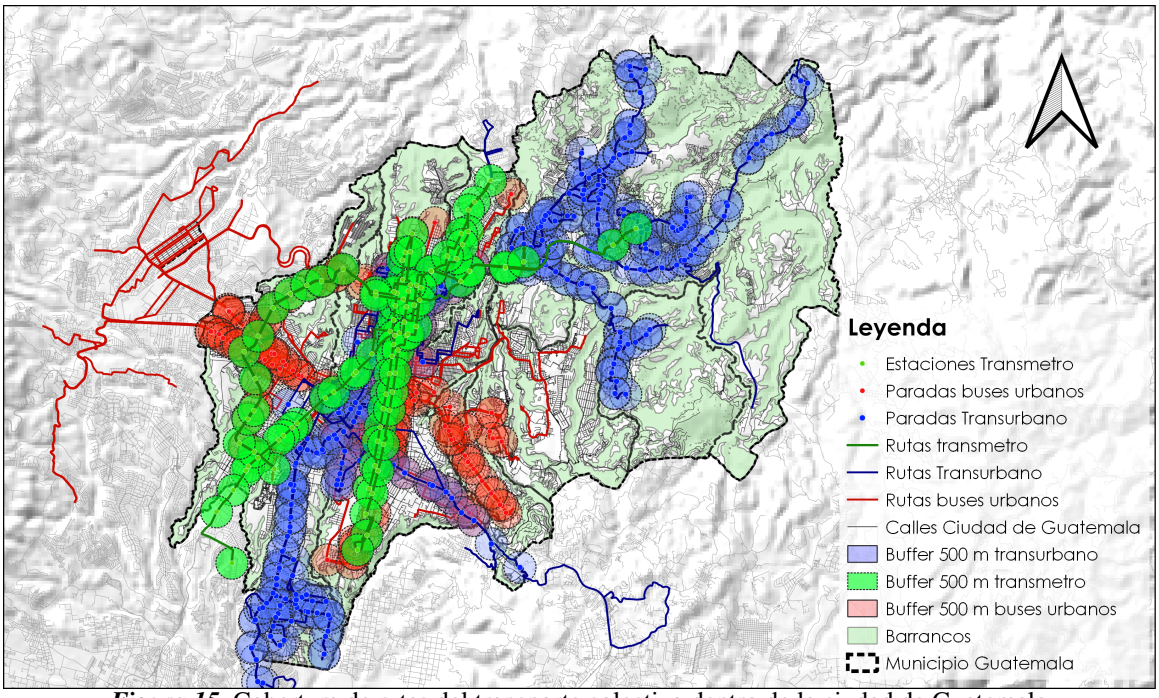


Figura 15. Cobertura de rutas del transporte colectivo dentro de la ciudad de Guatemala
(Fuente: Elaboración propia con datos de la DIGM)

los más populares). Estos también podrán ser catalogados como taxis rotativos o estacionarios. Los estacionarios son aquellos que se estacionan en centros de gran afluencia a la espera de una persona que necesite el servicio. Por otro lado, los taxis rotativos son aquellos que circulan por la ciudad en busca de usuarios que soliciten sus servicios, estos son regularmente pertenecientes a empresas privadas. Las tarifas de los taxis, al igual que en los Ubers dependen del mercado. En el 2016, la cantidad de taxis registrados circulando en la Ciudad de Guatemala y su área de influencia fue de 7,910 (Municipalidad de Guatemala y Municipalidad de Mixco, 2019). Estos servicios se han popularizado en algunos sectores de la ciudad como resultado de la falta de capacidad y/o cobertura de los servicios de transporte colectivo como los buses urbanos, Transurbanos y Transmetro.

El servicio de Uber comienza funcionar en la Ciudad de Guatemala en el año 2016, en la actualidad cuenta con más de 10,000 socios conductores y ofrece diferentes alternativas para movilizarse con diferentes tarifas y necesidades. Las opciones disponibles son: UberX (para viajes a tarifas accesibles), Uber Comfort (incluye vehículos de últimos modelos) y Uber Moto. El servicio puede ser pagado a través de la aplicación móvil de Uber o en efectivo. Así mismo, la aplicación ofrece beneficios adicionales como rastreo de GPS de los recorridos, asistencia en caso de emergencias y soporte en todo momento (Uber, 2022).

2. Transporte privado. Corresponde a los modos de transporte adquiridos por personas individuales o empresas que no están disponibles al público en general. Su uso no se encuentra regulado por rutas o paradas predeterminadas, ni tampoco por horarios restringidos. Dentro de esta categoría cabe mencionar los siguientes modos que circulan dentro de la capital y que son empleados para viajar de un destino a otro (se excluyen los modos relacionados al transporte de productos): el automóvil, la motocicleta y la bicicleta. De estos, el automóvil es el más utilizado, representando un total de 1.5 millones de automóviles (Cosenza, 2020).

a. Automóviles. Los automóviles particulares son el modo de transporte más utilizado dentro de la Ciudad de Guatemala, abarcando alrededor del 50 % del parque vehicular: y siendo los principales causantes del tráfico y congestionamientos vehiculares:. Esta alternativa de movilidad ha tenido un crecimiento considerable en los últimos años (ver Figura 16) como consecuencia del aumento en la población y el cambio del modo de transporte utilizado por usuarios. Según la Municipalidad de Guatemala, entre el 2001 y el 2016 el 28 % de los usuarios del transporte colectivo pasó a utilizar el automóvil (Municipalidad de Guatemala y Municipalidad de Mixco, 2019).

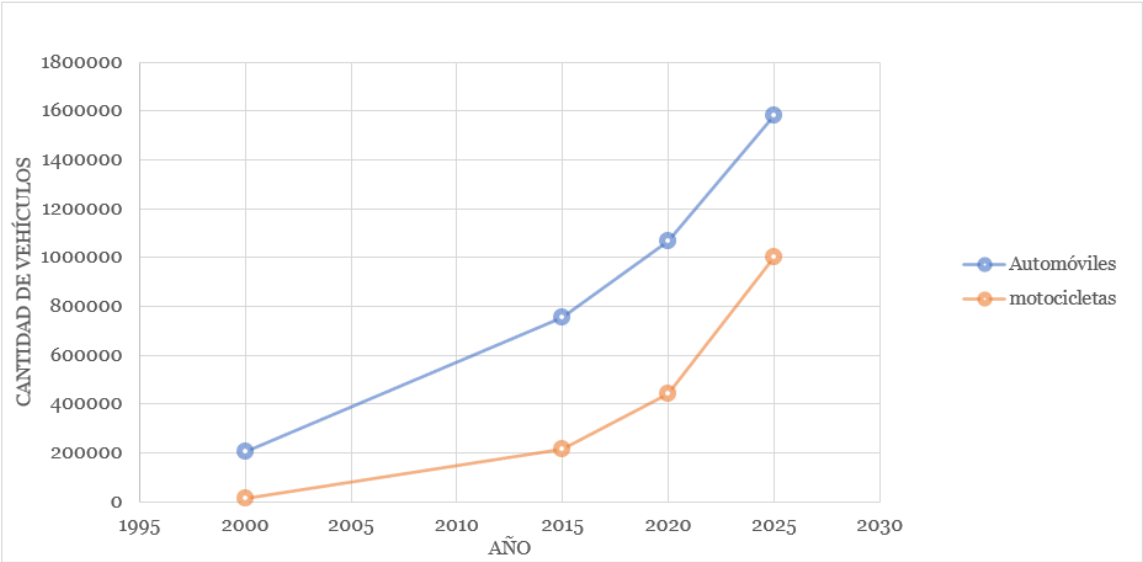


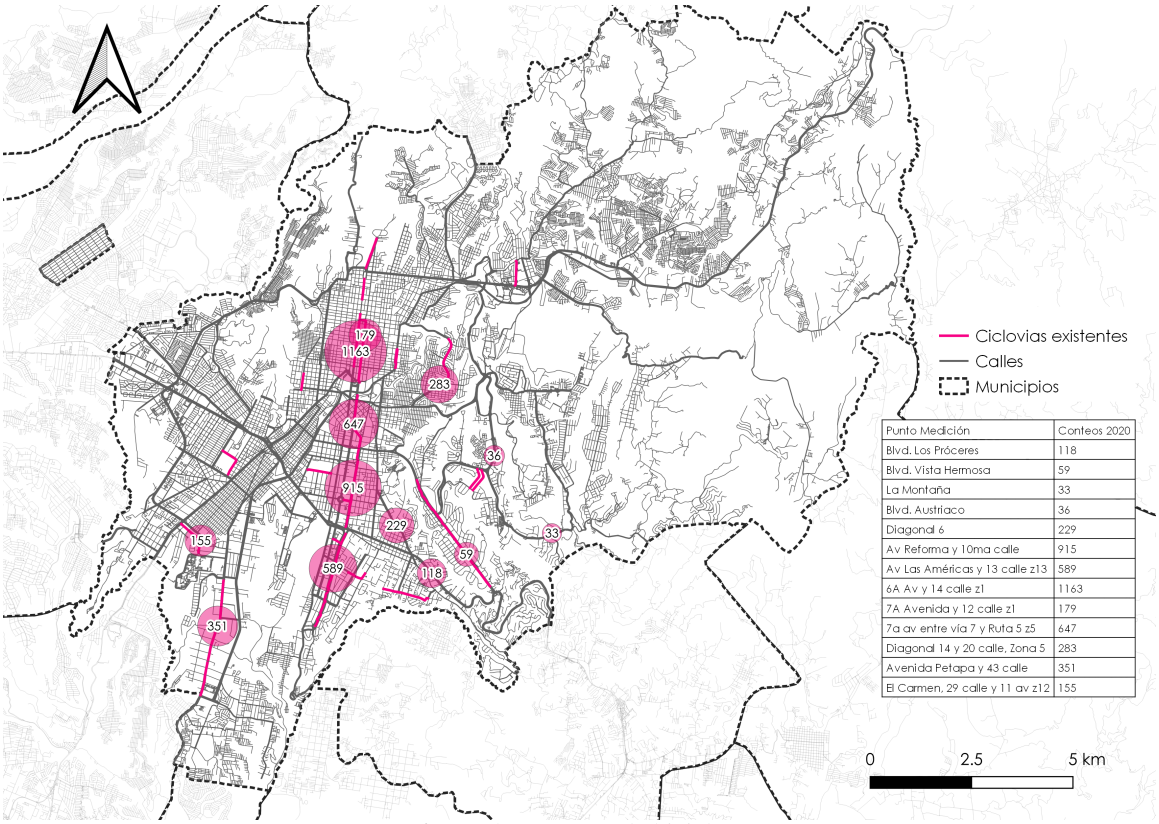
Figura 16. Incremento en el parque vehicular departamento de Guatemala
(Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SAT)

La popularidad del carro como modo principal de transporte en la Ciudad de Guatemala surge a raíz de sus ventajas y las condiciones de movilidad (falta de alternativas de transporte colectivo en buen estado y seguras). Siendo en un inicio un elemento que mejoró la productividad de las ciudades en general. Sin embargo, conforme más usuarios adquirieron vehículos y a medida que se densificó la ciudad y creció la población, la eficiencia empezó a disminuir con el incremento en el tránsito y la generación de congestionamientos vehiculares (IGLUS & EPFL, 2020). Las tendencias de crecimiento poblacional y el aumento en el parque vehicular para centros urbanos como la ciudad de Guatemala indican que cada vez será menos conveniente movilizarse en un automóvil, por lo que es necesario replantear y analizar los modos de transporte para desarrollar nuevos servicios de transporte tomando en cuenta los desafíos (Naciones Unidas, 2018).

b. Motocicletas. Las motocicletas son un modo de transporte motorizado que se ha popularizado en la Ciudad de Guatemala y su área de influencia al ser más económica que un automóvil y menos susceptible al tráfico. En la actualidad, esta alternativa representa el 6 % del parque vehicular; sin embargo, se espera que este porcentaje aumente en los próximos años considerablemente (ver Figura 16).

c. Bicicleta. La información referente a la bicicleta como modo de transporte en la Ciudad de Guatemala es limitada, por lo que no es posible discernir entre la cantidad de usuarios que la utilizan como modo de transporte y los que la utilizan por motivos recreativos. En la actualidad la cantidad de viajes realizados en este modo es reducida en comparación con los vehículos motorizados. No obstante, no debe ser descartada como una alternativa de movilidad puesto a que como

se ha mencionado en apartados anteriores, es un modo de transporte con un gran potencial. En la Figura 17, se observa la cantidad de viajes promedio en horario de 5 a 21 horas en los puntos de medición.



Punto Medición	Conteos 2020
Blvd. Los Próceres	118
Blvd. Vista Hermosa	59
La Montaña	33
Blvd. Austríaco	36
Diagonal 6	229
Av Reforma y 10ma calle	915
Av Las Américas y 13 calle z13	589
6A Av y 14 calle z1	1163
7A Avenida y 12 calle z1	179
7a av entre vía 7 y Ruta 5 z5	647
Diagonal 14 y 20 calle, Zona 5	283
Avenida Petapa y 43 calle	351
El Carmen, 29 calle y 11 av z12	155

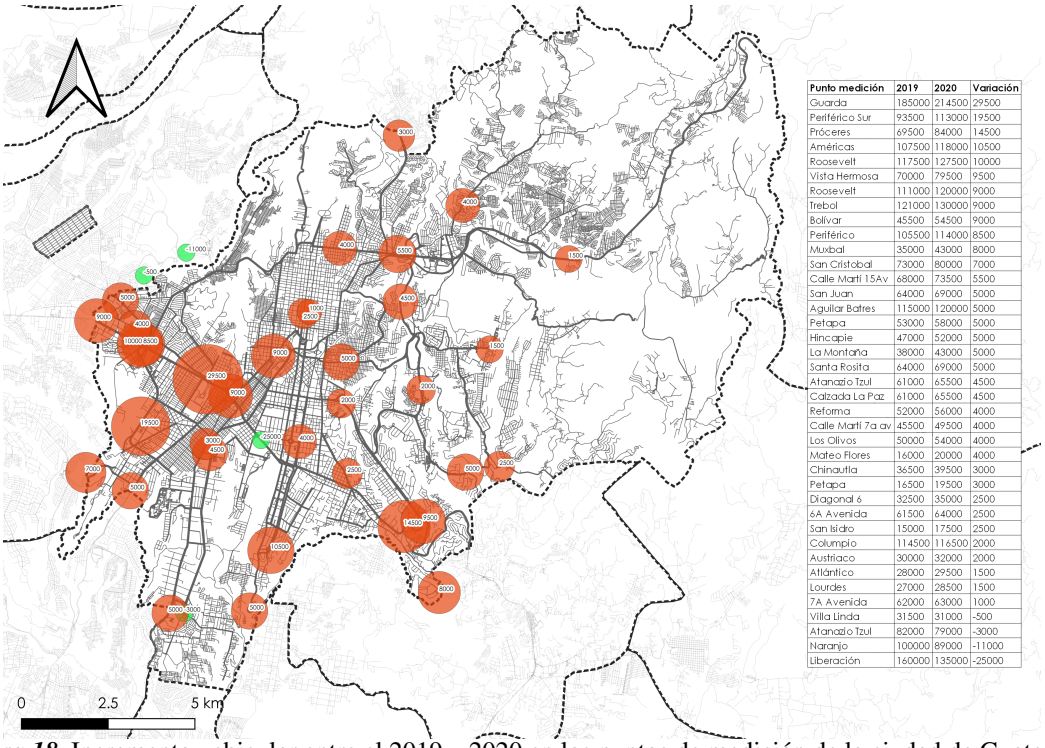
Figura 17. Conteos de bicicletas
(Fuente: Elaboración propia con base en datos de la UDI de la Municipalidad de Guatemala)

C. Tendencias de tráfico

En los últimos 20 años se ha observado un incremento sostenido en la cantidad de vehículos que circulan en la Ciudad de Guatemala, principalmente los vehículos particulares como automóviles y motocicletas, agravando la situación de movilidad en la capital. Según la Municipalidad de Guatemala, en el 2016 los ciudadanos pasaron en promedio 3.5 horas diarias en el tráfico a causa de la alta cantidad de vehículos que ingresan a la ciudad, provenientes de los municipios aledaños (Municipalidad de Guatemala y Municipalidad de Mixco, 2019). La frecuencia y duración de los congestionamientos vehiculares aumentará a medida que incremente la cantidad de vehículos que circulan al mismo tiempo. La movilidad en la Ciudad de Guatemala y sus alrededores se volverá cada vez más compleja mientras no se tomen acciones para fomentar alternativas que ocupen menos espacio y que tengan una alta capacidad de usuarios. No obstante, se debe tomar precaución con las implicaciones que pueda tener para el crecimiento horizontal indeseado de la ciudad.

Entre el primer trimestre del 2019 y el primer trimestre del 2020 (antes del inicio de la pandemia del COVID-19) hubieron incrementos significativos en los flujos vehiculares contabilizados dentro de la red vial interna en los días hábiles, entre las 5 y las 21 horas, según datos oficiales de la Municipalidad de Guatemala. En la Figura 18 se presentan las variaciones (aumentos o disminu-

ciones) en los flujos vehiculares entre el 2020 y 2019. Se observa que en la mayoría de los puntos de medición hubo un incremento de por lo menos mil vehículos contabilizados, llegándose a casos críticos con incrementos superiores desde los 10,000 hasta los 29,500 vehículos adicionales. Estos aumentos en los conteos vehiculares reflejan la problemática del tráfico en la Ciudad y la necesidad de planificación de infraestructura y modos de transporte adicionales para mejorar la movilidad.



Punto medición	2019	2020	Variación
Guarda	185000	214500	29500
Periférico Sur	93500	113000	19500
Próceres	69500	84000	14500
Américas	107500	118000	10500
Roosevelt	117500	127500	10000
Vista Hermosa	70000	79500	9500
Roosevelt	111000	120000	9000
Trebol	121000	130000	9000
Bolivar	45500	54500	9000
Periférico	105500	114000	8500
Muxbal	35000	43000	8000
San Cristobal	73000	80000	7000
Calle Martí 15Av	68000	73500	5500
San Juan	64000	69000	5000
Aguilar Batres	115000	120000	5000
Petapa	53000	58000	5000
Hincapie	47000	52000	5000
La Montaña	38000	43000	5000
Santa Rosita	64000	69000	5000
Atanazio Tzul	61000	65500	4500
Calzada La Paz	61000	65500	4500
Reforma	52000	56000	4000
Calle Martí 7a av	45500	49500	4000
Los Olivos	50000	54000	4000
Mateo Flores	16000	20000	4000
Chinautla	36500	39500	3000
Petapa	16500	19500	3000
Diagonal 6	32500	35000	2500
6A Avenida	61500	64000	2500
San Isidro	15000	17500	2500
Columpio	114500	116500	2000
Austriaco	30000	32000	2000
Atlántico	28000	29500	1500
Lourdes	27000	28500	1500
7A Avenida	62000	63000	1000
Villa Linda	31500	31000	-500
Atanazio Tzul	82000	79000	-3000
Naranjo	100000	89000	-11000
Liberación	160000	135000	-25000

Figura 18. Incremento vehicular entre el 2019 y 2020 en los puntos de medición de la ciudad de Guatemala (Fuente: Elaboración propia con base en datos de la UDI de la Municipalidad de Guatemala)

En la actualidad, la Municipalidad ha optado por la construcción de múltiples pasos a desnivel como solución a la problemática. Solo entre el 2020 y el 2022 se planificó la construcción de 23 pasos a desnivel, con un costo de Q484,693,582.37. Sin embargo, la construcción de infraestructura vial adicional como pasos a desniveles y la ampliación de carriles resulta en la mayoría de casos contraproducente. Estas acciones por sí solas solamente logran solventar a corto plazo la movilidad dentro de la ciudad. Su corta eficacia se debe al incremento constante en la cantidad de vehículos particulares. De esta manera, en algunos años la ampliación de una carretera por ejemplo, será insuficiente al haber un mayor número de usuarios circulando por ella (VOLVO, 2018). Las paradojas de movilidad presentadas en el siguiente apartado explicarán de forma general lo mencionado de antemano.

D. Paradojas de movilidad

1. Paradoja de Braess. Se fundamenta en la teoría de análisis de nodos y redes. Por medio de la paradoja se ilustra que el añadir nuevas rutas conlleva a empeorar el tiempo de circulación de todos los usuarios dado que las personas buscaran movilizarse por la ruta más conveniente (la que represente un menor tiempo) y no necesariamente se respeta un equilibrio entre rutas, lo que resulta en problemas de tráfico. Contrario al sentido común, la paradoja de Braess indica que al añadir

nuevas rutas se retrasa el tiempo de movilidad a nivel colectivo. Es decir que el crear rutas alternas para mejorar la fluidez del tráfico tiene un efecto contrario (VOLVO, 2018).

La teoría fue presentada por el matemático Dietrich Braess en 1968, indicando que el añadir un carril o crear una ruta alterna en promedio puede llegar a incrementar el tiempo de viaje. Así mismo, si se elimina la posibilidad de utilizar una vía rápida o un atajo (o se elimina un carril) el tiempo de viaje se reducirá. Está razón se basa en que los conductores buscarán un tiempo de viaje menor, por lo que al tratar de acceder a las vías rápidas generaran un mayor congestionamiento en las vías aledañas (VOLVO, 2018).

2. Paradoja de Downs-Thomson-Mogridge. La paradoja de Downs-Thomson-Mogridge, similar a la anterior, ilustra la ineficiencia de la construcción de nueva infraestructura vial en una ciudad (se enfoca en el uso de carros). Se basa en la premisa de que al aumentar la capacidad de una vía o los kilómetros de calles, estos serán eficientes a corto plazo pues más personas empezaran a utilizar esas vías o habrá más desarrollo alrededor de la misma. Después de cierto tiempo, el tráfico será el mismo o peor que antes de la implementación de la nueva infraestructura. Cuando una ciudad cuenta con una mayor capacidad para la circulación de automóviles, más personas optarán por este modo de transporte y menos personas utilizarán el transporte público (Basso, s.f).

E. La bicicleta como modo de transporte

El uso de las bicicletas como modo de transporte tiene un impacto positivo en la calidad de vida de las ciudades. Esto se debe a la reducción de la contaminación del aire y el ruido. Además, es una alternativa que requiere menos espacio que un automóvil (CIVITAS, 2020), menos infraestructura que una línea de metro y es más flexible que una ruta de autobús. Por ende se han convertido en un modo de transporte incentivado en diversas ciudades del mundo, incluyendo a Guatemala (Municipalidad de Guatemala, 2020).

Las distancias máximas promedio recorridas por ciclistas son de hasta 7.5km; sin embargo, la distancia máxima se duplica al utilizar bicicletas eléctricas, siendo de hasta 15km (CIVITAS, 2020). El radio de la Ciudad de Guatemala, es de 11.5 km (Morataya, 2011) pero la mayoría del desarrollo del municipio de Guatemala se encuentra comprendido dentro de un radio de 9.8km, por lo que cualquier viaje desde el centro del círculo, en una línea recta hacia el destino, se encuentra dentro del rango aceptable de distancias a recorrer con una bicicleta eléctrica. Al analizar el espacio que estaría delimitado dentro de un circulo con un radio de 7.5km de radio, se observa que la mayoría de las zonas con el mayor desarrollo quedan dentro de su contorno (ver Figura 19). Esto refleja que la bicicleta eléctrica es una alternativa viable en términos de distancias en estas zonas. No obstante, se debe recordar que rara vez los viajes son distancias rectas, por lo que los recorridos se ven limitados a las calles existentes y su traza.

Para viajes que requieran distancias mayores a las descritas, la bicicleta no será el modo de transporte principal, pero si puede ser un modo de transporte complementario. El uso de la bicicleta debe integrarse como una alternativa de transporte y no como una única solución para aliviar el tráfico en una ciudad. Por ende, se recomienda que la planificación de todas las ciclovías: e infraestructura sea compatible con otros modos de transporte como los autobuses públicos. Para ello se requiere de centrales de transferencia para cambiar de un modo de transporte a otro(CIVITAS, 2020).

El uso de la bicicleta en la Ciudad de Guatemala ha ido aumentando conforme se construyen y

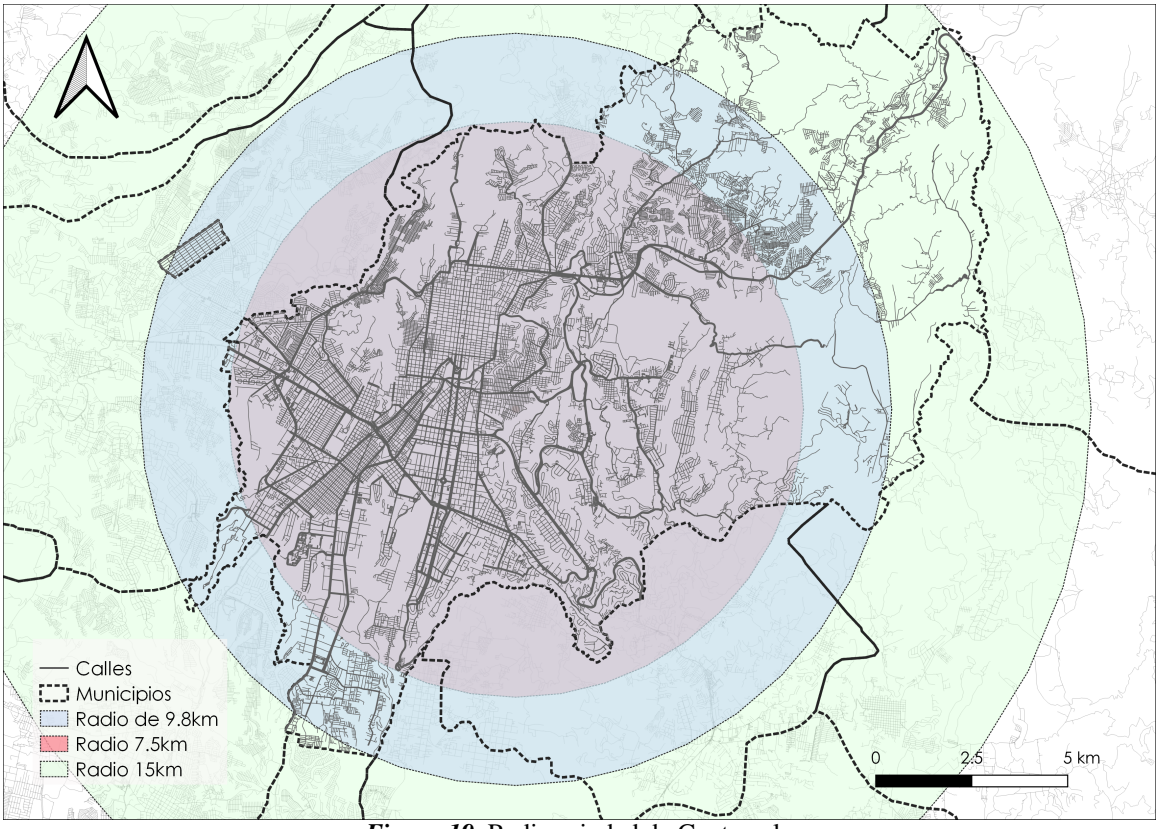


Figura 19. Radios ciudad de Guatemala
(Fuente: Elaboración propia)

habilitan nuevas ciclovías. Además, ha sido reconocida por la Municipalidad de Guatemala como un modo de transporte amigable con el ambiente, de bajo costo y beneficioso para la salud. La meta de la municipalidad es poder desarrollar una red de ciclovías de acuerdo con su plan maestro (ver Figura 20) para incentivar el uso de este transporte (Municipalidad de Guatemala, 2020). Sin embargo, desarrollar la infraestructura por sí sola no es suficiente para que la bicicleta sea utilizada por un número considerable de usuarios. Para lograrlo se requiere un cambio de cultura y las condiciones adecuadas para garantizar la seguridad del usuario en cualquier punto de la ruta (CIVITAS, 2020).

La ciudad de México y el servicio de bicicletas compartidas Ecobici, puede ser tomado como referente para analizar la capacidad del servicio. Se observa que en el mes de febrero del 2020 hubo 686,327 usuarios, equivalente a 23,666 usuarios diarios. Sabiendo que la capacidad de un transmetro de doble cabina es de 320 pasajeros, la cantidad equivalente en viajes de transmetros necesarios para movilizar a esta cantidad de personas sería de 74 viajes al día. Aunque el rango de edades de las personas que optan por el servicio de Ecobici es diverso, la mayoría se encuentra entre los 23 y 40 años (ver Figura 21). En la Ciudad de Guatemala la población es relativamente joven, más de la mitad de sus habitantes tienen menos de 35 años por lo que el uso de la bicicleta puede llegar a ser un modo de transporte válido (INE, 2018) (Gobierno de la Ciudad de México, 2022a).

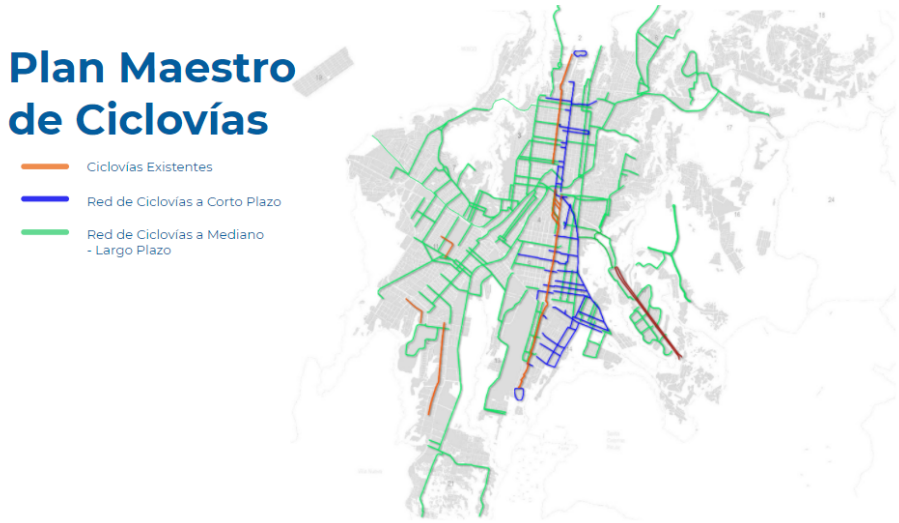


Figura 20. Plan maestro ciclovías Ciudad de Guatemala
(Fuente: Municipalidad de Guatemala, 2020)

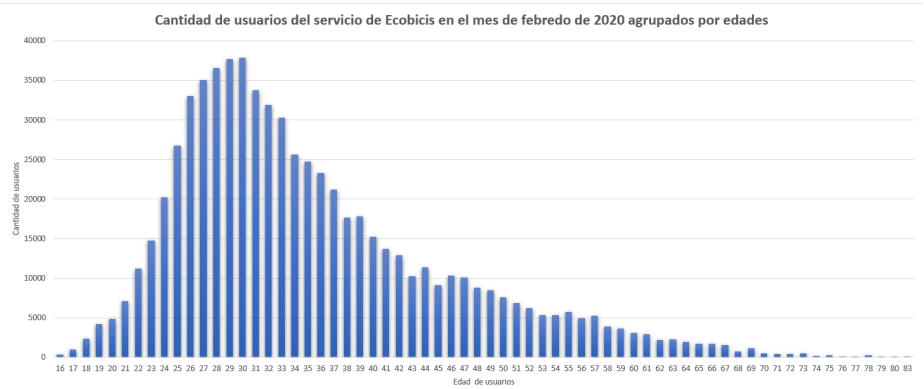


Figura 21. Distribución de edades en usuarios de Ecobici en la ciudad de México
(Fuente: Gobierno de la Ciudad de México, 2022a)

F. Ciclovías

1. Tipologías. Las ciclovías se caracterizan por ser vialidades exclusivas o preferenciales para los ciclistas. Estas se encuentran delimitadas ya sea por pintura, separaciones físicas o marcas en el pavimento. Su objetivo es brindar un espacio que le permita a los ciclistas movilizarse de forma segura (y a su propio ritmo) y alertar a los conductores de otros modos de transporte de la presencia de ciclistas y las rutas en las que circularán (CIVITAS, 2020). Existen distintas configuraciones o tipologías de ciclovías dependiendo del espacio disponible en una calle, el tipo de vehículos que circulan, los elementos que las conforman y su posicionamiento dentro de la calle. Dentro de la presente investigación se tomarán como referente las tipologías propuestas dentro de la guía de diseño de ciclovías urbanas de NACTO, las cuales se detallan a continuación:

- Ciclovías convencionales: se denomina ciclovía convencional a la porción de una calle delimitada con pintura y simbología para ciclovías que se designa exclusivamente para ciclistas. Se encuentra adyacente a los carriles de tránsito motorizado (por lo general del lado derecho), a nivel de la calle y siguen la misma dirección que el flujo de vehículos (ver Figura 22). Se

emplean en calles que cuentan con un flujo mayor o igual a 3,000 vehículos diarios (NACTO, 2015).

- Ciclovías con buffer: son ciclovías convencionales a las cuales se les ha adicionado un espacio denominado "buffer", el cual es una separación marcada con pintura entre el carril para bicicletas y el carril para los vehículos motorizados o el espacio de estacionamiento paralelo a la calle. Las ventajas de incluir el buffer como elemento de separación entre modos de transporte son: aumentar la distancia entre ciclistas y vehículos motorizados, generar un espacio para rebasar ciclistas sin ingresar al carril de carros, mantener a los ciclistas separados del área de parqueos para no chocar con la puerta abierta de un carro y mejorar la percepción de seguridad entre usuarios (vehículos motorizados y bicicletas) (ver Figura 22) (NACTO, 2015).

- Ciclovías contra-flujo: son espacios para ciclistas que van en contra de la dirección del flujo vehicular motorizado. De esta forma una calle de una sola vía se transforma en una calle de doble vía. Este tipo de ciclovía disminuye la cantidad de ciclistas que se movilizan en la banqueta y se logra reducir la distancia del viaje. Se suelen colocar en calles donde ya existe un número considerable de ciclistas que circula en la dirección contraria. No obstante, este tipo de ciclovías sin elementos de protección no es recomendad por el aumento en la fatalidad de colisiones entre vehículos motorizados y ciclistas (NACTO, 2015).

- Ciclovías del lado izquierdo: este tipo de ciclovías como su nombre lo indica va del lado izquierdo de una calle. Se suelen colocar en esta ubicación cuando a lo largo de esa ruta existen paradas de bus que puedan generar conflictos entre la parada y los ciclistas, en calles donde los parqueos están del lado derecho y/o cuando existe una alta frecuencia en la cantidad de vehículos motorizados que realizan cruces a la derecha en una calle (por ejemplo en el ingreso a un centro comercial) (ver Figura 22) (NACTO, 2015).

- Ciclovías protegidas: son el tipo de ciclovías preferenciales al generan el mayor confort y brindar seguridad a los ciclistas al contar con barreras físicas que separan a las personas en bicicleta del resto de vehículos motorizados. Las ciclovías protegidas se encuentran al nivel de la calle y emplean diferentes elementos protectores como bolardos, barreras de jersey, conos y jardineras. Su uso elimina el riesgo provocado por vehículos motorizados que rebasan a otros vehículos en la ciclovía y limita el acceso de otros modos de transporte distintos a la bicicleta al espacio. Esta tipología es más económica que una ciclovía elevada porque hace uso de la calle y drenajes existentes. Resulta adecuado utilizar esta configuración en calles de alto tránsito vehicular y calles con límites de velocidad altos (ver Figura 22) (NACTO, 2015).

- Ciclovías elevadas: son carriles para bicicletas que generan una separación de los vehículos motorizados al elevar el carril con respecto al resto de la calle. Por lo general tienen un color y un material distinto al de la calle. La elevación de la ciclovía puede ser a la misma altura que la banqueta o a un nivel intermedio entre la banqueta y la calle. Este tipo de ciclovías puede combinarse con los elementos de ciclovías protegidas (ver Figura 22) (NACTO, 2015).

  Esta configuración de ciclovías mejora el confort y la percepción de seguridad de los usuarios. Además dificulta el acceso a motoristas a este espacio exclusivo para ciclistas, reduce la cantidad de usuarios que montan bicicleta en las banquetas y reduce el costo de mantenimiento al disminuir el paso de vehículos motorizados. Se suele usar este tipo de ciclovías en calles que tienen muchos carriles y una alta carga vehicular, en calles rápidas con pocas intersecciones y entradas a propiedades y cuando existen curvas en donde los vehículos tienden a meterse en la ciclovía al cruzar (NACTO, 2015).

- Ciclovías doble vía: son espacios para la circulación de ciclistas en dos sentidos. Se reduce la cantidad de ciclistas que van sobre la banqueta en el sentido contrario a la dirección de la calle y permite tener un espacio para rebasar a otros ciclistas sin tener que pasarse al carril de vehículos motorizados. Sin embargo, este tipo de ciclovías aumenta la frecuencia de colisiones entre ciclistas (ver Figura 22) (NACTO, 2015).

- Calles compartidas: calles con bajos límites de velocidad, por lo general barriales, en donde coexisten los vehículos motorizados y las bicicletas. Poseen señalización horizontal, vertical y en ocasiones elementos de reducción de velocidad (NACTO, 2015).

2. Componentes. Los componentes de una ciclovía se refieren al conjunto de elementos de diseño para delimitar y/o ofrecer protección a los ciclistas de los vehículos motorizados tanto en los carriles como en las intersecciones y entradas a los comercios. Así mismo también cumplen la función de orientar al ciclistas sobre las rutas existentes, los cruces, intersecciones y altos. Los componentes se pueden agrupar en las siguientes categorías:

a. Elementos de separación y delimitación. Son el conjunto de componentes cuya función es diferenciar las ciclovías del los carriles para vehículos motorizados y las aceras. Dentro de este rubro se incluye la pintura, la cuál se utiliza tanto para delimitar el carril como para generar un buffer, así como para señalizar que es una ciclovía. También pueden considerarse la separación vertical generada en las ciclovías elevadas y los elementos de separación como los bolardos, conos y macetones.

b. Elementos de cruce. Es un tipo de señalización que no pertenece a la ciclovía como tal porque los vehículos motorizados puede pasar sobre ella (en ocasiones se refiere a la misma con zonas de espacio compartido). Esta se coloca en intersecciones y en los ingresos de propiedades a lo largo de una ciclovía. Cumplen la misma función que un paso de peatonal, y generalmente se delimitan con pintura, para indicar y alertar a los vehículos de que están por atravesar una ruta que se intersecta con el flujo de ciclistas. En este apartado también se encuentran las prolongaciones de curvas en intersecciones, conocidas como "bulbouts", las cuales se colocan para obligar a los vehículos a reducir su velocidad al virar y para acortar la distancia a atravesar de los ciclistas antes de retornar a la ciclovía (ver Figura 23).

Las cajas de espera y las cajas para cruce en dos etapas también pertenecen a esta categoría. Ambas son regiones sobre la calle delimitadas con pintura y simbología de bicicletas. Las cajas de espera, conocidas como cajas bici, se posicionan en las intersecciones antes del paso de cebra. Estas permiten a los ciclistas colocarse enfrente del tránsito motorizado al momento de que el semáforo se coloca en rojo para permitirle una mayor visibilidad a los conductores de la ubicación de los ciclistas y darle a los mismos una mayor prioridad al momento de cruzar la intersección. Por otro lado, las cajas bici para cruces en dos etapas permiten a los ciclistas que desean virar a la izquierda en una intersección (estando posicionados en una ciclovía del lado derecho) poder realizarlo de forma segura a través de dos etapas. Durante el tiempo de luz verde (del semáforo en la intersección) los ciclistas se posicionan sobre la caja bici ubicada entre el paso peatonal perpendicular (ubicado frente a los carriles que están en la fase de luz roja del semáforo) y la intersección. Posteriormente, cuando el semáforo donde está la caja bici marque la luz verde, el ciclista podrá atravesar la intersección de forma segura habiendo completado el cruce a la izquierda con respecto a su posición de origen (NACTO, 2015).

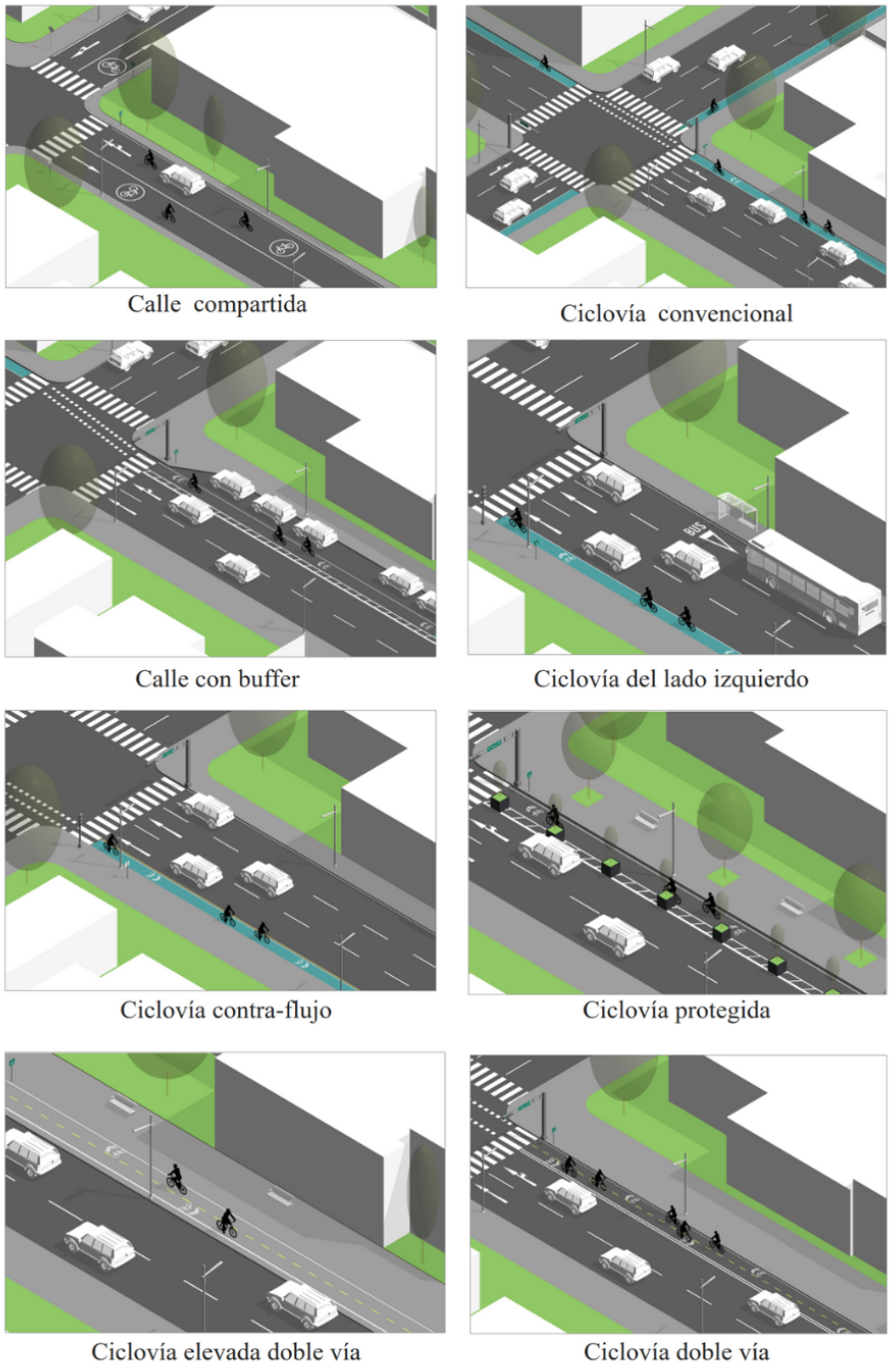


Figura 22. Diagramas de tipologías de ciclovías
(Fuente: Elaboración propia)

c. Señalización. Incluye el conjunto de señalización vial (señalización horizontal y señalización vertical o rotulada) de manera que tanto ciclistas como conductores de otros modos de transporte puedan coexistir de manera segura. Entre los elementos de señalización también se encuentran los semáforos para ciclistas.



Figura 23. Prolongación de curva en intersección
(Fuente: Alta, s.f.)

3. Elementos protectores. Los elementos protectores, como su nombre lo indica, tienen como función proteger al ciclista de otros modos de transporte de mayor tamaño y velocidad como los automóviles, motocicletas y autobuses. La siguiente figura incluye los elementos de protección principales (ver Figura 24).

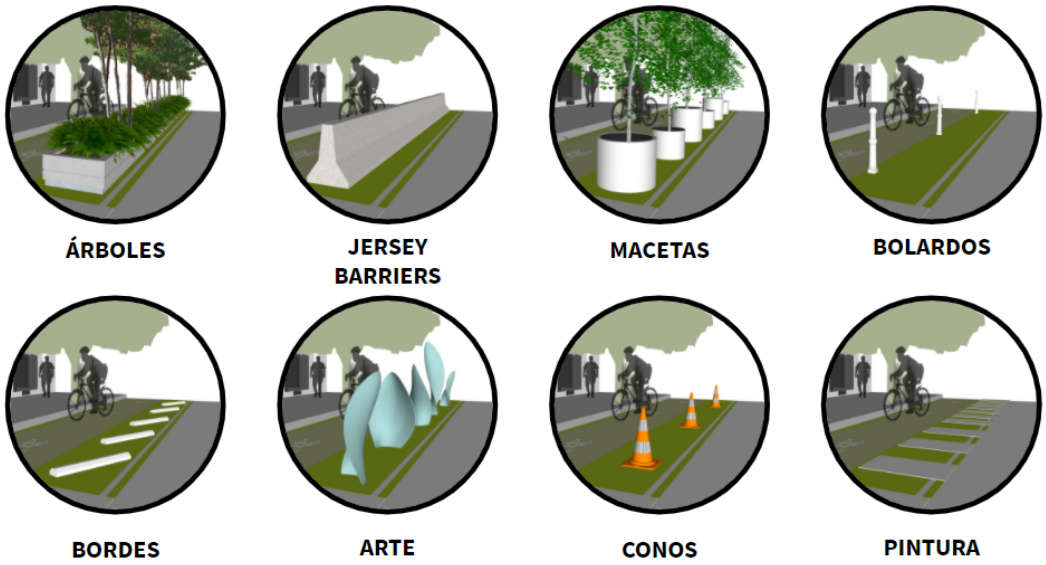


Figura 24. Elementos de protección
(Fuente: Castillo et al., 2021)

4. Ciclovías disponibles en la Ciudad de Guatemala. En la Ciudad de Guatemala, existen alrededor de 39 km de ciclovías distribuidas en las diferentes zonas de la ciudad. Este número irá en aumento según el plan maestro de movilidad de la Municipalidad de Guatemala cuyo objetivo es ampliar la cobertura de vialidades para ciclistas e incrementar el número de usuarios. En la actualidad se realizan más de 1,900 viajes en bicicleta en la Ciudad de Guatemala. En algunas rutas como la 6ta avenida de la zona 1, el número de ciclistas promedio que transita por día laboral es mayor a 1,000 (ver Figura 25). Esta alternativa de transporte se ha popularizado conforme se construyen nuevas ciclovías y también a causa de la pandemia del COVID-19. Se han observado calles en donde a pesar de no contar con ciclovías hubo un aumento en el número de ciclistas. Por ejemplo, en la diagonal 6 de la zona 10, el promedio de ciclistas que transitaban esa ruta en un día laboral durante el 2019 fue de 175, mientras que en el 2020 durante la pandemia, el número promedio ascendió a 229. En el Blvd los Próceres se observó una tendencia similar, el número promedio de ciclistas subió de 61 ciclistas en el 2019 a 118 ciclistas en el 2020.

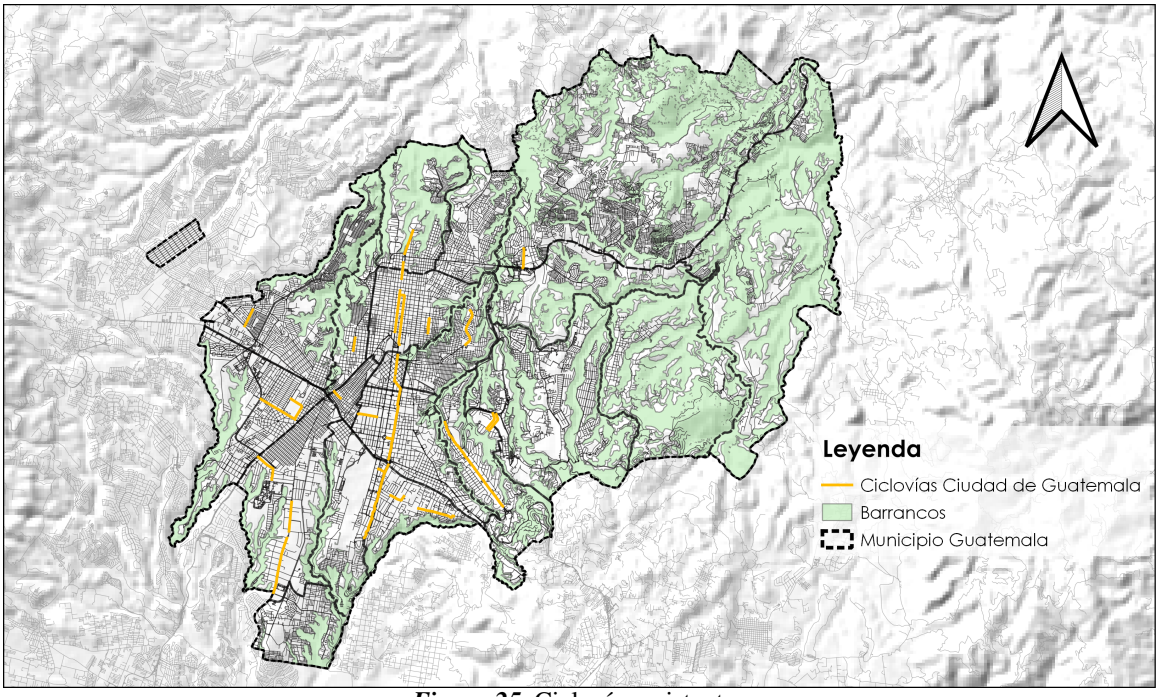


Figura 25. Ciclovías existentes
(Fuente: Elaboración propia)

A pesar del incremento en la cantidad de ciclistas en la Ciudad de Guatemala, la cantidad de viajes realizados en este modo de transporte es muy bajo. Para que este número aumente es necesario, además de construir nueva infraestructura, asegurarse de que las condiciones de las rutas sean ideales e inclusivas para cualquier tipo de persona. Al analizar las condiciones de las ciclovías de la ciudad se observó que existen áreas de mejora para que un mayor número de personas se sienta cómoda y prefiera utilizar la bicicleta como su modo de transporte principal. Algunas de ellas se encuentran aisladas o interrumpidas, cuentan con pavimento en mal estado y son inseguras para los usuarios por el riesgo a ser atropellados al no contar con elementos de protección (ver figuras 26 y 27).

En otros casos, aunque las ciclovías están protegidas, son poco accesibles y se encuentran separadas de los comercios. Tal es el caso de la ciclovía del Blvd. Vista Hermosa, la cual se encuentra en el camellón central quedando con accesos limitados por medio de algunas de las pasarelas sobre

el blvd. Esto resulta poco práctico ya que los puntos de interés o destinos están a las orillas de la calle y no en el centro del bulevar. La ciclovía sobre la avenida Petapa es otro ejemplo en donde los usuarios deben cruzar una avenida con transporte pesado y un alto flujo vehicular con escasos cruces peatonales y pasarelas. Al momento de planificar las rutas de ciclovías es importante analizar la accesibilidad y proximidad de las mismas a los destinos de los usuarios.



Figura 26. Condiciones inadecuadas en ciclovías
(Fuente: Elaboración propia)



Figura 27. Condiciones inadecuadas en ciclovías
(Fuente: Elaboración propia)

5. Desafíos de movilidad en bicicleta en la Ciudad de Guatemala. La introducción de un modo de transporte como la bicicleta conlleva diversos desafíos los cuales deben ser abordados para que un número considerable de usuarios decida movilizarse como ciclista. A continuación se describen diferentes áreas de acción necesarias para fomentar el uso de la bicicleta como modo de transporte primario y posibles soluciones.

- Seguridad: La seguridad es una de las principales preocupaciones y obstáculos identificados por las personas al momento de movilizarse como ciclistas (Wang, 2018). Esta preocupación se origina tanto por el miedo a ser asaltado, como por la vulnerabilidad de una persona montando la bicicleta ante vehículos motorizados de mayor tamaño y velocidad. Las condiciones de inseguridad son provocadas por una infraestructura inadecuada y por altos índices de violencia y/o delincuencia. Alrededor del 49 % de la personas que mueren en accidentes de tránsito en el mundo son peatones, ciclistas y motoristas (OPS, s.f.).

- Falta de infraestructura: Como se mencionaba en apartados anteriores, la falta de infraestructura para ciclistas limita el número de personas que se movilizan en bicicleta ya sea porque no existen ciclovías para llegar a sus destinos o la infraestructura es insuficiente. El no contar con la señalización, parqueos y equipamiento necesario impacta de forma negativa la seguridad vial y la experiencia del usuario.

- Cultura vial: El respeto al peatón y al ciclista por parte de otros modos de transporte es un factor complementario de la seguridad vial. La falta de cultura vial genera condiciones inadecuadas para los ciclistas desde obstruir y bloquear las ciclovías hasta poner en riesgo su vida. Estas acciones limitan el tipo de personas que utiliza la bicicleta y disminuye la cantidad de usuarios que se movilizan de esta forma al generar un grado de incomodidad alto y una mala experiencia de usuario.

- Distribución del espacio vial: El modo principal de transporte en la Ciudad de Guatemala es el carro. Consecuentemente, la mayoría de la vía pública es ocupada y destinada a este modo, generando una desigualdad en la distribución de este espacio. Según la Municipalidad de Guatemala, en la capital, tan solo el 2 % de la vía pública esta dedicada al peatón y los ciclistas (Municipalidad de Guatemala y Municipalidad de Mixco, 2019). La falta de espacio para estos dos reduce el nivel de confort y disfrute de los usuarios de la bicicleta, resultando inconveniente e inseguro movilizarse de esta manera. Implementar infraestructura nueva, conlleva rediseñar la distribución de espacios en las las calles quitando parqueos o reduciendo el espacio de circulación de vehículos. Estas acciones tienden a generar oposición por los conductores de automóviles.

- Barreras físicas: El presente estudio considerará como barreras físicas todos aquellos obstáculos que dificultan o imposibilitan la circulación de peatones y ciclistas. Estas pueden ser naturales o construidas por el hombre (urbanas). Entre las barreras naturales se consideran principalmente los barrancos y en las construidas por el hombre todas aquellas calles o avenidas con una alta carga vehicular a gran velocidad. Dentro de las barreras viales: se encuentran aquellas pertenecientes al sistema vial primario catalogadas como T5 y T4 y algunas T3. Estas barreras físicas, en ocasiones, generan un aislamiento social y dividen los espacios de una ciudad en regiones o distritos:. Para pasar de una región a otra (atravesar una barrera) se deben encontrar puntos de permeabilidad urbana:. Algunos ejemplos de estos puntos son los semáforos con cruces peatonales, pasarelas y túneles (Gobierno del Distrito Federal y UNAM, s.f.).

- Clima: La época de lluvia representa un desafío en la Ciudad de Guatemala al momento de elegir movilizarse como ciclista. Sin embargo, este no debe ser un factor preocupante dado que existen alternativas como el uso de una capa de lluvia para proteger al usuario del agua. Esta es una de las soluciones que emplean los motociclistas para movilizarse cuando llueve. Los drenajes en mal estado y las calles propensas a inundarse sí representan un problema para el ciclista ya que reduce la probabilidad de uso de la bicicleta para circular por estas calles.
- Estatus y cultura: El uso de la bicicleta como modo de transporte representa un cambio de cultura en sociedades donde los vehículos motorizados son el modo de transporte habitual. Consecuentemente, introducir cambios en la distribución de la vía pública resulta complejo por la oposición al cambio. Al introducir la primera calle peatonal en Copenhague, Dinamarca, se generó una fuerte oposición dado que los ciudadanos argumentaban que caminar no era parte de su cultura y que sería un fracaso. Sin embargo, años después se comprueba que las calles peatonales son muy utilizadas. El mismo suceso ha ocurrido con las ciclovías en Ciudades como Berlín y Bogotá.

Las acciones a tomar para mejorar las condiciones de movilidad en bicicleta deben responder a todos los desafíos y no solo a uno en particular. De lo contrario el número de usuarios se mantendrá limitado y restringido a grupos específicos. Personas con una mayor vulnerabilidad como los niños se verán excluidos. Por ende es importante una planificación adecuada al momento de diseñar las rutas y seleccionar la integración de este modo a la vía pública.

La seguridad vial mejora cuando el diseño de las calles busca reducir la interferencia entre modos de transporte. Las ciclovías protegidas logran este objetivo, siendo más inclusivas que las ciclovías convencionales y más seguras, ya que reducen la cantidad de accidentes e incrementan el número de usuarios. Por ejemplo, en la Avenida Columbus en Nueva York, el número de ciclistas aumentó en un 56 % en días laborales al convertir la ciclovía convencional en una protegida. Al mismo tiempo, en la misma avenida, el número de accidentes se redujo en un 34 % (NYCDT, 2011). Así mismo, los cruces e intersecciones vehiculares deben ser intervenidas con señalización clara e infraestructura adecuada como los cruces prolongados.

Para evitar y minimizar el riesgo de ser asaltados las rutas deberán ser trazadas en áreas de alta densidad poblacional y en aquellas en la que circulen un número de usuarios, preferentemente peatones, considerable. La razón de estas recomendaciones se fundamente en el concepto de ojos en la calle, introducido por Jane Jacobs en el estudio Eyes on the Streets. Este indica la relación entre el número de personas circulando en una calle y la percepción de seguridad, la cual aumenta a con el número de personas gracias al sentido de seguridad colectiva que se genera (Wekerle, 2000). Medidas adicionales como la presencia de policías en bicicletas, la instalación de cámaras de seguridad, calles con iluminación adecuada y rutas en calles con construcciones con fachadas que tengan ventanas hacia la calle.

La cultura vial se genera por medio de campañas de educación vial y sensibilización. Sin embargo, resulta conveniente colocar elementos como reductores de velocidad y semáforos para ciclistas y peatones de manera que se asegure que estos modos de movilidad blanda siempre tengan prioridad de paso. Así mismo, se recomienda implementar un mayor control del cumplimiento del reglamento de tránsito, multando a los infractores, colocando cepos cuando obstruyan la ciclovía, entre otras.

Las barreras físicas tanto naturales como construidas por el hombre deben intervenirse para mejorar la conectividad de la ciudad para modos de transporte blandos como la bicicleta. Esto se

logra en el caso de las barreras construidas por medio de la intervención del espacio con elementos que permitan la permeabilidad urbana. Para ello es válido colocar pasarelas y habilitar semáforos peatonales, aunque es preferible la primera opción. En el caso de las barreras naturales como los barrancos, los puentes ciclo-peatonales o la habilitación de senderos con pendientes bajas son una solución que ha sido utilizada en otras partes del mundo (ver Figura 28).



***Figura 28*.** Puente ciclo-peatonal
(Fuente: Goncharov, 2019)

VIII. ¿Qué es una ciudad?

Las ciudades pueden ser comprendidas y analizadas desde diferentes puntos de vista, pero es importante entender que una ciudad es un ente dinámico, en constante cambio y que necesita hacer frente rápidamente a las necesidades y condiciones ambientales, sociales, económicas y políticas (Lynch & Revol, 1998). Algunos cambios ocurren durante largos períodos de tiempo, mientras que otros pueden ocurrir de la noche a la mañana, como sucedió con la pandemia del coronavirus (COVID-19). Este dinamismo puede resultar en un desafío para poder comprender todos los componentes que conforman a una ciudad y se puede complicar el proceso de toma de decisiones. No obstante, resulta conveniente y útil analizar una ciudad como un sistema desde la visión de un modelo de ciudades inteligentes (Smart Cities), a través de la digitalización y la generación de data en tiempo real (IGLUS & EPFL, 2020).

IX. ¿Qué son las ciudades inteligentes?

El concepto de una ciudad inteligente tiene distintos significados entre diferentes países e inclusive entre las ciudades de un mismo país. Esta variabilidad, en lo que respecta a una ciudad inteligente, es ocasionada por el contexto y la diversidad de cada ciudad en cuanto a las culturas que alberga, los recursos que posee, sus necesidades, su disposición al cambio, capacidad de gobierno y objetivos. Por ende, dos ciudades inteligentes difícilmente tendrán las mismas características. No obstante, existen algunos parámetros para guiar a una ciudad en el proceso de transición hacia una ciudad inteligente (Gobierno de India, s.f.).

La base de toda ciudad inteligente es el ciudadano, su calidad de vida y bienestar. Se trata de ciudades diseñadas para la interacción humana y la inclusión de todos los habitantes en los servicios que ofrece apoyados y potenciados por la tecnología (Cherubal, 2018). Paula Kwan, directora de innovación cívica en la ciudad de Toronto, menciona como "las ciudades inteligentes están diseñadas sobre los principios y valores de las personas que viven allí". De esta manera, los servicios dentro de la ciudad están creados para los habitantes y como resultado se alcanza una mayor eficiencia en el servicio haciendo buen uso de las herramientas tecnológicas (Kwan, s.f.).

Las ciudades inteligentes además de buscar el bienestar de sus ciudadanos buscan abordar diversos desafíos urbanos relacionados con el crecimiento poblacional de las áreas urbanas, el medio ambiente, la movilidad, la gobernanza, la prosperidad, entre otras (ver Figura 29) (Brussels Smart City, s.f.). Para delimitar las posibles áreas de acción, en las cuales una ciudad puede actuar para convertirse en una ciudad inteligente, la red de ciudades inteligentes de la Alianza para Centroamérica establece las siguientes 5 áreas de acción: "su cultura emprendedora, la movilidad urbana, la accesibilidad financiera y urbanística, la resiliencia ambiental y su transparencia para la co-gobernanza efectiva" (Martínez, 2019).



Figura 29. Áreas de interés de las ciudades inteligentes.
(Fuente: Brussels Smart City, s.f.)

Los desafíos que se presentan en cada una de las áreas de acción de una ciudad inteligente resultan, en la mayoría de los casos, complejos por la escala de la ciudad. Por ende, es conveniente utilizar la tecnología como herramienta de apoyo en la toma de decisiones. Según Cisco Systems, una ciudad inteligente aprovecha la tecnología digital para conectar, proteger y mejorar la vida de

los ciudadanos. Esto se logra al generar una red de dispositivos inteligentes como sensores, cámaras de vigilancia, redes sociales, entre otros. Su objetivo es crear un nuevo sistema inteligente capaz de generar datos en tiempo real. Este flujo de información actúa como una retroalimentación o un diagnóstico de los sistemas de la ciudad. De esta forma, tanto los gobiernos como los ciudadanos podrán tomar decisiones informadas con base en los datos que reciben (Cisco, 2020).

Un ejemplo de un sistema de retroalimentación permite determinar la calidad del aire a través de una red de sensores distribuidos en la ciudad. Los ciudadanos pueden decidir salir con una mascarilla cuando la calidad del aire no es adecuada o evitar salir. Los gobiernos pueden analizar los datos y tomar medidas para regular la actividad que genera la mala calidad del aire (Cisco, 2020). De esta manera es posible reducir las enfermedades o padecimiento causados por la exposición a un aire dañino para la salud.

A. Capa de servicios

Toda ciudad cuenta con un conjunto de servicios disponibles a sus habitantes y visitantes. Estos servicios son diversos y algunas ciudades tienen más que otras. La recolección de la basura, el suministro de agua de la red municipal, el transporte público, la electricidad, el manejo del tránsito vehicular por medio de semáforos, son algunos ejemplos. En las ciudades inteligentes, el número de servicios aumenta y los existentes mejoran. La tecnología en conjunto con la data que genera hace posible que estos sean más eficientes al optimizar los recursos y buscar la sostenibilidad de los mismos, resultando en un ahorro significativo de costos de operación. Los servicios evolucionan con base en la ciudad y su población haciéndola más resiliente y más agradable para vivir (Nokia, s.f.).

A medida que las ciudades crecen a raíz del crecimiento económico y poblacional, los servicios dentro de la urbe deberán adaptarse para continuar operando bajo nuevas condiciones de demanda. Este incremento suele representar un desafío que los planificadores de la ciudad deben abordar para que las actividades en el día a día de una ciudad se desenvuelvan de la forma más fluida posible haciendo buen uso de los recursos disponibles para el funcionamiento de los servicios. Los servicios en ciudades inteligentes proveen diversos métodos para trabajar problemas relacionados a la movilidad, seguridad y servicios públicos buscando minimizar el impacto ambiental (Nokia, s.f.) (Harmon et al., 2015a).

B. Capa de infraestructura

La infraestructura de una ciudad comprende todos todos los componentes físicos, estructuras y construcciones que permiten el desarrollo de las actividades humanas. Dado que estas son variadas y complejas, una alta gama de componentes son considerados como infraestructura o equipamiento urbano. Se considera como tal a todos los activos tangibles que hacen posible el transporte de energía, productos y personas, así como las construcciones que permiten a los habitantes acceder a servicios como la educación y la salud. Esto evidencia la interrelación que existe entre los servicios y la infraestructura en donde el primero depende del segundo (IGLUS & EPFL, 2020).

C. Capa digital

Al momento de analizar una ciudad resulta evidente que esta se conforma de múltiples sistemas, formados por un conjunto de elementos, que trabajan entre ellos para alcanzar un mismo fin. Por lo general, estos sistemas están compuestos por dos componentes: los servicios y la infraestructura necesaria para que puedan operar. Por ejemplo, un sistema de transporte público se conforma por la flotilla de buses, sus paradas y el servicio que le permite a las personas moverse de un punto A a un punto B, disponible durante los horarios de operación y en las rutas propuestas. En las ciudades inteligentes se busca integrar una capa digital a los componentes del sistema para que estos cuenten con la capacidad de generar datos sobre sus condiciones, funcionamiento, demanda, entre otros. Al adicionar esta capa a los sistemas, se genera una herramienta que le permite a los planificadores de la ciudad y usuarios tomar decisiones informadas con respecto a un sistema específico (IGLUS & EPFL, 2020).

1. Generación de data. La capa digital tiene como objetivo la generación de datos a través de una red interconectada de gran tamaño compuesta por de dispositivos como GPS, teléfonos inteligentes, cámaras de seguridad y sensores. Estos datos, además de servir como un diagnóstico de las condiciones actuales de un sistema, funcionan como un legado de información que servirá de respaldo para generar predicciones del comportamiento de un determinado sistema. Con base en este legado de datos es posible identificar las tendencias de una ciudad en cuanto a la preferencia por un modo de transporte, la eficiencia del suministro de servicios como el agua y la electricidad, por mencionar algunos ejemplos. Entre mayor sea la capacidad de generación de datos, mayor es la calidad y representatividad de la información relacionada a los sistemas de una ciudad. No obstante, la generación de datos por sí sola no es el objetivo de las ciudades inteligentes. Esta debe tener la capacidad de ser almacenada, filtrada y analizada. Al mismo tiempo, los equipos generadores de datos deberán estar conectados entre ellos para que puedan compartir información y comunicarse entre sí (IGLUS & EPFL, 2020).

2. Identificación de información relevante. Los datos generados, como se menciono de antemano, deben ser procesados, filtrados y almacenados. La gran cantidad de información representa un desafío para las ciudades inteligentes ya que se requiere de una alta capacidad de almacenamiento y procesado. El formato en que se presentan los datos también es importante ya que estos deberán ser capaces de ser analizados por personas para la toma de decisiones. Adicionalmente, los equipos recolectores de datos deben ser seleccionados según las características del sistema y las variables que se relacionan con el mismo, así como la información deseada. En sistemas de transporte resulta conveniente colocar dispositivos para el monitoreo del flujo de usuarios, cámaras de seguridad, aplicaciones con información de los tiempos de arribo, entre otros (IGLUS & EPFL, 2020).

El contexto de los datos también es importante, por lo que al momento de analizarlos deberá existir la capacidad de poder observar el entorno en el que se generaron. De lo contrario, los datos por sí solos no presentarán información relevante. Las cámaras de seguridad permiten observar, en la mayoría de casos, el contexto de los datos. Esto resulta útil al encontrar irregularidades en los datos y poder comprender el porqué de este cambio. Por ejemplo, en 5 días de un mes, se observa en los sensores de conteo vehicular que en varias calles de la ciudad el tráfico disminuyó casi por completo mientras que en las aledañas la congestión vehicular resultó considerable. Sin contexto, los datos por sí solos no permiten obtener una conclusión sobre el porqué de este comportamiento; no obstante, al analizar por medio de cámaras de seguridad es posible determinar que se trató de días en los que hubo manifestaciones (James, 2019).

3. Internet of Things. Un componente esencial en las ciudades inteligentes es la capacidad de obtención y generación de información (data) en tiempo real que permita la toma de decisiones informada. De esta forma, es posible mejorar las condiciones de operación de los servicios de la ciudad y la vida de sus habitantes. El conjunto de sistemas, sensores, dispositivos y programas que comprenden la internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés) busca generar un entorno urbano interconectado. Esto quiere decir que todos los componentes que están conectados a la red son capaces de intercambiar información entre ellos. Por ejemplo, un teléfono inteligente en una ciudad que cuenta con sensores de calidad de aire conectados a la red es capaz de notificar al individuo cuando la calidad del aire en su sector es inadecuada (IGLUS & EPFL, 2020).

Gracias a la IoT, los habitantes y los planificadores de una ciudad inteligente tienden a tomar mejores decisiones basadas en la información que tienen al alcance de la mano. Esto solo es posible si los sistemas que comprenden a la ciudad se encuentran interconectados y si los ciudadanos están conectados a la red para poder recibir y proveer información. A medida que aumenta el tamaño de la IoT de una ciudad, mayor es la base de datos y su representatividad. De esta forma es posible predecir con mayor certeza el comportamiento de un servicio para ciudadanos como el agua, conociendo las demandas y consumos. Además la IoT permite obtener información más certera que si se realizase por medio de un estudio individual (Harmon et al., 2015b).

La eficiencia de una red de IoT se alcanza al contar con distintos componentes que garanticen la existencia de un flujo continuo de datos y su capacidad de procesamiento. Los sensores conectados a la red generan grandes cantidades de información, la cuál se comparte por medio del internet, por lo que necesitan una conexión Wi-Fi. Otro factor a considerar es la protección y seguridad de los datos y servicios ante ciberataques. Para evitarlos es necesario contar con espacios seguros para el almacenamiento de los datos, programas seguros para llevar a cabo acciones y mecanismos de autenticación para los usuarios autorizados. Esto es importante porque de lo contrario los datos podrían ser manipulados y las acciones tomadas podrán tener consecuencias negativas (Harmon et al., 2015b).

Se recomienda que los sensores que alimentan a los servicios e infraestructura importante cuenten con mecanismos a prueba de fallos o con un sistema de respaldo energético para poder continuar operando al momento de un corte de electricidad o un desastre. En estos escenarios también es recomendable asegurarse de que los sensores de IoT pueden continuar operando aún bajo estas condiciones cuando sea necesario. Dentro de estos mecanismos también se debe incluir sensores que permitan conocer la ubicación en todo momento de los sensores por si son robados. En este caso, deben ser capaces de mantener la información segura para evitar que sean mal utilizados (Harmon et al., 2015b).

Otras consideraciones importantes para la IoT son su capacidad de optimizar el flujo de información y manejo a distancia. La primera se refiere al filtrado de información y tiempos de operación para no sobrecargar la red o volver muy lenta la transmisión de datos. Por ejemplo los sensores de tráfico podrían apagarse durante horas de la madrugada cuando no existe un tránsito vehicular significativo. En cuanto el manejo a la distancia, este se refiere a la capacidad de poder operar, apagar y configurar los sensores remotamente sin la necesidad de ir al sitio (Harmon et al., 2015b).

X. Implicaciones de ciudades inteligentes

Cada ciudad inteligente tendrá diferentes objetivos y capacidades. Estas se basarán en sus necesidades, cultura, recursos, ente otros. Al momento de incluir dentro de la visión de una ciudad el componente de innovación y tecnología, naturalmente la ciudad estará sujeta a cambios en los sistemas que la componen, por ejemplo en los sistemas políticos, sociales y culturales. Esto se debe a que por medio de las ciudades inteligentes se crean nuevos servicios, optimizan recursos y se busca cambiar la forma en la que los diferentes sistemas operan para que la calidad de vida de los habitantes mejore y que al mismo tiempo los servicios sean más eficientes. La transición hacia una ciudad inteligente tiene varias implicaciones, las cuales serán abordadas a continuación con el objetivo de presentar un acercamiento de lo que representa en la planificación de la ciudad (IGLUS & EPFL, 2020).

A. Manejo y gobernanza de infraestructura

La incorporación de dispositivos que tengan la capacidad de generar y recibir datos implica que deberá existir un ente regulador de esta infraestructura. Tanto para delimitar el tipo de datos que está permitido recabar, así como otorgar mantenimiento a los equipos y garantizar su correcto funcionamiento. También se debe determinar quién fabricará los equipos y de qué manera se conectarán entre ellos. Esto genera la necesidad de establecer un marco político y legal que establezca las condiciones de operación de esta nueva infraestructura. En cuanto a este aspecto, es indispensable establecer lineamientos para el manejo de las nuevas capas de servicio, los sistemas socio-técnicos y el manejo de los datos (IGLUS & EPFL, 2020) (Martínez, 2019).

1. Manejo de las nuevas capas de servicios. En ocasiones las capacidades de las municipalidades están limitadas al momento de incorporar nuevas capas de servicio por la complejidad de las mismas, así como la gran cantidad de trabajo que conllevaban. La información que generan estos servicios es considerable y se requiere de su procesamiento, por lo que resulta esencial desarrollar plataformas para almacenar información, analizarla y compartirla. Para poder manejar y gestionar estas nuevas capas de servicios resulta beneficioso delegar el rol de esta gestión a entidades externas a la municipalidad bajo un marco legal adecuado (IGLUS & EPFL, 2020).

2. Gobernanza de sistemas socio-técnicos. Los sistemas socio-técnicos permiten un acercamiento integral a los componentes de los sistemas en ciudades inteligentes. Se fundamenta en 4 aspectos que se relacionan entre ellos. Estos son las personas, el objetivo de la institución impulsando el cambio, la estructura y la tecnología. La interrelación entre ellos es un desafío para las ciudades inteligentes ya que son sistemas de gran tamaño que cuentan con muchas variables existentes dentro de cada categoría. Esto quiere decir que un cambio en un aspecto tendrá implicaciones en el resto de componentes dentro de los sistemas de la ciudad. Por ejemplo, al habilitar una nueva ruta de transporte colectivo en los suburbios de la ciudad, los precios de la vivienda y el tráfico vehicular pueden aumentar, al mismo tiempo que empeora la contaminación del aire y el nivel de ruido, como consecuencia de este cambio en el sistema de transporte. Este es tan solo uno de muchos ejemplos en los que los cambios de un sistema afectan a otros (IGLUS & EPFL, 2020) (Kopackova & Libalova, 2017).

Regular sistemas en una ciudad de manera aislada deja de ser una opción y solución en las ciudades inteligentes. Por ende, las municipalidades y compañías responsables de proveer servicios esenciales (electricidad, agua, transporte, manejo de desechos, etc.) deberán de trabajar de manera

colaborativa. Esto implica que se deben crear mecanismos de intercambio de información y que la toma de decisiones respecto a un sistema se haga con base en un análisis global del resto de sistemas y subsistemas, considerando las consecuencias que tendrá en los otros. Al momento de desarrollar las normas y lineamientos del funcionamiento y gestión de los sistemas, es importante permitir la flexibilidad del sistema para poder adaptarse a las necesidades de las personas y la ciudad.

3. Manejo y gobernanza de la información digital. Al colocar dispositivos capaces de recolectar datos en una ciudad se termina con un flujo de datos de gran tamaño. Su manejo requiere de una alta capacidad de procesamiento y almacenamiento. Esto representará un costo adicional en el servicio. Por lo que resulta lógico que surjan preguntas con respecto al responsable de pagar por este costo y deberán ser resueltas antes de hacer la transición hacia una ciudad inteligente. Además del procesado de los datos, se requiere un estándar en el proceso de recopilado y difusión de información. Esto deberá ser considerado dentro de las nuevas políticas a incluir dentro de la transición. Sin embargo, es importante recordar la importancia de la flexibilidad de estas ya que la tecnología y los servicios de una ciudad inteligente cambian con el tiempo (IGLUS & EPFL, 2020).

Otras inquietudes que surgen y que deben ser resueltas giran entorno a la seguridad y responsabilidad de la información. De esta forma es indispensable regular el tipo de datos que se puede recopilar y establecer mecanismos de protección de los mismos para no poner en peligro a las personas. Dentro de este aspecto se deberá definir en dónde se almacenará la información y de qué forma se compartirá con el público, considerando la colocación de barreras de protección, para evitar usos inadecuados, como las que se mencionaron en el apartado de IoT. En cuanto a la responsabilidad de la información, es importante definir quién se responsabilizará de la veracidad de los datos ya que estos se emplearán para la toma de decisiones que tiene un costo económico y que además tendrán repercusiones en el resto de sistemas. De haber errores en los datos o un manejo incorrecto, debe poderse determinar al encargado para que asuma su responsabilidad y solucione el problema (IGLUS & EPFL, 2020).

XI. Desarrollo e implementación de modelos de transportes en ciudades inteligentes

A. Sistemas de transporte inteligentes

Para comprender qué acciones se pueden implementar para mejorar la movilidad urbana y de qué manera se deben desarrollar los modelos de transporte en ciudades inteligentes es necesario conocer qué se busca alcanzar en cuanto a movilidad en ciudades inteligentes. Más que proponer un modo de transporte único, las ciudades inteligentes apoyan la diversidad de modos para adaptarse a las necesidades de cada usuario y buscan que el conjunto de modos de transporte y su interacción de como resultado una movilidad eficiente y cómoda. La diversidad de opciones logra reducir el costo promedio de transporte. Este costo puede ser medido en términos de porcentaje de ingresos económico o en términos de tiempo promedio de viaje perdido en tránsito (Martínez, 2019).

Adicional a la introducción o intervención de los modos de transporte como tales, también es importante intervenir los problemas que generan el tráfico vehicular como el crecimiento poblacional y la expansión de la mancha urbana en ciudades. Por ello se incentiva el desarrollo de usos mixtos de alta densidad para reducir el crecimiento horizontal en las ciudades y de esta manera evitar realizar largos recorridos en automóviles. La priorización de espacios peatonales e infraestructura verde es necesaria para una movilidad a pie en distancias cortas y el uso preferente de transporte colectivo o vehículos no motorizados en distancias mayores. Todos estos factores ayudan a mejorar el disfrute y la calidad de vida de la ciudad (Martínez, 2019).

En general, los modos de transporte deben planificarse de tal manera que sean adaptables al aumento en la densidad poblacional a lo largo del tiempo. Esto quiere decir que deben poderse acoplar a una mayor demanda del servicio sin recurrir a costos excesivos y/o a la reducción del espacio público. Al mismo tiempo deberán buscar disminuir su consumo energético, las consecuencias de las emisiones y los costos y tiempos de viajes con el fin de aumentar su eficiencia. Además, para aumentar la eficiencia de la movilidad en la ciudad, un modo de transporte deberá ser compatible con los demás modos, especialmente los colectivos (Martínez, 2019).

Todos los criterios a considerar en el desarrollo de un modo de transporte para ciudades inteligentes pueden lograrse de la mano de la tecnología. Como se mencionó anteriormente, la tecnología genera información en tiempo real para ayudar a medir si los modos de transporte están funcionando correctamente. De no ser así, con base en los datos obtenidos, los planificadores pueden tomar acciones correctivas para mejorar el funcionamiento del servicio y alcanzar una movilidad más fluida y cómoda. Por ejemplo, información como las horas pico de uso y la cantidad de usuarios son indicadores que permiten identificar si la capacidad del servicio es suficiente o no.

1. Impulsores de transición. El aumento en el tráfico vehicular es un problema presente en varias ciudades alrededor del mundo, incluyendo a la Ciudad de Guatemala. A pesar de la disminución del tráfico provocada por la pandemia del COVID-19, a medida que las actividades retornen a la normalidad, el tráfico incrementará nuevamente. Esta problemática se genera principalmente por el aumento en el parque vehicular y por la distribución del espacio público, priorizando al automóvil ante otros modos de transporte. La expansión de las vialidades dentro de la Ciudad de Guatemala, así como la construcción de pasos a desnivel para alivianar el tráfico, son medidas que si no se complementan con nuevas alternativas de movilidad, solamente funcionarán a corto plazo. Esto se debe a que en cuestión de algunos años el espacio para circular en la ciudad volverá a ser insuficiente por causa del incremento en el número de vehículos, especialmente los automóviles.

Aunque el carro como modo de transporte resultaba ser de las alternativas más convenientes para movilizarse dentro de la ciudad, su eficiencia ha ido disminuyendo conforme aumenta el número de vehículos en las calles. Las consecuencias de este aumento tienen repercusiones en los tiempos de viaje, la frecuencia de los congestionamientos vehiculares y la calidad de vida de los habitantes. Esta problemática refleja la necesidad de la búsqueda de nuevos modos de transporte que contribuyan a mejorar la circulación en la ciudad de la mano de una mejor planificación. Esto se logrará por medio de la incorporación de la tecnología y el análisis de datos de los sistemas de transporte para que puedan aprovecharse al máximo (IGLUS & EPFL, 2020).

Uno de los principales impulsores del cambio que ayudará a la ciudad a incluir nuevas alternativas de movilidad e incorporar la tecnología dentro de sus servicios de movilidad será la necesidad. Se espera que para el 2050, el 68 % de las personas vivan en área urbanas, lo que significa que en menos de 30 años habrá un incremento del 13 % en la población de las áreas urbanas. Consecuentemente, los servicios de transporte se verán constantemente saturados. Este incremento en la cantidad de usuarios representa un desafío para cualquier ciudad, el cual puede resultar altamente costoso (ONU, 2018).

La integración de la tecnología resulta una herramienta que permite mejorar la eficiencia de los modos de transporte al incluirla en los sistemas de movilidad de la ciudad, por lo que esta se convierte en el segundo impulsor del cambio (IGLUS & EPFL, 2020). Con la infraestructura de telecomunicaciones adecuada e interconectada es posible tomar acciones que ayuden a mejorar la eficiencia de las alternativas existentes y generar nuevas más eficientes. Por ejemplo, al contar con información en tiempo real y monitoreo de los flujos vehiculares de la ciudad es posible ajustar las rutas del transporte público, los tiempos de espera en intersecciones con semáforos según la hora, modificar las horas de circulación de camiones de basura para que no generen tráfico, entre otras. Estas acciones resultan en una mejor experiencia de usuario al movilizarse por la ciudad, en ahorros en tiempos de viajes y sobre todo en la optimización de los recursos de la ciudad. Gracias a estas mejoras, las ciudades inteligentes obtienen ahorros significativos al buscar mejorar la calidad de vida de sus habitantes. En el 2018 se estimó que las ciudades inteligentes le devuelven 125 horas a sus ciudadanos cada año (INTEL, 2018).

Por último, el cambio climático y sus efectos se convierten en un tercer impulsor de transición (IGLUS & EPFL, 2020). Los modos de transporte motorizados son responsables del 24 % de las emisiones de CO2 y de estas el 45 % corresponde a los carros, motocicletas y autobuses. La búsqueda de alternativas más sostenibles y amigables con el medio ambiente es necesaria para mitigar los efectos del cambio climático. Al mismo tiempo, al buscar alternativas más sostenibles, se reducen los costos a largo plazo ya que las alternativas son más eficientes con el uso de los recursos. Además, al disminuir las emisiones de CO2 mejora la calidad del aire y consecuentemente disminuyen las enfermedades respiratorias derivadas de la contaminación (Ritchie, 2020).

2. Estrategias de transición. La introducción de un nuevo modo de transporte planificado según lo que proponen las ciudades inteligentes representa una serie de desafíos para una ciudad, empezando por determinar quién será el responsable de liderar la transición. Este aspecto es importante dado que para poder implementar un nuevo servicio de movilidad exitoso deberá existir una línea de acción clara que contemple las áreas de interés de las ciudades inteligentes y adicionalmente a estas incluya mecanismos y políticas para el manejo de los datos. Los actores que podrán impulsar esta transición hacia la implementación de servicios de transporte inteligentes también deberán establecerse desde un inicio. Esta podrá ser encabezada ya sea por el estado, por la iniciativa privada, o una alianza entre ambos. No obstante, para poder alcanzar la máxima eficiencia y compatibilidad

entre modos de transporte, es recomendable una alianza pública-privada. Esto se debe a que para desarrollar el servicio de movilidad, se requiere de aspectos gestionados por amabas partes. Por ejemplo, el internet y la tecnología de telecomunicaciones son gestionadas por el sector privado mientras que la mayoría de modos de transporte colectivos existentes son gestionados por el estado, así como la infraestructura vial (Shaheen et al., 2019).

Toda estrategia deberá de estar fundamentada en el contexto de la ciudad y en los habitantes que utilizarán el servicio. En secciones anteriores se habló sobre la búsqueda de un modo de transporte inclusivo que se adapte al entorno de la ciudad. Esto implica que el servicio debe ser tal para que cualquier persona pueda acceder a él de manera cómoda y que al utilizarlo sea seguro. Estos aspectos en conjunto con estudios de sitio son parte del proceso de entender a la comunidad y sus necesidades. De esta forma se logra alcanzar el objetivo de las ciudades inteligentes de diseñar servicios para las personas con la tecnología como herramienta de apoyo. Durante esta etapa resulta conveniente realizar entrevistas con los actores involucrados para ayudar a delimitar el problema y realizar talleres para la exploración de ideas preliminares fundamentados en el proceso de "Design Thinking"(ver Figura 30) (Shaheen et al., 2019).

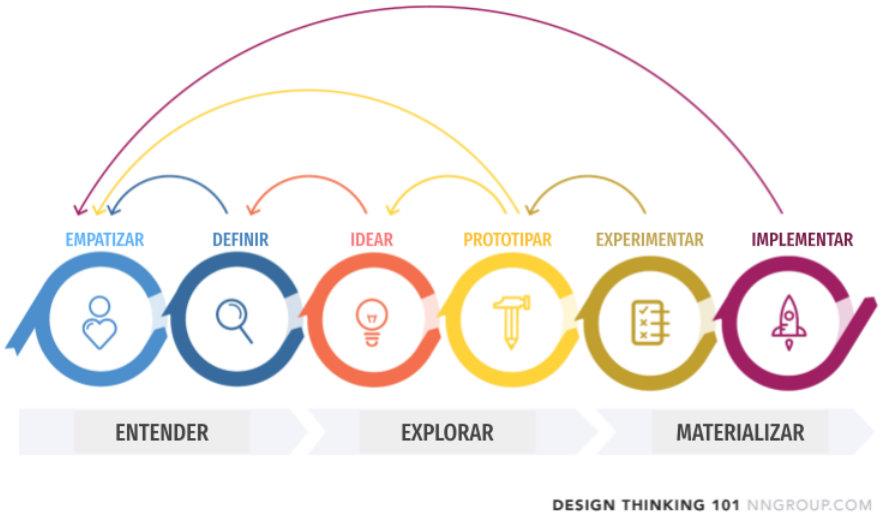


Figura 30. Proceso de design thinking
(Fuente: Gibbons, 2016)

Posteriormente se recomienda implementar y evaluar una serie de planes piloto para analizar la eficiencia del modo de transporte, observar que tan bien se adapta al contexto y realizar cambios si fuera necesario. Para ello podrán desarrollarse simulaciones y planes a distintas escalas para medir la adaptabilidad, rentabilidad y eficiencia del proyecto antes de llevarlo a cabo. En esta etapa se deberán de establecer los objetivos para ciudades inteligentes que se espera alcanzar por medio del proyecto. Estos deberán ser medibles y alcanzables para que al momento de ejecutar el proyecto sea posible analizar el grado de éxito del servicio. Por último, durante la fase de ejecución de un servicio es importante recordar que la planificación deberá ser flexible y capaz de responder a los hallazgos obtenidos de los datos (Shaheen et al., 2019).

XII. Bicicletas compartidas como modo de transporte de ciudades inteligentes

El uso de la bicicleta como modo de transporte se ha vuelto cada vez más popular en ciudades alrededor del mundo debido a sus beneficios, entre los cuales la optimización del espacio, la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO2) y la actividad física resultan en sus mayores atractivos. Por estas razones y por su conveniencia, la bicicleta compartida ha sido introducida en varias ciudades como un servicio de transporte alternativo, económico y amigable. Este servicio permite poner a la disposición del público en general el acceso a una bicicleta dentro de un intervalo de tiempo dado bajo una tarifa accesible. Por ejemplo, estos sistemas hacen posible prestar una bicicleta en una estación de bicicletas y devolverla en otra estación (Namiot & Sneps-Sneppe, 2019).

Al integrar la bicicleta como un servicio de movilidad en una ciudad los usuarios podrán optimizar su tiempo de viaje. Esto puede alcanzarse por medio de utilizar el servicio en conjunto con el transporte público para acortar el tiempo del recorrido. Por ejemplo, una persona que utiliza el autobús y se baja en la parada más cercana a su destino debe recorrer 5 cuadras a pie para llegar a su trabajo; sin embargo, podrá utilizar el servicio de bicicletas compartidas para finalizar el trayecto de 500 m. En la Ciudad de Guatemala, la ciclovía de la Universidad San Carlos de Guatemala (USAC) conecta la estación del transmetro más cercana con el establecimiento, beneficiando a 12,900 estudiantes a la semana (Quisque, 2017). Las personas que utilizan la bicicleta compartida también podrán ahorrarse tiempo en tráfico ya que las ciclovías no presentan el problema de la congestión vehicular (Namiot & Sneps-Sneppe, 2019).

El éxito de un servicio de bicicletas compartidas, además de tener una tarifa adecuada, depende de diversos factores como la ubicación de las estaciones de bicicletas, distancia entre estaciones, plataformas de pago, condiciones de las rutas, disponibilidad de bicicletas, entre otros. La integración de generación de data al servicio permite mejorar la eficiencia del mismo y aumentar la probabilidad de éxito. Esto se debe a que se tiene un flujo de información en tiempo real que permite detectar los destinos más populares, las horas de mayor demanda y la disponibilidad de bicicletas cada estación, por mencionar algunas aplicaciones. Con base en estos datos, los planificadores tienen una base de información que les permite tomar decisiones basadas en el contexto de la ciudad. De esta forma es posible adecuar y adaptar el servicio para responder a las necesidades del ciudadano. Además, a través de los datos se puede obtener información adicional sobre las características del usuario como su edad, sexo y frecuencia de uso. Con esta información es posible determinar la satisfacción de los usuarios, generar campañas o incentivos para grupos de usuarios minoritarios y consecuentemente aumentar el flujo de ciclistas (Namiot & Sneps-Sneppe, 2019).

La compatibilidad de distintos modos de transporte como los autobuses y las bicicletas compartidas es esencial para que más personas opten por este servicio. Para ello, al momento de planificar el servicio, las estaciones y rutas es importante generar centrales de transferencia: y servicios digitales que le informen a los usuarios la ubicación de los mismos, la cantidad de bicicletas disponibles y en el caso de transporte público los horarios de arribo de los buses a las estaciones. Las personas que vivan fuera de la ciudad o que deban recorrer distancias mayores a a 15 km podrán optar por utilizar diferentes modos de transporte para llegar a su destino, de manera que su tiempo de viaje sea el más corto y su experiencia sea cómoda.

Una de las consideraciones y desafíos de la bicicleta compartida es la reubicación de bicicletas. Esto representa uno de los mayores costos del servicio ya que se debe asegurar que cada estación cuente con el número adecuado de unidades. Especialmente, cuando se encuentran en puntos como

la USAC en donde existe un flujo matutino hacia la universidad de muchos usuarios y un flujo casi nulo de regreso, es necesario reubicar las bicicletas para abastecer la demanda. Las rutas de los vehículos que reubicarán las bicicletas deberán de ser consideradas así como los horarios en los que lo harán y la cantidad de unidades necesarias. Sin contar con datos sobre las demandas por días, información sobre el transito vehicular este problema resulta complejo. No obstante, por medio de la generación de datos es posible tener una mejor planificación sobre los horarios de reubicación considerando factores como el clima, si es un día laboral o un fin de semana, etc (Namiot & Sneps-Sneppe, 2019).

La satisfacción y el confort de las personas que utilizan el servicio es determinante para el éxito o el fracaso del mismo. Por medio de la tecnología es posible crear aplicaciones para que las personas califiquen el servicio y den retroalimentación sobre las condiciones de la bicicleta y los parqueos, por ejemplo. Al final lo importante es recordar que por medio de las ciudades inteligentes el desarrollo de un sistema de bicicletas compartidas permitirá introducir la alternativa de movilidad para que sea amigable y adecuada a las personas de la ciudad donde se implementará (Namiot & Sneps-Sneppe, 2019).

A. Casos de éxito

1. Ecobici. El servicio de Ecobici es un sistema de bicicletas públicas disponible en la ciudad de México para recorrer distancias cortas y medias. Ecobici cuenta con 480 estaciones distribuidas en 55 colonias y una flotilla de 6,800 bicicletas las cuales son utilizadas dentro de una zona de uso (espacio delimitado para el funcionamiento del servicio) de 38 km2. Dentro de la zona de uso se encuentran ciclovías protegidas y calles de uso compartido. Posee dos tipos de bicicletas: bicicletas convencionales (mecánicas) y bicicletas de pedaleo asistido (eléctricas) (Gobierno de la Ciudad de México, 2022a).

El uso del servicio es a través del pago de una suscripción por un período de tiempo definido, pudiendo ser de un año, una semana, tres días o un día. De estas la tarifa más competitiva es la anual, con un costo de Q201.75, equivalente a Q16.81 mensuales. Cualquiera de las tarifas incluye recorridos ilimitados en períodos de tiempo de 45 minutos diarios y tarifas adicionales si los viajes exceden este tiempo. Adicionalmente, el sistema de bicicletas compartidas es compatible con el transporte colectivo. El éxito del servicio se ve reflejado en el crecimiento en cuanto a la cantidad de estaciones y bicicletas, ya que al iniciar operaciones el servicio contaba únicamente con 84 estaciones y 1,200 bicicletas y una zona de uso de 9 km2. En la Figura 31 es posible observar la cantidad de viajes en por año (Gobierno de la Ciudad de México, 2022a).

2. El Bicing. El Bicing es un servicio de transporte público a través de bicicletas compartidas disponible en la ciudad de Barcelona para usuarios mayores a 16 años. Este cuenta con una flotilla de 5,000 bicicletas mecánicas y 2,000 bicicletas eléctricas distribuidas en 519 estaciones. Al igual que el sistema de Ecobici, este está diseñado para estar integrado y ser compatible con alternativas de transporte colectivo como: metro, tren, bus, tranvía y tren. El uso del servicio se puede hacer a través de métodos distintos: una tarjeta inteligente recargable sin contacto, una aplicación móvil y un teléfono inteligente que cuente con NFC (Near Field Communication) de manera que sea accesible a la mayor cantidad de usuarios. En cuanto a tarifas, el servicio cuenta con dos tarifas diferenciadas: una para usuarios regulares (abono tarifa plana) y otra tarifa para uso ocasional. El servicio de Bicing cuenta con tarifas accesibles de menos de 5 euros al mes y una cobertura las 24 horas, los 365 días del año (Bicing, 2022).



Figura 31. Usos Globales Ecobici
(Fuente: Gobierno de la Ciudad de México, 2022a)

Además de las ventajas en ahorros en tiempos de viaje y sostenibilidad al utilizar el servicio, Bicing posee recompensas para sus usuarios como descuentos en productos y servicios que se relacionan con un estilo de vida sostenible entre los cuales se encuentran las categorías de alimentación, cultura, danza y deporte, estética y salud, hogar y regalos, restaurantes, ropa, servicios y talleres. También cuenta con una aplicación para consultar las estaciones más cercanas, la cantidad de bicicletas y parqueos disponibles, reservar una bicicleta y para la acumulación de puntos canjeables acumulados con base en las distancias recorridas. Esta estrategia maximiza los beneficios de los usuarios y aumenta la cantidad de usuarios que utilizan Bicing (Bicing, 2022). En la actualidad el servicio cuenta con un promedio de 44,808 viajes diarios en días laborales y obtuvo un total de viajes acumulados en el 2021 de 14,735,512 (Bicing, 2020).

3. Santander Cycles. El sistema de bicicletas Santander Cycles es un servicio de bicicletas compartidas de uso público en Londres. Su funcionamiento es similar al Bicing ya que cuenta con una aplicación para el uso y pago de las bicicletas pero también cuenta con la opción de realizar pagos con tarjeta en las terminales de bicicletas a través de un Totem. El sistema cuenta con 12,000 bicicletas y 800 estaciones (Visit London, s.f.). El costo para desbloquear la bicicleta es de 2£ y cuenta con 30 minutos gratis y una tarifa fija de 2£ por cada 30 minutos adicionales. La aplicación permite a los usuarios consultar la disponibilidad de bicicletas en tiempo real en las estaciones, así como la cantidad de parqueos por estación. De igual forma es posible planificar viajes y obtener información sobre el costo del viaje. También cuenta con una tarifa preferencial para usuarios regulares de 90£ anuales, equivalente a Q75.58 mensuales (Transport for London, 2022).

B. Equipamiento tecnológico

Como se ha mencionado a lo largo de la investigación, el equipamiento tecnológico es esencial para el éxito y proceso de constante mejora de un sistema de transporte como la bicicleta compartida. Este equipamiento deberá abarcar diferentes aspectos como: la inspección y cuantificación

de los flujos de usuarios en las rutas existentes, el monitoreo del tipo de usuarios que utiliza el servicio, la salud y los niveles de confort (Ryus et al., 2014). El fin de la incorporación de una capa de infraestructura digital se relaciona con la visión de ciudades inteligentes y busca generar datos sobre el funcionamiento del sistema.

El levantamiento de información relacionado al conteo no motorizado como peatones y ciclistas tiene como objetivo generar un repositorio de información para la toma de decisiones en cuanto a la planificación y adecuación de ciclovías. Dentro de sus principales aplicaciones se encuentra el monitoreo de cambios en los flujos de ciclistas a lo largo de un período de tiempo, analizar la efectividad de mejoras en la vía pública o su impacto, generar proyecciones de volúmenes de usuarios anuales, determinar horas pico, rutas populares, susceptibilidad al clima, entre otros. Con base en esta información la toma de decisiones se encuentra apoyada en datos reales. Además, es posible analizar diferentes escenarios y contemplar múltiples variables, que sin la generación de datos a través de la infraestructura digital, serían difíciles y costosos de analizar (Ryus et al., 2014).

1. Monitoreo de rutas. Gracias a los avances tecnológicos, en la actualidad existen múltiples alternativas automatizadas para registrar la cantidad de ciclistas que transitan por una ciclovía. A continuación se presentan y comparan algunas de las tecnologías disponibles (ver Cuadro 1). Es importante reconocer sus aplicaciones, limitaciones y tiempos de uso, para contar con una capa de información capaz de proveer los datos necesarios.

Otras tecnologías para la generación de datos referentes a las rutas transitadas abarcan el uso de GPS e identificadores por radiofrecuencia (RFID). La principal diferencia entre los sensores presentados y estas tecnologías reside en la necesidad de colocación de un dispositivo (GPS o RFID) por bicicleta. En este caso, únicamente las bicicletas que pertenezcan al sistema de bicicletas compartidas serán contabilizadas. No obstante, la capacidad de levantamiento de recorridos provee información valiosa adicional que podrá correlacionarse con el perfil de usuarios. Por ejemplo, será posible determinar la distancia promedio recorrida por personas de cierto género y edad. Por otro lado, se podrá evaluar la frecuencia de uso de la bicicleta por usuario y determinar las rutas preferidas (Ryus et al., 2014). Inclusive se podrá observar si se moviliza en vialidades no adaptadas para ciclistas, en contra vía, entre otros. Esta información representa una fuente de datos esencial para los planificadores de nuevas rutas.

Los RFIDs son un tipo de etiqueta que se coloca adherida/integrada a las bicicletas de manera que puedan ser registradas por lectores (antenas que emiten una frecuencia específica) ubicados en un rango máximo de 5-10 m de las etiquetas. En las bicicletas compartidas, se utilizan principalmente para registrar cuando una bicicleta es retirada de una estación y cuando es retornada a otra estación. El lector de las etiquetas se encuentra dentro de las estaciones. Por otro lado, algunas estaciones especializadas de bicicletas permiten registrar qué bicicleta fue retirada de la estación y en qué estación y posición se retornó (Ryus et al., 2014). Esta tecnología también podrá ser utilizada para sistemas de bloqueo como sistemas de anti-robo.

2. Monitoreo de usuarios. El monitoreo de usuarios busca obtener información relacionada al tipo de usuarios. Por lo que características como el género, la edad, e información sobre su comportamiento son de interés. Esta información podrá ser recopilada a través de una aplicación móvil para el uso del servicio de bicicletas compartidas las cuales solicitan a los usuarios la generación de un perfil con datos demográficos. Cada vez que un usuario se registre en la aplicación y haga uso del servicio, se obtendrá información en tiempo real del tipo de personas que emplean las bicicletas compartidas. Adicionalmente, se podrá complementar el monitoreo del uso de las bicicletas

Sensor	Funcionamiento	Temporalidad	Tipo de usuarios registrados por el sensor						Datos registrados adicionales	Precisión	Limitantes	Instalación	Costo incial	Costos de operación
			CA de todos los usuarios	CA peatones y ciclistas	CA bicicletas y vehículos	CAI de bicicletas	CAI peatones	CAI vehículos motorizados						
Conteo Automatizado a partir de videos	Uso de algoritmos computarizados para el procesamiento de videos y detección de peatones o ciclistas.	Permanente.				x	x	x	Dirección y características del usuario (género y edad aproximada). Pueden calcular velocidad.	Varía según proveedor y condiciones de instalación.	Suceptibilidad al deslumbramiento solar y la falta de iluminación.	Se coloca sobre postes para elevar la cámara. Se deben evitar zonas de vibración y deslumbramiento solar.	$1000 a $1,300	Elevados
Magnetómetros	Detectan cambios en el magnetismo de la tierra cuando las partes metálicas de las bicicletas pasan sobre ellos.	Permanente			x					No se cuenta con información al respecto.	No diseñado especificamente para conteos de ciclistas.	Se colocan enterrados en el suelo.	No se cuenta con información.	No se cuenta con información.
Tiras piezoeléctricas	Conformadas por dos tiras que emiten una señal eléctrica que se ve deformada por las llantas de la bicicleta.	Uso permanente.			x				Dirección y velocidad.	89%	No se puede usar en lugares de tráfico mixto. No son precisos cuando varios ciclistas pasan sobre el sensor al mismo tiempo.	Se colocan empotradas en el pavimento. Dificultad para detectar bicicletas no convencionales. A colocar en puntos donde no se detendran los ciclistas.	$1000 a $1,300	Bajos
Contadores de Tubos Neumáticos	Comprende dos tubos de hule colocados sobre la calle/ciclovía en el punto de medición de forma perpendicular a la dirección del tránsito. Es capaz de detectar la dirección de los usuarios y el tipo de usuario a través de la presión ejercida (la cual genera un pulso de aire en el interior que viaja hasta un detector en donde se registra el conteo), la duración de la presión, espaciamiento entre llantas, etc	Uso temporal.				x		x	Dirección y velocidad.	85% hasta el 100%	Uso a corto plazo. Suceptibilidad al robo.	Se colocan sobre el pavimento, perpendiculares a la dirección del flujo en puntos donde no se detendrán los ciclistas. Se sujetan por medio de cintas o clavos.	$1000 a $1,300	Medios
Detectores de bucle de inducción	Conformado por cables sobre los cuales circulan pequeñas corrientes eléctricas para generar un campo magnético. Los elementos metálicos de las bicicletas generan cambios sobre el campo magnético cuando pasan sobre el sensor permitiendo así registrar la cantidad de usuarios.	Permanente o temporal				x		x	Presencia de ciclistas en intersecciones esperando la luz verde del semáforo.	90%	Uso temporal limitado a un solo uso.	Se colocan empotradas en el pavimento. No es posible detectar ciclistas que pasan al mismo tiempo sobre el sensor. Suceptibles a interferencia electromagnética. Problemas para reconocer bicicletas no convencionales.	$1000 a $1,300	Bajos
Sensor térmico	Sensores que generan imágenes a través del calor emitido por el cuerpo humano.	Permanente.		x					Dirección.	No se cuenta con información de ensayos suficienctes para proveer esta información.	No se cuenta con información de estudios que indique las limitantes.	Se requiere de una fuente de energía externa y un punto de colocación elevado sobre el punto de medición.	No se cuenta con información.	No se cuenta con información.

Cuadro 1

Sensores para conteo de ciclistas parte 1

*En donde CA representa conteo agrupado y CAI conteo aislado.

(Fuente: Elaboración propia con base en datos de (Ryus et al., 2014))

Sensor	Funcionamiento	Temporalidad	Tipo de usuarios registrados por el sensor						Datos registrados adicionales	Precisión	Limitantes	Instalación	Costo incial	Costos de operación
			CA de todos los usuarios	CA peatones y ciclistas	CA bicicletas y vehículos	CAI de bicicletas	CAI peatones	CAI vehículos motorizados						
Sersor infrarrojo activo	Emiten luz infrarroja desde un punto emisor a un punto recibidor y detectan cuando el haz de luz es interrumpido.	Permanente o temporal	x						Dirección.	91%	No pueden distinguir ciclistas de peatones. No pueden colocarse en ubicaciones donde habrá acumulación de peatones o ciclistas. Suceptibles a conteos falsos ocacionados por animales, objetos, lluvia, hojas, etc. No pueden contar ciclistas que tranuiten el uno al lado del otro. No puede utilizarse para mediciones sobre calles.	Se requiere de dos postes, uno para el emisor y otro para el recibidor.	más de $3000	Bajos
Sensor infrarrojo pasivo	Detectan ciclistas y peatones al comparar la temperatura del fondo con la radiación infrarroja que emiten las personas que pasan dentro del campo de visión del sensor.	Permanentes.	x						Dirección.	Entre el 83% y 97% dependiendo del equipo.	No pueden distinguir ciclistas de peatones. Suceptibles a errores de conteo por obstrucciones ocasionadas por grupos de personas. Suceptible a temperaturas extremas.	Se montan sobre postes a una altura entre 60 y 90 cm. Se debe evitar colocarlos en puntos donde se detendrán los peatones o los ciclistas.	$1000 a $1,300	Bajos
Sensores de ondas de radio	Cuentan con un emisor y un receptor y detectan cuando las ondas se ven interrumpidas por ciclistas o peatones.	Permanente o temporal.	x			x	x		Dirección.	69% al 73%	Son suceptibles a obstrucción en grupos de peatones o ciclistas.	Se debe colocar al emisor y al receptor uno enfrente del otro (separación alrededor de 3m). Pueden colocarse en postes o escondidos detrás de algunos objetos mientras sean delgados y de plástico o madera.	más de $3000	Bajos
Sensores de presión de fibra óptica	Registran cambios en la cantidad de luz transmitida a través del cable de fibra óptica enterrado en el recorrido gracias a la presión ejercida sobre el mismo.	Permanente.				x		x	Peso de vehículos	No se cuenta con información al respecto.	Proceso de instalación especializado.	Se colocan dentro de aberturas en el pavimento.	No se cuenta con información.	No se cuenta con información.
Sensores de tecnologia radar y LIDAR	Combinación de tecnología radar y LIDAR para detección de ciclistas.	Permanente o temporal.				x	x	x	Dirección y velocidad.	98%	No se cuenta con información de estudios que indique las limitantes.	Se instala elevado en un poste sobre el punto de medición.	No se cuenta con información.	No se cuenta con información.
Escáneres Laser	Registran peatones y ciclistas mediante la emisión de pulsos láser en diferentes direcciones y el análisis de sus reflexiones. En la actualidad existen dos tipos, horizontales y verticales	Permanente.				x	x			97%	Disminución de precisión durante precipitación y niebla.	De tipo horizontal requieren una ubicación sin obstrucciones. De tipo vertical requieren un punto de colocación elevado sobre el punto de medición. Adicionalmente se requiere una conexión eléctrica.	No se cuenta con información.	No se cuenta con información.

Cuadro 2

Sensores para conteo de ciclistas parte 2

*En donde CA representa conteo agrupado y CAI conteo aislado.

(Fuente: Elaboración propia con base en datos de (Ryus et al., 2014))

a través de cámaras que cuenten con un software que permita la detección de características como edad aproximada y género. Esta información será utilizada para determinar las características de los usuarios y analizar el comportamiento de los mismos. Con base en ella, será posible identificar grupos minoritarios y crear programas sobre los cuales se incentive el uso de la bicicleta dirigido a estas minorías. Así mismo se podrán realizar estudios complementarios para determinar las razones por las que un grupo es minoritario (Ryus et al., 2014).

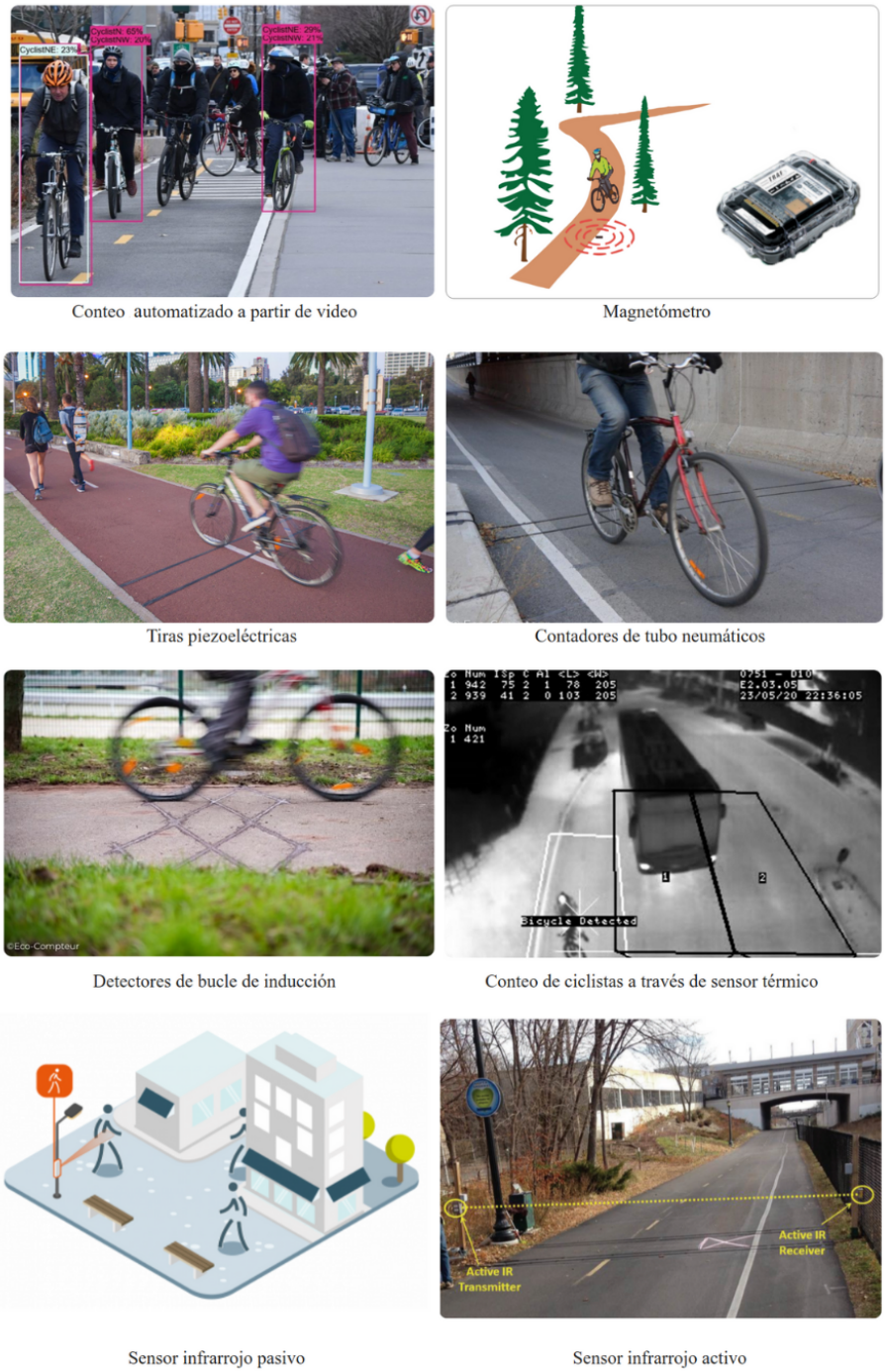


Figura 32. Equipamiento digital

3. Salud y confort.

a. Niveles de ruido. A través de los sensores disponibles en el mercado (sonómetros) es posible medir los niveles de ruido en un punto dado y determinar si se encuentran o no dentro de los límites recomendados por la OMS para no provocar daños irreversibles a las personas. Aunque esta tecnología se suele utilizar para analizar el impacto de los niveles de presión sonora en vecindarios,



Figura 33. Equipamiento digital parte II

podrá ser de relevancia en sistemas de transporte basados en la bicicleta. Esto se debe a que altos niveles de ruido ocasionan experiencias sensoriales no placenteras que disminuyen el número de usuarios que transitan una ruta, así como presentan riesgos para la salud derivados de períodos de exposición prolongados o continuos. Al reconocer vialidades con niveles de ruido no adecuados, se deberá optar por intervenir las mismas o por evitar trazar rutas para ciclistas en ellas (Munisense, s.f.)

b. Calidad del aire. La calidad del aire en zonas urbanas como la Ciudad de Guatemala se ve afectada por la contaminación derivada de la circulación de vehículos motorizados, la pérdida de áreas verdes y el desarrollo tanto industrial como de proyectos de construcción. Los peatones, motociclistas y ciclistas son usuarios más vulnerables a esta contaminación al contar con una mayor exposición a los contaminantes. En las ciudades inteligentes es de importancia el monitoreo de la calidad del aire para identificar las fuentes de contaminación y contar con información en tiempo real sobre la misma para brindar recomendaciones a los ciudadanos sobre posibles riesgos a la salud. La ciudad de México cuenta con una red de sensores capaces de medir la calidad del aire (partículas en suspensión, gases otros contaminantes) y emitir recomendaciones a la población con base en los límites de protección para la salud del país, para reducir o evitar las actividades al aire libre cuando los índices de calidad del aire sea mala (Gobierno de la Ciudad de México, 2022b). Compañias como OIZOM ofrecen sensores que permiten tomar estas mediciones y que además pueden obtener información sobre los niveles de ruido, velocidades del viento, temperatura, etc (OIZOM, s.f.).

4. Zona de uso. Como todo servicio de bicicletas compartidas, se deberá establecer la zona de uso. Esta zona abarca un espacio determinado dentro de un territorio cuyo tamaño ha sido definido por el proveedor del servicio de manera que las bicicletas solo están autorizadas a circular dentro de un área establecida. La zona de uso podrá contar con áreas restringidas dentro de ella como por

ejemplo dentro de parques o espacios únicamente peatonales. Por lo general, la zona de uso está delimitada por las vialidades sobre las cuales se estipula que el modo de transporte puede operar en condiciones óptimas. La zona de uso deberá estar indicada en la aplicación de las bicicletas compartidas para evitar que los usuarios se salgan de la zona de uso.

5. Aplicación móvil y plataforma. Como se ha observado en los casos de éxito de sistemas de bicicletas compartidas, el contar con una aplicación permite maximizar los beneficios del servicio al mejorar la interacción del usuario con el mismo. Esto se logra a través de la incorporación de servicios y funciones adicionales que aumentan el confort de las personas como: la capacidad de conocer la ubicación de las estaciones y la disponibilidad de bicicletas, planificación de rutas, pagos a través de la misma, acceso a soporte en caso de emergencias, entre otros (Bicing, 2022). Los datos recolectados por medio de la aplicación y los sensores integrados a la infraestructura (bicicletas, ciclovías, estaciones, etc.) para el funcionamiento del sistema deberán ser procesados y almacenados en una plataforma web. Esta será utilizada por los planificadores del servicio para conocer información de relevancia sobre el funcionamiento del sistema de bicicletas compartidas como la demanda por ubicación, las características de los usuarios (edad, sexo y regularidad de uso, por mencionar algunos ejemplos), conocer el estado la infraestructura (a través de denuncias o reportes efectuados por los usuarios), etc. Esta información servirá para adecuar la planificación del sistema con base en la demanda, tomar acciones para incrementar el número de usuarios y mejores decisiones al momento de ampliar la cobertura del servicio en cuanto al posicionamiento y tamaño de estaciones así como a los trazos de las rutas (Ryus et al., 2014).

XIII. METODOLOGÍA

A. Comparativa entre alternativas de transporte principales

Se seleccionó a los modos de transporte principales (automóvil, motocicleta, Transmetro, Transurbano y buses urbanos) a ser comparados con la bicicleta compartida bajo los siguientes parámetros:

- Grados de libertad: capacidad de elegir la propia ruta. El valor 1 se asigna a modos de transporte cuyos recorridos están restringidos a una ruta específica y a paradas preestablecidas. El valor 2 se asigna a los modos cuyas rutas y paradas son flexibles.
- Relación pasajeros/ espacio ocupado: condición que relaciona la eficiencia del espacio ocupado por cada modo de transporte con base en la capacidad de pasajeros promedio que es capaz de transportar. Una relación alta significa que en un espacio reducido es capaz de transportar una alta cantidad de pasajeros.
- Impacto ambiental en términos de emisiones de CO2: se asigna una ponderación con base en las emisiones de CO2 asociadas al modo de transporte.
- Niveles de ruido dBAs: clasificación de los niveles de presión sonora medidos en decibelios con base en la ponderación A (adaptados a la percepción auditiva humana) con respecto al resto de modos comparados.
- Beneficios de la actividad física: se consideró la actividad física asociada a la movilidad en cada modo de transporte.
- Resiliencia ante las condiciones climáticas no favorables: criterio que funge como indicador de la susceptibilidad de cada modo de transporte a condiciones climáticas no favorables como la lluvia.
- Susceptibilidad al tráfico: determina qué tan susceptible es un modo de transporte en comparación con el resto al tráfico vehicular.
- Susceptibilidad a los precios de combustibles: determina qué tan susceptible es un modo de transporte a los cambios en los precios de los combustibles (en cuanto a precios para movilizarse).
- Flexibilidad de horario: determina qué tan flexible o restringido es un modo de transporte en cuanto a los horarios y momentos en que los usuarios pueden acceder a este modo de transporte para movilizarse.
- Susceptibilidad al COVID-19: determina qué tanto se ve afectado por el aumento de casos de COVID-19 un modo de transporte.

B. Encuesta de auto-llenado digital

Se realizó una encuesta de auto llenado en la plataforma web Typeform. Esta incluye preguntas de selección múltiple y preguntas abiertas para determinar las razones principales de la elección del

modo de transporte primario, la disponibilidad a optar por otro modo de transporte,caracterización del usuario, obstáculos para el uso de la bicicleta compartida en Guatemala, requerimientos que debe contar el servicio de bicicletas compartidas, percepción y aceptación de la bicicleta como modo de transporte y los orígenes y los destinos de los viajes de los usuarios potenciales. Para la estructuración de preguntas se empleó la siguiente lógica (ver Figura 34).

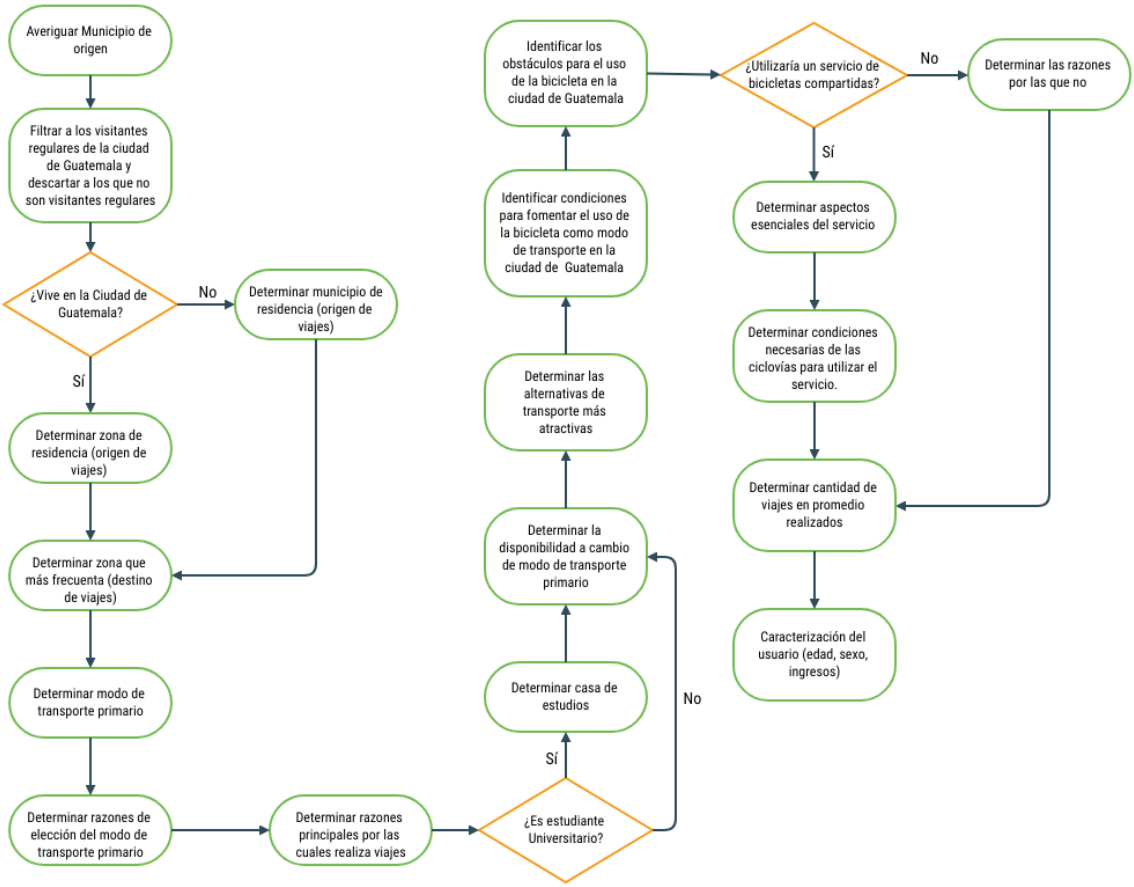


Figura 34. Lógica estructuración de encuesta
(Fuente: Elaboración propia)

El tamaño de la muestra se calculó utilizando la herramienta: Sample Size Calculator, de "The Survey System"(ver Figura 35). Se trabajó con un intervalo de confianza del 90 % y un margen de error del 10 %. El tamaño de la población inicial se obtuvo de los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) con base en los datos de estadísticas de educación superior del 2019 (ver Cuadro 3). Se distribuyó la encuesta a través de grupos de whatsapp, facebook, correo electrónico y se pidió apoyo a catedráticos y docentes en las diferentes universidades de la ciudad de Guatemala para distribuir la encuesta.

Matriculados por año según sexo 2019

Año	**Total de estudiantes matriculados**	**Sexo**	
		Masculino	**Femenino**
2019	400,213	188,063	212,150

Cuadro 3
(INE, 2019)

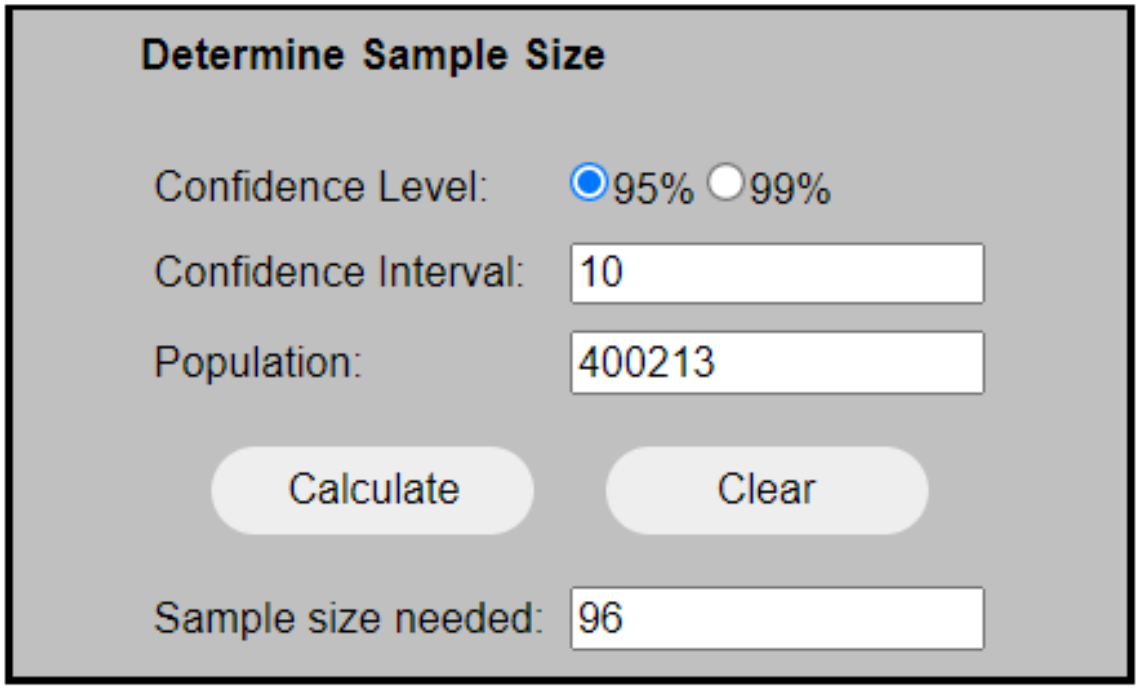


Figura 35. Calculadora Sample Size

C. Interpretación de resultados de encuesta

Para el análisis de los resultados se partió de la hoja de respuestas y el reporte generado por la plataforma Typeform. Se filtraron los resultados para agruparlos por respuestas y se determinaron los elementos más importantes al momento de elegir el modo de transporte, la aceptación al cambio del modo de transporte primario, las características de los usuarios, aceptación a un servicio de bicicletas compartidas y las características necesarias del servicio así como los principales obstáculos a intervenir para la factibilidad del modo de transporte. Para el análisis de las preguntas de respuesta abierta se empleó el método antropológico de agrupación de conceptos (codificación de patrones de respuesta). Este consiste en agrupar por repetición de conceptos o ideas las respuestas cualitativas. Se asigna un contador por concepto y se le adiciona uno cada vez que se hace referencia a una idea a manera de obtener resultados cuantitativos.

Así mismo, se generó un matriz (ver Cuadro 4 y Cuadro 5) para analizar los orígenes y destinos de los viajes realizados por los universitarios y se elaboró un mapa de flujos de viaje con base en las respuestas de la encuesta empleando el software QGIS:. Se obtuvo el centroide de cada una de las zonas de la ciudad de Guatemala y los centroides de los municipios aledaños a través de las herramienta vectorial de geometría centroides. Una vez obtenidos los centroides generó un archivo .csv con dos columnas, en la primera los orígenes de los viajes (zona de residencia o municipio de residencia para las personas que no habitan en la ciudad) y en la segunda los destinos de los viajes (zona de la ciudad destino). El archivo se importó a QGIS y a través del plugin "Point Connector"se seleccionó el archivo .shp de los centroides y el archivo .csv con la información de los orígenes y destinos para la generación automática de flechas conectando los orígenes y destinos. Posteriormente este mapa se utilizó para evaluar la validez de la selección del área de estudio.

Origen de viajes (Zona Ciudad de Guatemala)	Destino de viajes (zona ciudad de Guatemala)													Cantidad de viajes desde la zona de origen
	1	2	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	
2	1											1	1	3
4												1		1
5												4		4
6							1					1		2
7													1	1
8								1						1
10			1				5						2	8
11										1		3	2	6
12							2					2	1	5
13					1		1	1					1	4
14					1		2	1				1	2	7
15							4		2			4	3	13
16							12					7	5	24
18												1	1	2
21												1		1
Total general	1	0	1	0	2	0	27	3	2	1	0	26	19	82

Cuadro 4

Orígenes y destinos de encuestados residentes de la Ciudad de Guatemala
(Fuente: Elaboración propia)

Origen de viajes (Municipio)	Destino de viajes (zona ciudad de Guatemala)										Cantidad de viajes desde la zona de origen
	1	2	6	8	10	11	12	14	15	16	
Chinautla										1	1
Fraijanes					4				3	1	8
Mixco	1	1	1	1	8	1			6	4	23
San José Pinula					2				2		4
San Miguel Petapa							1		1		2
Santa Catarina Pinula					5			1	1	1	8
Villa Nueva									2	1	3
Vivo fuera del departamento de Guatemala						1			2		3
Total general	1	1	1	1	19	2	1	1	17	8	52

Cuadro 5

Orígenes y destinos de encuestados residentes en la periferia de la Ciudad de Guatemala
(Fuente: Elaboración propia)

D. Caracterización del territorio

Con el objetivo de generar una base cartográfica, se caracterizó la zona de estudio a través de un levantamiento de datos. Esta información se utilizó para generar la propuesta de nuevas rutas, identificación de obstáculos y lineamientos generales de diseños. Como referente de base cartográfica se trabajó con la Estrategia de movilidad en bicicleta de la Ciudad de México. A continuación se expresarán los criterios considerados y las cartografías generadas dentro del proyecto de investigación.

Para el levantamiento de información se utilizó Google Earth en línea y Google Maps. Los mapas fueron elaborados en el software QGIS versión 3.12.3 Bucuresti, el sistema de coordenadas: de referencia (SCR) utilizado es el UTM para la zona 14 N y el datum utilizado es el datum universal WGS84. Todos los mapas se imprimen en un formato A4 a una escala de 1:3,500. Se utiliza la extensión del mapa: Xmin=766,973.379, Ymin=1,612,834.558, Xmax=773,480.043 y Ymax=1,617,911.482. En todos los mapas se colocó un mapa de referencia que engloba al municipio de Guatemala, el cual es trabajado a una escala 1:574,619 y la extensión del mapa utilizada es: Xmin= 758,661.640, Ymin= 1,607,245.880, Xmax=785,829.455 y Ymax= 1,629,035.269. Los shapes: utilizados varían según el mapa, no obstante se emplean como base las siguientes: área construida de la ciudad de Guatemala, área de estudio y las calles de la ciudad de Guatemala.

1. Barreras. Las barreras son todos aquellos obstáculos, naturales o urbanos, que dificultan la movilidad en bicicleta a través de ellas y que dividen el entorno en dos o más territorios de menor tamaño. Las barreras urbanas son todos aquellos elementos u obstáculos construidos por el hombre que por su naturaleza limitan e impiden el paso de forma segura a través de ellas. En esta investigación se reconocen dos tipos de barreras urbanas, las barreras viales y las barreras por uso de suelo:. Por otro lado las barreras naturales son todas aquellas que se generan por las condiciones del territorio y cuyo origen es natural.

a. Barreras urbanas viales. Se consideraron como barreras urbanas viales todas aquellas vialidades (calles, avenidas, bulevares) que por su cantidad de carriles, alto flujo vehicular y altas velocidades representan un impedimento para el ciclista al momento de querer cruzar de un lado al otro de la vía. Según la guía de estrategia de movilidad de la UNAM y el Gobierno del Distrito Federal Secretaría del Medio Ambiente, las barreras viales por sus características no se consideran aptas para la construcción de infraestructura para ciclistas y deberá buscarse vías alternas. Su proceso de selección se hace con base al mapa de tipologías viales del Plan de ordenamiento territorial (POT) (ver Figura 7) seleccionando las que pertenecen a la categoría T5, T4 T3X y T3 (bajo criterio). Para ello, se parte del shape de Tipología Vial generado con base en datos del POT y se generó un nuevo shape con las vialidades que pertenecen a esta categoría. Posteriormente, se procedió a caracterizar aquellas barreras viales dentro de la zona de estudio indicando su límite de velocidad (obtenido a través de visitas de campo y consultas a la página de waze cuando no se identificó señalización de límites de velocidad), tipología vial según el POT y cantidad de carriles. Adicionalmente, se incluyen dentro de este tipo de barreras los pasos a desnivel, los cuales podrán o no estar ubicados sobre las vialidades catalogadas como barreras viales. Su selección se hace con base en imágenes satelitales, visitas de campo a las zonas de estudio e información solicitada a la Unidad de Información Pública de la Municipalidad de Guatemala. Se generó un archivo .kml en Google Earth y posteriormente se cargó al proyecto en QGIS para elaborar el mapa de barreras viales (ver Figura 36).

b. Barreras urbanas por uso de suelo. Las barreras urbanas por uso de suelo, como su nombre lo indica, son todas aquellas que se generan por el carácter de uso de un determinado espacio,

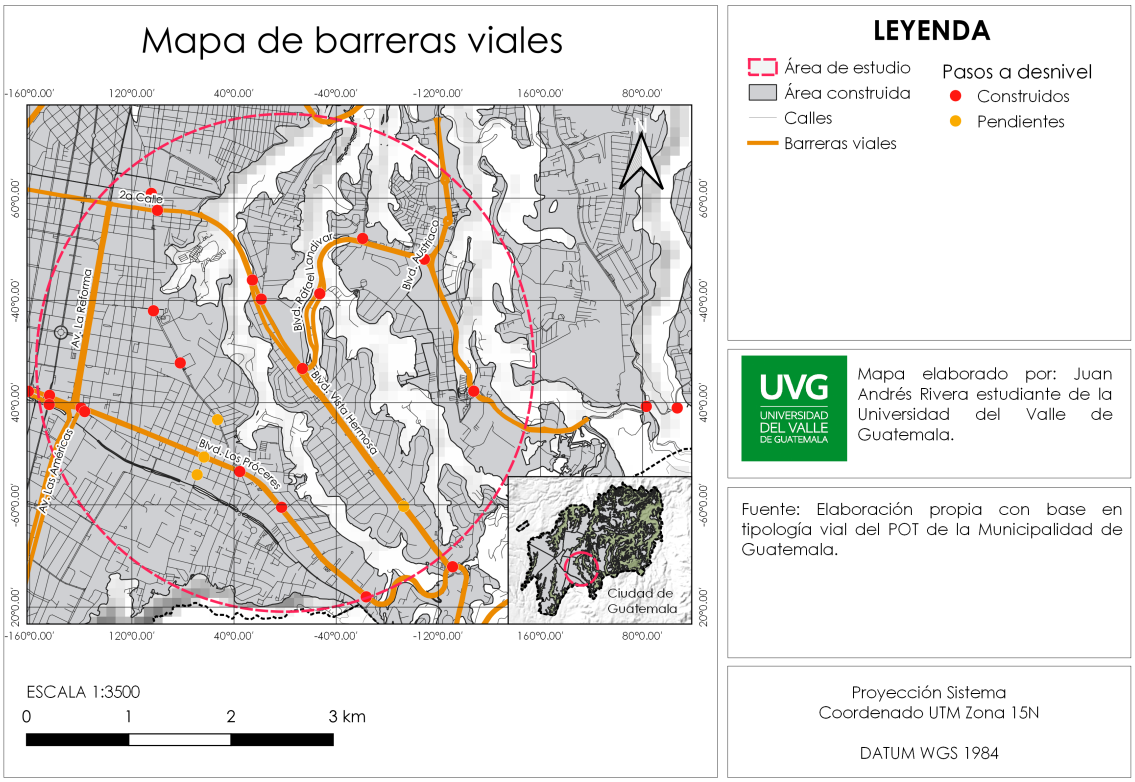


Figura 36. Mapa barreras viales
(Fuente: Elaboración propia)

interrumpiendo el paso libre a través de ciertas zonas o bloqueando la continuidad de las vialidades existentes en grandes extensiones de terreno. Dentro de esta categoría se encuentran los residenciales privados y las propiedades que interrumpen el paso de una calle de un lado a otro de una o varias cuadras. Estas se delimitan por medio del uso de imágenes satelitales, apoyadas con información de Open Street Maps (OSM) y visitas de campo. Dentro de este apartado se omiten las colonias con garitas como Vista Hermosa I y Oakland, que si bien limitan el acceso vehicular estas no pueden negar el ingreso a una persona a la colonia dado que las calles pertenecen a la Municipalidad de Guatemala y no son residenciales privados. El criterio de selección de barreras por uso de suelo se establece con base en la guía de estrategia de movilidad y la base cartográfica de la UNAM y el Gobierno del Distrito Federal Secretaría del Medio Ambiente. Después de haber identificado las barreras urbanas por uso de suelo se genera un shape tipo polígono para delimitar las mismas y se presentan en el mapa de la Figura 37.

c. Barreras naturales. Para el área de Estudio y la Ciudad de Guatemala, las barreras naturales son los barrancos. No obstante, en otras ciudades estas podrían contemplar ríos, cerros, montañas, etc. Se trabajó con el shape de barrancos de Fundaeco para generar la cartografía de este apartado (ver Figura 38). Adicionalmente, se utilizó la herramienta de geoprocesos de cortar para obtener el shape de área construida creado como una capa nueva al eliminar del shape de zonas de la ciudad de Guatemala la intersección entre este shape y los barrancos.

2. Distritos. Los distritos son áreas de menor tamaño dentro del entorno construido de la ciudad. Se generan y se encuentran delimitados por las barreras urbanas y/o naturales. Su carac-

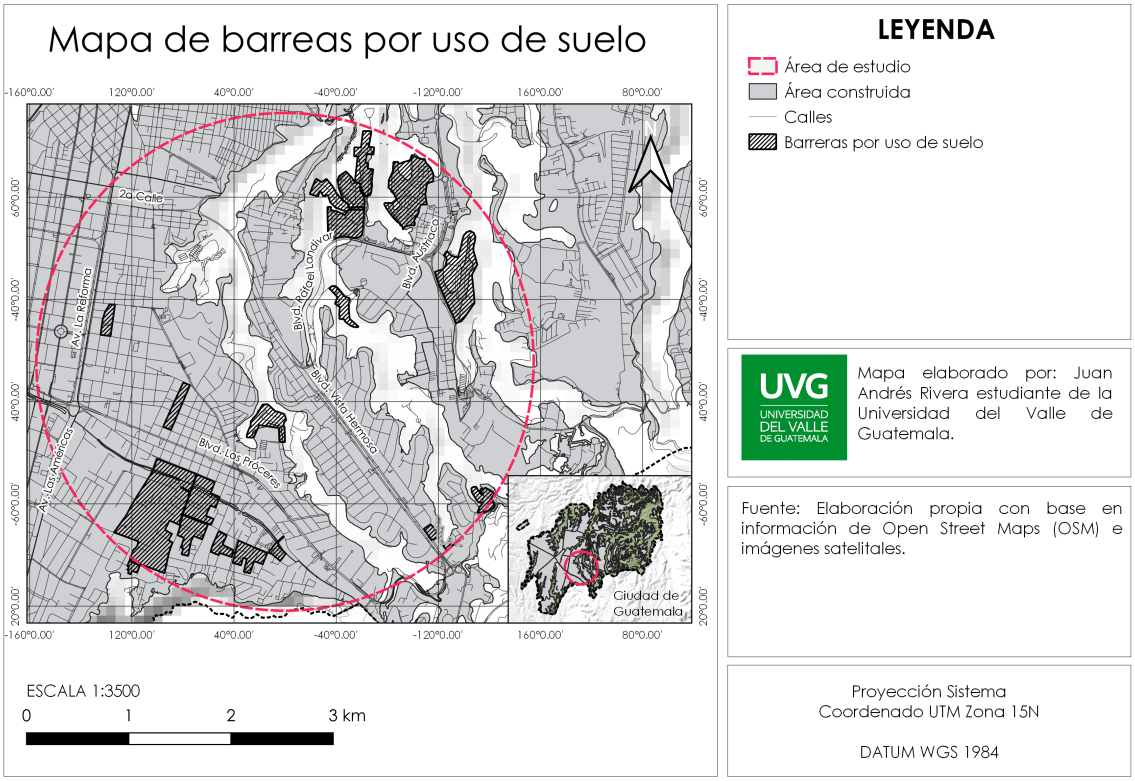


Figura 37. Mapa barreras por uso de suelo
(Fuente: Elaboración propia)

terización se realiza según el uso predominante (comercial, residencial, industrial, etc.) la cual es esencial para determinar el tipo de infraestructura para ciclistas a implementar. Para el presente trabajo de investigación se obtuvieron los distritos dentro del área de estudio con base en estos criterios. Se seleccionó el shape tipo polígono del área construida y se dividió empleando el shape de líneas correspondiente a las barreras viales identificadas dentro del área de estudio. Se utilizó la herramienta de superposición vectorial: Dividir con líneas en donde se colocó el área construida como capa de entrada y la capa de barreras viales en la opción de dividir capa. El resultado se guardó como una nueva capa con el SCR del proyecto. Posteriormente, se ajustaron los nodos de los distritos manualmente con la herramienta de vértices y se le asignó un nombre a cada uno. En este caso se utilizó el alfabeto y se tomó el criterio de asignación de nombre a los distritos siguiendo el planteamiento espiral de zonificación de la ciudad de Guatemala propuesto por Raúl Aguilar Batres. Se empezó por el distrito de mayor tamaño nombrándolo con la letra A y se asignaron las letras mayúsculas subsecuentes a favor de las manecillas del reloj. Se obtuvieron un total de 11 distritos (ver Figura 39).

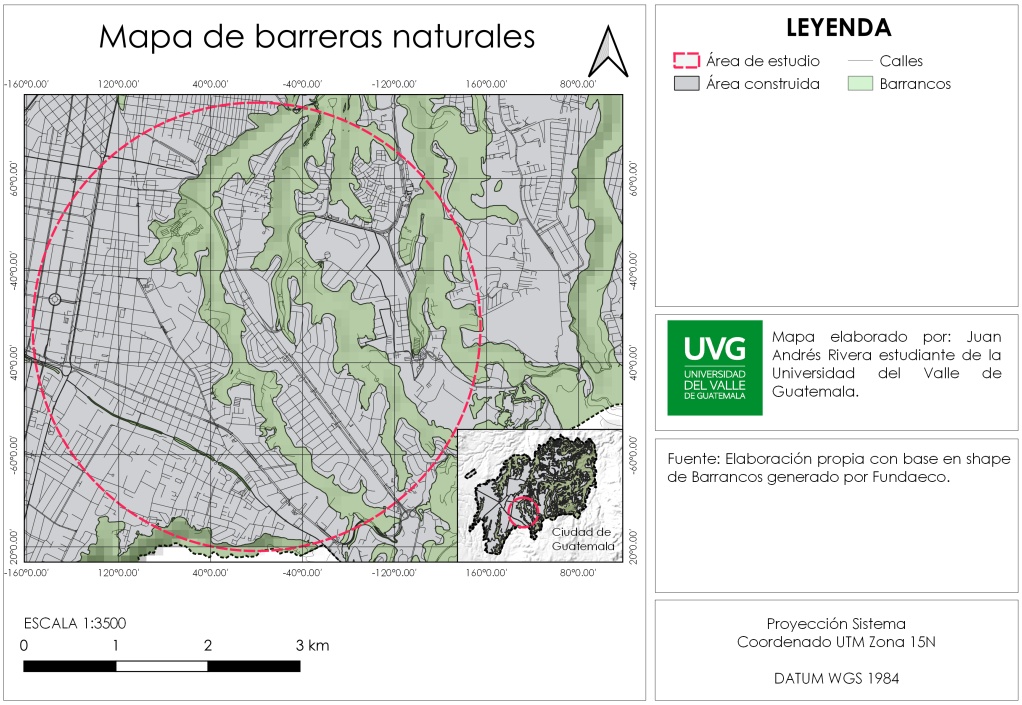


Figura 38. Mapa barreras naturales
(Fuente: Elaboración propia)

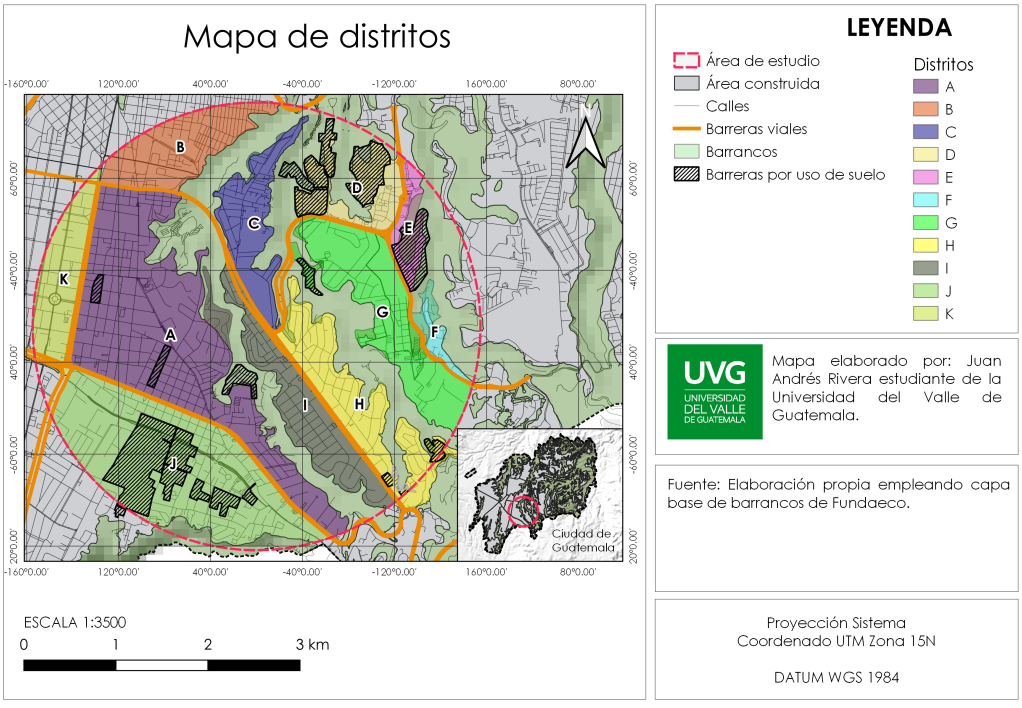


Figura 39. Mapa distritos
(Fuente: Elaboración propia)

3. Puntos de permeabilidad. Se considera la definición de permeabilidad urbana con base en la definición de la estrategia de movilidad de la UNAM y Gobierno del Distrito Federal Secretaría del Medio Ambiente. Esta se define como los espacios, infraestructura o puntos sobre las barreras que le permiten a un ciclista cruzar de un lado al otro de la barrera. El concepto de permeabilidad toma una connotación humana haciendo referencia a la capacidad de cruzar de un distrito a otro en puntos específicos. Se consideran como puntos de permeabilidad urbana a los semáforos, pasarelas y pasos peatonales respetados. Es necesario identificar estos puntos para determinar de qué manera se conectarán las ciclovías en los distritos.

El levantamiento de puntos de permeabilidad urbana dentro de la zona de estudio se realiza a través de imágenes satelitales, Street View y OSM. Dentro de la página de OSM se seleccionó la opción de exportar y se delimitó el área de interés, siendo congruente con el áre de estudio. Posteriormente, se procedió a cargar el archivo .osm descargado dentro del proyecto en QGIS y se filtraron los elementos de la capa a través de la selección de todos los puntos cuyo campo de "highway"fuera igual a "traffic_signals". Se guardó la selección de puntos en una nueva capa llamada semáforos. Luego, se generó una capa tipo línea para dibujar en el mapa aquellos semáforos ubicados sobre las barreras viales. Se generaron capas similares para pasos peatonales y pasarelas. En el caso de los pasos peatonales se analizaron las intersecciones con semáforos sobre barreras viales a través de Street View dentro de Google Earth Online. Por último, el levantamiento de pasarelas se hizo a través de Google Street View e imágenes satelitales, generando una capa nueva. Estas se colocaron en el mapa de permeabilidad distrital (ver Figura 40) a manera de identificar dentro de la zona de estudio los puntos en donde se pueden integrar los distritos.

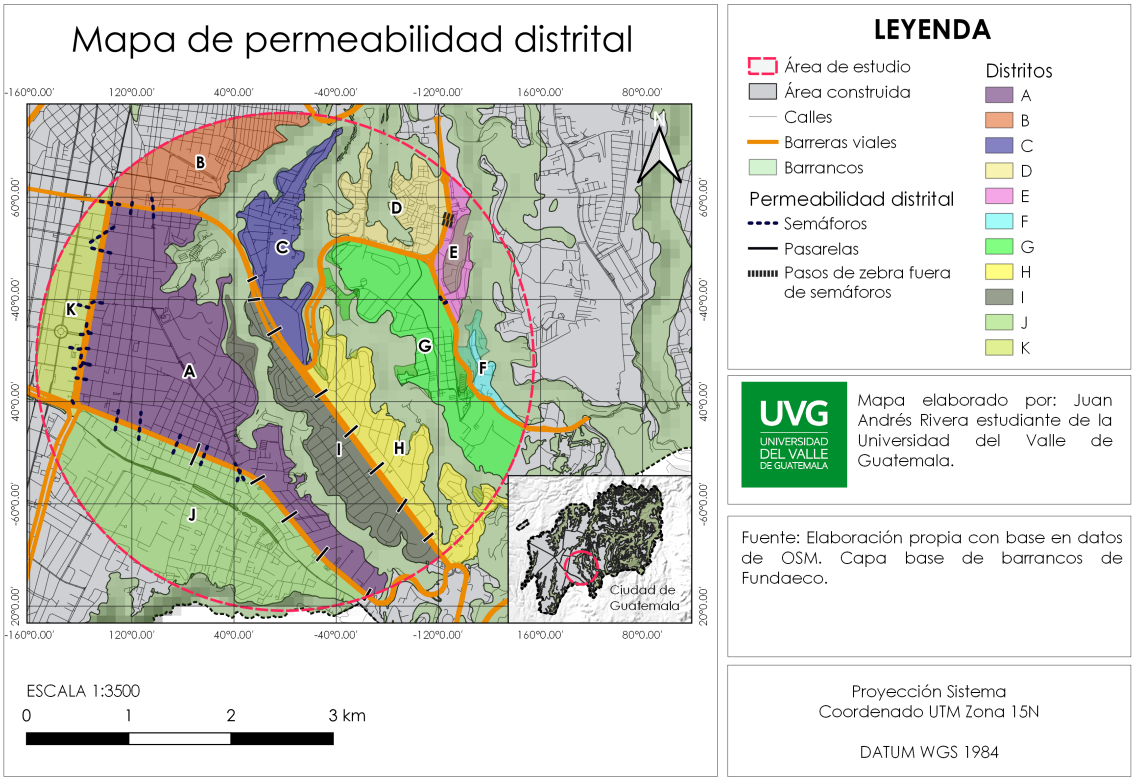


Figura 40. Mapa permeabilidad distrital
(Fuente: Elaboración propia)

4. Puntos de interés. Los puntos de interés son todos aquellos lugares considerados potencialmente de interés para el trazo de las nuevas rutas de ciclovías. De igual forma, podrán ser considerados como posibles puntos de origen o destino, es decir puntos hacia los cuales los usuarios realizarán viajes o puntos desde los cuales iniciaran sus viajes en bicicletas. Así mismo, estos puntos permiten la caracterización de los distritos generados. Son de interés los espacios públicos, el desarrollo comercial, desarrollo de edificios de oficinas, desarrollo de edificios de apartamentos y el desarrollo hotelero. Principalmente se trabajará con desarrollos de gran escala para el alcance de dicho proyecto.

a. Espacios públicos. El reconocimiento de los espacios públicos se hace a través de imágenes satelitales apoyadas por los datos de la Municipalidad de Guatemala obtenidos a través del portal de la Dirección de Información Geográfica Municipal (DIGM). Se generó un shape tipo polígono para los espacios públicos identificados. Esta capa abarca los parques lineales, plazas y parques urbanos.

b. Desarrollo comercial. El desarrollo comercial representa puntos de interés para los potenciales usuarios del servicio de bicicletas compartidas. En este rubro se trabajó únicamente con los establecimientos comerciales de gran tamaño como plazas y centros comerciales, así como los mercados y supermercados. Los comercios individuales y restaurantes ubicados fuera de centros comerciales no se encuentran dentro del alcance de este estudio. El levantamiento de las ubicaciones de estos establecimientos se hace a través de Google Earth online dentro de un archivo de puntos tipo .kml, el cual es cargado al proyecto en QGIS y guardado como un archivo tipo shape. Para determinar donde se encuentran los establecimientos comerciales se realizaron preguntas a compañeros residentes dentro del área de estudio sobre los comercios en la zona, de igual forma se utilizó el buscador de Google y Google maps para identificar los mismos.

c. Desarrollo de apartamentos. El desarrollo de edificios de apartamentos es de interés dado que comprende zonas de mayor densidad habitacional dentro de la zona de estudio. Así mismo este tipo de desarrollo se da principalmente en zonas en constante crecimiento. El levantamiento de edificios de apartamentos se realizó con base en el listado de edificios con direcciones presentado en el foro Skyscrapercity Guatemala. Este listado se tomó como punto de partida para la identificación de los proyectos. Adicionalmente se emplearon imágenes satelitales y se consultaron publicaciones sobre nuevos desarrollos inmobiliarios. Se trabajó únicamente con los proyectos ubicados dentro del área de estudio. Se generó un archivo .kml con puntos correspondientes a los edificios en Google Earth Online. Posteriormente se cargó el archivo .kml y se guardó como archivo .shp.

d. Desarrollo de edificios de oficinas. El desarrollo de oficinas dentro del área de estudio al igual que el desarrollo comercial y de apartamentos es de interés al ser un punto de origen o destino de viajes. En este apartado solo se considerarán los edificios de oficinas, de manera que las oficinas individuales establecidas en casas particulares no serán contempladas dentro del alcance de dicho proyecto. El levantamiento de información se realizó de la misma forma que el desarrollo de edificios de apartamentos, empleando el listado de Skyscraper city y utilizando Google Earth para generar un archivo con puntos de tipo .kml.

e. Desarrollo hotelero. El desarrollo hotelero representa una oportunidad para promover la movilidad en bicicleta dentro de la zona de estudio dado que los huéspedes internacionales en ocasiones no cuentan con su propio automóvil. Además, cuentan con espacio suficiente para la colocación de estaciones de ciclovías y se reconocen como puntos de interés. Su identificación se realizó de la misma forma que el desarrollo de apartamentos y de edificios de oficinas.

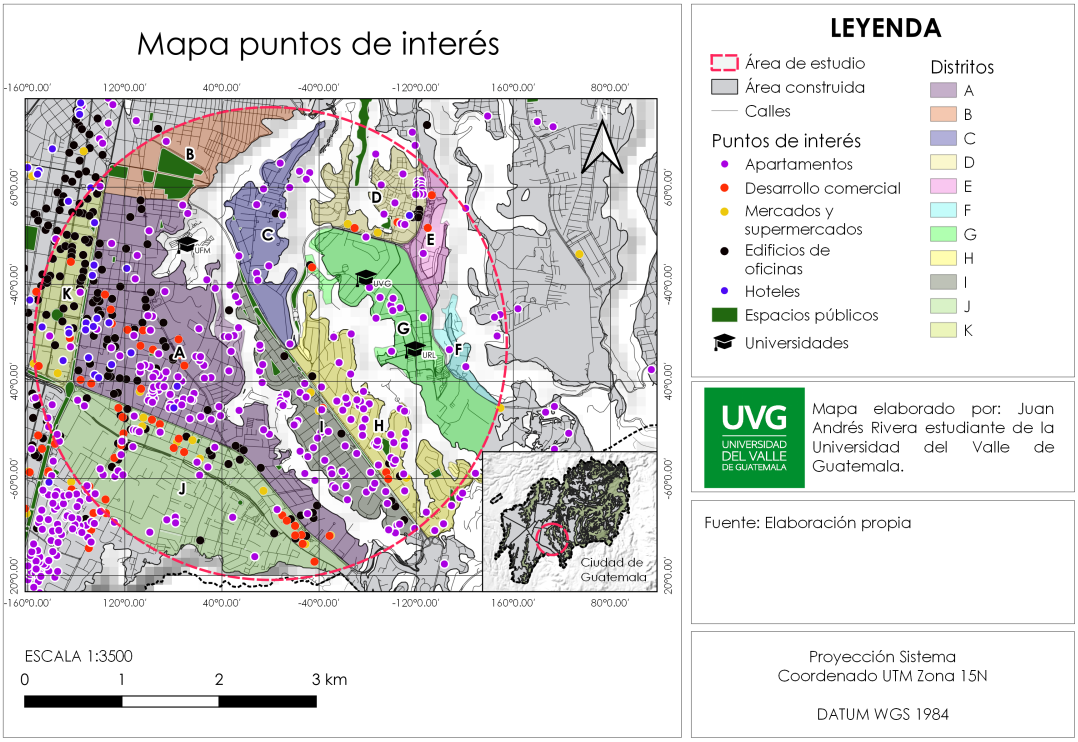


Figura 41. Mapa puntos de interés
(Fuente: Elaboración propia)

E. Caracterización de distritos

Una vez obtenidos los puntos de interés dentro de la zona de estudio se procedió a la caracterización de los distritos. Se reconocieron los usos predominantes dentro de los mismos dentro de una tabla. Esto se hace con la finalidad de contar con con una base para la selección de tipologías de ciclovías a implementar.

F. Equipamiento disponible

El equipamiento disponible dentro del área de estudio en cuanto a infraestructura disponible para ciclistas y la accesibilidad al transporte colectivo permite incorporar a la planificación de nuevas rutas estos aspectos para generar una propuesta complementaria que aproveche los recursos disponibles y busque la interconexión con otros modos de transporte.

1. Transporte colectivo. Se analizó el mapa de transporte colectivo generado con base en los datos de la Municipalidad de Guatemala y el portal de la DIGM para identificar los servicios de transporte colectivo disponibles dentro del área de estudio.

2. Centrales de transferencia potenciales. Las centrales de transferencia son la infraestructura que permite el intercambio entre modos de transporte. Estas pueden abarcar paradas de buses urbanos, paradas de transurbanos y estaciones de transmetro. Parte de los objetivos de un sistema de transporte para ciudades inteligentes es la búsqueda de la integración con los modos existentes.

En el caso de la bicicleta compartida, es de interés la compatibilidad entre el transporte público y las bicicletas de manera que se mejore la conectividad de la ciudad y se propongan alternativas para mejorar la movilidad. Para identificarlas se seleccionaron las estaciones ubicadas dentro del área de estudio a través de la herramienta de selección por localización de QGIS. Se presentan en un mapa con la finalidad de que sean contempladas al momento de trazar las rutas y proponer las estaciones.

G. Propuesta de equipamiento

1. Propuesta de rutas. Parte del desarrollo de un sistema de transporte alternativo como la bicicleta compartida comprende el desarrollo de la infraestructura necesaria para su funcionamiento como lo son las ciclovías, las estaciones y las centrales de transferencia entre los modos de transporte.

2. Trazo de rutas. El planteamiento de las rutas preliminares de ciclovías parte del objetivo de conectar al corredor central de la Avenida Las Américas y la Avenida Reforma las universidades dentro de la zona de estudio a través de las vialidades más convenientes, siendo aquellas más directas, atractivas para los usuarios y seguras (evitando barreras viales y utilizando los puntos de permeabilidad disponibles para cruzarlas). Adicionalmente, se buscó incluir dentro de los recorridos rutas secundarias que permitan conectar diferentes puntos de interés dentro de los distritos de la zona de estudio como los espacios públicos, los desarrollos de edificios de apartamentos, oficinas y establecimientos comerciales principales de manera que se logre la mayor cobertura posible del área de estudio.

Para generar el trazo de las rutas primarias, se activaron las capas de barreras, tanto urbanas como naturales, los puntos de permeabilidad (semáforos, pasarelas y pasos de cebra respetados), las ciclovías existentes y la ubicación de las universidades de interés dentro del área de estudio. Una vez encendidas estas capas, se generaron los recorridos primarios. Luego, para la generación de las rutas secundarias se procedió a activar las capas de los puntos de interés. Se trazó las rutas secundarias conectando los puntos de interés con las rutas primarias. En este trazo se priorizó las calles barriales y las vialidades con desarrollo de edificios, ya sea de oficinas o de apartamentos. Este criterio busca aprovechar la transparencia de la mayoría de fachadas de los edificios para generar ojos en la calle y buscar rutas más seguras, evitando así aquellas ubicadas en zonas residenciales donde predominen los muros perimetrales sin transparencia a la calle. Los trazos de ambos tipos de rutas se realizaron dentro de una shape tipo línea.

3. Análisis de rutas con sentidos. Tomando como referencia los criterios de diseño de la UNAM en cuanto a la dirección del flujo de ciclistas, se buscó que las ciclovías respetaran las vías de las calles. Para ello se utilizó la capa base de Google maps la cual cuenta con la dirección de las vías en las calles dentro del área de estudio. Con base en las vías se analizaron las rutas propuestas observando que fuera posible conectar los distritos y los destinos con el corredor central. Se generó un nuevo shape tipo líneas empleando flechas como estilo de línea. Se seleccionaron flechas dobles para indicar ciclovías de doble vía y flechas simples para indicar ciclovías de una vía. Se generaron ajustes sobre las rutas propuestas de manera que fuera posible circular en todas las rutas de forma ordenada y lógica sin dejar tramos desconectados o a los que no se pudiera retornar. Se colocó ciclovías en doble vía en los tramos en donde existen calles barriales de doble vía a excepción de casos especiales como el columpio de Vista Hermosa en donde por falta de espacio y calles alternas se optó por utilizar una ciclovía de doble vía en el tramo que conecta el Blvd. Vista Hermosa con la circunvalación campo Marte.

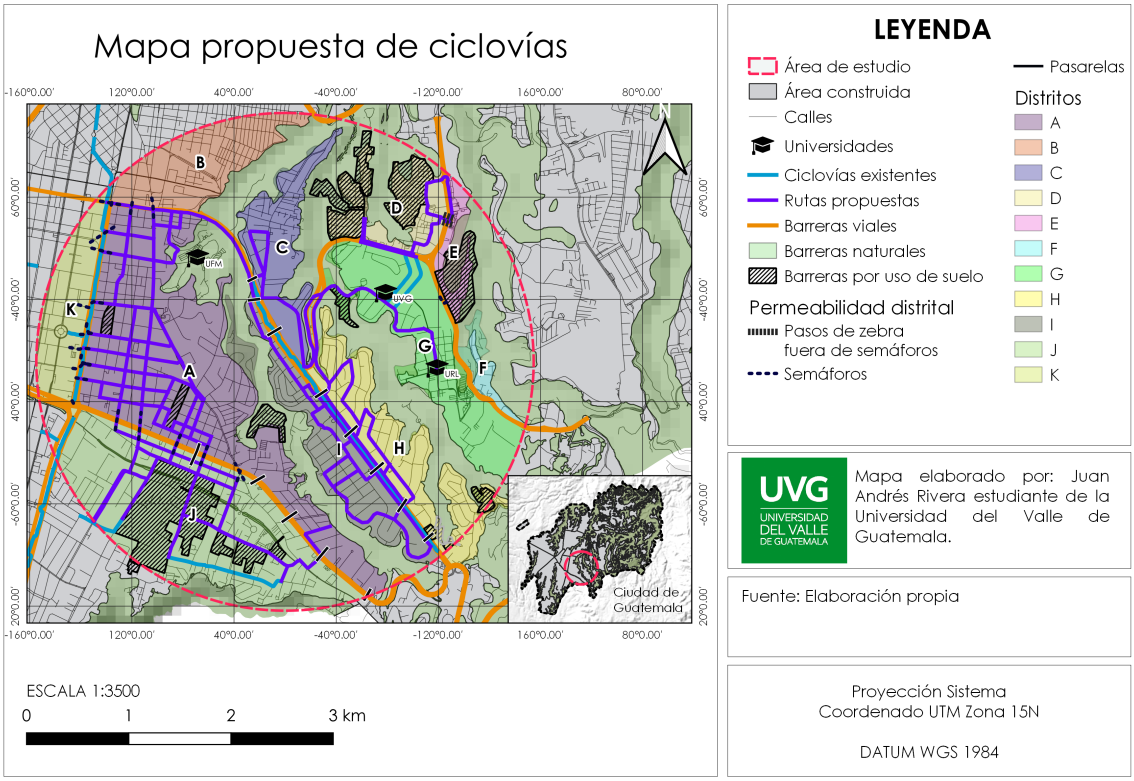


Figura 42. Mapa rutas propuestas
(Fuente: Elaboración propia)

4. Clasificación de rutas por tipología. Una vez obtenidas las rutas, se procedió a clasificar por tipología las ciclovías partiendo de la caracterización de distritos. En las calles barriales, en donde existe un menor tráfico vehicular motorizado y donde no circula el transporte colectivo se optó por calles compartidas dado que son espacios en donde las velocidades de los vehículos son moderadas. Por otro lado, en las calles de las zonas comerciales y de los núcleos de desarrollo de oficinas, existe un mayor tránsito vehicular por lo que se optó a recomendar ciclovías protegidas cuando fuera posible. Este tipo de ciclovías es el preferido por los encuestados y el que genera un mayor sentido de seguridad vial. En calles barriales con un mayor tránsito vehicular, en donde no existe espacio para colocar una ciclovía protegida y que cuenten con tránsito con velocidades moderadas se optó por ciclovías convencionales.

5. Identificación e intervención de nodos. Los nodos son todos aquellos puntos en donde las rutas propuestas cruzan una intersección vial. Su levantamiento se realizó dentro de QGIS a través de una capa (shape) tipo punto. Se encendió la capa de las calles dentro de la ciudad de Guatemala y la capa de las rutas propuestas. Posteriormente, se procedió a crear un punto por cada intersección identificada. Luego se generó un sistema de categorización de intersecciones para estandarizar el tipo de equipamiento y de intervención a considerar. Para ello se generaron las siguientes tipologías de nodos y su respectiva intervención en cuanto a señalización empleando la herramienta de Moqups (ver Figura 43 para ciclovías de una vía y Figura 44 para ciclovías de doble vía):

- Caso 1: Ciclovías en 1 sentido de una vía.

- Caso 2: Ciclovía cambiando de de dirección en esquina.
- Caso 3: Divergencia de ciclovías en intersección.
- Caso 4: Integración de ciclovías en intersección.
- Caso 5: Ciclovías en dos direcciones en intersección.
- Caso 6: Ciclovía en redondel.
- Caso 7: Ciclovía especial.

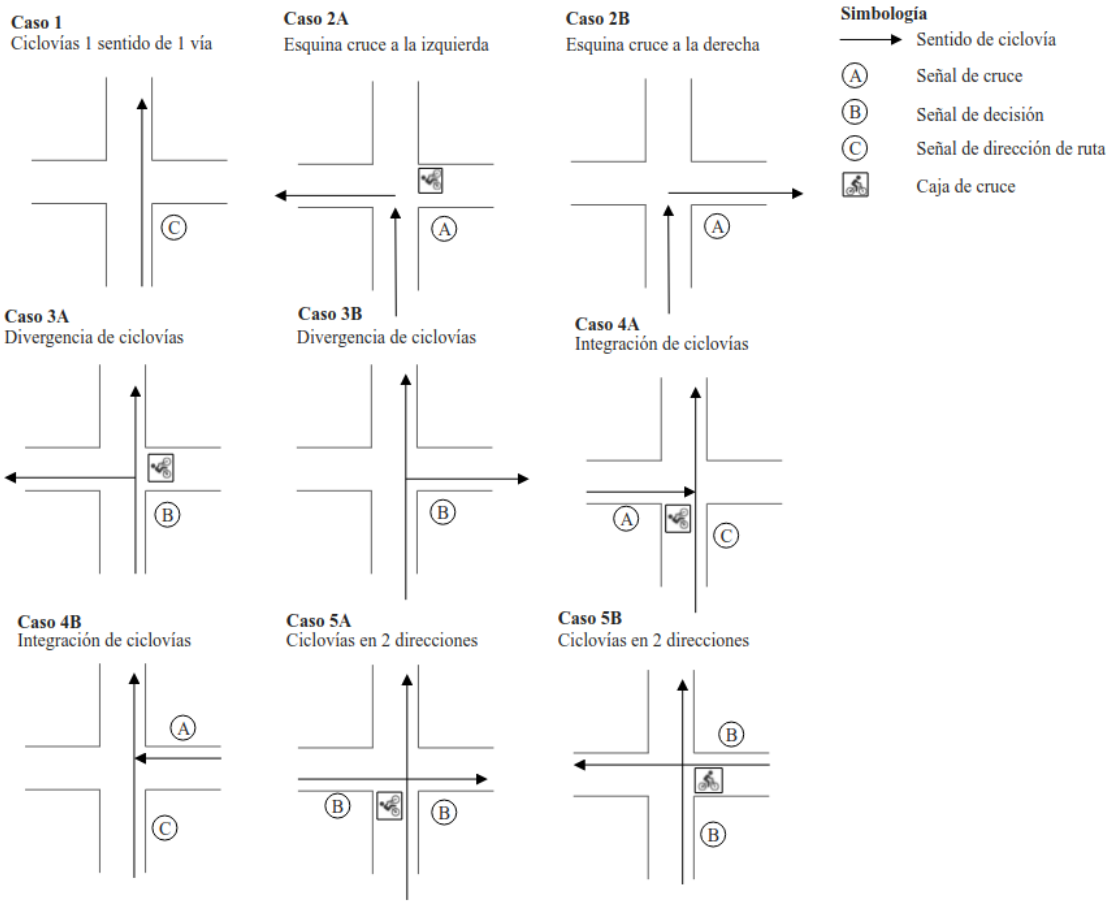


Figura 43. Tipología de nodos ciclovías en un sentido
(Fuente: Elaboración propia)

La información sobre la tipología del nodo se incorporó a la capa de nodos dentro de QGIS añadiendo un parámetro llamado dirección con los siguientes valores: 1 para el caso 1, 2 para el caso 2, D para el caso 3, I para el caso 4, 4 para el caso 5, R para el caso 6 y E para el caso 7. La información se añadió de forma manual, seleccionando nodo por nodo y agregando el valor correspondiente. Cuando se identificó un nodo cuya configuración de ciclovías no encajaba con los casos del 1 al 6, se le categorizó como un nodo de categoría especial. Después de asignar los valores de la tipología de nodo al parámetro, se configuró la simbología de los puntos seleccionando la opción de categorizado con base en la dirección especificada (caso) para obtener una representación visual de las tipologías de nodos en el mapa de intersecciones. Adicionalmente, se realizó una propuesta

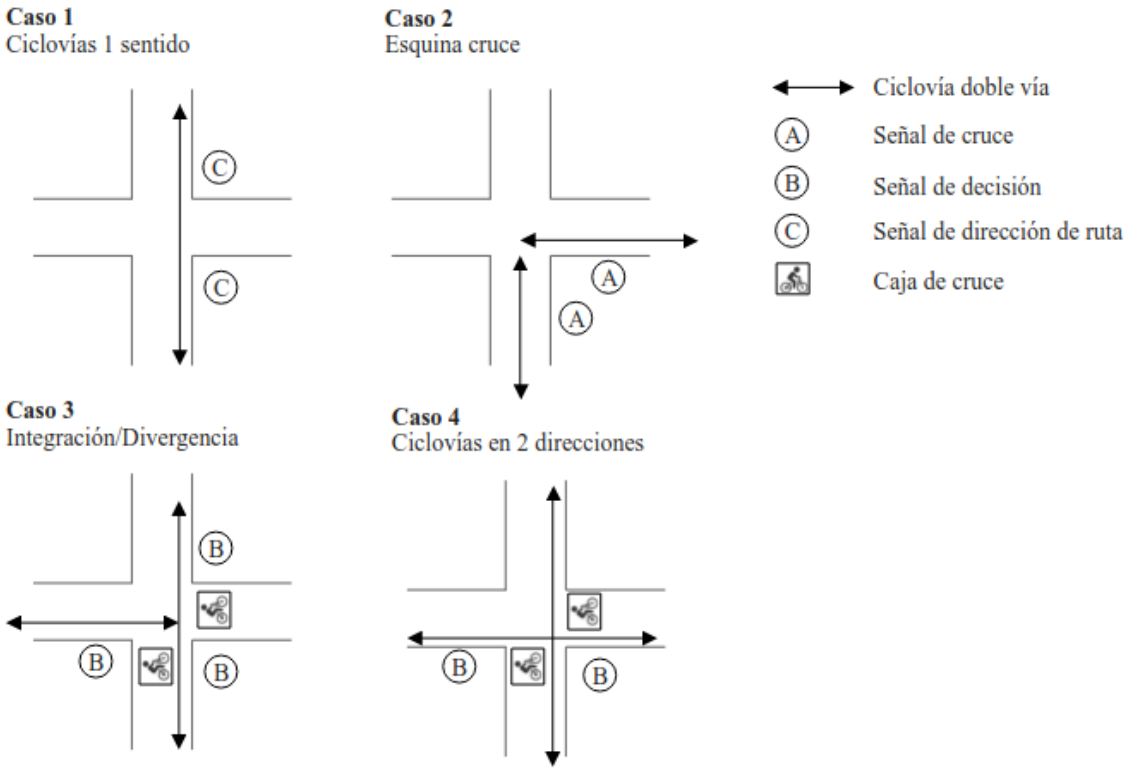


Figura 44. Tipología de nodos ciclovías doble vía
(Fuente: Elaboración propia)

específica para el equipamiento de los nodos especiales. Estos se guardaron en una capa individual y se les asignó un ID único para identificarlos. Posteriormente, se generó un esquema en Moqups de la configuración del nodo especial con su respectiva propuesta de equipamiento identificando el número de ID del nodo, las vialidades y los sentidos de las ciclovías. Este ejercicio permitió determinar los desafíos de integración de los nodos especiales de forma específica para una propuesta a nivel de anteproyecto (ver Figura 45). Después, se clasificó los nodos de ciclovías en un sentido (de una vía) para los casos 2, 3 y 4 en sub-categorías A y B, asignando la primera cuando existe un cruce a la izquierda en una intersección (siempre y cuando la tipología de ciclovía no sea igual a calles compartidas) y la segunda cuando el cruce es a la derecha o cuando el cruce se da en una intersección en una calle con tope (intersección tipo T). De igual forma, se identificaron casos especiales dentro de estas tipologías de nodos y se procedió a cambiar el parámetro de dirección a E para especiales.

6. Equipamiento/tramos especiales. Dentro de la zona de estudio existen regiones en donde existen vialidades limitadas, por lo que para lograr la conexión de los diferentes distritos se requiere la intervención de tramos especiales, adicionales a los nodos especiales. Estos tramos especiales abarcan la construcción de puentes ciclo-peatonales, la construcción de nuevas pasarelas, calles especiales (dentro de zonas privadas como Cayalá y Centros comerciales), etc.

7. Selección de estaciones de bicicletas. El criterio de selección de ubicaciones de estaciones de bicicletas parte de buscar abarcar la mayor cobertura de las áreas que cuentan con los puntos de interés dentro de los distritos, así como la búsqueda de la integración con los modos de transporte

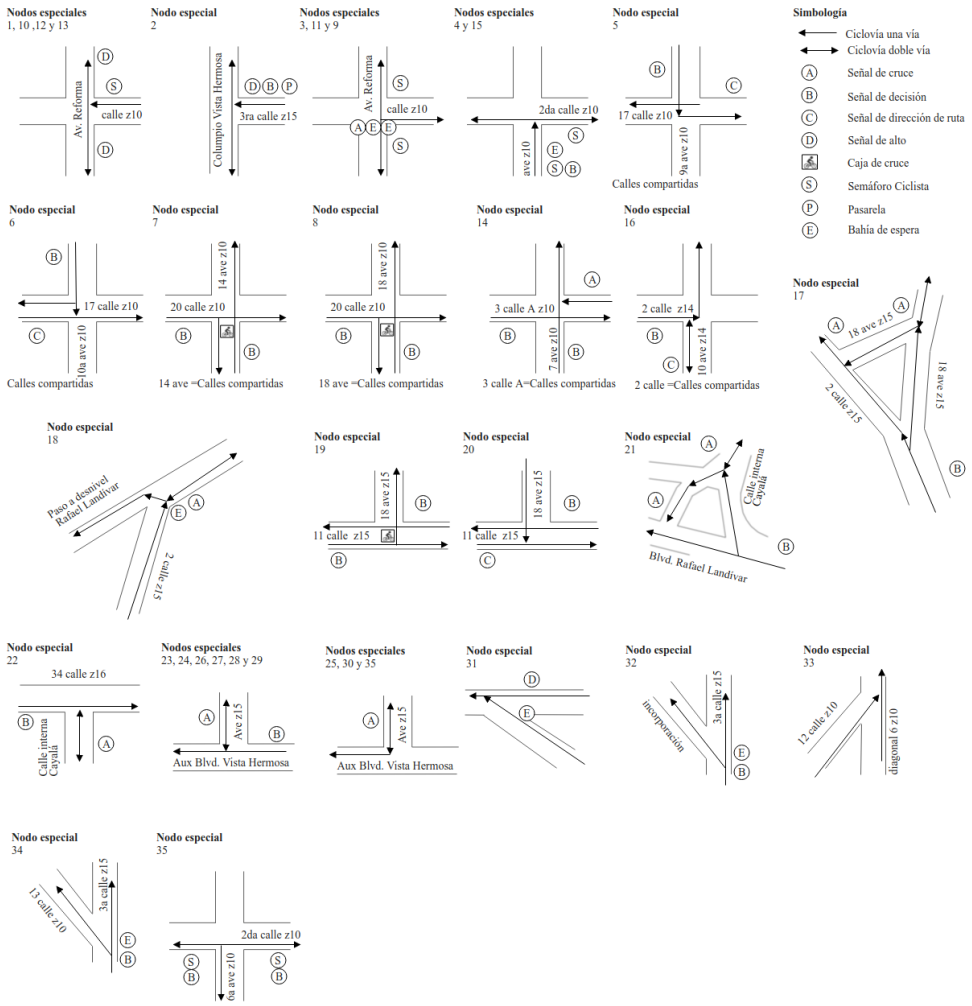


Figura 45. Tipología de nodos especiales
(Fuente: Elaboración propia)

colectivo y la selección de espacios que cuenten con suficiente espacio para colocar las estaciones sin interferir con la circulación peatonal en las aceras. Su emplazamiento se realizó a través de una capa de puntos dentro del proyecto en QGIS. La cantidad de estaciones colocadas está en función de los puntos de interés y las distancias entre las estaciones (ver metodología de análisis de cobertura de estaciones).

8. Análisis de cobertura de estaciones. Para determinar la cobertura de las estaciones y asegurarse que la propuesta de las mismas abarca los puntos de interés principales se trabajó con un radio de influencia de 300m alrededor de la estación. Este se generó empleando la herramienta vectorial de procesos de QGIS llamada buffer. El criterio de influencia de 300m se tomó a partir de la distancia recomendada entre estaciones (Nogal & Jiménez, 2020). Una vez colocadas las estaciones se empleó la herramienta de selección por localización en QGIS para determinar la cantidad de puntos de interés por tipo (desarrollo de apartamentos, desarrollo comercial, edificios de oficinas, espacios públicos, desarrollo hotelero, universidades y centrales de transferencia potenciales) ubi-

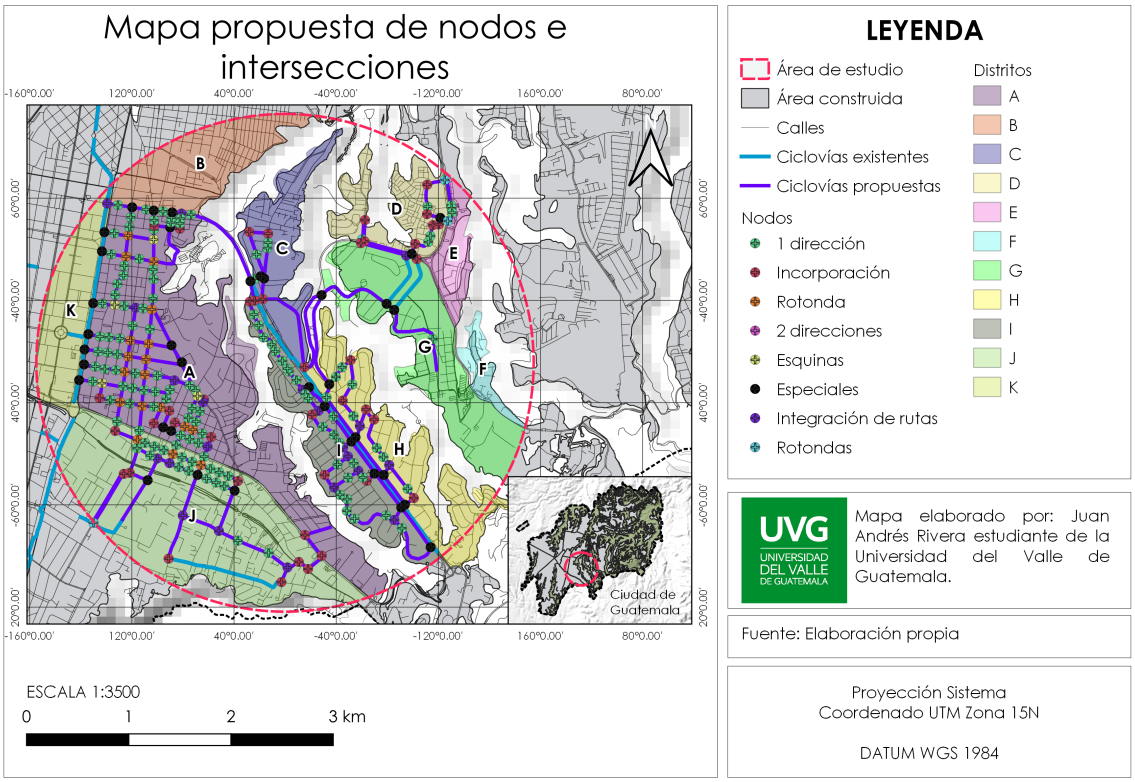


Figura 46. Tipología de nodos en ciclovías
(Fuente: Elaboración propia)

cados dentro del radio de influencia. Las paradas del transporte colectivo ubicadas dentro del radio de influencia se consideraron como centrales de transferencia entre la bicicleta compartida y el transporte colectivo (ver Figura 47). Dentro de este rubro fue de importancia que todos los distritos con puntos de interés contaran con por lo menos una central de transferencia.

H. Propuesta de equipamiento digital

Dentro del alcance del proyecto se limita este apartado a determinar el equipamiento recomendado a nivel descriptivo para la generación de datos de los usuarios con base al cuadro comparativo entre tecnologías generado en el marco teórico. Para ello se describirán las tecnologías a implementar para el monitoreo de rutas y las funciones que debe tener la aplicación partiendo de los resultados de la encuesta realizada. Así mismo, se buscará solucionar a través de la tecnología algunos obstáculos identificados de manera que el modo de transporte de bicicletas compartidas propuesto sea lo más adecuado posible al contexto de los usuarios y el área de estudio ubicada dentro de la ciudad de Guatemala.

1. Monitoreo de rutas. La selección del equipamiento tecnológico de rutas se realizó con base en los referentes de éxito de bicicletas compartidas y las ventajas y desventajas de los sensores identificados.

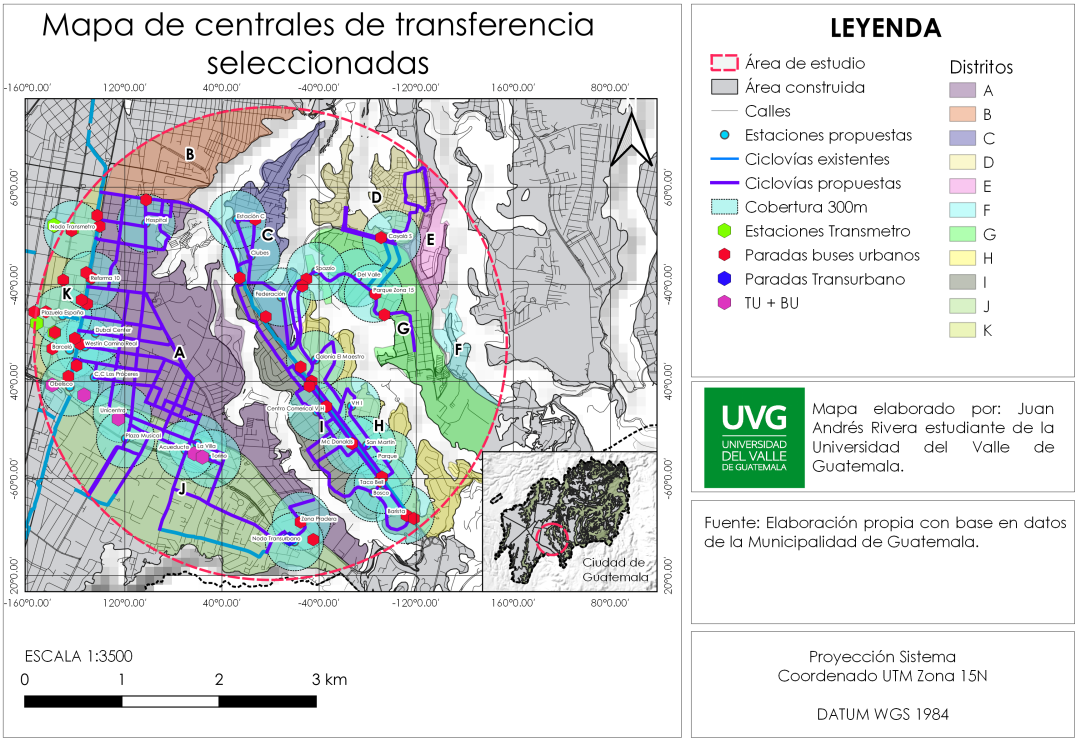


Figura 47. Centrales de transferencia reales
(Fuente: Elaboración propia)

2. Aplicación. Para la aplicación móvil se generó una descripción de las funciones en relación a los hallazgos de la encuesta en cuanto a la aplicación (ver Figura 48). Paralelamente, se utilizó Moqups para generar imágenes de referencia sobre las pantallas principales de la aplicación. En esta etapa de anteproyecto se enfocó únicamente en el listado de funciones e interfaz de usuario (diseño y lógica de las pantallas). Se tomó como referencia las pantallas de aplicaciones de servicios de bicicletas compartidas de Citybikes y Velocity.

I. Presupuesto preliminar de infraestructura

Dentro de los objetivos del la propuesta de movilidad se busca proveer un presupuesto preliminar contemplando el equipamiento y la infraestructura preliminar para las ciclovías y estaciones. No se consideran dentro del alcance del proyecto los costos de los sensores ni la intervención de tramos especiales.

1. Cuantificación.

a. Ciclovías. La cuantificación de las ciclovías se hizo según la tipología de intervención seleccionada para cada tramo y se clasificó con base en las vías que posee (una vía o dos vías). Las magnitudes de las longitudes son obtenidas por medio del parámetro $length, seleccionando la capa de ciclovías, a través del software QGIS. Posteriormente, se exportó como base de datos csv la información de la longitud de cada uno de los tramos de las ciclovías planteadas para agruparlas por tipología a través una tabla dinámica dentro de excel con la estructura del Cuadro 6.

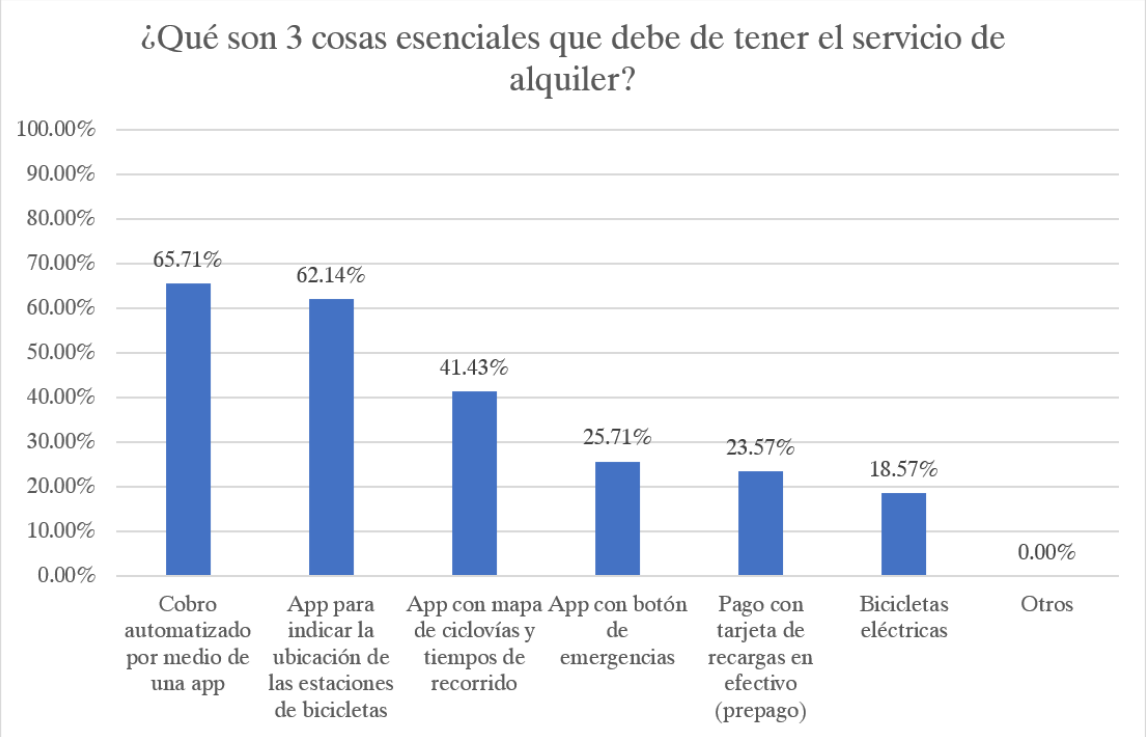


Figura 48. Funciones de la aplicación digital
(Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta digital)

Luego se generó una propuesta de equipamiento por tipología de ciclovía (sin considerar las intersecciones). Se especificó el espaciamiento entre señalización, pintura, elementos reductores de velocidad, elementos protectores, ancho mínimo de las ciclovías, entre otros, según los parámetros de diseño de la National Association of City Transportation Officials (NACTO) y su guía de diseño de ciclovías. De igual forma se generó una cuantificación preliminar de iluminación artificial siguiendo las recomendaciones de las guías de diseño de la a Universidad Autónoma de México y NACTO, las cuales sugieren colocar luminarias adicionales de menor altura para que provean la iluminación adecuada durante la noche. El cálculo de la cantidad de postes de luz se obtiene al dividir la cantidad de km lineales de rutas a iluminar dentro del espaciamiento entre postes, equivalente a 3 veces la altura del mismo. No obstante, este es un cálculo preliminar por lo que de contar con un tipo de luminaria específica, se deberán generar los cálculos de espaciamiento con base en los lúmenes.

Tipología de intervención	**km de ciclovías en 1 dirección**	**km de ciclovías doble vía**	**Longitud total (km)**
Calle compartida	5.19	12.12	17.31
Convencional	5.94	0.93	6.87
Protegida	19.63	3.27	22.90
Total general	30.76	16.32	47.08

Cuadro 6
Cuantificación de kilómetros por tipología
(Fuente: Elaboración propia)

Simbología con pintura			
Calles compartidas	**1 dirección**	**2 direcciones**	**Total**
km lineales	5.19	12.12	17.31
Espaciamiento entre señalización (m)	50	50	100.00
Cantidad de flechas de pintura con símbolo de ciclistas de pintura en calle	104	486	590.00
Pintura en m2 por símbolo	0.87	0.87	1.74
Área de pintura (m2)	90.48	422.82	513.30

Reductores de velocidad			
Ciclovías convencionales	**1 dirección**	**2 direcciones**	**Total**
Espaciamiento entre reductores de velocidad (m)	100	100	200.00
Cantidad de elementos reductores de velocidad	52	122	174.00

Cuadro 7

Equipamiento Calles Compartidas

(Fuente: Elaboración propia)

Pintura			
Ciclovías convencionales	**1 dirección**	**2 direcciones**	**Total**
km lineales	5.94	0.93	6.87
Ancho efectivo de carril (m)	1.5	2	3.50
Área de pintura (m2)	8908.53	1859.14	10767.67

Simbología con pintura			
Ciclovías convencionales	**1 dirección**	**2 direcciones**	**Total**
Espaciamiento entre señalización (m)	100	100	200.00
Cantidad de flechas de pintura con símbolo de ciclistas de pintura en calle	60	20	80.00
Pintura en m2 por símbolo	0.87	0.87	1.74
Área de pintura (m2)	52.2	17.4	69.60

Reductores de velocidad			
Ciclovías convencionales	**1 dirección**	**2 direcciones**	**Total**
Espaciamiento entre reductores de velocidad (m)	100	100	200.00
Cantidad de elementos reductores de velocidad	60	10	70.00

Señales rotuladas			
Ciclovías convencionales	**1 dirección**	**2 direcciones**	**Total**
Distancia entre rótulos (m)	200	200	400.00
cantidad de rótulos	30	5	35.00

Cuadro 8

Equipamiento Ciclovías convencionales

(Fuente: Elaboración propia)

Pintura			
Ciclovías protegidas	**1 dirección**	**2 direcciones**	**Total**
km lineales	19.63	3.27	22.90
Ancho efectivo de carril	1.5	2	3.50
Área de pintura (m2)	29444.1	6537.62	35981.72

Simbología con pintura			
Ciclovías protegidas	**1 dirección**	**2 direcciones**	**Total**
Espaciamiento entre señalización (m)	100	100	200.00
Cantidad de flechas de pintura con símbolo de ciclistas de pintura en calle	197	66	263.00
Pintura en m2 por símbolo	0.87	0.87	1.74
Área de pintura (m2)	171.39	57.42	228.81

Bolardos			
Ciclovías protegidas	**1 dirección**	**2 direcciones**	**Total**
Espaciamiento entre bolardos (m)	1	1	2.00
Factor de reducción de elementos	0.6	0.6	
Cantidad de elementos reductores de velocidad	11778	1962	13740.00

Señales rotuladas			
Ciclovías protegidas	**1 dirección**	**2 direcciones**	**Total**
Distancia entre rótulos	200	200	400.00
cantidad de rótulos	99	17	116.00

Cuadro 9

Equipamiento Ciclovías protegidas

(Fuente: Elaboración propia)

b. Nodos. La cuantificación del equipamiento para los nodos se realizó con base en las clasificaciones de las tipologías de nodo (ver Cuadros 10 y 11), multiplicando la cantidad de nodos por caso por la cantidad de señales requeridas, las cuales se seleccionaron partiendo de las guías de diseño consultadas (UNAM y NACTO). Para el caso de los nodos especiales se sumó la cantidad de señales requeridas por intervención.

Ciclovías 1 vía	Señal de cruce	Señal de decisión	Señal de dirección de ruta	Caja de cruce
1 dirección	0	0	1	0
Esquina A	1	0	0	1
Esquina B	1	0	0	0
Integración A	1	0	1	1
Integración B	1	0	1	0
Divergencia A	0	1	0	1
Divergencia B	0	1	0	0
2 direcciones	0	2	0	1
Redondel	0	0	0	0

Cuadro 10

Señalización nodos ciclovías 1 vía

(Fuente: Elaboración propia)

Ciclovías doble vía	Señal de cruce	Señal de decisión	Señal de dirección de ruta	Caja de cruce
1 dirección	0	0	2	0
Esquina	2	0	0	0
Incorporación/Divergenci	0	3	0	2
2 direcciones	0	4	0	2

Cuadro 11

Señalización nodos ciclovías doble vía

(Fuente: Elaboración propia)

2. Presupuesto. El presupuesto se realizó empleando la herramienta de CYPE Arquímedes versión 2022 y se trajó con el cotizador de precios para obras urbanas, propio del programa, para Guatemala (ver Figura 49). Se estructuraron los rubros del presupuesto con base en la jerarquía propuesta por Arquímedes según capítulos, partidas simples y partidas con descomposición siguiendo la estructura de la Figura 50.



Figura 49. Configuración Cotizador de precios CYPE Arquímedes

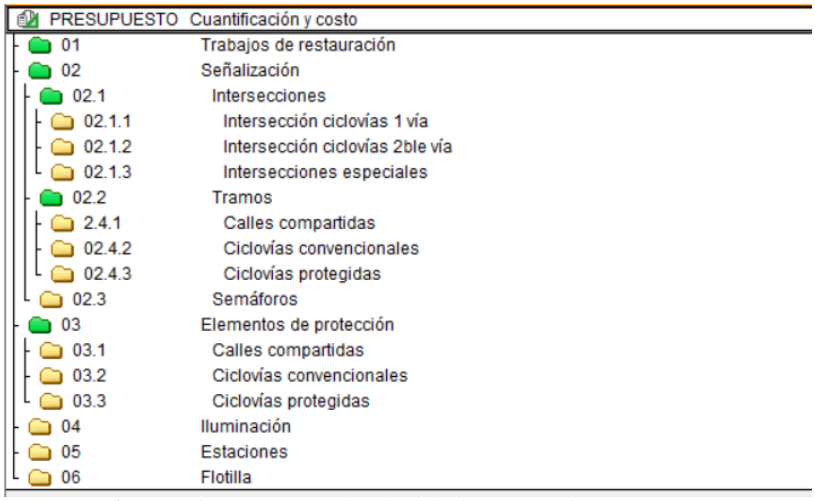


Figura 50. Estructura de árbol de jerarquía de presupuesto
(Fuente: Elaboración propia)

J. Guía de diseño de infraestructura y funcionamiento del modo de transporte

La creación de un modo de transporte alternativo como la bicicleta compartida dentro de la zona de estudio abarca diversos factores, criterios y normativas. A fin de resumir el proceso de planificación y diseño de la infraestructura de ciclovías y complementar la información a considerar de llevarse a cabo el proyecto, se generó un índice y apartados con los temas a considerar haciendo referencia a manuales de diseño internacionales. La guía tiene como objetivo proveer un apoyo de diseño integral adecuado para el contexto de la ciudad de Guatemala.

XIV. RESULTADOS

A. Comparativa modos de transporte más utilizados vs. la bicicleta compartida

Al comparar la bicicleta compartida con las alternativas de transporte disponibles en la ciudad de Guatemala (ver Cuadro 51), se observó que este modo de transporte resulta conveniente para movilizarse en distancias cortas y medias (7km a 15km) al contar con mayores ventajas que los servicios de transporte colectivo y los vehículos privados motorizados. Esto se debe a que es una alternativa que posee los mismos grados de libertad (flexibilidad en cuanto a la selección de horario y rutas) que un vehículo privado y es más eficiente en cuanto a utilización del espacio (relación pasajeros/espacio ocupado) que un carro. Desde el punto de vista de la sostenibilidad y calidad de vida, la bicicleta también resulta atractiva al ser el vehículo con la menor cantidad de emisiones de CO2 asociadas y contar con beneficios de actividad física. Así mismo, la bicicleta compartida cuenta con una baja susceptibilidad al tráfico, a los precios del combustible y a las restricciones y contagios derivados de la pandemia del COVID-19. No obstante, esta alternativa se ve afectada por condiciones climáticas no favorables como la lluvia y su uso se ve limitado a distancias menores.

	Transporte privado		Transporte colectivo				
			Transmetro				
	Automovil privado	Motocicleta	RBT	Convencional	Transurbano	Buses urbanos	Bicicleta compartida
Grados de libertad	2	2	1	1	1	1	2
Relación pasajeros/espacio ocupado	Baja	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Media
Impacto ambiental en términos de emisiones de CO_2	Considerables	Considerables	Considerables	Considerables	Considerables	Altas	Baja
Niveles de ruido dBAs	Moderado	Alto	Moderado	Moderado	Moderado	Alto	Bajos
Beneficios de actividad física	Nulos	Nulos	Nulos	Nulos	Nulos	Nulos	Alta
Resiliencia ante condiciones climáticas no favorables	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Media
Susceptibilidad al tráfico (congestionamiento)	Alta	Alta	Baja	Alta	Alta	Alta	Baja
Susceptibilidad a precios de combustibles	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Baja/nula
Flexibilidad de horario	Alta	Alta	Limitada	Limitada	Limitada	Limitada	Alta
Suceptibilidad al COVID 19	Baja	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta	Baja

Figura 51. Comparativa entre modos de transporte en distancias cortas
(Fuente: Elaboración propia)

B. Hallazgos de la encuesta

El proceso de diseño del servicio de bicicletas compartidas dentro de la zona de estudio considera y parte de los objetivos globales de una ciudad inteligente presentados dentro del marco teórico y considera las necesidades y preferencias de los potenciales usuarios partiendo de los resultados de la encuesta ciudadana realizada. Se observó que las razones principales para la elección del modo de transporte principal son la seguridad (83.14 %) y el confort (80.71 %). Por otro lado, las distancias del viaje solo inciden en la elección del modo de transporte de un 27.86 % de los encuestados. El 84.29 % de las personas indicaron estar dispuestas a utilizar un modo de transporte alternativo si existieran las condiciones adecuadas y de ellas, al 52.5 % le gustaría utilizar la bicicleta.

Dentro de las condiciones que ayudarían a fomentar el uso de la bicicleta en la ciudad de Guatemala mencionaron: las ciclovías protegidas (88.57 %), la seguridad en las calles (82.14 %), el respeto al ciclista (80.71 %) y el contar con más rutas (51.43 %). Por el contrario, la inseguridad (85 %) y la vulnerabilidad del ciclista (73.57 %) son considerados como los principales obstáculos para el uso de la bicicleta en la ciudad. A pesar de que inicialmente solo el 52.5 % de las personas dispuestas a utilizar otra alternativa de movilidad indicó que le interesaría utilizar la bicicleta, al preguntarles si estarían dispuestas a utilizar un servicio de bicicletas compartidas, el 82.86 % se mostró dispuesta. Esta diferencia significativa permite evidenciar como los servicios de bicicletas compartidas fomentan el uso de la bicicleta como modo de transporte. Dentro de las condiciones que debería tener la infraestructura del servicio, los encuestados (dispuestos a utilizar el servicio) mencionaron las ciclovías protegidas (77.14 %), iluminación adecuada durante las noches (56.43 %), señalización para ciclistas (47.14 %) y las centrales de transferencia (39.29 %) como las condiciones más importantes. Adicionalmente, consideran como esencial que el servicio cuente con una aplicación móvil para indicar la ubicación de las estaciones de bicicletas (62.14 %), que permita realizar cobros automáticos a través de la misma (65.71 %) y que cuente con un mapa de las rutas y tiempos de los recorridos (41.43 %).

Los destinos y orígenes de los viajes de los encuestados indican las zonas de mayor interés para el trazo de rutas. Se determinó que en el día a día, el 88 % de los viajes realizados por las personas universitarias que residen dentro de la ciudad de Guatemala es hacia las zonas 10 (33 %), 15 (32 %) y 16 (23 %). Por otro lado, el 85 % de las personas universitarias que residen en la periferia de la ciudad se movilizan hacia las zonas 10 (37 %), 15(33 %) y 16 (15 %). Los orígenes de los viajes de los habitantes universitarios de la capital indica que uno de cada dos viajes se origina desde las zonas 10, 15 y 16 y se dirige hacia las zonas más populares presentadas de antemano. Estos datos reflejan el potencial de la propuesta de la zona de estudio y los trazos de las rutas. De las personas que viven fuera de la ciudad de Guatemala, pero que la visitan frecuentemente (representan el 39 % de la muestra), el 44 % reside en Mixco y el 38 % reside en Carretera a El Salvador (Fraijanes, Santa Catarina Pinula y San José Pinula). Dado que las distancias de los municipios a la Ciudad de Guatemala son mayores a las distancias promedio a recorrer en bicicleta, esta alternativa únicamente resulta viable en combinación con otros modos de transporte como el transporte colectivo o los automóviles.

C. Caracterización del territorio

1. Barreras.

a. Barreras viales. Se identifican las vialidades presentadas en el Cuadro 12 como barreras viales dadas sus características de afluencia vehicular, límites de velocidad y cantidad de carriles. A pesar de que las velocidades en algunas de las vialidades se encuentran reguladas por límites de velocidad bajos de 40 km/hr, estos en muchas ocasiones no son respetados por lo que estas calles podrán considerarse como barreras viales cuando existan conductores que frecuentemente sobrepasen estos límites. En el caso de los pasos a desnivel, estos podrán o no ser considerados como barreras viales. En general, este tipo de infraestructura elimina puntos de permeabilidad urbana como semáforos y propicia a los conductores a circular a mayores velocidades, siendo un aspecto que aumenta la vulnerabilidad de los ciclistas en estos puntos.

Barrera Vial	Clasificación POT	Características
Bulevar Vista Hermosa y Columpio de Vista Hermosa	T4	Bulevar con un límite de velocidad de 70 km/hr con 2 carriles en el sentido sur oeste y 3 carriles en el sentido noroeste y con un carril auxiliar de dos carriles en ambos sentidos.
Bulevar Rafael Landívar	T3X y T3	Límite de velocidad 60 km/hr. Posee 4 carriles, dos en cada sentido. Existen tramos de 3 carriles en retornos.
Bulevar Austriaco	T3	Límite de velocidad 70 km/hr (existen tramos con velocidades menores de alrededor de 40 km/hr). Posee 4 carriles, dos en cada sentido. Existen tramos con carriles auxiliares de dos carriles en cada sentido.
Bulevar Los Próceres	T5	Límite de velocidad de 60 km/hr posee 6 carriles, 3 en cada sentido (existen tramos con 2 carriles en cada sentido).
Avenida La Reforma	T4	Avenida con 6 carriles, 3 en cada sentido y adicionalmente posee un carril auxiliar en cada sentido de dos carriles. El límite de velocidad en esta vía es de 50 km/hr, no obstante las velocidades pueden ser mayores.

Cuadro 12
Barreras viales
(Fuente: Elaboración propia)

b. **Barreras por uso de suelo**. Las barreras por uso de suelo son principalmente de uso residencial. En el distrito A se cuenta con algunos predios los cuales interrumpen la traza urbana y continuidad de las calles. Por otro lado, el distrito J dentro de la zona 14 se ve afectado por los usos residenciales y talleres que limitan la conectividad dentro del distrito. Esta situación dificulta la propuesta de nuevas rutas para ciclistas ya que genera recorridos de mayor tamaño y de mayor complejidad (al no ser rutas directas).

c. **Barreras naturales**. Las principales barreras naturales en la ciudad de Guatemala y dentro del área de estudio son los barrancos, los cuales inclusive inciden en la zonificación del territorio. Dentro de la zona de estudio se observa que los barrancos dividen a Vista Hermosa I y II de la zona 10, permitiendo su conexión con esta zona únicamente a través de barreras viales como el columpio de Vista Hermosa y el Blvd los próceres. De igual forma, se observa que parte de la zona 15 y la zona 16 se encuentran separadas por barrancos. Esto limita las posibilidades de conexión con el resto de la ciudad y dificultó el trazo de nuevas rutas.

2. Distritos. Las barreras naturales y urbanas generaron un total de 11 distritos. Cada distrito deberá ser intervenido individualmente considerando sus características, traza y uso de suelo. Una de las ventajas del análisis del territorio por distritos es la posibilidad de trabajar con zonas de menor tamaño delimitadas por barreras las cuales deben ser intervenidas para alcanzar una interconexión eficiente, cómoda y segura.

3. Puntos de permeabilidad distrital. Al analizar el mapa de puntos de permeabilidad se observa que los distritos más difíciles de conectar son los distritos del C al I al no contar con puntos de permeabilidad que permitan cruzar de forma segura del conjunto de distritos D,E,F y G al conjunto de distritos I,C y H y de este al conjunto A, B, J, K y B. Esta problemática evidencia la necesidad de la creación de puntos de permeabilidad que prioricen a los ciclistas y peatones, especialmente en el Blvd. Rafael Landívar, el Columpio de Vista Hermosa y el Barranco que divide Vista Hermosa I de la zona 10.

4. Puntos de interés.

a. **Parques/Plazas**. Se observa que la mayoría de distritos cuentan con parques. Estos podrán ser considerados como puntos de interés y espacios atractivos para el trazo de nuevas ciclovías. Al ser espacios públicos con vegetación generan un mayor grado de disfrute en el recorrido. Dentro de los principales parques dentro de la zona de estudio cabe resaltar los parques lineales como el Blvd. Vista Hermosa, La Avenida Reforma, La Avenida Las Américas y El Blvd. Rafael Landivar. Adicionalmente, se encuentran espacios públicos relevantes como el Campo Marte, el parque Guillermo Paiz (de la Colonia El Maestro), el parque de Vista Hermosa I, El Obelisco, La Plazuela España, entre otros.

b. **Desarrollo comercial**. Es importante recalcar que para el área de estudio seleccionada el distrito D y E cuentan con complejos comerciales de gran tamaño, siendo Cayalá y el área de Dinamia y Cardales. Adicionales a los complejos comerciales, se observa que el distrito A y J poseen múltiples desarrollos comerciales. La importancia de los puntos comerciales recae en su potencialidad como puntos de destino de viajes.

c. **Desarrollo edificios de oficinas**. El desarrollo de edificios de oficinas se evidencia principalmente en los distritos K y A, sin embargo nuevos proyectos de edificios de oficinas están siendo desarrollados en distritos como el I y el D. Este tipo de desarrollo se considera como puntos de interés dado que son potenciales orígenes y/o destinos del servicio de bicicletas compartidas.

d. **Desarrollo edificios de apartamentos**. Los edificios de apartamentos son de suma importancia al momento de identificar las posibles rutas ya que representan ubicaciones de origen de viajes de gran potencial al poseer una mayor densidad habitacional que el resto de zonas residenciales. Dentro del área de estudio se reconocen 3 núcleos de desarrollo de apartamentos: la zona sureste del distrito A (Santa Clara), el distrito I (Vista Hermosa II) y el distrito H (Vista Hermosa I). El distrito D respectivamente también cuenta con algunos proyectos de apartamentos, no obstante son de menor densidad y tamaño.

e. **Desarrollo hotelero**. El desarrollo hotelero se evidencia en el distrito A y K principalmente. Este tipo de desarrollos permite promover a las ciudades como amigables con los ciclistas y provee oportunidades de transporte de bajas emisiones de CO2 a los turistas. El uso de la bicicleta como actividad recreativa representa una oportunidad para promover y generar mayor aceptación sobre el uso de este modo de transporte.

5. Caracterización de distritos. Una vez analizados por separados los puntos de interés e identificado los núcleos de desarrollo residencial, comercial y de oficinas, así como los espacios públicos se determinó la siguiente caracterización por uso de suelo para cada distrito, ver Cuadro 13.

Distrito	Usos predominantes	Comentario
A	Residencial, oficinas y hoteles	Comprende áreas residenciales como Santa Clara y Ciudad Vieja y un área hotelera con desarrollo de edificios de oficinas considerable.
B	Recreativo	Cuenta con el Campo Marte
C	Residencial	Predominan las casas particulares
D	Comercial y residencial	Distrito Ciudad Cayalá
E	Comercial y residencial	Comprende los complejos comerciales de Dinamia y Cardales en el área comercial y en el área residencial principalmente viviendas en residenciales privados.
F	Residencial	No posee puntos de interés, posee viviendas de pequeño tamaño.
G	Residencial	Distrito residencial con viviendas de baja densidad, cuenta con dos universidades y un colegio.
H	Residencial	Posee múltiples proyectos de edificios de apartamentos, así como casas particulares. Existen diversos comercios sobre el Blvd. Vista Hermosa.
I	Residencial	Posee múltiples proyectos de edificios de apartamentos, así como casas particulares. Existen diversos comercios sobre el Blvd. Vista Hermosa.
J	Residencial y comercial	Se encuentran diversas áreas residenciales privadas, así como algunos desarrollos de apartamentos. En cuanto al comercio, este se encuentra principalmente cercano al Blvd. Los Próceres.
K	Oficinas	Predomina el desarrollo de oficinas. Cuenta con espacios públicos como la Plazuela España

Cuadro 13
Caracterización por distrito
(Fuente: Elaboración propia)

D. Análisis de rutas

1. Recorridos. Para la conexión de las Universidades dentro del área de estudio y los puntos de interés con el corredor de la Av. Reforma y Av. Las Américas se propone un red de 47.08 km de ciclovías. A manera de garantizar la menor conflictividad posible con los modos de transporte existentes como los automóviles y las motocicletas se analizó las direcciones del flujo vehicular en las calles. No obstante, existen casos en donde por falta de vialidades que permitan la interconexión entre distritos y/o por falta espacio no es posible proponer ciclovías en el sentido de la calle, tal es el caso del tramo del columpio de Vista Hermosa en donde se propone una doble vía para ciclistas en la dirección del flujo vehicular noroeste. El objetivo de seguir el mismo sentido que la vía de la calle es lograr que el comportamiento de los ciclistas sea predecible para los conductores de los vehículos motorizados y evitar accidentes (ver Figura 52).

2. Tipología. Dado que el alrededor del 77 % de los usuarios potenciales del servicio de bicicletas compartidas indicaron que el contar con ciclovías protegidas es una condición para utilizar el servicio, se priorizó esta tipología en las calles que cuentan con una afluencia vehicular considerable. Para ello se consideró implementar esta tipología en las calles dentro de los nodos comerciales,

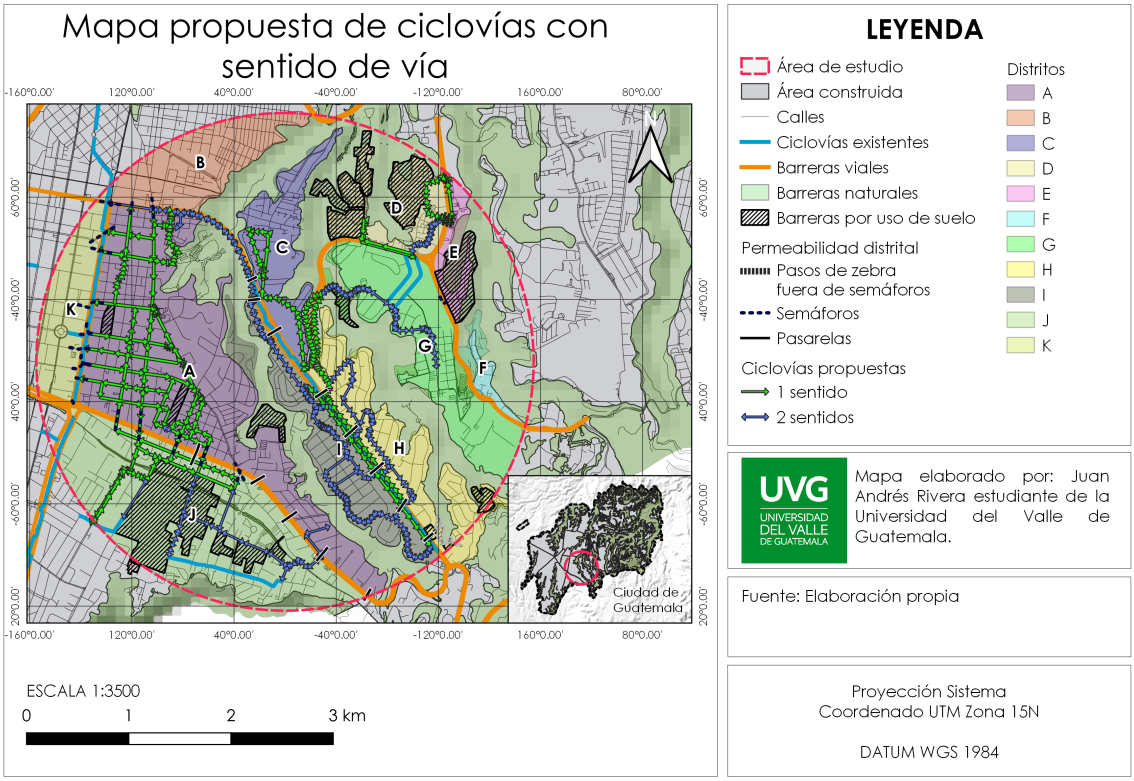


Figura 52. Mapa de análisis de ciclovías por sentidos
(Fuente: Elaboración propia)

barreras viales y calles con cargas vehiculares superiores a 8,000 vehículos diarios. En los nodos residenciales, considerando que son zonas barriales con menor tránsito y velocidades menores se propuso la tipología de calles compartidas a excepción de las calles de paso ubicadas dentro de estas zonas.

3. Nodos. La clasificación por tipología de nodos resulta eficiente para el cálculo de equipamiento de señalización vertical a nivel de anteproyecto ya que reduce el tiempo requerido para determinar la cantidad de señales a incorporar. No obstante, existieron casos espaciales los cuales tuvieron que ser intervenidos de forma individual al contar con configuraciones especiales. La correcta intervención de los nodos es esencial para brindar continuidad en las rutas propuestas y proveer a los usuarios de información necesaria para orientarse y movilizarse de forma segura a través de la red.

4. Equipamiento en tramos especiales. Existen tramos que por las características de las barreras tanto urbanas como naturales deberán ser intervenidos para garantizar el funcionamiento y la interconexión de la red de ciclovías en los distritos de la zona de estudio. Se reconoce la dificultad de la conexión de los distritos C al I con el resto del entorno construido debido a las barrancos que los delimitan así como a las vías de acceso, las cuales son principalmente consideradas como barreras viales para los ciclistas. Específicamente el Columpio de Vista Hermosa y el Blvd. Rafael Landivar.

Una alternativa para mejorar la conectividad entre el distrito I y el A sería la construcción de un

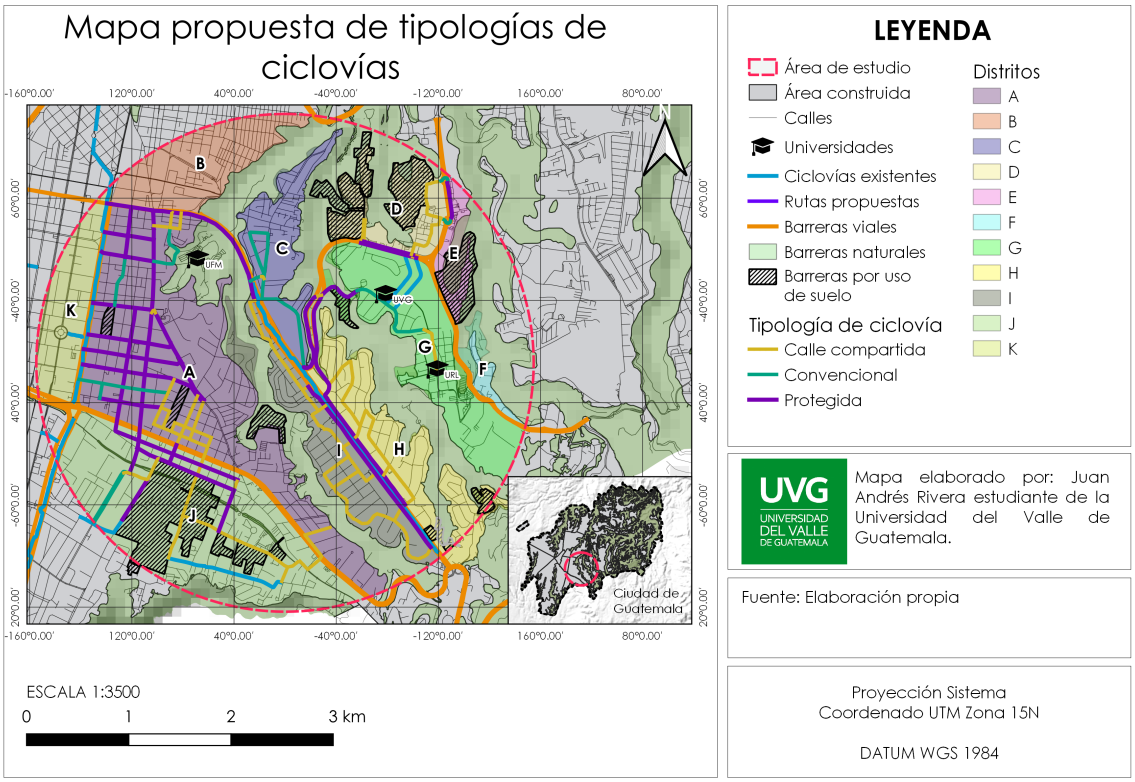


Figura 53. Mapa Rutas propuestas por tipología
(Fuente: Elaboración propia)

puente ciclopeatonal sobre el barranco para unificar las ciclovías. De esta forma se crea un punto de permeabilidad que garantice la seguridad vial de los ciclistas y que al mismo tiempo reduzca los tiempos de viaje entre ambos distritos al acortar la distancia a recorrer. Este tipo de infraestructura es menos costosa que un puente vehicular y menos invasiva, además resulta conveniente para incentivar el uso de alternativas de transporte como la bicicleta. La selección de la ubicación del puente se hace con base a los predios que no cuentan con construcciones y que permitirían la conexión de estos distritos a través de distancias cortas. En la actualidad, en la ubicación seleccionada existe un sendero a través del barranco que conecta la zona 15 con la zona 10 dentro del parque ecológico comunitario Jungla Urbana.

En cuanto al columpio de Vista Hermosa, se deberá buscar ampliar la acera de manera que pueda incorporarse una ciclovía protegida en dos sentidos y al mismo tiempo dejar espacio de circulación para el peatón. Debido a la limitante de espacio se requiere una intervención por parte de la municipalidad para gestionar la ampliación. Otra alternativa en este segmento es la reducción de uno de los carriles, sin embargo esta situación podría resultar perjudicial para la movilidad de los vehículos motorizados. Otra alternativa podrá ser la construcción de un puente elevado para ciclistas que atraviese el predio del barranco que le pertenece al ejército de Guatemala. Por último, se propone emplear el transporte colectivo para cruzar el Columpio de Vista Hermosa considerando que en un futuro se implementará una línea de Transmetro desde la zona 15 hacia la zona 10. Los usuarios podrán utilizar una central de transferencia sobre el Blvd. de Vista Hermosa para acceder al Transmetro y bajarse en otra estación en la zona 10 en donde adquieran otra bicicleta para completar en este modo la distancia restante de la parada más cercana a su destino.

Para la conexión de la parte este del distrito “J” con la parte este del distrito “A” se sugiere crear una alianza con el centro Comercial Rambla 10 o Paris Plaza para permitir que las bicicletas puedan atravesar a través de sus calles internas estos espacios para conectar la 20 calle con el Blvd. Los Próceres de forma segura y cómoda. La incorporación de este recorrido únicamente tendría sentido si se construye el puente ciclopeatonal entre el distrito “A” y el “I” en la ubicación propuesta.

5. Cobertura. La selección de la ubicación de las estaciones se hace con base a ubicaciones estratégicas, colocándolas dentro de los puntos de interés de cada distrito de manera que sean lo más accesibles a las personas ubicadas en los alrededores. Es importante considerar que estas deberán colocarse en los sitios donde exista el espacio suficiente sin interferir en la circulación del peatón.

Los establecimientos comerciales representan los espacios de mayor potencial para la colocación de estaciones de mayor tamaño. Por ende se recomienda establecer una alianza para poder colocar las estaciones dentro de sus establecimientos. Esto resulta beneficioso para los comercios dado que mejora la imagen de los mismos y al mismo tiempo provee oportunidades para que más clientes visiten sus estacionamientos. En el mapa se proponen una serie de paradas, no obstante, el número y el tamaño de las mismas podrá modificarse según la demanda del servicio.

En este modelo de bicicletas se emplean las estaciones como puntos exclusivos de orígenes y destinos. A pesar de que existen otros servicios de bicicletas compartidas en donde no se requiere de estaciones para bicicletas, se opta por esta configuración considerando que las aceras y espacios peatonales son limitados. Por ende, las estaciones obligan a los usuarios a colocarlas en las mismas y no a mitad de las banquetas. Esto garantiza un orden y se evitan inconvenientes como bicicletas estacionadas frente a portones o bloqueando ingresos a establecimientos.

Al analizar la cobertura de las 64 estaciones propuestas (para una flotilla inicial de 320 bicicletas) con radios de influencia de 300m, se observa que las estaciones cubren la mayoría del área de los distritos (ver Figura 54). Esta cobertura podrá ampliarse al resto de la ciudad o inclusive dentro de los distritos existentes a medida que se genere una mayor demanda del servicio como consecuencia de proyectos nuevos como edificios de uso mixto, comercio, apartamentos, entre otros. En la propuesta actual se busca la mayor cobertura de estaciones considerando las zonas de mayor densidad urbana (con una mayor cantidad de edificios de usos primarios de tipo comercial, residencial y de oficinas principalmente).

A través de un análisis de cobertura de las estaciones, se determinó que se encuentran a una distancia máxima de 300 metros: 199 edificios de apartamentos, 125 edificios de oficinas, 45 establecimientos comerciales (supermercados, plazas comerciales y centros comerciales), 45 espacios públicos (parques y plazas) y 3 Universidades. Estos datos demuestran el potencial de conectividad e integración de los puntos de interés dentro de los distritos del área de estudio sin contar a las zonas residenciales de baja densidad como viviendas individuales y comercios individuales como restaurantes, tiendas fuera de plazas comerciales y otros establecimientos. Adicionalmente al servicio de bicicletas compartidas, los usuarios de bicicletas propias podrán hacer uso de las ciclovías. Por lo tanto, la cantidad de personas beneficiadas por este tipo infraestructura será mayor.

Al momento de analizar la integración con el transporte colectivo, se determina que la mitad de las estaciones propuestas (32 estaciones de bicicletas) se encuentran a menos de 300 metros de una parada de transporte público. Se observa que la mayoría de distritos cuentan con centrales de transferencia en donde los distritos “K”, “A” y “J” cuentan con una mayor variedad de servicios de transporte colectivo. En el siguiente cuadro se observa la cantidad de paradas por servicio de

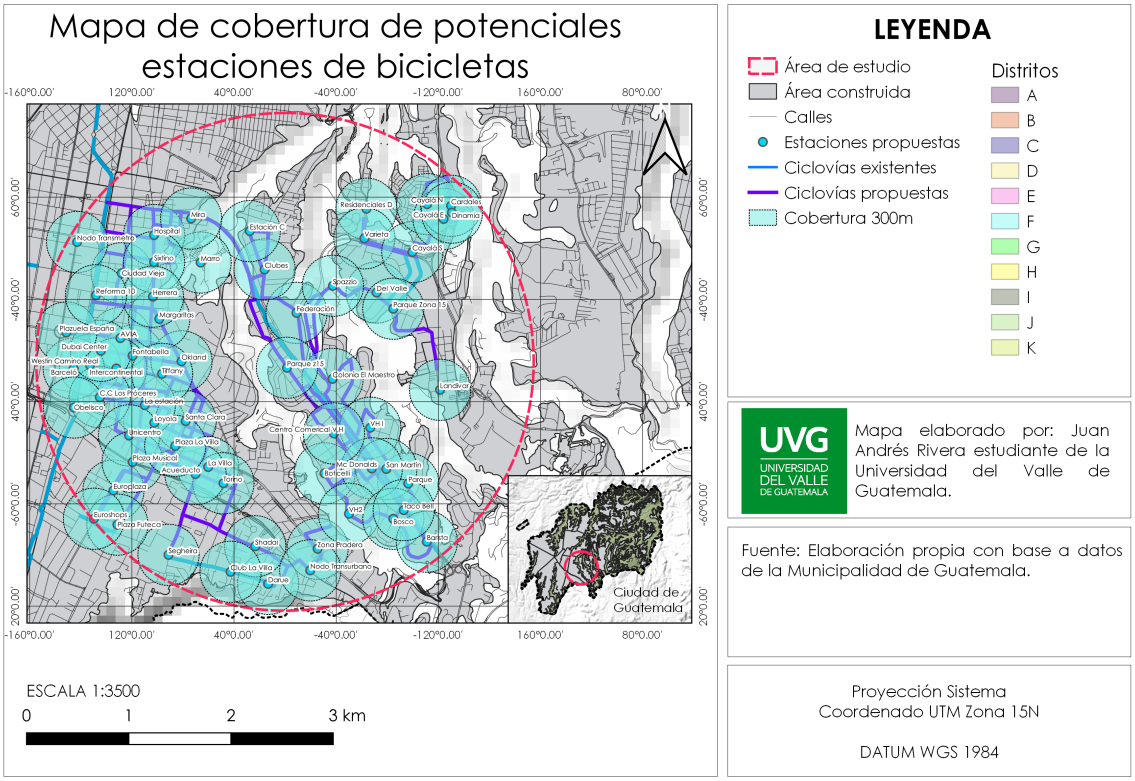


Figura 54. Mapa cobertura de estaciones propuestas
(Fuente: Elaboración propia)

transporte colectivo dentro del área de cobertura de las estaciones para bicicletas.

Estación de transporte colectivo	**Cantidad de estaciones**
Transmetro	4
Transurbano	41
Buses urbanos	1
Parada compartida por Transurbano y buses urbanos	5
Total de estaciones	51

Cuadro 14
Centrales de transferencia
(Fuente: Elaboración propia)

Las estaciones con la mayor cercanía las paradas de transporte colectivo son: la estación Nodo Transmetro en el distrito “K”, la estación Reforma 10 y la estación Westin Camino Real en el distrito “A” para conectarse al servicio de buses urbanos y las estaciones Acueducto, La Villa, Torino para conectarse a paradas que funcionan tanto para el transurbano como los buses urbanos en el distrito “J”. De igual forma, la estación McDonald’s, Taco Bell, Barista y Centro Comercial Vista Hermosa permiten la conectividad directa con los buses urbanos en distrito “I”. Por último, el distrito “D” cuenta con la estación Cayalá Sur, la cual permite una conectividad directa con las rutas de buses urbanas del sector.

E. Visión de ciudades inteligentes

El desarrollo del modo de transporte de la bicicleta compartida como servicio de movilidad se basa en la visión de ciudades inteligentes ya que a través de este proyecto de graduación se busca tomar ventaja de las herramientas tecnológicas para ofrecer una mayor comodidad a los ciudadanos así como aumentar la eficiencia del mismo al responder a las condiciones de la ciudad y a las demandas de los usuarios. Desde el inicio de la planificación se consideran las áreas de interés de las ciudades inteligentes.

1. Inclusión y accesibilidad. La inclusión de las personas dentro del servicio es esencial dentro de la visión de ciudades inteligentes. Este criterio se cumplió a través de tomar en cuenta las necesidades de los potenciales usuarios (encuestados) al momento del desarrollo de la propuesta de infraestructura para bicicletas compartidas, dando prioridad a la seguridad vial (elección de ciclovías protegidas cuando fue posible), seguridad social y equipamiento necesario, de manera que se generaren las condiciones adecuadas para que el servicio pueda ser utilizado por la mayor cantidad de usuarios posible. Para facilitar el acceso al servicio se propone contar con un sistema de pago automatizado a través de una aplicación móvil; sin embargo, para incluir dentro del servicio a aquellos usuarios que no poseen tarjetas de crédito o débito y se manejan con efectivo, se propone incluir en cada estación de bicicletas un Totem. Siendo este una máquina que permite adquirir una tarjeta de recargas para efectuar los pagos del servicio con efectivo. Además, este Totem podrá encargarse de proporcionar internet para que los usuarios que deseen acceder a la aplicación pero no cuentan con internet puedan hacerlo. Es recomendable que esta tarjeta de recargas sea compatible con otros modos de transporte como por ejemplo la tarjeta del transmetro.

Se propone el uso de bicicletas eléctricas para expandir el rango de distancias promedio que podrán ser recorridas por los usuarios y reducir el esfuerzo físico. Este tipo de bicicletas resulta el más atractivo para el servicio de bicicletas compartidas dentro de la zona de estudio dado que cuenta con ciclovías posicionadas en vialidades con pendientes pronunciadas como el Columpio de Vista Hermosa, el Blvd. Vista Hermosa y el Blvd. Rafael Landívar.

2. Equipamiento digital. Como parte integral del funcionamiento del servicio de las bicicletas compartidas se propone el desarrollo de una aplicación, la cual tiene dos objetivos principales: mejorar el nivel de confort de los usuarios (facilitar el uso del servicio y brindar una experiencia placentera) y recolectar/registrar datos asociados a usuarios y demanda. Esta aplicación, en combinación con una plataforma web para el análisis y visualización de datos y los sensores incorporados a la red comprenden la capa de digital propuesta por la visión de Smart Cities. Esta capa posee beneficios tanto para los usuarios de las bicicletas compartidas como para los planificadores y gestores del funcionamiento del servicio e infraestructura para bicicletas (ciclovías, estaciones y centrales de transferencia).

a. Monitoreo de rutas. Después de analizar las tecnologías disponibles en el mercado para el conteo de ciclistas, se optó por seleccionar los GPS, los cuales se incorporarán en cada bicicleta del servicio. De esta forma se logra obtener una retroalimentación del servicio y la efectividad de la propuesta de las rutas ya que de esta forma es posible monitorear y registrar los recorridos que realizan los usuarios. Un beneficio adicional de los GPS es que funcionan como un sistema antirobos que permite localizar la bicicleta si llega a ser robada.

b. Aplicación y plataforma. Las funciones propuestas para la aplicación móvil responden a los hallazgos de la encuesta. Esta deberá contar con la capacidad de identificar las ubicaciones

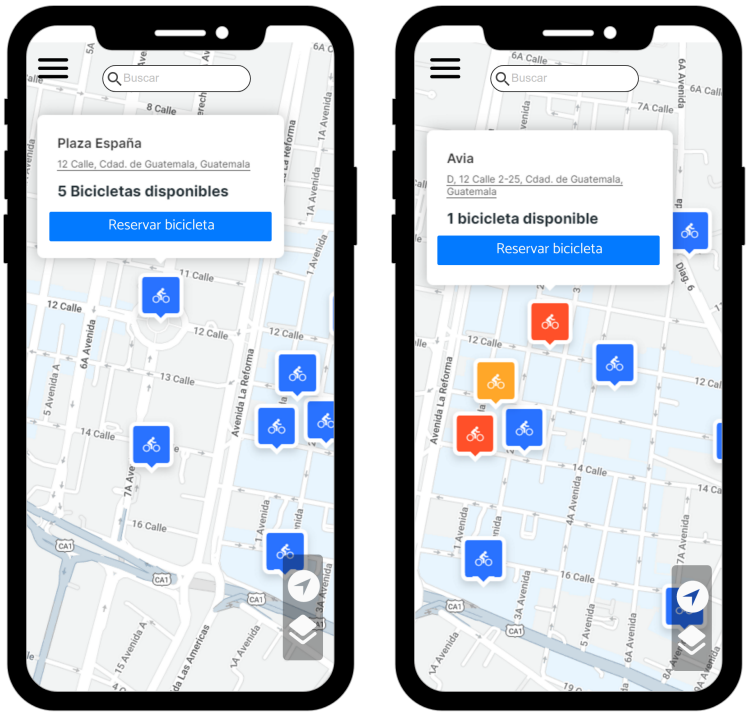


Figura 55. Pantallas estaciones bicicletas
(Fuente: Elaboración propia)

de las estaciones más cercanas al usuario y la disponibilidad de bicicletas en cada una (ver Figura 55), así como la posibilidad de reservar una bicicleta. De igual forma, la aplicación deberá poder programar viajes con base al destino del final. De preferencia, se recomienda que muestre la ruta a tomar a través de las ciclovías existentes y la estación más cercana al destino (ver Figura 56). Dentro de las funciones adicionales de interés (ver Figura 56), se encuentra la opción de denuncias, la cual podrá ser utilizada por los usuarios para denunciar robos, accidentes, infraestructura en mal estado, etc. Así mismo, la aplicación deberá contar con una función de seguridad, la cual le indique a los usuarios las recomendaciones de equipamiento de protección y conducta (uso de casco, respeto de señales, etc.).

Para el análisis y procesamiento de la información recolectada por la aplicación y los sensores (GPS integrados en las bicicletas) se deberá contar con una plataforma web. Con esta, será posible identificar los indicadores de rendimiento del servicio de bicicletas compartidas. En las Figuras 58 y 57 se proponen algunas de las funciones de interés para apoyar al proceso de gestión y planificación del modo de transporte. El análisis de la cantidad de viajes por día, ruta y hora permite identificar patrones de viaje, horas de mayor demanda y rutas populares. A través de la información obtenida (data) es posible generar proyecciones de volúmenes de usuarios que podrán ser empleados para el trazo de nuevas rutas en proyectos de expansión y/o para incrementar el número de bicicletas compartidas con base a la demanda. De igual manera, es posible medir los cambios en la cantidad de usuarios que emplean el servicio e identificar problemas en rutas cuando se observa que los usuarios evitan las rutas propuestas y toman rutas alternas. En la Figura y 57 se observa un análisis

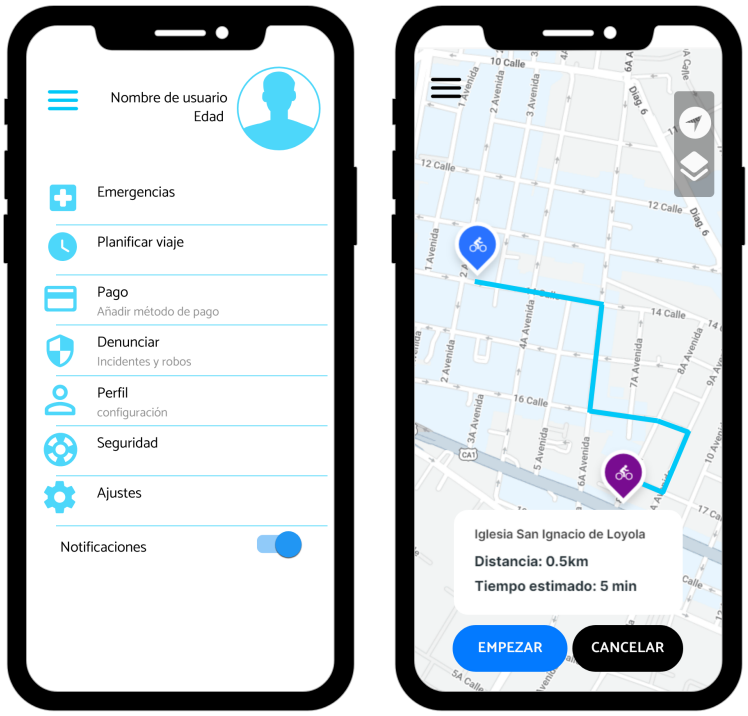


Figura 56. Pantallas funciones y rutas
(Fuente: Elaboración propia)

de datos que permite determinar cuales de las estaciones cuentan con una mayor cantidad de viajes. Estos hallazgos permiten identificar los destinos de mayor interés para el público y el los posibles motivos de viajes.

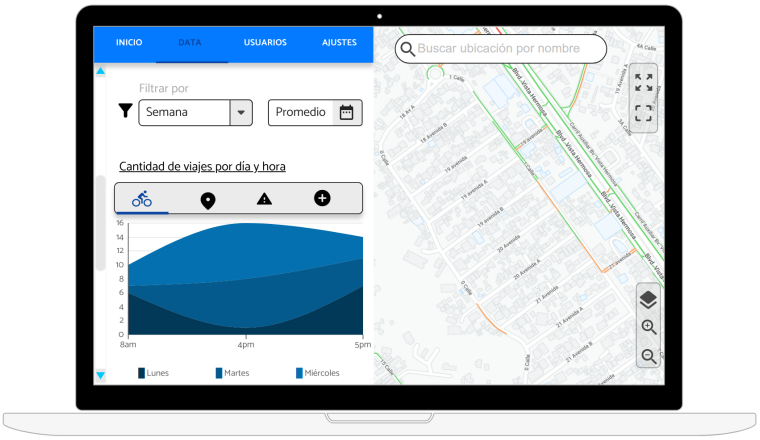


Figura 57. Análisis de datos de estaciones
(Fuente: Elaboración propia)

Las denuncias realizadas por los usuarios de la aplicación podrán ser accedidas en la plataforma web. De esta forma los planificadores/gestores del servicio de bicicletas compartidas podrán obtener

información sobre los problemas relacionados con la infraestructura para bicicletas identificar zonas inseguras (lugares donde se reportaron asaltos) y sitios en donde los conductores de vehículos motorizados no están respetando la infraestructura (vehículos estacionados sobre la ciclovía), entre otros. La Figura 59 es un referente sobre como podría lucir esta función. Adicionalmente, la información reportada sobre condiciones de infraestructura en mal estado podrá ser notificada a través de la aplicación a los usuarios que utilicen la función de planificación de viajes de la aplicación.

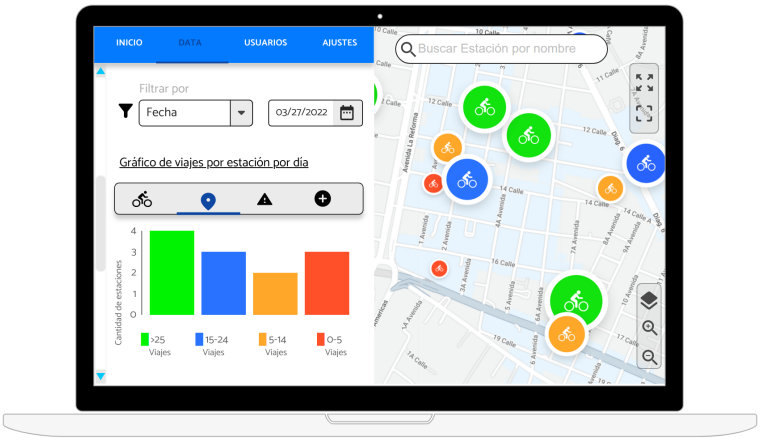


Figura 58. Análisis de datos de recorridos
(Fuente: Elaboración propia)

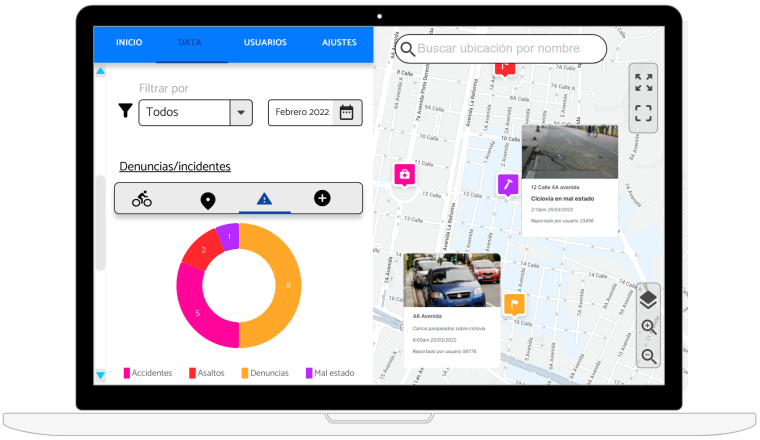


Figura 59. Análisis de datos de denuncias
(Fuente: Elaboración propia))

F. Análisis de presupuesto

A través de la herramienta de CYPE Arquímede se generó un presupuesto preliminar (ver presupuesto detallado en anexos) por medio del cotizador de precios para Guatemala estructurado en 5 capítulos: señalización, elementos de protección, iluminación, estaciones y flotilla. Se obtuvo un presupuesto preliminar de Q78,402,064.31. No obstante, solamente Q70,207,830.71 corresponden a la infraestructura para ciclovías, con un costo promedio por kilómetro de Q1,491,391.69 (el cual contempla elementos de señalización vertical, horizontal, elementos de protección, reductores de

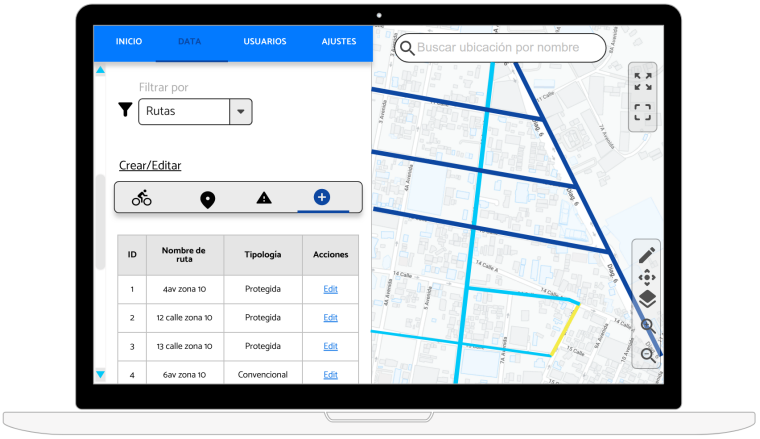


Figura 60. Gestión de rutas
(Fuente: Elaboración propia)



Figura 61. Datos de usuarios
(Fuente: Elaboración propia))

velocidad e iluminación). Los costos en kilómetros lineales por tipología (sin considerar la iluminación, ni la señalización en intersecciones) están se presentan en la Figura 64. La tipología más costosa es la ciclovía protegida, en donde el 94 % del costo es derivado de los bolardos; por otro lado la tipología más económica es la calle compartida, la cual únicamente requiere señalización horizontal y elementos de reducción de velocidad.

Se observa en el presupuesto que la mayor inversión corresponde a la iluminación, dado que esta representa en 69.74 % (ver Figura 62) del presupuesto para infraestructura. Este valor tan elevado se debe a la gran cantidad de luminarias que deben instalarse para asegurar una iluminación adecuada durante la noche. Se debe hacer énfasis en que estas luminarias deben ser de menor altura que las luminarias de los vehículos motorizados y su espaciamiento debe ser menor. En este monto se consideran las condiciones óptimas de diseño, sin embargo es posible hacer reducciones en el presupuesto al realizar un análisis más detallado del área de estudio y cálculos más minuciosos. A través de un presupuesto es posible comparar el costo de implementación con otras alternativas de movilidad y proyectos de infraestructura vial llevados a cabo dentro de la ciudad.

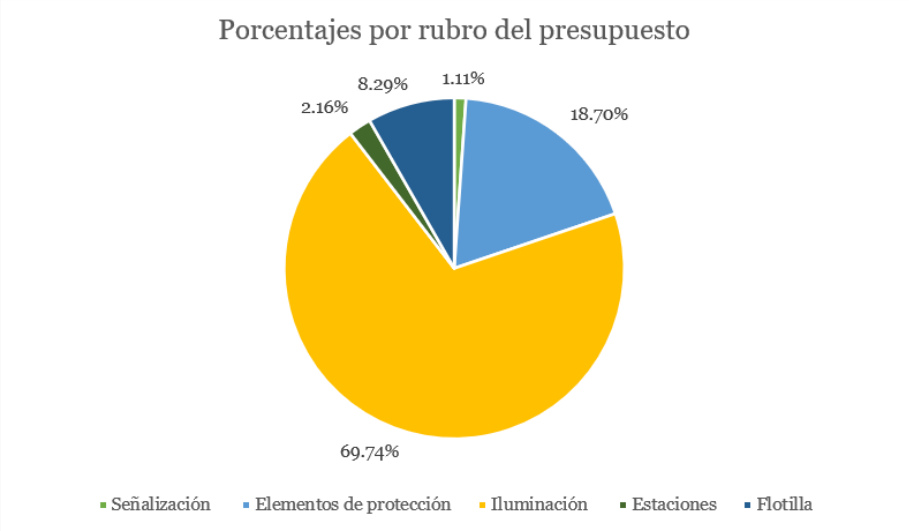


Figura 62. Porcentajes por capítulo del presupuesto
(Fuente: Elaboración propia)

Capítulo	**Monto**	
Señalización	Q	869,105.42
Elementos de protección	Q	14,658,226.20
Iluminación	Q	54,680,499.09
Estaciones	Q	1,690,848.00
Flotilla	Q	6,503,385.60
Total	**Q**	**78,402,064.31**

Figura 63. Montos por capítulo del presupuesto
(Fuente: Elaboración propia)

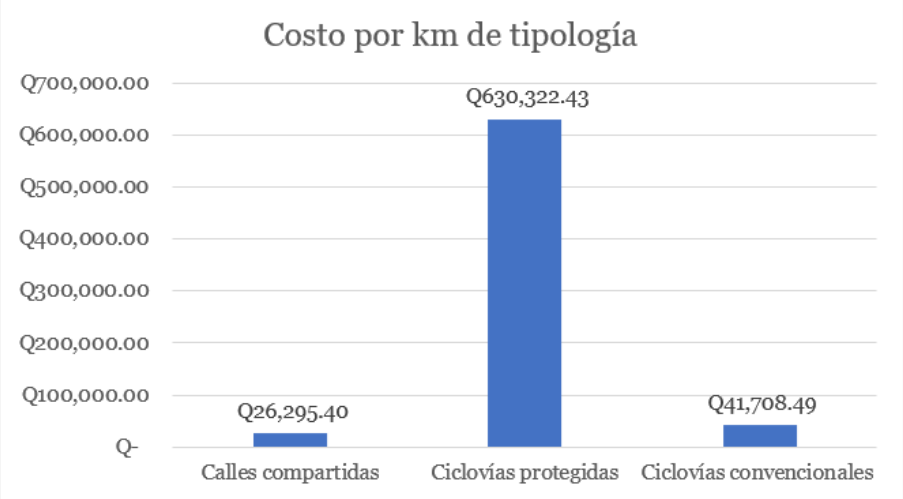


Figura 64. Costo por kilómetro lineal según tipología de ciclovía
(Fuente: Elaboración propia)

XV. Manual de diseño

Como entregable del proyecto de investigación y complemento del marco teórico, se generó un índice de temas a considerar dentro del diseño de la red de ciclovías propuestas y su referencia a las guías de diseño, tablas y documentos consultados para su elaboración. El objetivo es presentar los criterios aplicables a la Ciudad de Guatemala en cuanto al diseño.

A. Guías y manuales de referencia consultados

1. Título y designación. A continuación se presentan las designaciones (abreviaturas) asignadas a cada publicación consultada. En los apartados de cada título dentro de esta guía se hará referencia a las publicaciones por su designación. Cabe resaltar que el UBDG es de las publicaciones más completas en cuanto a elementos y criterios de diseño dado que esta se generó a partir de consultar múltiples guías, estudios, investigaciones y recursos tanto nacionales (de EE.UU) como internacionales. Puede consultarse la matriz de referencia en las páginas 289 a la 297 de la misma. De igual forma se consultaron secciones específicas de documentos adicionales no incluidas dentro de la matriz, dado que se extrajeron datos puntuales.

Designación de guías			
Nombre de la guía/publicación	**Autor**	**Publicado**	**Designación**
Urban Bikeway Design Guide	National Association of City Transportation Officials (NACTO)	2011	UBDG
Separated Bike Lane Planning & Design Guide	Massachusets Department of Transportation (MassDOT)	2015	SBLP
Guide for the Development of Bicycle Facilities, 4th edition	American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	2012	GDBF
Achieving Multimodal Networks Applying Design Flexibility & Reducing Conflicts	Federal Highway Administration (FHWA)	2004	AMN
Guía de diseño de infraestructura y equipamiento ciclista	Universidad Autónoma de México (UNAM) y Gobierno Del Distrito Federal Secretaría Del Medio Ambiente	2017	GDI
Best Practices Dutch Cycling	Dutch Cycling Embassy (DCE)	2020	BPDC
Manual del buen ciclista tercera edición	Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría de Movilidad de Colombia.	2020	MBC
Recommended Bicycle Lane Widths for Various Roadway Characteristics	NCHRP	2014	RBLW
Manual of Uniform Control Traffic Devices, Part 9 - Traffic Control for Bicycle Facilities	FHWA	2009 y revisión 2012	TCBF
Standard Highway Signs	FHWA	2004 y revisión 2012	SHS

Cuadro 15
Publicaciones consideradas
(Fuente: Elaboración propia)

2. Matriz de comparación. A continuación se presenta un cuadro comparativo entre los temas identificados en las publicaciones, ver Cuadro 15 para ver la designación asignada a cada publicación.

Capítulo	Temática	Designación					
		UBDG	SBLP	GDBF	AMN	GDI	TCBF
Planificación	Factores que motivan o desmotivan los viajes en bicicleta.		x	x			
	Procesos de planificación		x	x		x	
	Elementos de planificación			x			
	Análisis de impacto vial			x			
	Criterios de selección para nuevas rutas (¿cómo determinar qué rutas?)			x		x	
	Criterios de apoyo para la selección de la tipología	x	x	x		x	
Infraestructura para circulación de ciclistas (configuración y equipamiento)	Ciclovías convencionales	x		x		x	
	Ciclovías con buffer	x					
	Ciclovías en contraflujo	x					
	Ciclovías del lado izquierdo	x					
	Ciclovías protegidas	x	x	x	x	x	
	Ciclovías elevadas	x	x		x	x	
	Ciclovías protegidas de doble vía	x	x	x			
	Calles compartidas entre ciclistas y vehículos motorizados	x		x		x	
Intervención de Intersecciónes	Cajas de cruce en dos etapas	x	x			x	
	Señalización en paviemento de cruce de ciclistas	x	x	x	x	x	
	Camellones centrales como bahías de espera para cruzar	x			x		
	Intervención con casos de carriles de solo virar	x	x	x	x		x
Intervención de casos especiales	Paradas de bus	x	x		x	x	
	Zonas de carga y descarga	x	x		x	x	
Señalización	Señalización regulatoria	x	x	x	x		x
	Señalización de advertencia			x			x
	Señalización de guía (orientación y toma de decisiones)	x	x	x			x
	Semáforos y tiempos de fase	x	x	x	x	x	
	Reconocimiento de ciclistas en intersecciones (sensores)	x	x	x			
Iluminación	Consideraciones de posicionamiento			x		x	
	Consideraciones de selección		x	x			
Manejo de agua pluvial (drenajes)	Consideraciones generales de posicionamiento	x		x		x	
	Pendientes de drenado		x	x		x	
Estacionamiento de bicicletas	Tipologías			x		x	
	Criterios de diseño			x		x	
	Criterios de posicionamiento			x		x	

Cuadro 16

Matriz de comparación de publicaciones analizadas

(Fuente: Elaboración propia)

B. Ley de tránsito en Guatemala

Dentro del diseño de las ciclovías se deberá considerar lo estipulado en la Ley de Tránsito y su reglamento. A continuación se presentan los artículos de mayor relevancia referentes a los ciclistas y el uso de la bicicleta como modo de transporte para Guatemala. No obstante, existen otros artículos para consideraciones especiales como bicicletas de carga y lineamientos generales que todos los vehículos deberán seguir.

Título III, Artículo 12.- Derecho de vía. Las personas tienen prioridad ante los vehículos para circular en las vías públicas, terrestres y acuáticas, siempre que lo hagan en las zonas de seguridad y ejerciten su derecho por el lugar, en la oportunidad, forma y modo que normen los reglamentos.

Título III, Artículo 13. Límite de la responsabilidad. En el caso que un vehículo/bicicleta atropelle a una persona en la vía pública que cuente con zonas de seguridad, fuera de estas, el conductor/ciclista estará exento de toda responsabilidad, siempre y cuando estuviere conduciendo conforme las leyes aplicables.

Título II, Capítulo III, Artículo 13.- Equipamiento básico de moto bicicletas y motocicletas. La moto bicicleta y motocicleta que transite en las vías públicas del territorio nacional deberá contar con el siguiente equipo de alumbrado:

a. Luz alta y baja adelante.

b. Luz de posición atrás.

c. Luces direccionales adelante y atrás.

d. Luz de freno con su Reflejante; y,

e. Silenciador

Título IV, Capítulo V, Artículo 62.- Uso del espacio peatonal. Las aceras, refugios, paseos, vías peatonales, zonas peatonales, y pasarelas son espacios de uso exclusivo para peatones y no serán utilizados por vehículo alguno, incluyendo bicicletas, cuyos conductores quedan obligados a desmontar para utilizarlos.

Título IV, Capítulo VI, Artículo 66.- Prioridad de los ciclistas. Los ciclistas tienen derecho de vía ante cualquier otro medio de transporte, excepto los derechos del peatón. Todo conductor de un vehículo automotor deberá respetar este derecho, cediendo el paso al ciclista.

Sin embargo, de existir áreas, zonas, franjas, pasos, pasarelas, u otras vías para ciclistas, estos están obligados a utilizarlas, limitando la responsabilidad de los conductores de vehículos automotores a que conduzcan de acuerdo con las normas y reglas contenidas en este Reglamento.

Título IV, Capítulo VI, Artículo 67.- Lugares de circulación de las bicicletas. Los ciclistas deberán conducir en los siguientes lugares:

a. En vías públicas que no tengan ningún tipo de franja o carril para los ciclistas, éstos circularán en el tránsito mixto al borde derecho de la calzada o sobre el arcén, si este existiera y fuera transitable. En las intersecciones deberán ordenarse en el carril correspondiente al movimiento que realizarán, haciendo las señales manuales correspondientes. Cumplirán con los dispositivos y señales que regulan el tránsito vehicular restante.

b. En vías públicas con franja multiuso, las bicicletas circularán sobre la parte de la franja señalizada horizontalmente para el efecto y en el sentido indicado, impidiendo así un rebase peligroso por otros vehículos. Cumplirán con los dispositivos y señales que regulan el tránsito vehicular restante.

c. En vías públicas con carriles para bicicletas demarcados en el pavimento por señalización horizontal, circularán las bicicletas por estos en el sentido indicado, pudiendo utilizar carriles del resto de la calzada solo si no fuere posible efectuar cambios de direcciones a través de un carril de bicicletas. Pueden circular contra el sentido que tiene una vía vehicular solo si existe un carril de bicicletas especialmente demarcado y señalizado para el efecto. Los carriles son de uso prioritario para las bicicletas, pero los vehículos automotores pueden sobrepasar estos carriles, estando la prioridad definida por la señalización puntual Ley de Tránsito y su Reglamento 53 en cada lugar de cruce de trayectorias. Si existieran dispositivos y señales exclusivos para bicicletas, éstas deben cumplirlos y si no fuera así, cumplirán con los dispositivos y señales del tránsito vehicular; y,

d. En las vías públicas con vías exclusivas para ciclistas o ciclovías que están divididas de la calzada principal por bordillos o camellones, los ciclistas deben utilizarlas, en el sentido indicado, aunque generalmente son de doble vía. Para los cambios de dirección e intersecciones los ciclistas usarán siempre las ciclovías o carriles para bicicletas provistos, cumpliendo con los dispositivos y señales exclusivos para ellos. En su defecto, en las intersecciones cumplirán con los dispositivos y

señales para peatones. Por lo general, las ciclovías tienen la prioridad sobre las vías vehiculares y los vehículos automotores solo la podrán traspasar en los lugares definidos.

(Congeso de la República de Guatemala, 2015)

C. El usuario y la bicicleta

Existen distintos tipos de usuarios, los cuales deberán ser considerados y definidos al momento de planificar nuevas rutas de ciclovías, de manera que las mismas respondan a sus necesidades. En este caso, los usuarios de interés son aquellos que utilizan la bicicleta como modo de transporte, estos están definidos en la página 11 del BPDC. Los mismos utilizarán la bicicleta para viajes utilitarios los cuales poseen o buscan las características descritas en la tabla 2-1 del GDBF en la página 2-4. Como criterios de rendimiento (velocidad promedio, aceleración, tiempos de respuesta, etc.) se podrán consultar en la Tabla 3-2 de la página 3-4 del GDBF. Estos parámetros podrán ser considerados para determinar los tiempos promedio de viajes con base a la distancia de las rutas.

D. Planificación

1. Herramientas de planificación y obtención de información. El diseño de una red de transporte como la bicicleta compartida se hace en función de la demanda de usuarios proyectada, los orígenes y destinos de los viajes (puntos de interés), limitantes del territorio, etc. Por ende, es necesario generar información para apoyar a la toma de decisiones durante el proceso de planificación. La GDBF propone herramientas de análisis de apoyo para la planificación como el uso de Sistemas de Información Geográficos (SIG). Adicionalmente, cuenta con generalidades y recomendaciones sobre los aspectos a considerar en los análisis: del equipamiento existente, seguridad, demanda y análisis de costo-beneficio en las páginas 2-21 a la 2-27.

2. Consideraciones para la reestructuración de calles. Dado el espacio limitado y la configuración actual de las calles de la Ciudad de Guatemala, es necesaria la redistribución del espacio vial dedicado a cada modo de transporte para la incorporación de infraestructura para utilizar la bicicleta compartida como modo de transporte. La GDBF presenta este concepto bajo el término de Road Diet o dieta de calle y propone ejemplos de intervención y dimensiones mínimas de carriles para vehículos motorizados en las páginas 4-29 a la 4-33. De igual forma la GDI cuenta con una tabla para los anchos de carriles en función del límite de velocidad, los cuales pueden ser usados como referentes de anchos cuando se busca redistribuir el espacio dedicado a los vehículos motorizados. Esta se encuentra en la página 40.

3. Criterios de selección de rutas para nuevas ciclovías. Al momento de desarrollar una red de ciclovías es importante contemplar y definir criterios de selección de manera que las rutas propuestas cumplan con las características necesarias (seguridad, confort, eficiencia, etc.). Estos aspectos son esenciales para que un mayor número de usuarios emplee la bicicleta como modo de transporte.

La presente investigación empleó el método de selección de potenciales rutas para nuevas ciclovías propuesto en la GDI, la cual propone una metodología de selección con base a la calidad de la infraestructura, alcanzada a través de la búsqueda de integración con el entorno y el transporte colectivo, la protección de los ciclistas (contra accidentes, vandalismo y experiencias sensoriales

no placenteras), el confort (comodidad del usuario, facilidad de uso y eficiente) y el disfrute (satisfacción y disfrute del uso de la bicicleta como modo de transporte). El detalle de los criterios de calidad del ciclista está en las páginas 20 y 21 de la GDI. Se decidió trabajar con esta metodología dado que considera el contexto y el confort de los usuarios y provee un acercamiento integral para el desarrollo de un anteproyecto. Adicionalmente, la GDI propone una serie de temas y estrategias para la selección y diseño de infraestructura para ciclovías, la cuál es descrita en el Cuadro 17.

Capítulo	Temática	Designación					
		UBDG	SBLP	GDBF	AMN	GDI	TCBF
Planificación	Factores que motivan o desmotivan los viajes en bicicleta.		x	x			
	Procesos de planificación		x	x		x	
	Elementos de planificación			x			
	Análisis de impacto vial			x			
	Criterios de selección para nuevas rutas (¿cómo determinar qué rutas?)			x		x	
	Criterios de apoyo para la selección de la tipología	x	x	x		x	
Infraestructura para circulación de ciclistas (configuración y equipamiento)	Ciclovías convencionales	x		x		x	
	Ciclovías con buffer	x					
	Ciclovías en contraflujo	x					
	Ciclovías del lado izquierdo	x					
	Ciclovías protegidas	x	x	x	x	x	
	Ciclovías elevadas	x	x		x	x	
	Ciclovías protegidas de doble vía	x	x	x			
	Calles compartidas entre ciclistas y vehículos motorizados	x		x		x	
Intervención de Intersecciónes	Cajas de cruce en dos etapas	x	x			x	
	Señalización en paviemento de cruce de ciclistas	x	x	x	x	x	
	Camellones centrales como bahías de espera para cruzar	x			x		
	Intervención con casos de carriles de solo virar	x	x	x	x		x
Intervención de casos especiales	Paradas de bus	x	x		x	x	
	Zonas de carga y descarga	x	x		x	x	
Señalización	Señalización regulatoria	x	x	x	x		x
	Señalización de advertencia			x			x
	Señalización de guía (orientación y toma de decisiones)	x	x	x			x
	Semáforos y tiempos de fase	x	x	x	x	x	
	Reconocimiento de ciclistas en intersecciones (sensores)	x	x	x			
Iluminación	Consideraciones de posicionamiento			x		x	
	Consideraciones de selección		x	x			
Manejo de agua pluvial (drenajes)	Consideraciones generales de posicionamiento	x		x		x	
	Pendientes de drenado		x	x		x	
Estacionamiento de bicicletas	Tipologías			x		x	
	Criterios de diseño			x		x	
	Criterios de posicionamiento			x		x	

Cuadro 17

Metodología de diseño de infraestructura para ciclistas

(Fuente: Elaboración propia con base a datos de (Gobierno del Distrito Federal y UNAM, s.f.))

Al igual que la GDI, la GDBF cuenta con criterios de planificación y generalidades como los factores a considerar para decidir en dónde se necesita infraestructura para bicicletas (necesidades del usuario, superar barreras, conexión de usos de suelo, qué tan directa es la ruta, intersecciones, seguridad, factibilidad, estética, etc.) en las páginas 2-12 a la 2-14.

4. Estudios de impacto vial. La GDBF describe los lineamientos y consideraciones para realizar los estudios de impacto vial y poder obtener información sobre los beneficios potenciales del desarrollo de nueva infraestructura para bicicletas en la página 2-11.

E. Ciclovías

En el capítulo II Objeto y Definiciones del Reglamento, Artículo 7 de la Ley de Tránsito se define a la ciclovías como "Las vías utilizadas exclusivamente por ciclistas, con aditamentos físicos

o rótulos para la reducción de velocidad de vehículos: calzada sinuosa, angostamientos, cambios de textura, elevación del nivel del pavimento, y otras formas de reducción, siempre que no sean túmulos".

1. Tipologías. Los documentos consultados para la elaboración de esta guía poseen diferentes criterios en cuanto a la clasificación de las tipologías. Por ende, en el Cuadro Tipología y clasificación de infraestructura para circulación de ciclistas en anexos, se presentan las definiciones y tipologías identificadas por documento de forma que se tenga un referente unificado sobre los diferentes nombres empleados para ciclovías. Se seleccionó la clasificación de la UBDG dado que se considera la más completa.

a. Ciclovías convencionales. Estas son el tipo de ciclovías de mayor facilidad para su inserción en la red vial de las calles de la ciudad de Guatemala dado que son las que requieren la menor cantidad de equipamiento y de modificaciones a la distribución del espacio vial. Como se observó en el marco teórico, esta tipología esta delimitada por líneas continuas de pintura. No obstante, dadas las condiciones de falta de cultura y educación vial se recomienda optar por otras tipologías que generen mayor protección a los ciclistas. De las páginas 4 a la 19 de la UBDG se puede encontrar la definición, ventajas, aplicaciones típicas, imágenes y diagramas de este tipo de ciclovía. De igual forma, la GDBF hace referencia a las mismas bajo el nombre de carriles bici ("bike lanes") en las páginas de la 4-11 a la 4-16.

b. Ciclovías con buffer. Las ciclovías con buffer poseen un mayor grado de seguridad que las convencionales dado que aumentan el espacio de separación entre el espacio de circulación preferencial para bicicletas y los carriles de vehículos motorizados. Estas son más recomendadas que las ciclovías convencionales. De las páginas 19 a la 30 de la UBDG se puede encontrar la definición, ventajas, aplicaciones típicas, imágenes y diagramas de este tipo de ciclovía.

c. Ciclovías contra-flujo. Las limitantes en cuanto a la cantidad de calles disponibles para transitar de forma segura como ciclista (aquellas de menor tránsito vehicular) en la ciudad de Guatemala hacen atractiva esta tipología ya que convierten en doble vía calles de una vía, ocupando poco espacio. No obstante, dificultan la intervención de intersecciones y se requiere de una mayor cantidad de señalización en estos puntos que las ciclovías que siguen el flujo vehicular motorizado. Sus consideraciones de diseño, ventajas, aplicaciones, esquemas e imágenes se ecuentran en la UBDG de las páginas 31 a la 45.

d. Ciclovías del lado izquierdo. En los casos en donde se cuente con paradas de bus del lado derecho y/o haya una mayor cantidad de vehículos que realiza cruces a la derecha, se podrá implementar esta tipología. Para ello se necesitarían realizar visitas de campo a las calles donde se propuso los trazos para ciclovías potenciales para determinar en que casos aplicaría el uso de esta tipología. De las páginas 46 a la 57 de la UBDG se puede encontrar la definición, ventajas, aplicaciones típicas, imágenes y diagramas de este tipo de ciclovía.

e. Ciclovías protegidas unidireccionales. En la ciudad de Guatemala, las tipologías de ciclovía que cuentan con elementos de protección son de mayor interés dado que reducen la vulnerabilidad de la bicicleta compartida ante los vehículos motorizados. Se recomienda emplear esta tipología cuando las ciclovías propuestas no estén ubicadas dentro de calles barriales. Sin embargo, esta tipología requiere más espacio que las ciclovías convencionales y el espacio vial de la mayoría de calles en la ciudad es limitado. Para su incorporación se deberá hacer una redistribución de carriles, evaluando la posibilidad de remover los estacionamientos en paralelo en algunos casos.

En las páginas 59 a la 74 de la UBDG se puede encontrar la definición, ventajas, aplicaciones típicas, imágenes y diagramas de este tipo de ciclovía. De igual manera la GDI posee consideraciones generales de los elementos de protección de esta tipología en las páginas 32, 33 y 41. Como apoyo, se podrá consultar la SBLP para conocer sobre algunos conflictos de emplear esta tipología y consideraciones descritas en las páginas 5-8 a la 5-11. Por último, la guía más completa en cuanto información, criterios de diseño y diagramación para esta tipología es la SBLP pero esta usa otro sistema de categorización de tipologías. En ella se describen todas las consideraciones de diseño para ciclovías separadas de los carriles motorizados.

f. Ciclovías elevadas. Las ciclovías elevadas representan una oportunidad para generar una separación entre la ciclovía y los carriles del tráfico motorizado empleando menos espacio que algunas tipologías de ciclovías protegidas. A pesar de ello, es posible que el equipamiento necesario sea más costoso que otras tipologías de ciclovías protegidas. La SBLP cuenta con diferentes tipos de ciclovías elevadas, las cuales pueden ser consultadas de las páginas 24 a la 28. De igual manera, en la UBDG se describe esta ciclovía en las páginas de la 75 a la 90.

g. Ciclovías protegidas bidireccionales. La implementación de esta ciclovía en las calles de la Ciudad de Guatemala es la más compleja ya que se requiere de un mayor espacio que las ciclovías unidireccionales de cualquiera de las tipologías descritas. La UBDG describe las consideraciones de diseño, propiedades y ventajas de esta tipología junto con apoyos visuales como fotografías y diagramas en las páginas 91 a la 108. Así mismo, en la SBLP se encuentran consideraciones de diseño para esta tipología en las páginas 16 y 17.

h. Calles de uso compartido. Las calles de uso compartido son viables dentro de zonas de tránsito calmado como colonias. Dentro del área de estudio, las ciclovías en zonas barriales como Ciudad Vieja en la zona 10, Vista Hermosa I y II y Santa Clara en zona 10 cuentan con las condiciones para esta tipología por su baja afluencia vehicular y límites de velocidad. La UBDG describe las generalidades, ventajas y apoyos de diseño en las páginas de la 273 a la 287. En el MBC se describen los límites de velocidad de estas calles en la página 64. En el GDBF bajo el nombre de carriles de uso compartido se presentan consideraciones generales aplicables a esta tipología en las páginas de la 4-2 a la 4-6 subdivididas en calles con parqueo en paralelo a los costados y calles donde no es permitido el parqueo en paralelo. Por otro lado, la GDI hace referencia a estas calles como zonas de tránsito calmado y las describe en las páginas de la 58 a la 61.

2. Elementos de protección. La SBLP describe los diferentes tipos de elementos de protección que pueden ser utilizados como buffers en página 34. De igual forma presenta algunas ventajas y desventajas de los elementos empleados como buffer. En las páginas de la 36 a la 38 menciona los elementos de buffer entre la ciclovía y la calle y en la 39 los elementos de buffer entre la ciclovía y la acera. La AMN también describe los elementos de protección y hace referencia a otras guías presentadas en la página 46.

a. Camellones. Los camellones son elementos de separación generalmente fundidos que son empleados para impedir el acceso de vehículos motorizados a la ciclovía. La GDI describe la geometría del perfil, alto y ancho mínimo y el espaciamiento de estos elementos en las páginas 32 y 33. La UBDG se refiere a estos elementos como “mountable curve” o “approns” y sus especificaciones se encuentran en las páginas 78, 79 y 94. La SBLP cuenta con consideraciones de alto y ancho de los camellones como elemento de buffer en la página 38.

b. Postes verticales flexibles. La SBLP describe el espaciamiento entre postes delimitadores en la página 36.

c. Topes de parqueos. La SBLP describe el espaciamiento entre topes de parqueos que fungen como buffer entre la calle y la ciclovía en la página 36.

d. Maceteros. La SBLP describe el ancho mínimo y espaciamiento de maceteros como buffer en la página 37.

e. Barreras de concreto. La SBLP describe las ventajas y desventajas del uso de barreras de concreto en la página 37.

f. Bolardos rígidos. La SBLP describe el ancho mínimo y espaciamiento entre bolardos como buffer en la página 37. La GDBF contiene información sobre el alto, espaciamiento y señalización complementaria sobre los bolardos en las páginas 5-46 y 5-47.

3. Anchos de ciclovías. Los anchos de las ciclovías son abordados con base a las tipologías presentadas por la UBDG. A continuación se presenta un resumen de los anchos según la configuración de la ciclovía (ver Cuadro 18); sin embargo, existen parámetros adicionales para casos específicos y criterios diferentes en otras publicaciones. Se decide trabajar con los parámetros de la UBDG dado que contemplan más escenarios y además considera varios documentos de apoyo. Por otro lado la AMN presenta consideraciones de anchos haciendo referencias a otros manuales en la página 47.

			Espacio de circulación unidireccional		Espacio de circulación bidireccional			Ancho de buffer		Ancho de tipología unidireccional		Ancho de tipología bidireccional	
Referencia	Tipología	Ubicación	mínimo	recomendado	mínimo	recomendado	Tipo de buffer	mínimo	recomendado	mínimo	recomendado	mínimo	recomendado
UBDG	Convencional	Adyacente a acera	0.90	1.20	--	--	Ninguno	--	--	0.90	1.20	--	--
		Adyacente a parqueo en paralelo	1.50	1.80	--	--	Ninguno	--	--	1.50	1.80	--	--
	Con buffer	Adyacente a acera	0.90	1.20	--	--	Pintura	0.60	>0.6	1.50	1.80	--	--
		Adyacente a parqueo en paralelo	1.50	2.10	--	--	Pintura	0.60	0.90	2.10	3.00	--	--
	Protegidas	Adyacente a parqueo en paralelo	1.50	2.10	2.40	3.65	Pintura	0.90	0.90	2.40	3.00	3.30	4.55
		Adyacentes a calle	1.50	2.10	2.40	3.65	Pintura + bolardos	0.60	0.60	2.10	2.70	3.00	4.25
	Elevadas	Adyacente a calle	1.50	2.00	2.40	3.65	Curva levantada/ montable	0.45	>0.45	1.95	2.45	2.85	4.10
		Adyacente a parqueo en paralelo	1.50	2.00	2.40	3.65	Curva levantada	0.90	0.90	2.40	2.90	3.30	4.55

Cuadro 18

Cuadro de anchos de ciclovías por tipología

(Fuente: Elaboración propia con base a datos de (National Association of City Transportation Officials, 2011))

Por otra parte, la SBLP presenta anchos mínimos y recomendados para carriles bici (espacio de circulación para ciclistas) unidireccionales y bidireccionales en función de la cantidad proyectada de usuarios. Dado que no se cuenta con datos de proyecciones de usuarios en horas pico, resulta más conveniente apoyarse en los criterios de la UBDG. No obstante, las tablas de esta publicación (SBLP) son más sencillas y fáciles de interpretar dado que cuenta con menos casos que los de la UBDG y esta estructura los anchos de ciclovía por zona de intervención (zona de carril bici, zona de buffer con acera zona de buffer con calle), pero cuentan con anchos mínimos menos permisibles (mayores) en cuanto a ciclovías bidireccionales. Para el caso de Guatemala, estos valores son más difíciles de trabaja por la limitante de espacio. Estas tablas pueden ser consultadas en la página 31 de la SBLP. De igual forma en ella se encuentran recomendaciones de anchos mínimos para permitir a otros ciclistas rebasar (son mayores a los anchos mínimos). Así mismo, la GDBF posee anchos de carril para ciclovías unidireccionales en dos casos, cuando es permitido el parqueo en paralelo aledaño a la ciclovía y cuando no es permitido. Estos pueden ser consultados en las páginas 4-14 y 4-15. La GDI también cuenta con anchos mínimos y recomendados del espacio de circulación del ciclista en la ciclovía protegida en la página 40.

4. Procesos de selección. Existen diversos apoyos para el proceso de la selección de tipologías de ciclovías y sus consideraciones. La UBDG cuenta con consideraciones en los apartados de cada tipología. De igual forma, se podrá apoyar en la Figura 9 de la Guía de selección de ciclovías publicada por la FHWA en el 2019, la cual cuenta con el tipo de ciclovía (las tipologías son congruentes con las de la UBDG) recomendado con base al volumen de vehículos por día y la velocidad ver Figura 65.

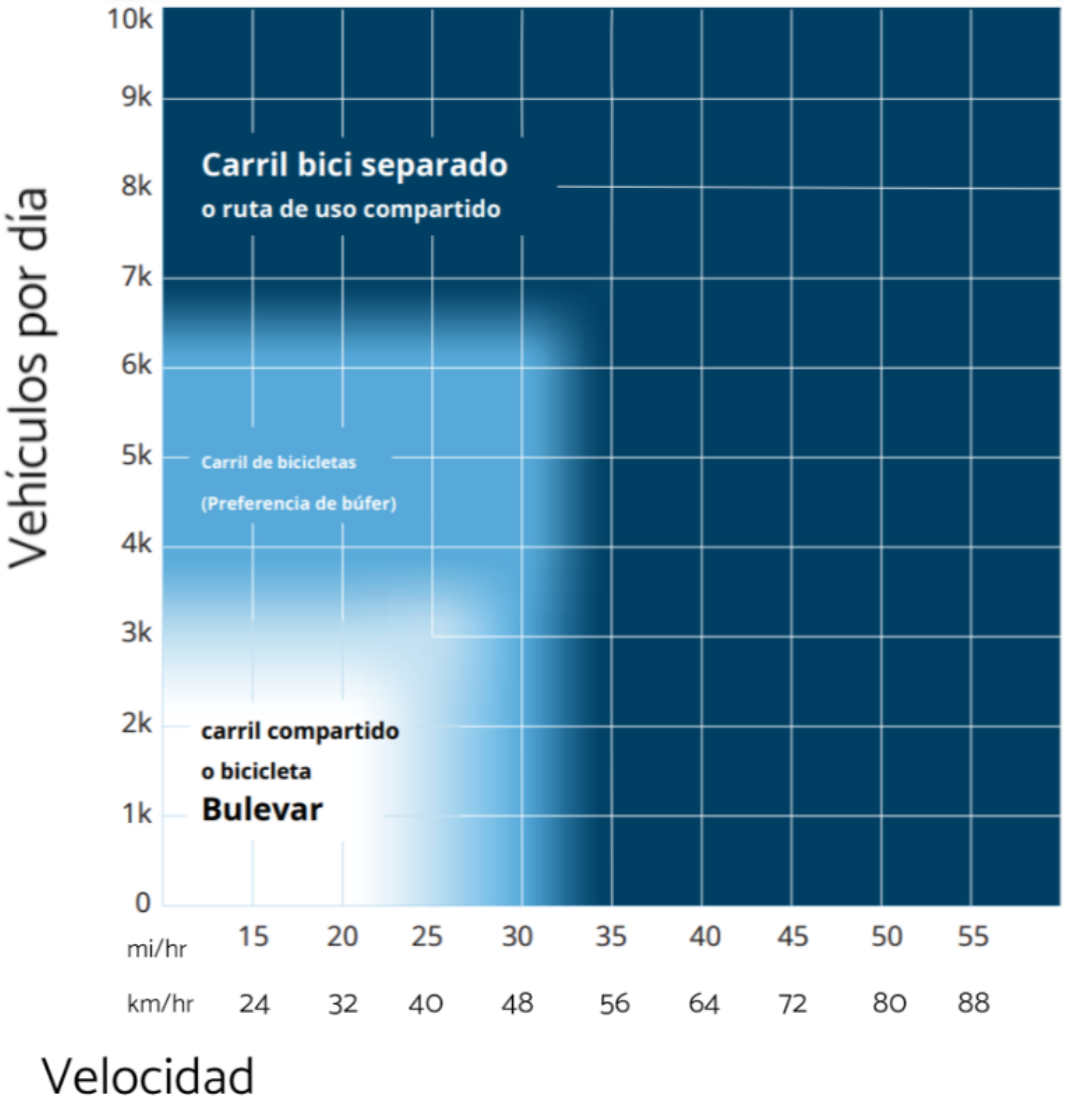


Figura 65. selección de ciclovías por tipología
(Fuente: Schultheiss et al., 2019)

Para determinar en que casos es conveniente una ciclovía protegida, la SBLP cuenta con información al respecto en la página 12 y respecto a que tipología emplear en las páginas de la 14 a la 17. En la GDBF se encuentran consideraciones para diferentes tipos de ciclovías con base al volumen de tránsito vehicular motorizado, el mejor caso de uso y otros aspectos a contemplar en las páginas de la 2-15 a la 2-20.

F. Intervención de intersecciones

Las intersecciones representan desafíos para la seguridad de los ciclistas y la convivencia entre los mismos y los vehículos motorizados por lo que resulta conveniente su intervención. Se podrán consultar las siguientes referencias para la intervención de intersecciones: SBLP, GDI, GDBF y la UBDG.

1. Cruces de ciclistas. Se entiende como cruce para ciclistas al tramo de la intersección utilizado por las bicicletas para cruzar de un lado a otro. Estos se encuentran delimitados por marcas de pintura y tienen como objetivo indicar el espacio utilizado para cruzar. Las ventajas del uso de los cruces se encuentran en la página 123 de la UBDG y la página 81 de la SBLP.

Las guía más completa para este tema es la UBDG, ya que cuenta con diferentes estrategias de señalización en pavimento para cruces de ciclistas en una dirección presentadas en los diagramas de las páginas 125 a la 129. La SBLP cuenta con especificaciones de señalización para cruces de ciclistas bidireccionales (de doble vía) en la página 81. Ambas cuentan con información sobre las medidas, colores y espaciamiento de las marcas de pintura. Adicionalmente, la GDI cuenta con un ejemplo de un cruce para ciclistas pintado (esta guía hace referencia a los cruces como carril para cruce de ciclista) en la páginas 73 y 74.

2. Cajas de espera. Las cajas de espera son utilizadas en intersecciones con semáforos y le permiten a los ciclistas posicionarse al frente de los vehículos motorizados durante la fase de luz roja del semáforo. Estas son descritas en la UBDG la cual cuenta con información en cuanto a su uso y consideraciones de diseño, descritas en las páginas 106 a la 121. Esta contiene criterios de diseño mínimos, recomendados y opcionales. De igual forma, en la página 73 de la GDI cuenta con las consideraciones generales de posicionamiento.

3. Cajas de cruce en dos etapas. La SBLP cuenta con información sobre cuando utilizar este elemento y las dimensiones mínimas de la misma en la página 84. El funcionamiento del cruce en dos etapas (cruce a la izquierda) se describe en el diagrama de la página 79 de la GDI. La UBDG cuenta con la mayor cantidad de información con respecto a este elemento; es posible consultar la información en las páginas de la 141 a la 153.

4. Camellones centrales como bahías de espera. Para acortar las distancias de cruce en intersecciones de doble vía o de gran tamaño es recomendable emplear camellones centrales de espera o refugio. La UBDG cuenta con información en cuanto a los casos de uso, consideraciones de diseño, señalización complementaria y dimensiones presentada en las páginas 154 a la 167. La SBLP cuenta con consideraciones para la aplicación de estos elementos para generar intersecciones protegidas y propone islas (camellones) de resguardo en esquinas para zonas de espera para que los ciclistas puedan virar a la izquierda e islas para generar zonas de espera para ciclistas que buscan atravesar la intersección. Esta información se encuentra en las páginas 68 a la 71. De igual forma, dentro de la SBLP se encuentran estrategias para su incorporación en calles con espacios limitados en las páginas 72 y 73.

5. Detección de ciclistas en intersecciones. La detección de ciclistas en intersecciones es utilizada (según lo investigado en las publicaciones de referencia) para el control de los semáforos (activación) y señalización utilizada para apoyar al cruce de bicicletas (ver Figura 66). La UBDG describe las consideraciones generales del funcionamiento y activación de los sensores (debe estar claro para los ciclistas en donde deben posicionarse para accionar el sensor o si deben presionar

un botón). Esta guía describe 4 tipos de sensores para control de estas señales: de bucle inductivos, detección de video, botones tipo “push” y radares miniatura que emplean microondas. Esta información es presentada en las páginas de la 215 a la 218. Igualmente, la SBLP presenta consideraciones generales sobre el uso y las ventajas de las señales que son accionadas a través de sensores en la página 115.

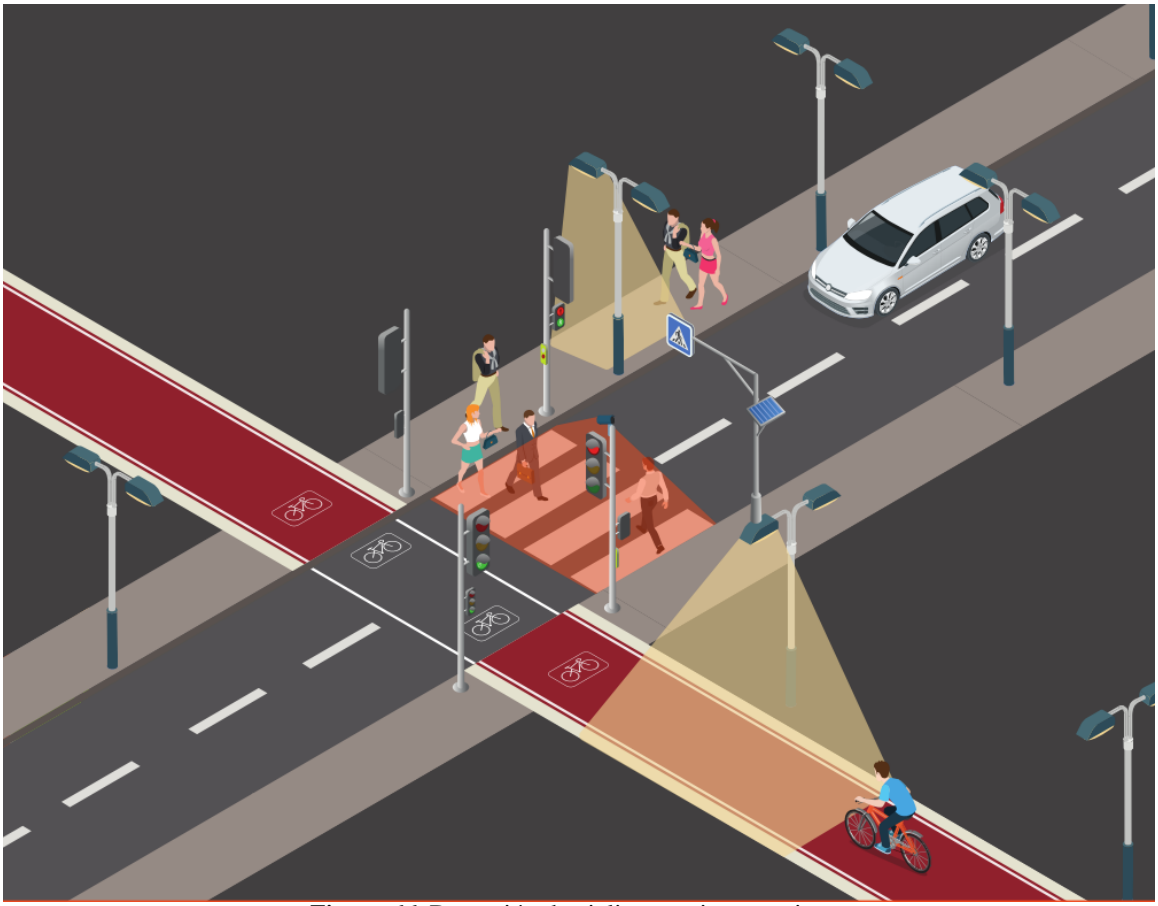


Figura 66. Detección de ciclistas en intersecciones
(Fuente: Icoms, s.f.)

G. Señalización para ciclovías

La UBDG posee especificaciones generales de simbología en pavimento (señalización horizontal) y de señalización rotulada (señalización vertical) por tipología haciendo referencia a la TCBF. Dentro de la TCBF existe información específica y detallada sobre la señalización vertical y horizontal.

1. Señalización horizontal. Es todo el conjunto de elementos de señalización de pintura colocadas sobre el pavimento.

a. Línea continua. Los anchos de línea continua a utilizar varía según su uso. Para la delimitación de los carriles en ciclovías protegidas bidireccionales se tomará como referencia los parámetros de la GDBF de la página 808. Los anchos de línea de delimitación de ciclovía se encuentran en la página 6 de la UBDG.

b. Líneas punteada. Los anchos, colores y espaciamiento de la línea punteada que delimita los carriles de ciclovías bidireccionales se encuentran en la GDBF en la página 808. Estos mismos criterios son utilizados por la SBLP (página 41).

c. Buffer de pintura. La configuración del buffer de pintura podrá ser consultada en la UBDG en la página 61 y en el SBLP en la página 41. La segunda publicación cuenta con información en cuanto a los patrones a utilizar para generar el hatch de pintura en función del ancho.

d. Señal de carril/calle compartida. La simbología, color, espaciamiento, posicionamiento y dimensiones para el ícono de bicicleta en pintura empleado en calles compartidas está descrito en las páginas 4-5 y 4-6 de la GDBF. La UBDG también cuenta con información al respecto en las páginas 279 a la 285

e. Señalización para carriles de ciclovía. Esta señalización podrá ser empleada en todas las tipologías de ciclovía, exceptuando las calles compartidas que cuentan con su propia simbología (tamaños mayores). Sus dimensiones, espaciamiento y configuración está presentada en al página 4-20 de la GDBF. Igualmente, en la TCBF se presentan las medidas y tipologías de señalización horizontal en la página 809 con consideraciones sobre su uso.

f. Señalización para aproximación a obstáculos. La TCBF dispone de especificaciones para delimitar en el pavimento obstáculos como bolardos u obstrucciones al borde de la ciclovía. Estas se encuentran en la página 815.

2. Señalización vertical. Es el conjunto de señales que se colocan sobre postes y otros; en otras palabras es un tipo de señalización indicada a través de rótulos. A continuación se presentan agrupadas por categoría las señales empleadas en ciclovías. Algunas de las señales verticales que pueden ser utilizadas se encuentran al final del Reglamento de la Ley de Tránsito de Guatemala; no obstante, cuenta con una cantidad limitada de opciones por lo que se decide presentar las señales verticales descritas por la TCBF. Los tamaños, colores y configuración de la señalización vertical se encuentran estipulados en el SHS. Para la altura de posicionamiento de las señales se podrá tomar de referencia la Figura 9B-1 de la TCBF en la página 790. De igual forma la SBLP posee consideraciones generales sobre la altura de colocación de señales y posicionamiento en la páginas 110 y 111.

El uso y posicionamiento de señales verticales para calles compartidas está en las páginas 4-3 y 4-4 de la GDBF.

a. Reglamentaria. La señalización reglamentaria para ciclovías comprende el conjunto de señalización vertical para regular o indicar el comportamiento de los usuarios tanto motorizados como no motorizados (peatones y bicicletas) (ver Figura 67). En las páginas de la 793 a la 796, de la TCBF, se presentan los casos de uso de estas señales. Su posicionamiento puede ser consultado en la TCBF o en la GDBF.

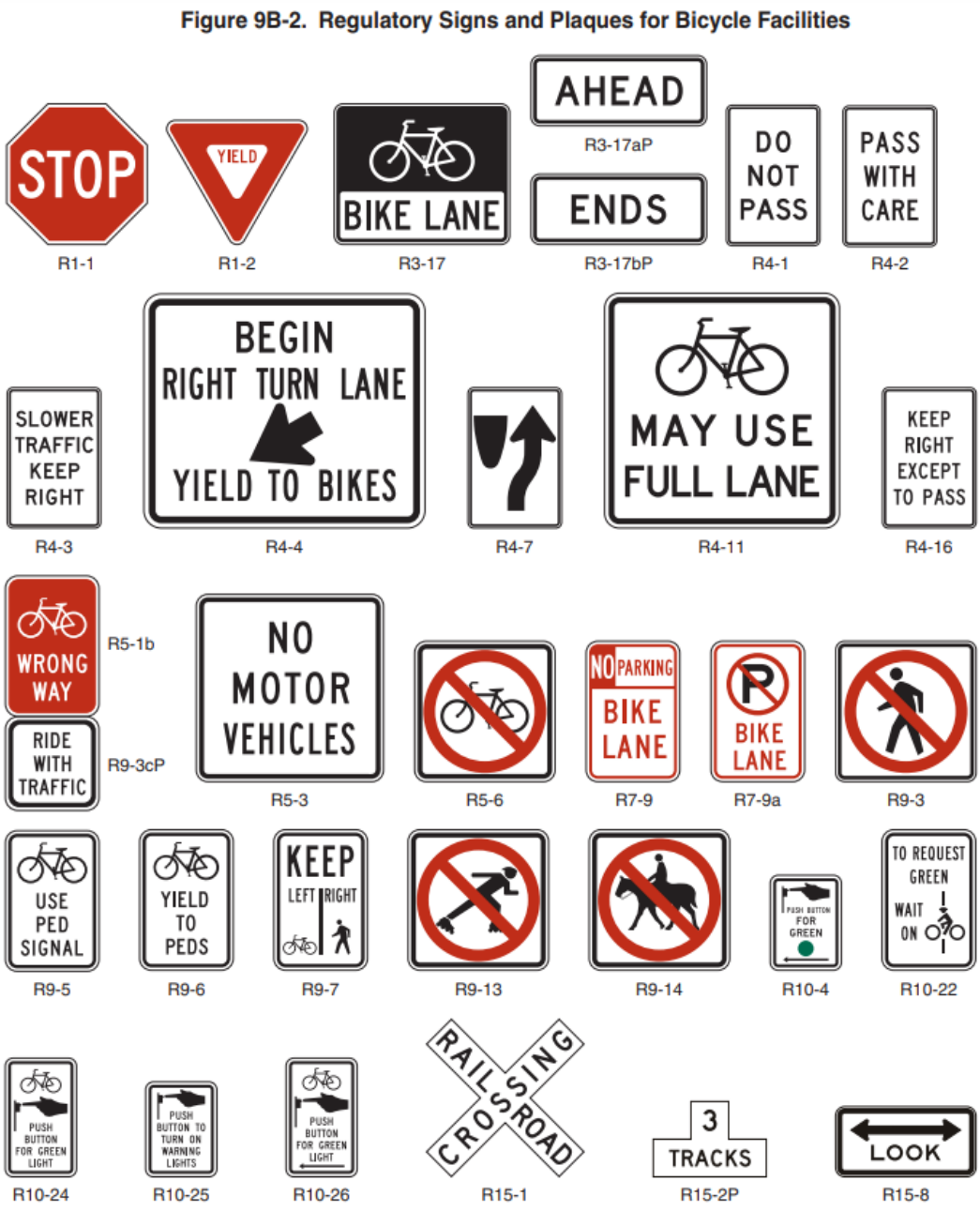


Figura 67. Señales reglamentarias para ciclovías
(Fuente: FHWA, 2009)

b. Preventiva. Las señales verticales que pertenecen a la categoría de preventivas se describen en la TCBF (ver Figura 68). Algunas de ellas también se encuentran dentro de la Ley de Tránsito Guatemalteca. Estas tienen como objetivo alertar a los usuarios (independiente del tipo de vehículo) sobre la proximidad a algún elemento (intersección, curvas, semáforo, ciclovía, etc.). Las consideraciones para su uso se encuentran en las páginas 796 a la 798 de la TCBF.

c. Señales para guía y orientación de ciclovías. Estas señales verticales permiten a los ciclistas orientarse, identificar las ciclovías disponibles y tomar decisiones en intersecciones. Su po-

sicionamiento en intersecciones se encuentra en la UBDG en la página 245, 247 y 248. También se presentan criterios de posicionamiento con medidas en las páginas 801 a la 803 y la 805 de la TCBF



Figura 68. Señales preventivas para ciclovías
(Fuente: FHWA, 2009)

Figure 9B-4. Guide Signs and Plaques for Bicycle Facilities (Sheet 1 of 2)

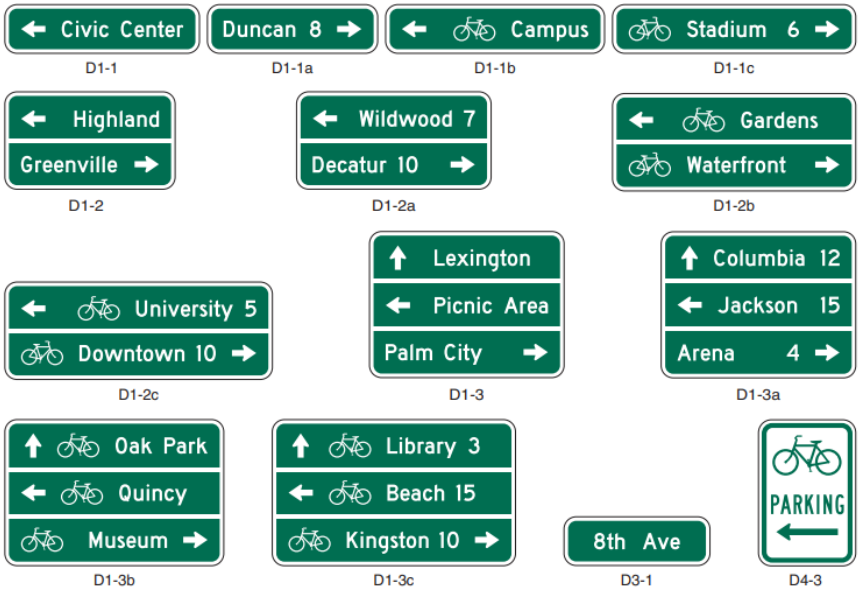


Figura 69. Señales para guía y orientación de ciclovías A
(Fuente: FHWA, 2009)

Figure 9B-4. Guide Signs and Plaques for Bicycle Facilities (Sheet 2 of 2)

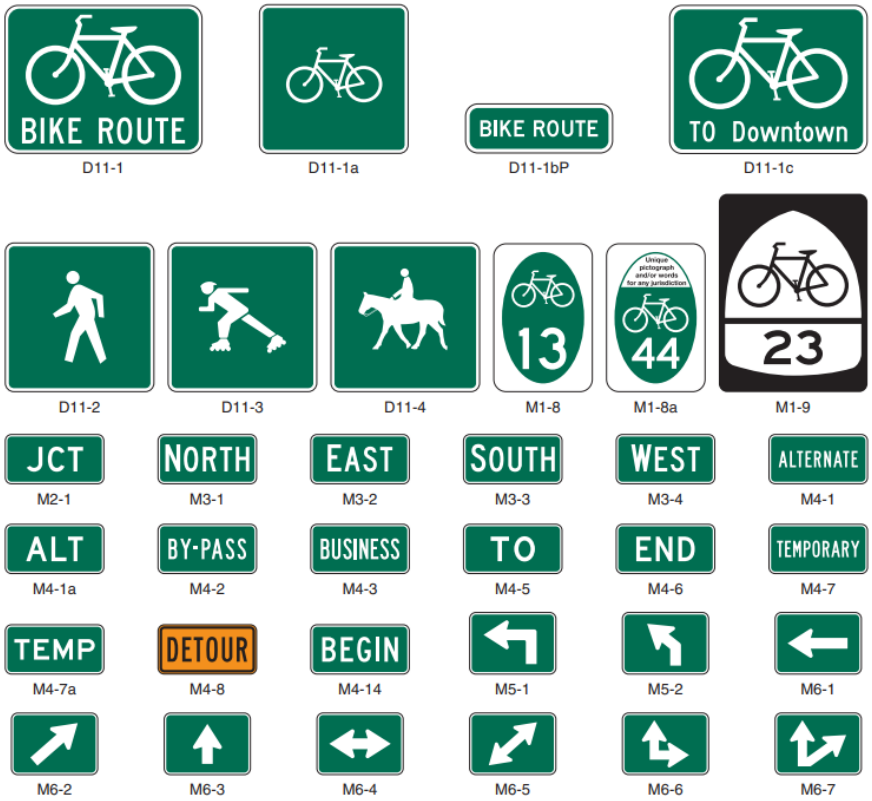


Figura 70. Señales para guía y orientación de ciclovías B
(Fuente: FHWA, 2009)

H. Intervenciones especiales

Las intervenciones especiales comprenden espacios que cuentan con una señalización y/o configuración especial para poder acoplar los usos de la calle a la infraestructura de ciclovías. Estas abarcan transiciones entre tipologías de ciclovía, ingresos vehiculares a propiedades contiguas a la ciclovía, interacción entre la ciclovía y carriles para vehículos motorizados de solo virar, paradas de buses y zonas de carga y descarga. El objetivo de su consideración en el diseño es proporcionar un referente para minimizar los conflictos con los usuarios de la vía pública y mejorar el confort y seguridad de las ciclistas.

1. Transiciones entre tipologías de ciclovía. En algunos casos se requiere de señalización para indicar la transición entre tipos de ciclovías, e.g pasar de una ciclovía protegida de doble vía a una ciclovía convencional de una vía. La SBLP contiene ejemplos de transición en las páginas 85 a la 88.

2. Ingresos a propiedades sobre la ciclovía. En la mayoría de casos, las ciclovías se encuentran aledañas a ingresos vehiculares a propiedades, por lo que vehículos motorizados necesitarán atravesar las mismas. Las estrategias de intervención comprenden el uso de línea punteada y colores en pavimento para indicar a los vehículos motorizados en donde pueden cruzar la ciclovía. Por lo general, estas intervenciones se utilizan en ciclovías protegidas. La UBDG posee un ejemplo de intervención para las ciclovías elevadas en la página 94.

3. Carriles de solo virar. Los carriles de solo virar son carriles empleados por los vehículos motorizados para cruzar a la izquierda o a la derecha en una intersección. En los casos en donde existe una cantidad considerable de vehículos que viran en una intersección y no se cuenta con espacio suficiente para una ciclovía es conveniente emplear un segmento de carriles de uso compartido. Los ejemplos de intervención y casos de uso están en las páginas 181 a la 190 y de la 257 a la 259 de la UBDG. También hay ejemplos en las páginas 811 y 812 de la TCBF y en las páginas 74 y 75 de la SBLP.

4. Paradas de bus. Existen diferentes estrategias de intervención para las paradas de bus. La SBLP contiene ejemplos de diseño para ciclovías protegidas y elevadas en las páginas 98 a la 104. La GDI también cuenta con ejemplos de intervención en la página 57. Por otro lado, la UBDG propone el uso de ciclovías del lado izquierdo para evitar interferencia entre buses y bicicletas.

5. Zonas de carga y descarga. Las zonas de carga y descarga frecuente deben ser intervenidas para generar la menor interferencia posible. La GDI contiene consideraciones generales en la página 56 y la SBLP cuenta con configuraciones y medidas en las páginas 96 y 97.

I. Detección de ciclistas en ciclovías

Como se ha mencionado en apartados anteriores, la detección de ciclistas y generación de datos, se relaciona con la visión de Ciudades Inteligentes en cuanto al desarrollo de un sistema de transporte. Las tecnologías para la detección de ciclistas en intersecciones podrán ser utilizadas para registrar datos sobre la cantidad y tipo de usuarios que utilizan el servicio de bicicletas compartidas. No obstante, resulta conveniente contar con puntos de medición fuera de las intersecciones y considerar otras tecnologías disponibles en el mercado como las presentadas en el marco teórico en el los Cuadros 1 y 2. La publicación "Guidebook on Pedestrian and Bicycle Volume Data Collection del

NCHRP" cuenta con un kit de sensores presentados en las páginas 76 a la 98. Dentro de la misma se encuentra un capítulo para la planificación e implementación de un programa de conteo de ciclistas y peatones en las páginas 21 a la 56.

J. Parqueo para bicicletas

1. Tipos. La GDBF cuenta con información sobre los tipos de parqueos temporales en la página 6-2 y parqueos de largo plazo en la página 6-4. La GDI se refiere a los parqueos para bicicletas como bici estacionamientos y los describe en las páginas 90 y 91. Como referentes complementarios de diseño CycleSafe cuenta con diferentes tipos de estacionamientos categorizados como horizontales y verticales.

2. Posicionamiento. La GDBF cuenta con consideraciones de diseño y posicionamiento de parqueos de bicicletas en las páginas 6-3 a la 6-4. La AMN contiene recomendaciones de posicionamiento de parqueos para permitir la conexión multimodal (entre diferentes modos de transporte) en la página 42. La GDI también cuenta con criterios de ubicaciones seguras y convenientes y criterios para la capacidad, selección con base al tipo de calle, medidas, entre otros en las páginas 92 a la 95 y de la 98 a la 102. En la página 102, la GDI posee recomendaciones sobre la integración de la bicicleta con otros modos de transporte a través de parqueos.

K. Iluminación

1. Criterios de selección. La GDBF cuenta con consideraciones generales sobre la selección de la iluminación como la altura típica de postes de luz, tipo de luminaria y niveles de iluminación en las páginas 5-29 y 5-30. La GDI también posee información sobre la altura (escala) de las luminarias a seleccionar y el tipo apertura de la luminaria, también cuenta con niveles de iluminación en las páginas 34 y 35. La SBLP provee información sobre la altura de las luminarias en la página 47 pero no cuenta con niveles de iluminación.

2. Posicionamiento. La GDI recomienda la colocación de la iluminación en las intersecciones y zonas de conflicto. Esta información se encuentra en las páginas 34, 35 y 80.

L. Drenajes

Las consideraciones en cuanto a pendientes y patrones de drenaje para ciclovías protegidas podrán encontrarse en la SBLP en las páginas 42 a la 44. En este apartado se encuentran consideraciones generales sobre el posicionamiento. La GDI cuenta con consideraciones sobre la orientación de las rejillas en la página 38. La GDBF cuenta con mayor detalle en cuanto al tipo de rejillas compatible con ciclovías y su orientación en las páginas 4-55 y 4-56. En las páginas 5-28 a la 5-29 se encuentran consideraciones sobre las pendientes para drenado y erosión.

XVI. CONCLUSIONES

La visión de ciudades inteligentes es necesaria para planificar y desarrollar el servicio de transporte de bicicletas compartidas. A través de esta, es posible utilizar la tecnología para sobrepasar los obstáculos que se presentan para la implementación de un nuevo servicio y generar las condiciones adecuadas que contribuyan a mejorar la fluidez de la ciudad y la calidad de vida de sus habitantes a través del legado de información obtenido. Además, al generar las condiciones adecuadas, aumentan las probabilidades de éxito del servicio y se facilita el proceso de transición de un modo de transporte motorizado como el automóvil a la bicicleta compartida.

Al comparar la bicicleta compartida con las las 5 alternativas de transporte principales identificadas dentro de la ciudad (Transmetro, Transurbano, buses urbanos, motocicletas y automóviles particulares) se observa que la bicicleta compartida ocupa menos espacio que un carro, es más amigable con el ambiente que el resto de modos, posee una mayor flexibilidad que el transporte colectivo y es más económica que las opciones de vehículos motorizados privados. Al mismo tiempo es menos susceptible al tráfico y a los precios de combustibles que los automóviles y la mayoría de servicios de transporte colectivo. Esta comparación y caracterización de los modos de transporte permite el cumplimiento de los objetivos específicos para describir los modos de transporte públicos y privados que circulan en la ciudad de Guatemala y comparar las ventajas y desventajas de los mismos con la bicicleta compartida.

A través de la presente investigación, fue posible desarrollar una red de ciclovías dentro del área de estudio, conectando los puntos de origen de viajes con los puntos de interés, junto con la propuesta de infraestructura tanto física (estaciones, flotilla, sensores y equipamiento tecnológico) como digital (aplicación móvil y plataforma de análisis de datos). Logrando así cumplir con el objetivo de desarrollar el modelo de bicicletas compartidas dentro de la zona de estudio y describir su funcionamiento. De igual forma, se generó un índice de los temas a abordar para el diseño de infraestructura y funcionamiento del servicio de bicicletas compartidas, cumpliendo de esta forma con el objetivo general.

Dentro de los aspectos de mayor importancia al momento de desarrollar la infraestructura para el funcionamiento de la bicicleta compartida, se encuentra la intervención de las intersecciones y los puntos de conexión entre rutas. Esta intervención se hace con la finalidad de generar continuidad y fluidez entre los recorridos. De esta forma mejora la experiencia del usuario y por ende aumenta la cantidad de personas que emplean el servicio. Este punto es de suma importancia dado que la interrupción en las rutas, aún en pequeños tramos, resulta perjudicial cuando se busca que un mayor número de personas se movilicen en bicicleta.

La seguridad (tanto vial como social) y el confort son las razones principales para la elección de un modo de transporte dentro de la zona de estudio. Por ende, la tipología de ciclovías protegidas resulta adecuada para satisfacer dos de los criterios de selección mencionados al aumentar la seguridad vial de los ciclistas y el grado de confort de los mismos. Sin embargo, su costo resulta elevado. No obstante, es posible utilizar ciclovías convencionales o calles compartidas en vialidades con un menor flujo vehicular y con velocidades moderadas, de preferencia en calles barriales como colonias. Estas alternativas poseen un menor costo de implementación sin perjudicar la seguridad y confort del usuario.

Se debe evitar colocar las ciclovías en camellones centrales, especialmente cuando se tratan de rutas consideradas como barreras viales ya que los puntos de interés se encuentran a orillas de la

calle y es inconveniente para el ciclista. La implementación de equipamiento tecnológico como GPS, cámaras de seguridad, sensores de conteo de ciclistas, entre otros, resulta ideal para el monitoreo y evaluación del servicio de movilidad. A través de los datos generados por estos equipos es posible tomar mejores decisiones y tener una planificación acertada considerando las condiciones de funcionamiento del servicio, las rutas más populares y las horas pico.

La integración de una plataforma digital como una aplicación móvil que le permita intercambiar datos con el equipamiento tecnológico es necesario para mejorar la eficiencia del servicio, incrementar la cantidad de usuarios y hacer más conveniente el servicio al facilitar a los usuarios consultar información del mismo como las tarifas, ubicaciones de las estaciones, rutas disponibles, etc.

XVII. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Municipalidad de Guatemala implementar el servicio de bicicletas compartidas dentro de la zona de estudio dado que es un modo de transporte con un alto potencial y un bajo costo de implementación a comparación de otras alternativas. Además, a través de las bicicletas compartidas se incentiva y facilita el proceso de transición al uso de la bicicleta como transporte principal.

Al momento de desarrollar infraestructura vial como pasos a desnivel se le recomienda a los planificadores tomar en cuenta al ciclista ya que muchas veces su construcción elimina puntos de permeabilidad urbana en barreras viales, dificultando la movilidad en bicicleta.

Se recomienda a los desarrolladores del servicio considerar métodos de generación de energía renovable como paneles solares para colocar en las estaciones de carga de bicicletas eléctricas y minimizar los costos a largo plazo del servicio. De igual forma, se les recomienda considerar estrategias para aumentar la cantidad de usuarios que utilizan el servicio como la acumulación de puntos canjeables en comercios, descuentos y recompensa que aumenten los beneficios de los usuarios.

Para la obtención de un presupuesto exacto se recomienda tomar mediciones de todas las rutas e intersecciones de manera que la cuantificación de elementos sea la real dado que para este proyecto se utilizaron suposiciones y métodos de cuantificación preliminares. Adicionalmente, se recomienda tomar en cuenta costos de imprevistos, impuestos y costos de importación de equipos como sensores y bicicletas eléctricas.

A los planificadores de las rutas se les recomienda analizar el recorrido de las rutas por medio de la ayuda de softwares GIS como QGIS o ArcGIS para considerar las diversas variables (puntos de interés, barreras viales, puntos de permeabilidad, etc.) y apoyarse de servicios de datos abiertos como Open Street Maps para la identificación de las mismas. De igual forma se les recomienda considerar todos los temas propuestos en la guía de diseño de infraestructura generada de manera que se contemplen aspectos como intervenciones especiales en paradas de bus, zonas de carga y descarga, zonas de transición entre tipologías de ciclovías, intervenciones a largo plazo cuando incremente la cantidad de ciclistas, etc. Se sugiere apoyarse principalmente en la guía de la NACTO al ser las más recomendada dado que contiene en un compendio de los conceptos, criterios y aplicaciones más importantes de otras guías, estudios y reportes de buenas prácticas. Además cuenta con diagramas complementarios para ilustrar el tipo de intervención.

A los planificadores de las rutas también se les recomienda desarrollar rutas evitando barreras viales, calles con altos niveles de ruido y contaminación. Así mismo, se les recomienda diseñar ciclovías lo suficientemente anchas para que los usuarios puedan rebasar a otros ciclistas sin ingresar a los carriles para vehículos motorizados. En cuanto a los recorridos, es preferente evitar ciclovías que circulen contrarias al flujo vehicular motorizado ya que la fatalidad de colisiones entre vehículos y ciclistas aumenta y se generan mayores interferencias entre los modos de transporte al momento de llegar a una intersección. Al momento de analizar los nodos (intersecciones) con semáforos, se les sugiere realizar los cálculos para determinar los tiempos de luz verde adecuados para ciclistas.

A los desarrolladores/gestores del servicio de bicicletas compartidas se les sugiere proveer tarifas competitivas a través de tarifas diferenciadas con base al tiempo de uso, siendo menores para usuarios regulares. También se recomienda considerar oportunidades de patrocinio a través de la posibilidad de colocar logotipos y/o publicidad en los aros de las bicicletas del servicio.

A los estudiantes que deseen abordar un tema similar o replicar el modelo de bicicletas compartidas en una zona de estudio diferente, se les recomienda considerar los tiempos de obtención de información en cuanto a los puntos de interés, conteos vehiculares e información pública puesto a que es de las fases más tardadas. Se sugiere el uso de softwares GIS como QGIS para la presentación y análisis de las rutas propuestas con base a las diferentes variables. Para optimizar el proceso de generación de mapas en QGIS, se recomienda trabajar con temas de mapa y plantillas con un formato estandarizado que incluya la proyección, leyenda, escala y Norte. Igualmente se recomienda considerar la guía de diseño de infraestructura como guía para conocer sobre los parámetros de diseño y las definiciones de las tipologías de ciclovías.

XVIII. BIBLIOGRAFÍA

Alta. (s.f.). Salt Lake City's 200 West Protected Intersection. https://blog.altaplanning.com/

Barrios, G. (2012). Incidencias del POT en el Desarrollo de Proyectos Inmobiliarios en la Ciudad de Guatemala. http://glifos.unis.edu.gt/digital/tesis/2012/28281.pdf

Basso, L. (s.f). ¿Es la expansión de capacidad vial una política que se vence a sí misma? http://www.ingcivil.uchile.cl/ingenieria-de-transporte/97065/es-la-expansion-de-capacidad-vial-una-politica-que-se-vence-a-si-mism

Bicing. (2020). El bicing Crece y llega a 11 nuevos barrios, Aumentando Estaciones y Sumando 1.000 bicicletas Eléctricas Más. https://www.bicing.barcelona/es/node/152#:~:text=El%5C%20nuevo%5C%20Bicing%5C%20registra%5C%20un,de%5C%20movilidad%5C%20y%5C%20nuevas%5C%20demandas

Bicing. (2022). ¡Muévete de forma sostenible por Barcelona! https://www.bicing.barcelona/es

Brussels Smart City. (s.f.). About: Brussels Smart City. https://smartcity.brussels/the-project

Castillo, J., Reyes, C., González, I., Luna, C. E., & Rivera, J. A. (2021). Atlas Metropolitano. https://www.barrancosdebolsillo.com/

Cedar Link Ventures. (2021). Clima promedio en Ciudad de Guatemala, Guatemala, durante todo el año. https://es.weatherspark.com/y/11693/Clima-promedio-en-Ciudad-de-Guatemala-Guatemala-durante-todo-el-a%5C%C3%5C%B1o#Sections-Temperature

Cherubal, R. (2018). Envisioning smart cities, and what it takes to get there. https://www.ted.com/talks/raj_cherubal_envisioning_smart_cities_and_what_it_takes_to_get_there

Cisco. (2020). What Is a Smart City? https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/industries/smart-connected-communities/what-is-a-smart-city.html

CIVITAS. (2020). Smart Choices for Cities, Cycling in the City. https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/cycling-guidance/smart_choices_for_the_city_cycling_in_the_city_0.pdf

Congeso de la República de Guatemala. (2015). *Decreto 132-96*.

Consejo Municipal de la Ciudad de Guatemala. (2009). Acuerdo COM-42-2009. http://muniguate.com/images/2009/user03/1612/Reglamento_transporte_publico.pdf

Cosenza, G. (2020). Movilidad en la Ciudad de Guatemala: vía imprescindible de desarrollo. https://nomada.gt/blogs/movilidad-en-la-ciudad-de-guatemala-via-imprescindible-de-desarrollo/#:~:text=En%5C%20la%5C%20ciudad%5C%20de%5C%20Guatemala%5C%20circulan%5C%20diariamente%5C%203%5C%20millones%5C%20de,%5C%2C%5C%20bicicletas%5C%2C%5C%20etc

FHWA. (2009). Part 9, Traffic Control for Bicycle Facilities. En *Manual on Uniform Traffic Control Devices: For Streets and Highways* (2009.ª ed., pp. 789-816). U.S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration.

Gibbons, S. (2016). *Design Thinking 101*. https://www.nngroup.com/articles/design-thinking/

Gobierno de India. (s.f.). What do we mean by a smart city. https://smartcities.gov.in/about-scm

Gobierno de la Ciudad de México. (2022a). Información del servicio. https://www.ecobici.cdmx.gob.mx/es/informacion-del-servicio/requisitos-planes-y-tarifas

Gobierno de la Ciudad de México. (2022b). Pronóstico de calidad del aire y Meteorología. http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?map=Yg

Gobierno del Distrito Federal y UNAM. (s.f.). *Guía de diseño de infraestructura y equipamiento ciclista*. Gobierno del Distrito Federal.

Goncharov, A. (2019). Ukraine travel blog: About Ukraine in English. https://ukrainetrek.com/blog/2019/05/

Harmon, R., Castro-Leon, E., & Bhide, S. (2015a). Smart cities and the Internet of Things, 485-494. https://doi.org/10.1109/PICMET.2015.7273174

Harmon, R., Castro-Leon, E., & Bhide, S. (2015b). Smart cities and the Internet of Things, 485-494. https://doi.org/10.1109/PICMET.2015.7273174

IARNA. (2013). Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala. http://www.infoiarna.org.gt/rediarna/2013/Red%5C%20Informa%5C%2028/adjuntos/Bases-tecnicas-para-la-gestion-del-agua.pdf

Icoms. (s.f.). *Bicycle detection at intersection*. https://www.icomsdetections.com/project/tma-011-en/

IGLUS & EPFL. (2020). Smart cities MOOC. https://iglus.org/

INE. (2018). Censo Poblacional 2018. https://www.censopoblacion.gt/mapas

INE. (2019). Estadisticas de educación superior. https://www.ine.gob.gt/ine/estadisticas/bases-de-datos/educacion/

INTEL. (2018). Smart Cities Technologies Give Back 125 Hours to Citizens Every Year. https://newsroom.intel.com/news/smart-cities-iot-research-125-hours/#gs.wx6dvd

IRU. (2016). Taxis are part of the collective public transport chain. https://www.iru.org/sites/default/files/2016-01/en-0320-hlg-taxi-recommendations.pdf

James, P. (2019). Where Are All The Smart Cities? https://www.ted.com/talks/phil_james_where_are_all_the_smart_cities

Kopackova, H., & Libalova, P. (2017). Smart city concept as socio-technical system, 198-205. https://doi.org/10.1109/DT.2017.8024297

Kwan, P. (s.f.). Beyond Tech - The True Meaning of a Smart City: Paula Kwan: TEDxDonMills. https://www.ted.com/talks/paula_kwan_beyond_tech_the_true_meaning_of_a_smart_city_paula_kwan_tedxdonmills

Lynch, K., & Revol, E. L. (1998). *La imagen de la ciudad* (Vol. 5). Gustavo Gili Barcelona.

MAGA. (2001). Mapa Fisiográfico-Geomorfológico de la República de Guatemala. https://www.maga.gob.gt/download/fisiografia.pdf

Martínez, M. (2019). Ciudades Inteligentes Manual de Mejores Prácticas. http://alianzaparacentroamerica.org/wp-content/uploads/2019/11/Ciudades-Inteligentes-Version-Electronica_compressed.pdf

Méndez, C. (2015). Críticas al mal uso del subsidio a los autobuses azules y rojos en la ciudad. https://elperiodico.com.gt/nacionales/2015/11/24/criticas-al-mal-uso-del-subsidio-a-los-autobuses-azules-y-rojos-en-la-ciudad/

Monterroso, R. E., Villatoro, J. M., & Mazariegos, E. A. (2014). Análisis estratégico de potencialidad y economía territorial de los barrancos del Municipio de Guatemala como herramienta para la sostenibilidad en los asentamientos humanos. https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puiah/INF-2014-19.pdf

Morataya, E. (2011). Ciudad de Guatemala. https://desarrollourbanoyterritorial.duot.upc.edu/sites/default/files/Encuesta%5C%20CIMES_Ciudad%5C%20de%5C%20Guatemala_Morataya_MDUT%5C%202011.pdf

Municipalidad de Guatemala. (s.f.-a). http://pot.muniguate.com/reglamento_pot/t2/c2/26.html

Municipalidad de Guatemala. (s.f.-b). Plan de Ordenamiento Territorial. http://pot.muniguate.com/guia_aplicacion/c1/0601_sistema_vial.php

Municipalidad de Guatemala. (2016). Rutas de transporte público. https://sig.muniguate.com/piu/transportePublico/

Municipalidad de Guatemala. (2020). Movilidad en bicicleta en la Ciudad de Guatemala. http://www.muniguate.com/blog/2020/11/20/movilidad-en-bicicleta-en-la-ciudad-de-guatemala/

Municipalidad de Guatemala y Municipalidad de Mixco. (2019). Estudio de Factibilidad para transporte público por cable aéreo en la ciudad de Guatemala. http://www.guatecompras.gt/concursos/files/2195/10972013%5C%40Anexo%5C%20XIII%5C%20AEROMETRO%5C%20Factibilidad%5C%20y%5C%20Perfil%5C%20Proyecto%5C%202017%5C%20actualizado2019_1.pdf

Munisense. (s.f.). Measuring noise continuously, live online sound analysis. https://munisense.com/measuring-noise

Naciones Unidas. (2018). Revision of World Urbanization Prospects. https://population.un.org/wup/

NACTO. (2015). Bike Lanes. https://nacto.org/publication/urban-bikeway-design-guide/bike-lanes/

Namiot, D., & Sneps-Sneppe, M. (2019). On bikes in smart cities. *Automatic Control and Computer Sciences*, *53*(1), 63-71.

National Association of City Transportation Officials. (2011). *Urban bikeway design guide*. Island Press.

Nogal, M., & Jiménez, P. (2020). Attractiveness of Bike-Sharing Stations from a Multi-Modal Perspective: The Role of Objective and Subjective Features. *Sustainability*, 2.

Nokia. (s.f.). Smart city services that enrich lives. https://www.nokia.com/networks/use-cases/smart-city-services-that-enrich-lives/

NYCDT. (2011). Protected Bike Lanes Statistics: People for Bikes. https://www.peopleforbikes.org/statistics/economic-benefits

OIZOM. (s.f.). Ambient Air Quality Monitoring System. https://oizom.com/product/polludrone-air-pollution-monitoring/

ONU. (2018). 68 % of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN | UN DESA Department of Economic and Social Affairs. https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html

OPS. (s.f.). Seguridad vial. https://www.paho.org/es/temas/seguridad-vial

Quisque, F. (2017). Uso de bicicleta en la Usac gana aceptación. https://www.prensalibre.com/ciudades/ciclovia-usac-alternativa-de-transporte-para-estudiantes/

Ritchie, H. (2020). Cars, planes, trains: where do CO2 emissions from transport come from? https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport#:~:text=It%5C%20emits%5C%

20just%5C%20under%5C%20one,detail%5C%20in%5C%20an%5C%20upcoming%5C%20article%5C%5D.

Ryus, P., Ferguson, E., Laustsen, K. M., Schneider, R. J., Proulx, F. R., Hull, T., Miranda-Moreno, L., et al. (2014). *Guidebook on pedestrian and bicycle volume data collection* (inf. téc.). Institute of Transportation Studies, UC Berkeley.

Schultheiss, B., Goodman, D., Elbech, M., Reed, D., Wood, A., & Blackburn, L. (2019). *Bikeway Selection Guide*. FHWA.

Shaheen, S., Cohen, A., Dowd, M., & Davis, R. (2019). A Framework for Integrating Transportation into Smart Cities. https://transweb.sjsu.edu/sites/default/files/1705-Shaheen-Framework-Transportation-Smart-Cities.pdf

Smart City Press. (2019). How Smart Initiatives Encourage Bicycling In Smart Cities? https://www.smartcity.press/bicycle-infrastructure-in-smart-city/

Stamatiadis, N., Pappalardo, G., & Cafiso, S. (2017). Use of technology to improve bicycle mobility in smart cities. *2017 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)*, 86-91.

Transport for London. (2022). Santander cycles. https://tfl.gov.uk/modes/cycling/santander-cycles

Uber. (2022). Ciudad de Guatemala: elegir un viaje. https://www.uber.com/global/es/cities/guatemala-city/

Visit London. (s.f.). Getting around London. https://www.visitlondon.com/traveller-information/getting-around-london/32

VOLVO. (2018). ¿Qué es la Paradoja de Braess? https://tecvolucion.com/la-paradoja-braess/

Wang, L. (2018). Barriers to Implementing Pro-Cycling Policies: A Case Study of Hamburg. https://www.mdpi.com/2071-1050/10/11/4196/htm

Wekerle, G. (2000). From eyes on the street to safe cities (Jane Jacobs' book, The 'Death and Life of Great American Cities'). *Places*, *13*, 44-49.

XIX. Glosario

Barreras por uso de suelo: Espacios que por su uso de suelo primario restringen la movilidad a través de ellos o interrumpen la traza urbana. 58

Barreras viales: Calles o avenidas que por sus características (límites de velocidad altos, alta afluencia vehicular, etc.) limitan la movilidad de bicicletas a través de ellas de forma segura. 33

Centrales de transferencia: Infraestructura que permite a los usuarios cambiar de un modo de transporte a otro, e.g un edificio de parqueo en una estación de buses. 46

Ciclovías: Espacio de circulación e infraestructura dedicado exclusivamente o preferiblemente para la circulación de bicicletas. 24

Congestionamientos vehiculares: Sucesos en donde existe una baja relación entre el volumen de vehículos y la cantidad de espacio disponible resultando en una dificultad para la movilidad de vehículos motorizados. 21

Distritos: Territorio de área variable delimitado o confinado por barreras tanto urbanas como naturales. 33

Mancha urbana: Concepto empleado para referirse al área construida de una ciudad la cual asemeja a una macha dentro del territorio. 10

Parque vehicular: Denominación otorgada al conjunto de vehículos registrados que circulan dentro de un territorio establecido. 21

Permeabilidad urbana: Espacios o puntos que permiten la movilidad en bicicleta a través de una barrera urbana o natural de forma segura. 33

QGIS: Es un software libre SIG (Sistema de Información Geográfica) que permite trabajar con vectores geoespaciales e imágenes raster y bases de datos para la elaboración de mapas principalmente. 56

Shapes: Tipo de archivo propietario de ESRI utilizado dentro de QGIS para el almacenamiento de información, geometría y ubicación de una entidad (puntos, líneas o polígonos). 58

Sistema de coordenadas: sistema que permite a través de coordenadas establecer la relación entre un plano en dos dimensiones con una posición o ubicación en el globo terráqueo. 58

XX. APÉNDICES

Reporte de encuesta

Resultados globales de encuesta realizada en typeform

Movilidad en la Ciudad de Guatemala

260 respuestas

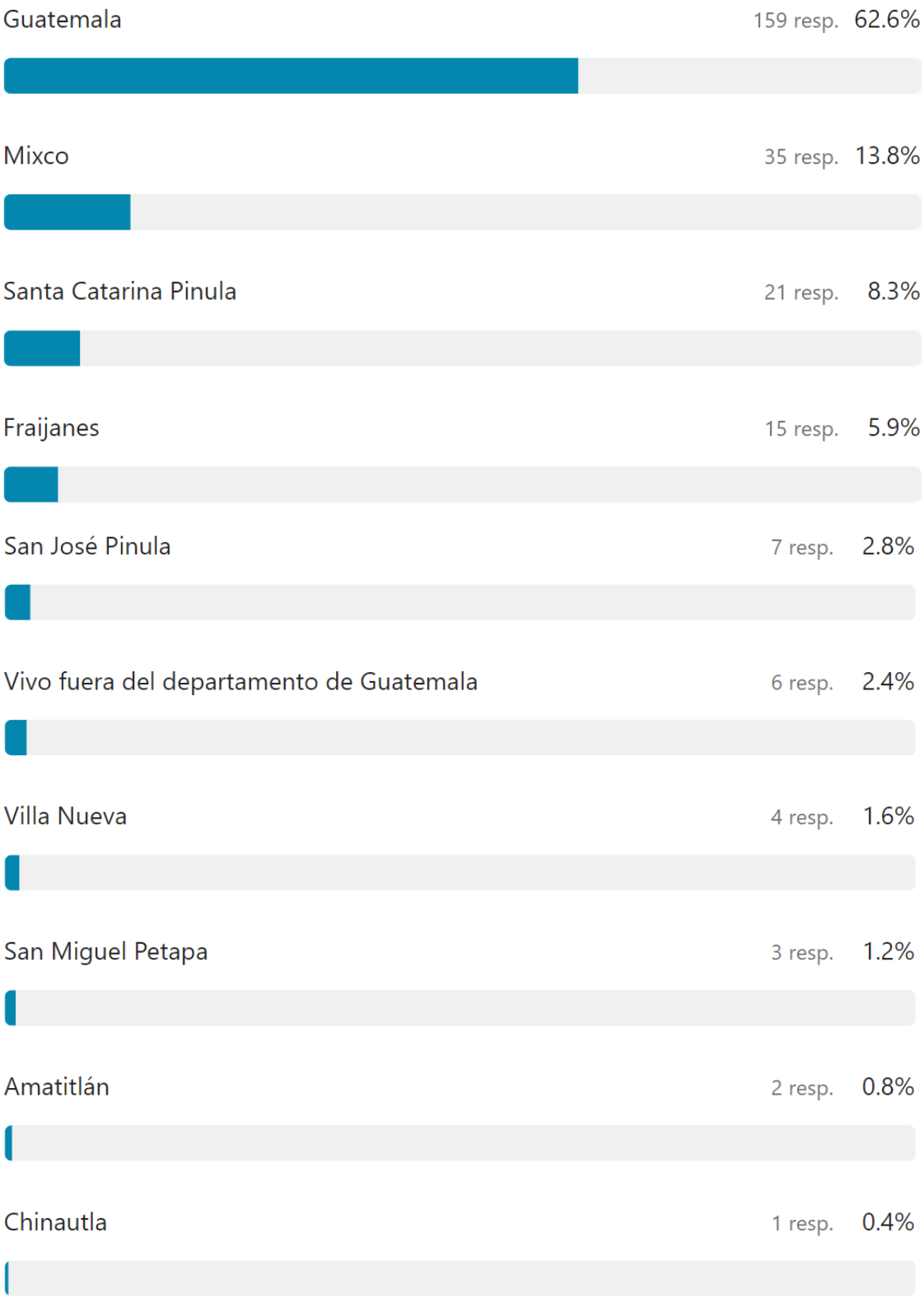
Pregunta 1. ¿Estoy dispuest@ a participar en la siguiente encuesta?

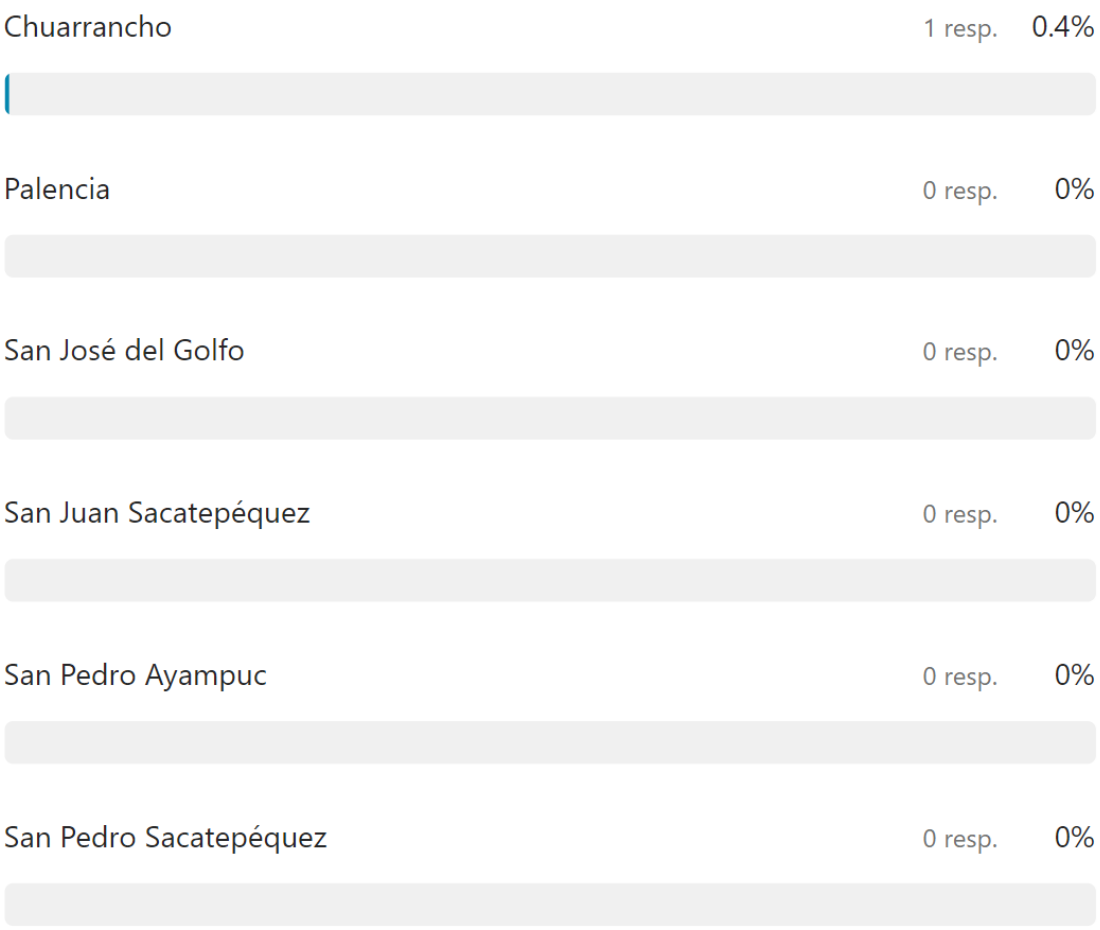
260 de 260 respuestas



Pregunta 2. ¿En cuál municipio del departamento de Guatemala vives?

254 de 260 respuestas





Pregunta realizada a personas que no residen en el municipio de Guatemala (finaliza la encuesta para las personas que responden "no"):

Pregunta 3. ¿Visitas la ciudad de Guatemala con frecuencia?

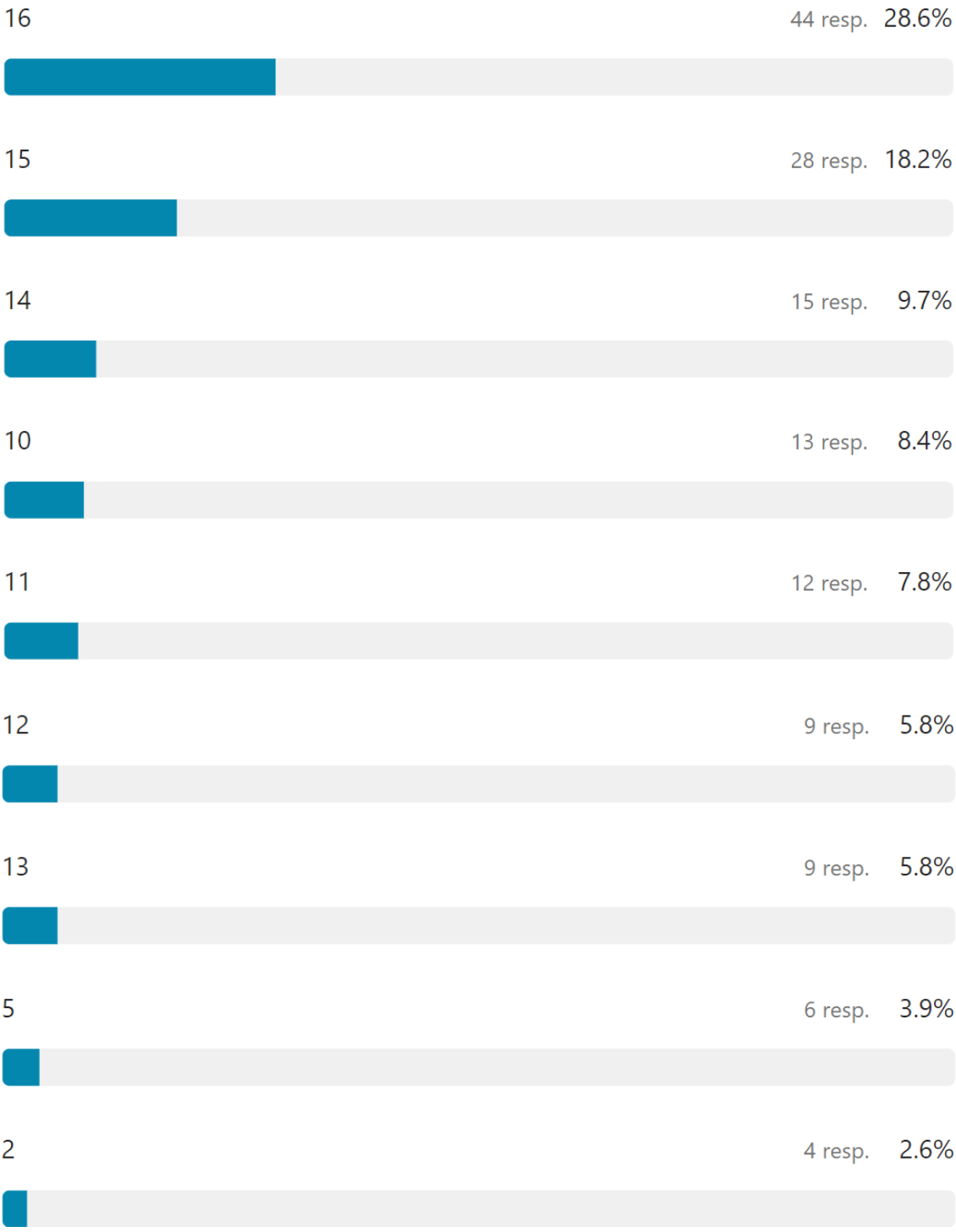
98 de 260 personas respondieron esta pregunta

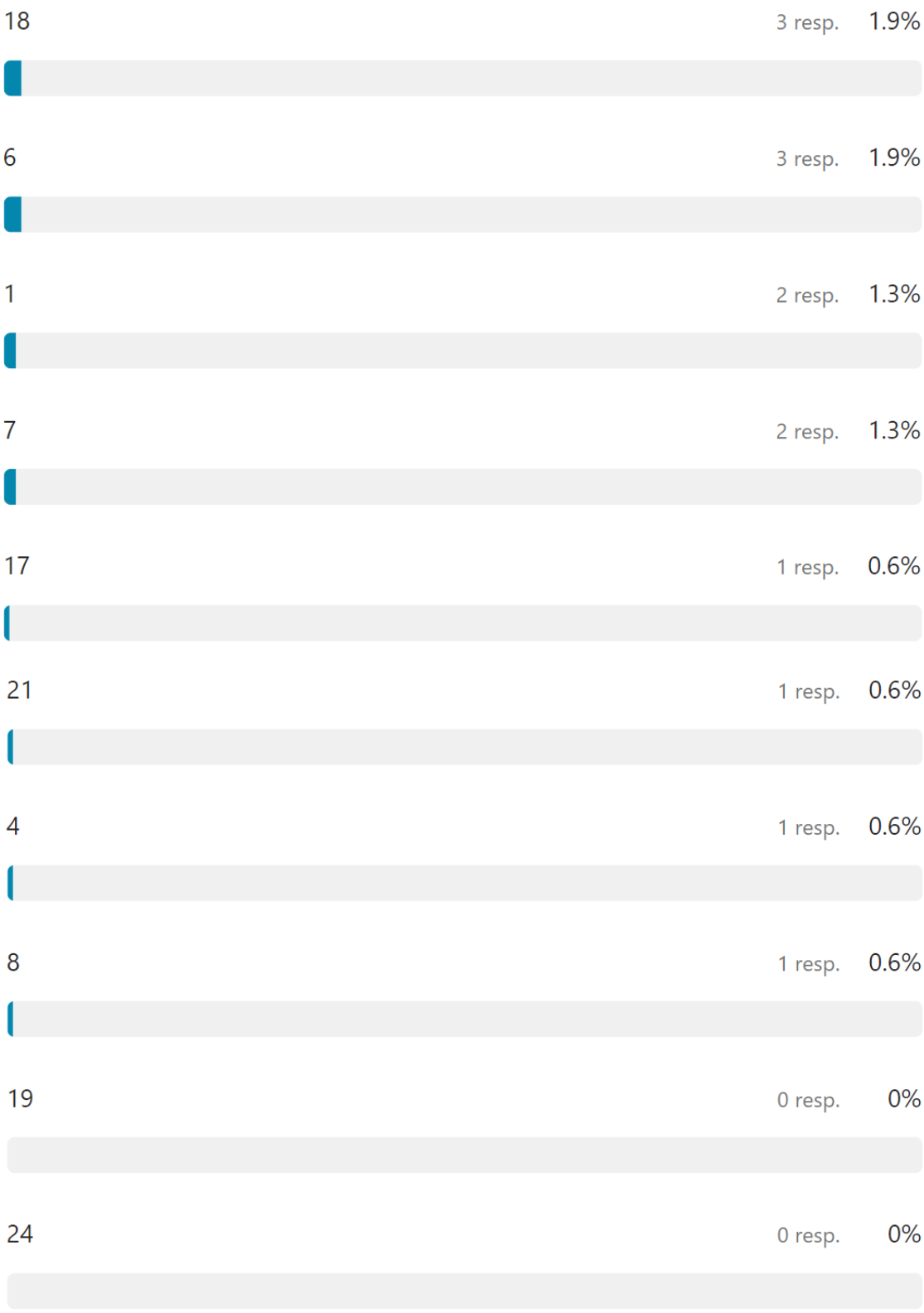


Pregunta realizada a personas que residen en el municipio de Guatemala:

Pregunta 4. ¿En cuál zona?

154 de 260 personas respondieron esta pregunta



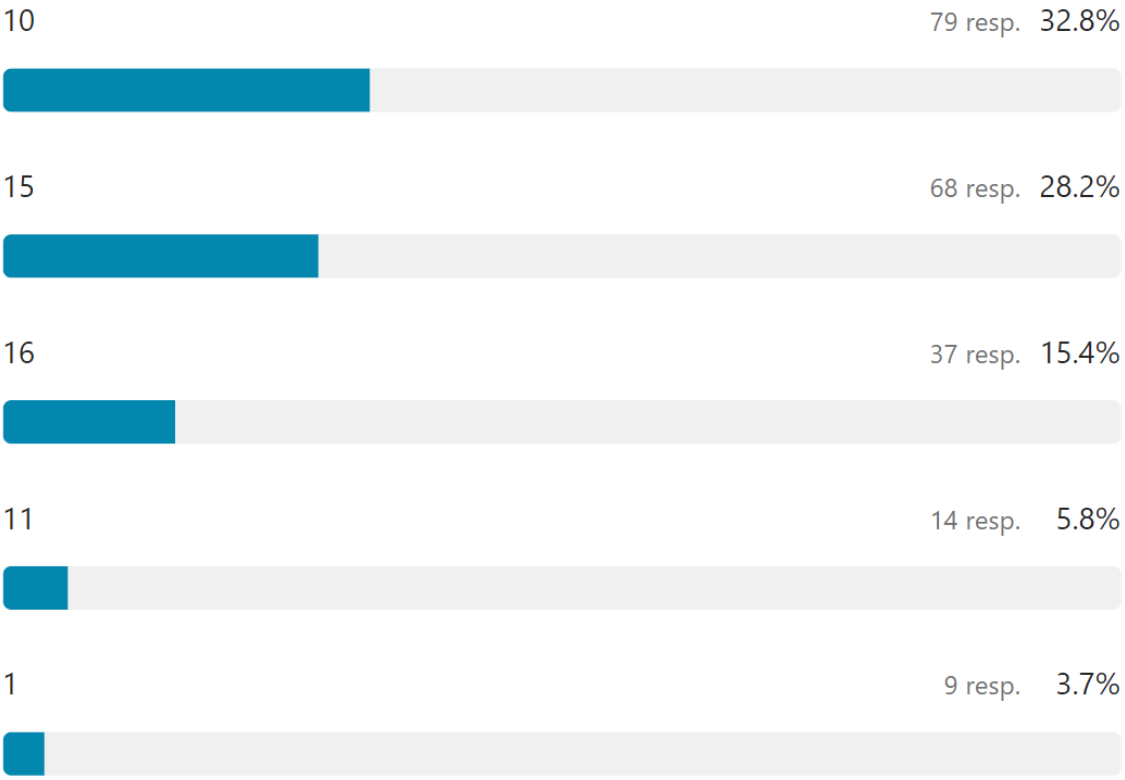

18
3 resp.
1.9%
6
3 resp.
1.9%
1
2 resp.
1.3%
7
2 resp.
1.3%
17
1 resp.
0.6%
21
1 resp.
0.6%
4
1 resp.
0.6%
8
1 resp.
0.6%
19
0 resp.
0%
24
0 resp.
0%

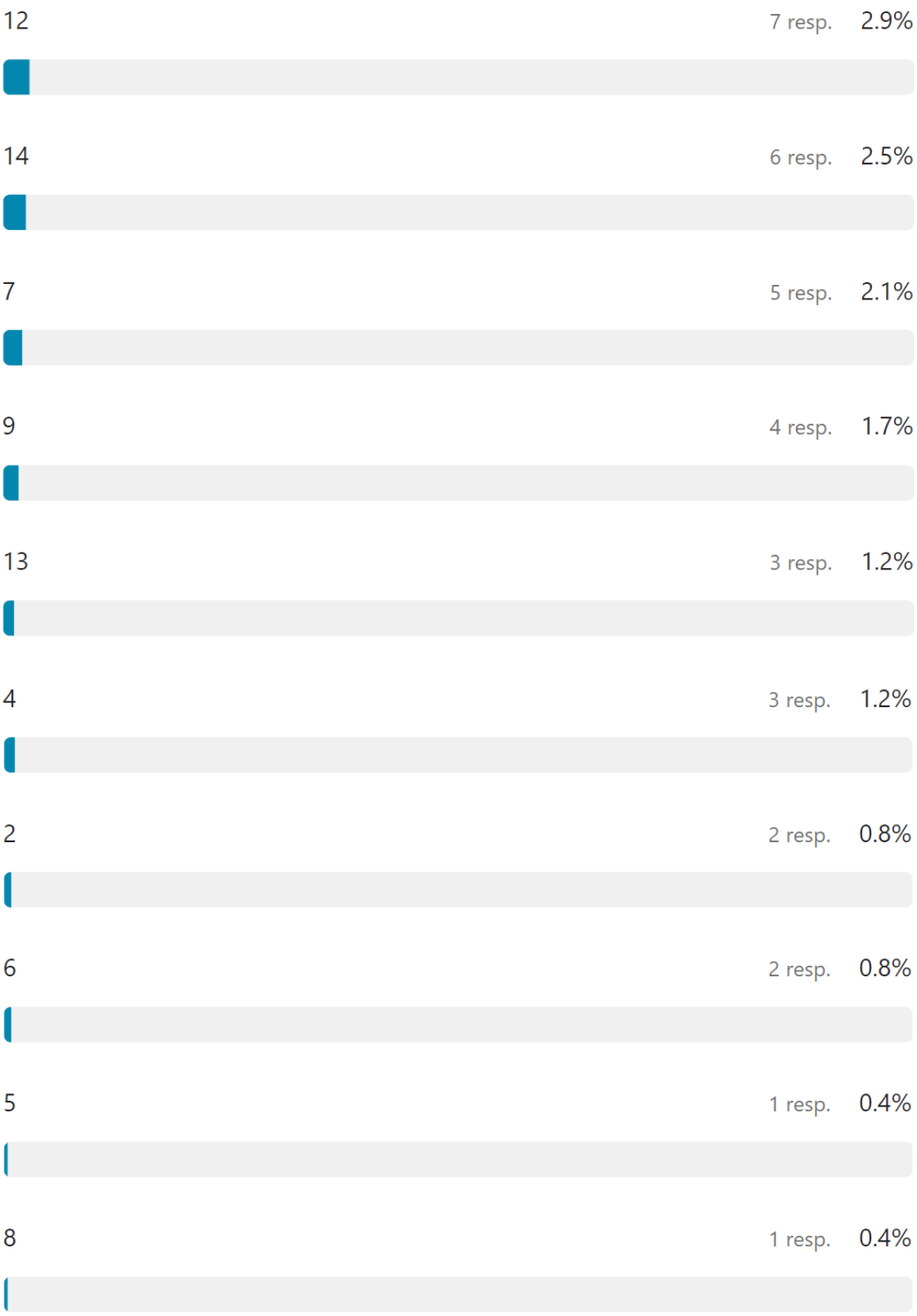


Pregunta realizada a las personas que residen en la ciudad en el municipio de Guatemala y a las personas que visitan la ciudad de Guatemala con frecuencia.

Pregunta 5. ¿Hacia qué zona de la ciudad de Guatemala te movilizas con mayor frecuencia?

241 de 260 personas respondieron esta pregunta

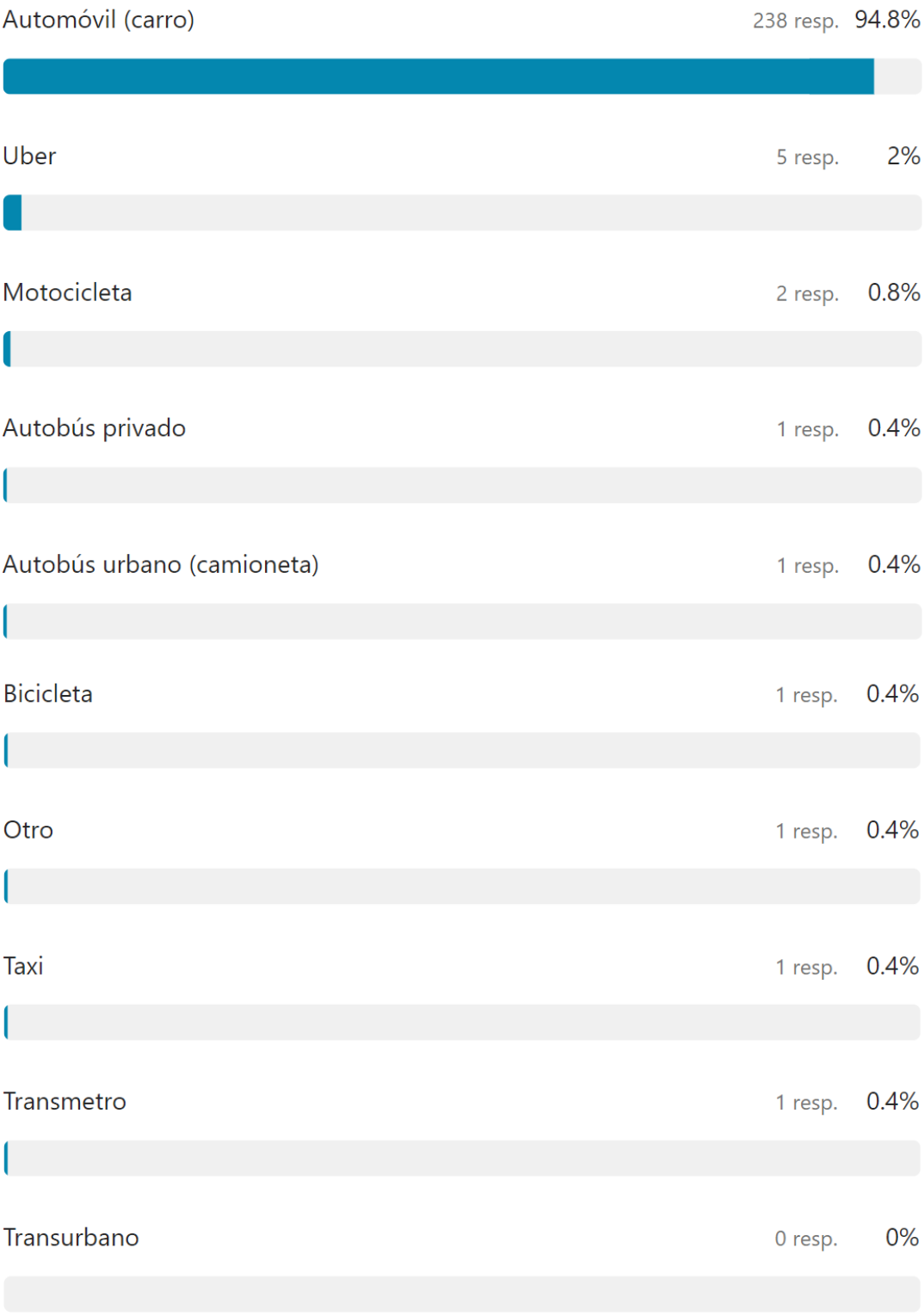



12
7 resp.
2.9%
14
6 resp.
2.5%
7
5 resp.
2.1%
9
4 resp.
1.7%
13
3 resp.
1.2%
4
3 resp.
1.2%
2
2 resp.
0.8%
6
2 resp.
0.8%
5
1 resp.
0.4%
8
1 resp.
0.4%

17	0 resp.	0%
18	0 resp.	0%
19	0 resp.	0%
21	0 resp.	0%
24	0 resp.	0%
25	0 resp.	0%
3	0 resp.	0%

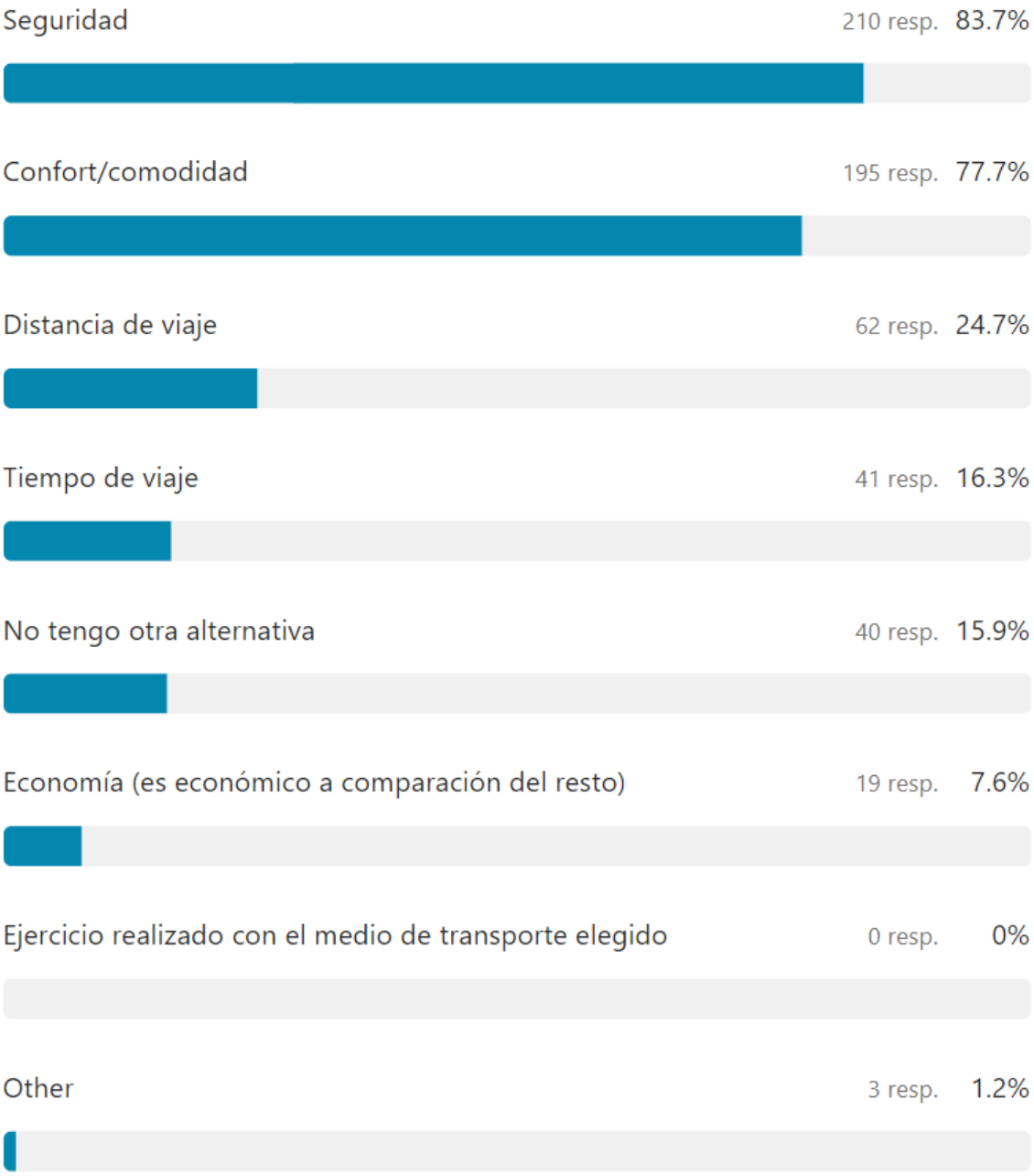
Pregunta 6. ¿Cuál es el modo de transporte que más utilizas?

251 de 260 personas respondieron esta pregunta



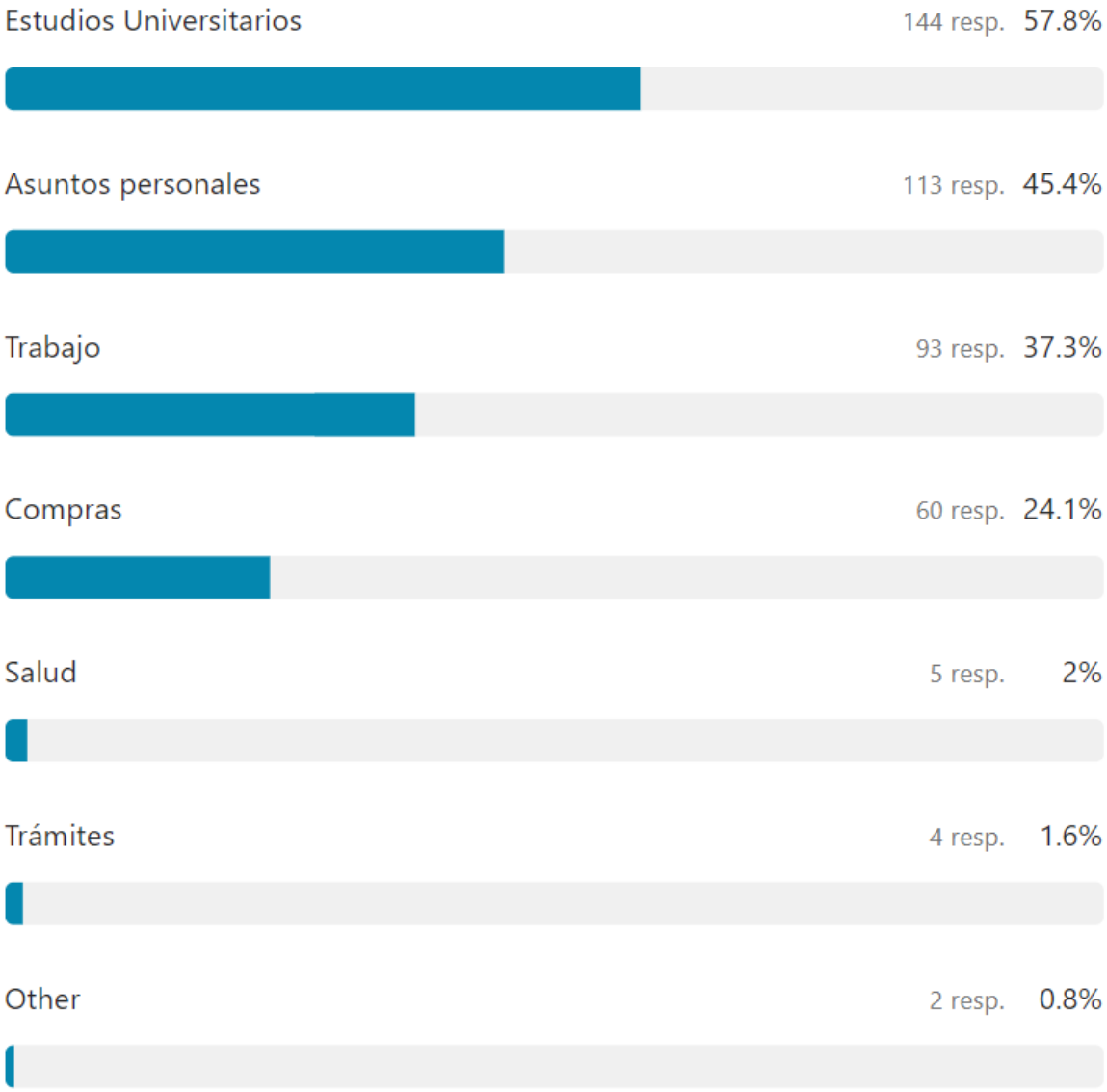
Pregunta 7. ¿Cuáles son las razones principales para la elección del modo de transporte que más usas?

251 de 260 personas respondieron esta pregunta



Pregunta 8. ¿Cuáles son las razones principales por las que te movilizas?

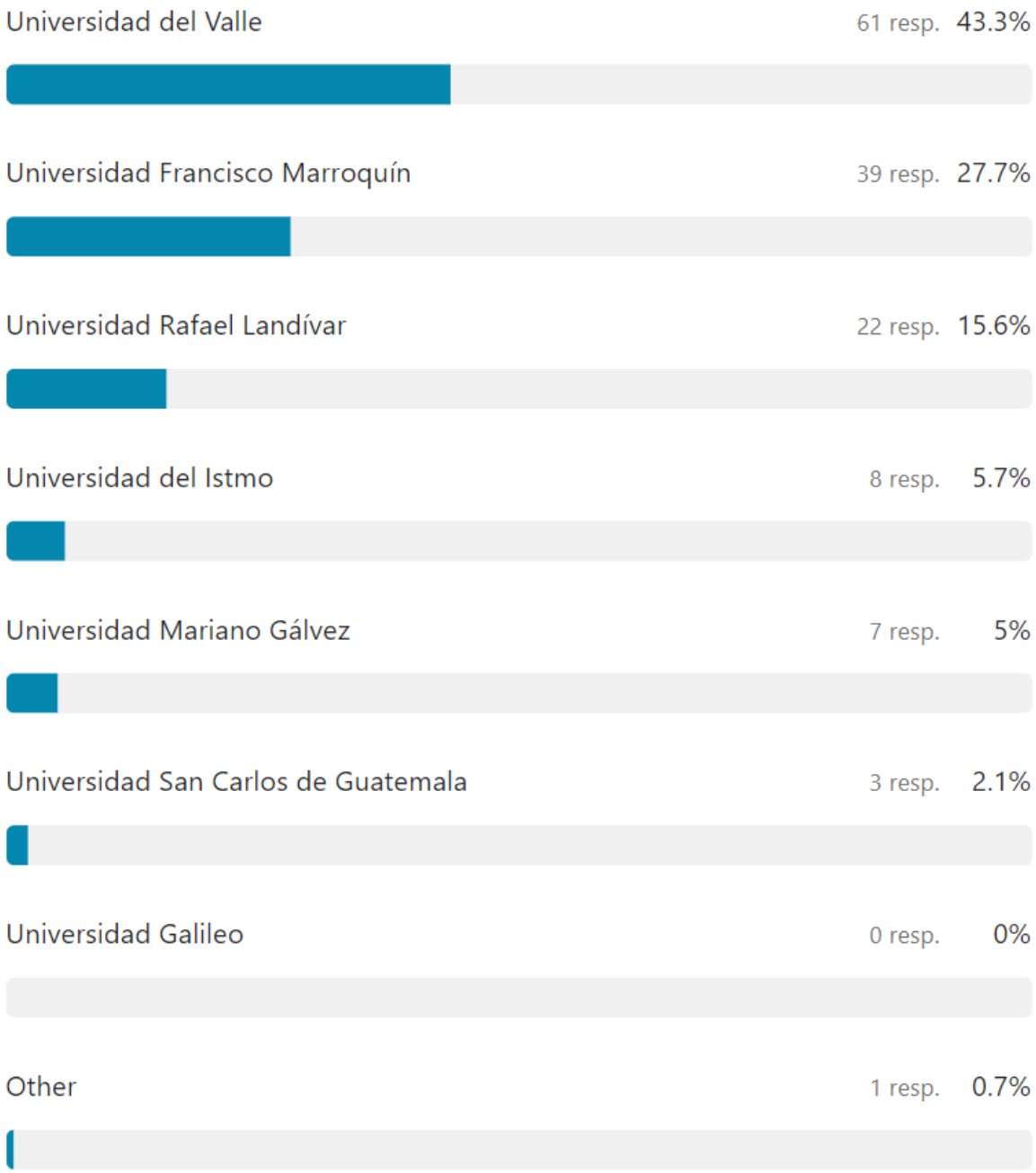
249 de 260 personas respondieron esta pregunta



Pregunta realizada a las personas que seleccionaron estudios universitarios dentro de las razones principales por las que se movilizan.

Pregunta 9. ¿A qué universidad perteneces?

141 de 260 personas respondieron esta pregunta



Pregunta 10. ¿Estarías dispuesto a utilizar otro modo de transporte para movilizarte dentro de la ciudad de Guatemala si existieran las condiciones adecuadas?

248 de 260 personas respondieron esta pregunta



Pregunta realizada a las personas que respondieron "no" a la pregunta: ¿Estarías dispuesto a utilizar otro modo de transporte para movilizarte dentro de la ciudad de Guatemala si existieran las condiciones adecuadas?

Pregunta 11. ¿Por qué no?

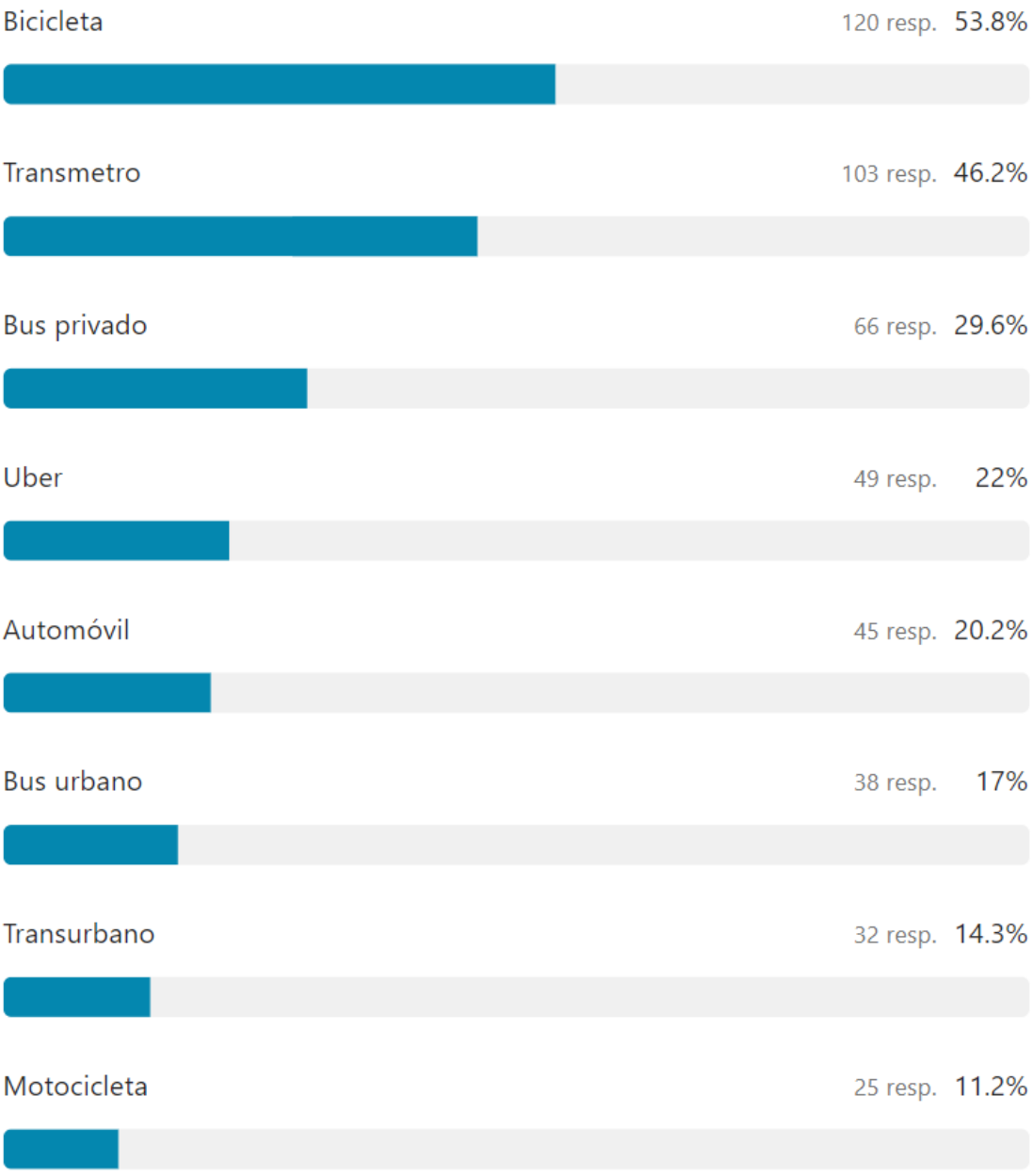
25 de 260 personas respondieron esta pregunta

Voy a Amatitlán
Muy inseguro
Me daría miedo
Me siento cómoda y segura en carro, considerando la distancia que hay de mi casa a la universidad
Me siento más cómodo y seguro dentro de mi vehículo. Me gusta tener el control. En una moto no me siento seguro ya que la gente no las respetan, por ende ellos no respetan
Seguridad
Porque me gusta el medio que utilizo
Creo que el carro es la forma más segura de moverse en el país, por lo cual no optaría por otra opción
Por la seguridad y control de variables
Por seguridad, comodidad y cantidad de sitios que visito, prefiero mantenerme en carro personal.
Seguridad y comodidad
Por seguridad
No me gusta
Sinceramente me da miedo, en mi carro me siento segura y puedo llegar o esperar tranquila.
Siempre me ha gustado manejar.
Porque me siento cómoda y segura con mi carro
Inseguridad
Por la comodidad y seguridad que me ofrece el automóvil
Porque me sentiría insegura a pesar de que existieran las condiciones adecuadas
Porque siento más libertad y seguridad en el carro
Me gusta manejar
Por la seguridad

Pregunta realizada a las personas que respondieron "sí" a la pregunta: ¿Estarías dispuesto a utilizar otro modo de transporte para movilizarte dentro de la ciudad de Guatemala si existieran las condiciones adecuadas?

Pregunta 12. ¿Cuáles de las siguientes alternativas de transporte disponibles en la ciudad de Guatemala te gustaría usar más a menudo?

223 de 260 personas respondieron esta pregunta





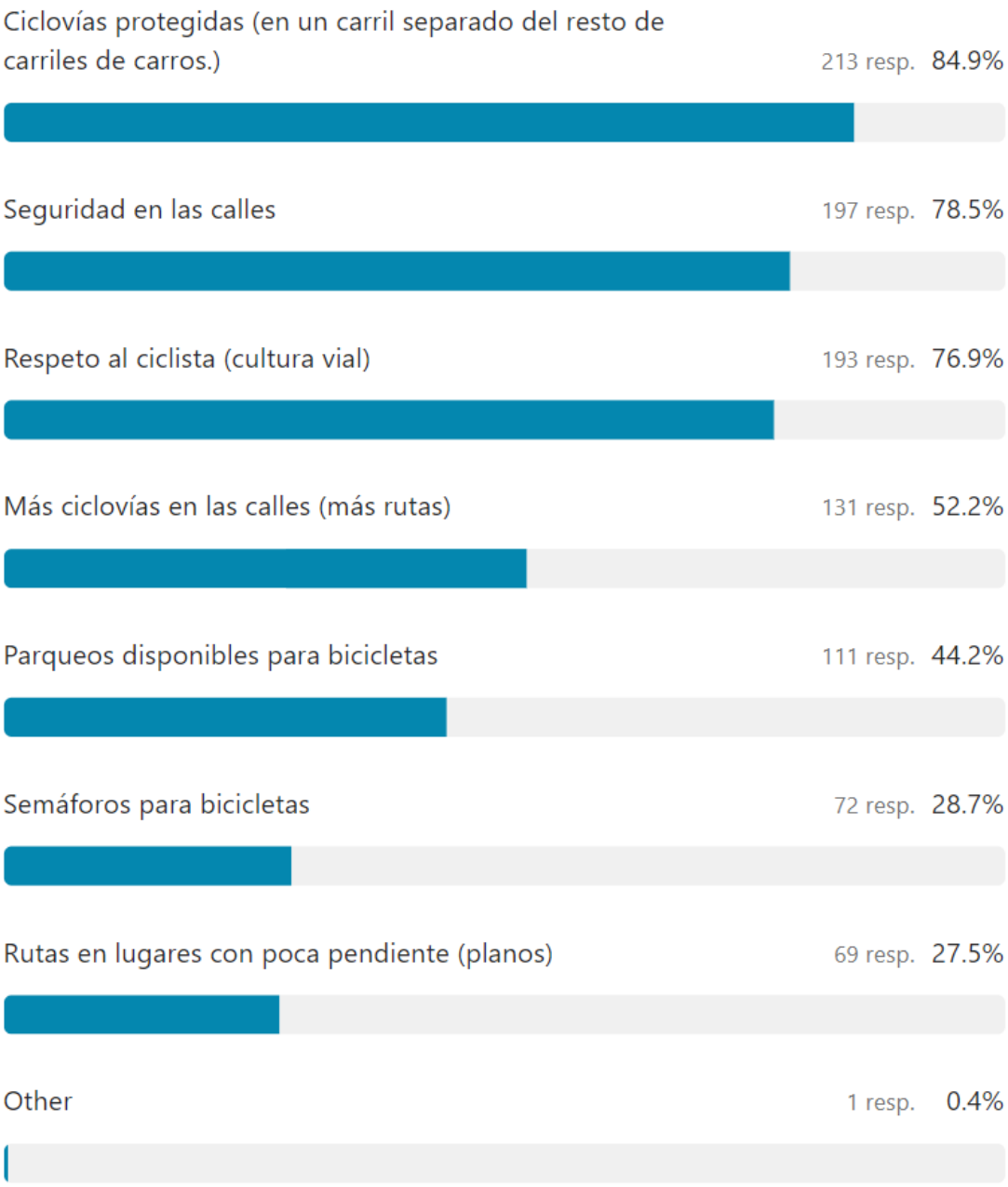
Pregunta 13. ¿Qué tan importantes son los siguientes aspectos al momento de elegir tu modo de transporte? Siendo 5 muy importante y 0 nada importante

251 de 260 personas respondieron esta pregunta

	0	1	2	3	4	5
Seguridad	0%	0%	0.4%	19.5%	29.1%	51%
Tiempo de viaje	0.8%	2.8%	9.6%	28.8%	30.8%	27.2%
Costo de viaje	2.4%	7.3%	18.4%	29.8%	23.3%	18.8%
Distancia	2%	5.7%	16%	27.5%	26.6%	22.1%
Clima	10.3%	12.8%	19.8%	22.7%	17.4%	16.9%
Flexibilidad de horario	1.6%	3.3%	11%	23.7%	30.2%	30.2%
Infraestructura en buen estado	0.4%	2.1%	9.1%	19%	34.3%	35.1%

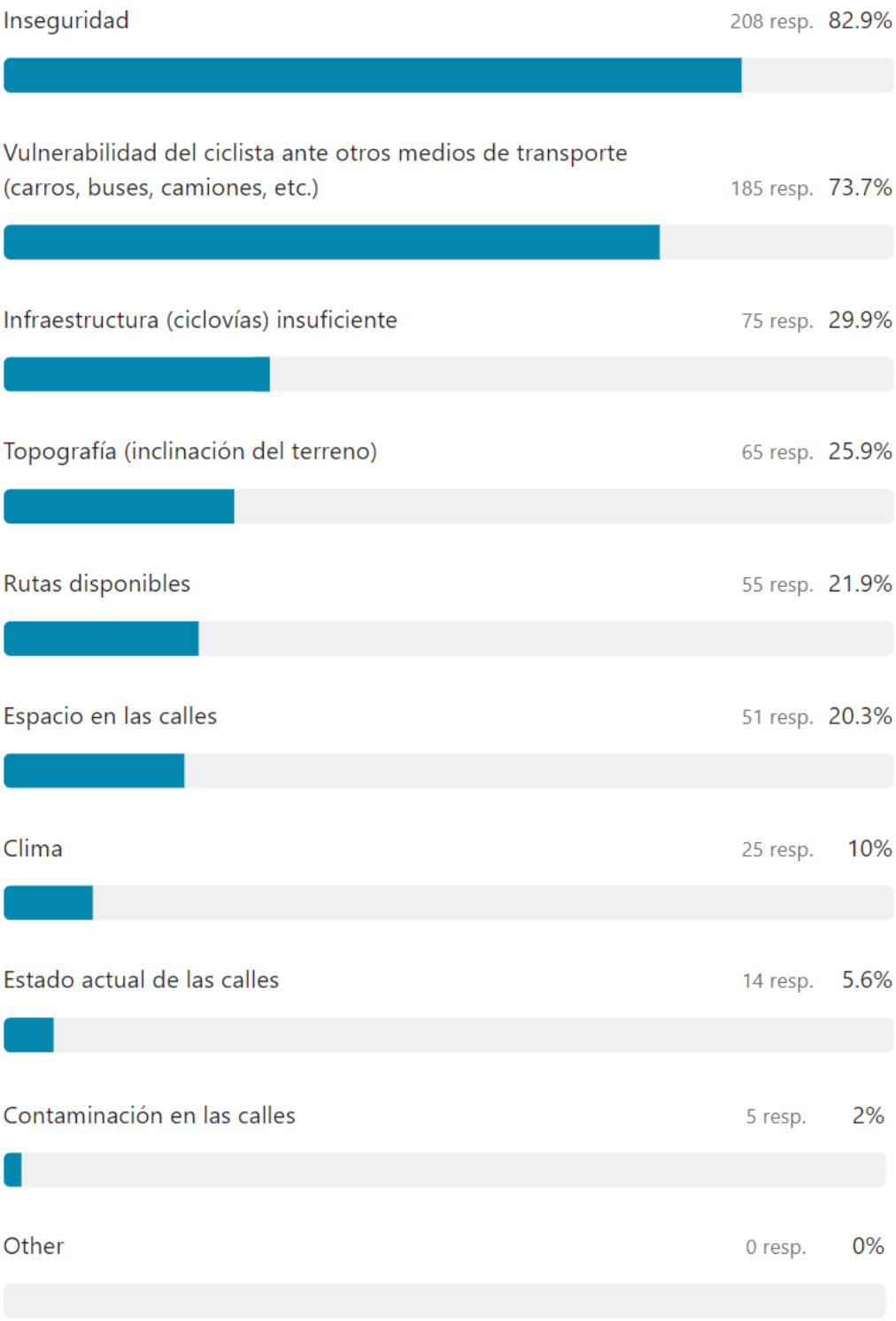
Pregunta 14. ¿Cuáles crees que son las condiciones necesarias que fomentarían el uso de la bicicleta en la ciudad de Guatemala?

251 de 260 personas respondieron esta pregunta



Pregunta 15. ¿Cuáles crees que son los mayores obstáculos para el uso de las bicicletas en la ciudad Guatemala?

251 de 260 personas respondieron esta pregunta


Inseguridad
208 resp. 82.9%
Vulnerabilidad del ciclista ante otros medios de transporte (carros, buses, camiones, etc.)
185 resp. 73.7%
Infraestructura (ciclovías) insuficiente
75 resp. 29.9%
Topografía (inclinación del terreno)
65 resp. 25.9%
Rutas disponibles
55 resp. 21.9%
Espacio en las calles
51 resp. 20.3%
Clima
25 resp. 10%
Estado actual de las calles
14 resp. 5.6%
Contaminación en las calles
5 resp. 2%
Other
0 resp. 0%

Pregunta 16. ¿Si existiera un servicio de bicicletas compartidas (bicicletas para rentarlas) con una red de ciclovías seguras estarías dispuesto a utilizar el servicio?

249 de 260 personas respondieron esta pregunta



Pregunta realizada a las personas que respondieron "no" a la pregunta: ¿Si existiera un servicio de bicicletas compartidas (bicicletas para rentarlas) con una red de ciclovías seguras estarías dispuesto a utilizar el servicio? Las personas que responden esta pregunta pasan a la pregunta 20.

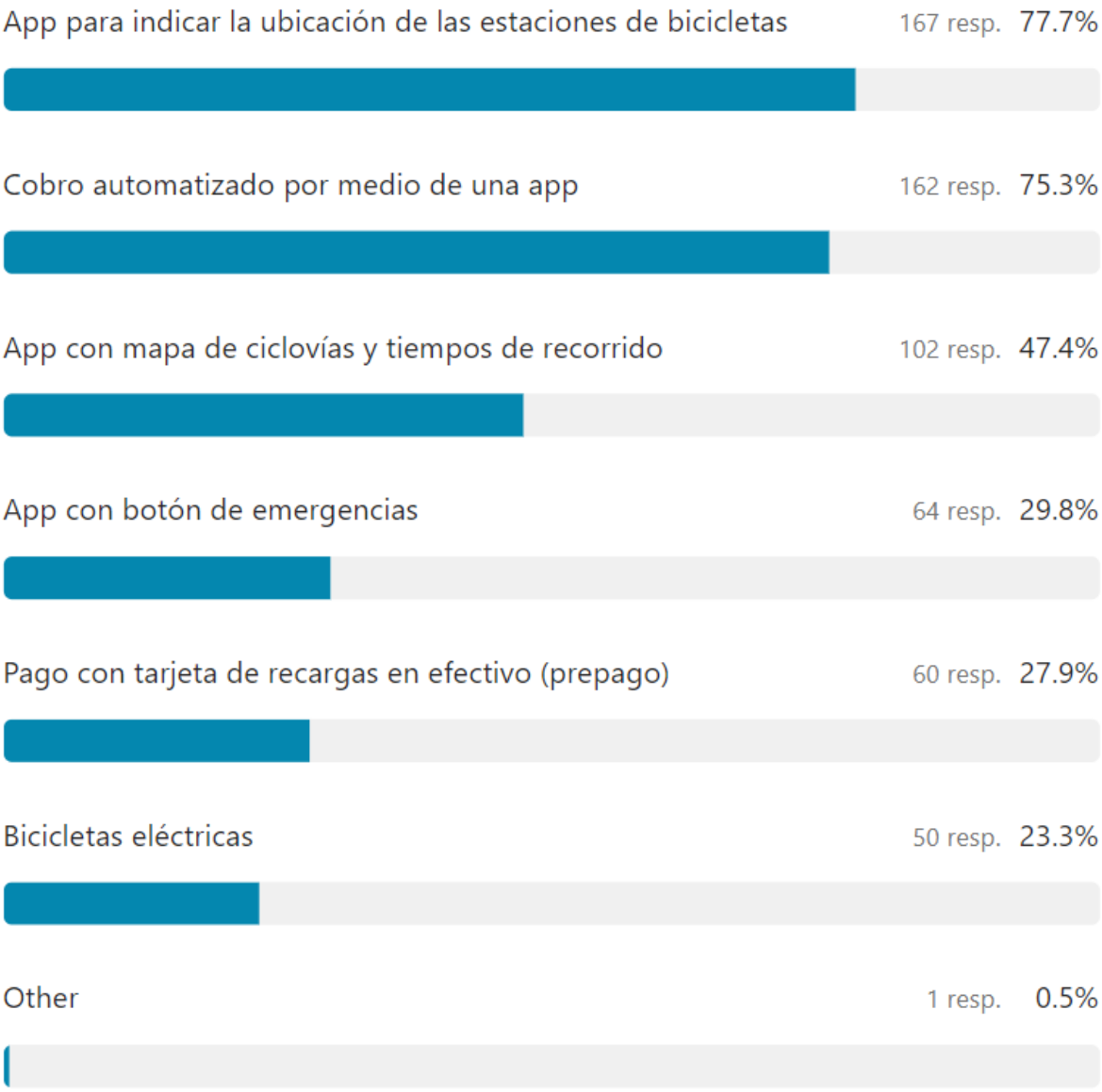
Pregunta 17. ¿Por qué no?

34 de 260 personas respondieron esta pregunta

Peligro
Por la delincuencia
Tengo mi propia bici
Prefiero una bicicleta personal
No hay donde
Seguridad, comodidad y distancia necesarias para recorrer
La inseguridad
Por la poca seguridad que hay actualemente/covid
Las distancias que recorro son muy largas para usar bicicleta
Mis puntos de viaje son muy lejos y el relieve no es nada beneficioso
Prefiero utilizar el carro y si es necesario prefiero caminar. No me gusta llegar sudado a lugares
No suelo usar bicicleta
Seguridad
Porque considero que un automóvil me sirve perfectamente y me daría un poco de miedo transportarme sola en bicicleta
O me asaltan o me atropellan
No me sentiría cómoda
No me siento seguro
No me gusta cansarme y mucho menos llegando sudado a un trabajo
No sé andar en bicicleta
Si es por ocio sí, pero para transporte no porque llevo muchas cosas conmigo, entre ellas computadora con trabajo.
Falta de seguridad y es muy larga la distancia
Me cansaría
No me gustan
No utilizaría la bicicleta como medio, no sé andar en bici
No me gusta
No uso bicicleta
Distancia de movilidad, lo que implica cansancio y más tiempo que en carro.
Porque vivo muy lejos, ir de Villa Nueva a zona 15/10 es una distancia muy larga para recorrer en bicicleta sin embargo como para un mini viaje al parque o tipo en Cayalá sí estaría dispuesta a usarla
No vivo en la ciudad
Me gusta manejar carro
Debido a que siento que depende de que hayan para movilizarse es muy dependiente a otros factores fuera de mi capacidad
Por el momento es más cómodo usar otros métodos.
Es peligroso

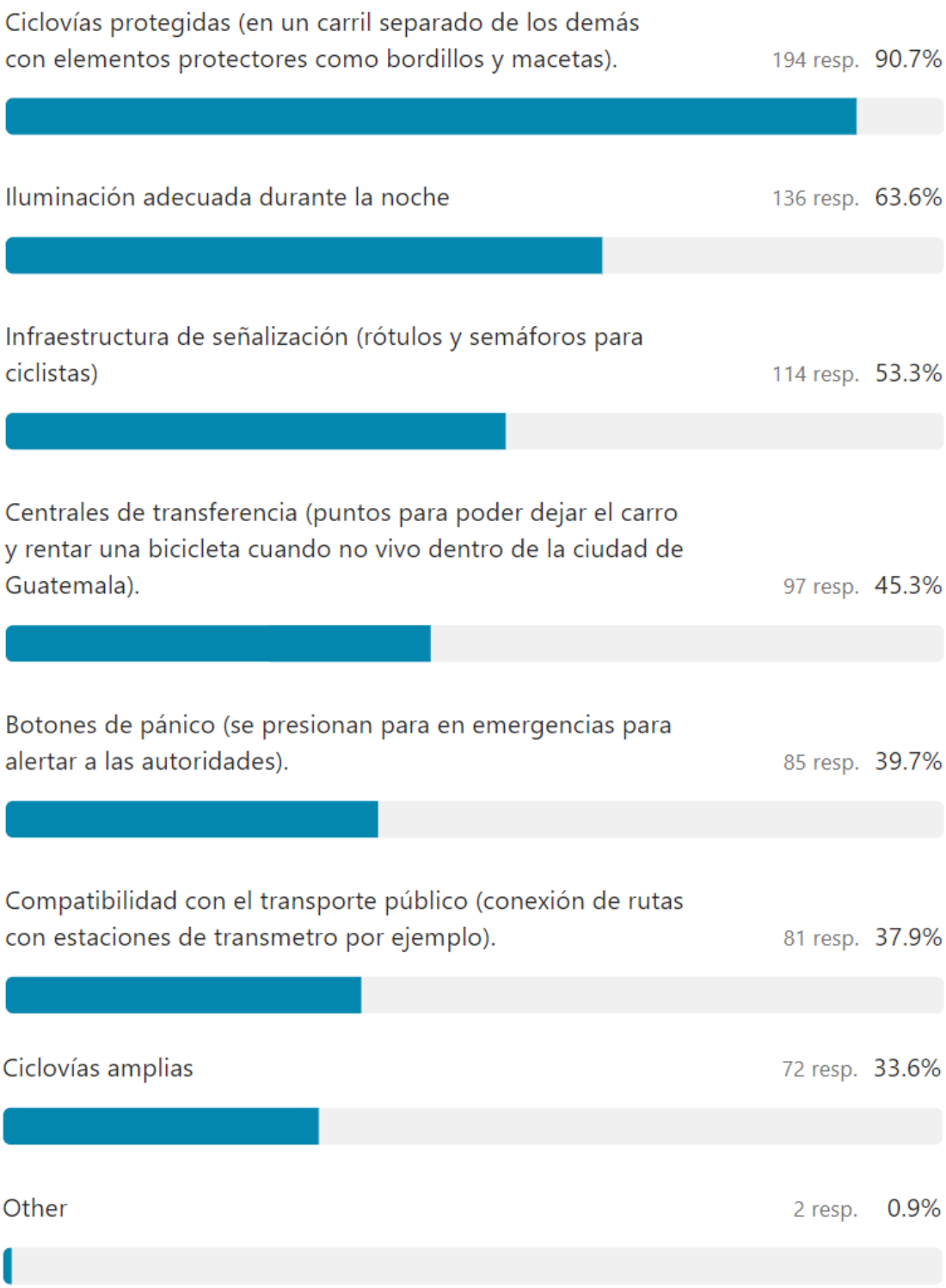
Pregunta 18. ¿Qué son 3 cosas esenciales que debe de tener el servicio de alquiler?

215 de 260 personas respondieron esta pregunta



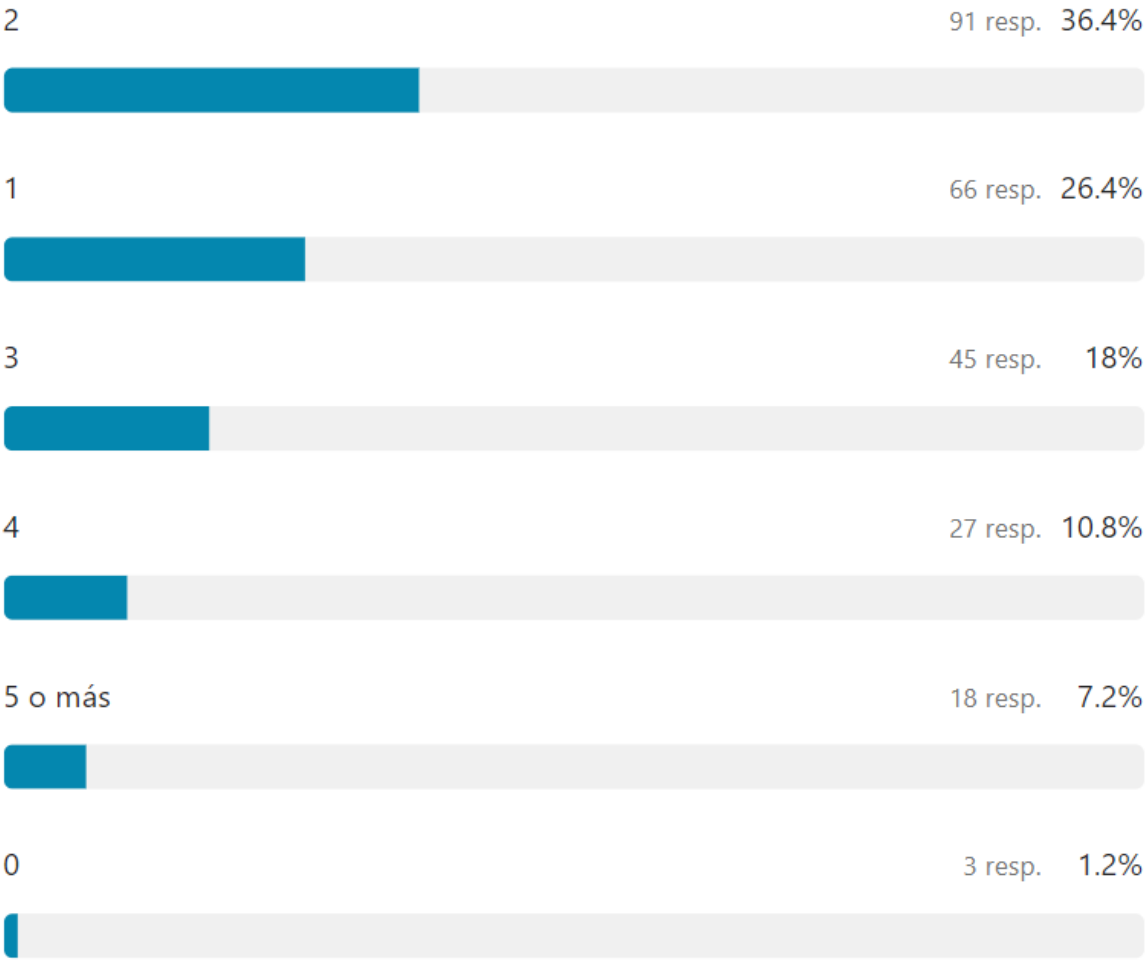
Pregunta 19. ¿Qué condiciones deberían tener las ciclovías para utilizar el servicio?

214 de 260 personas respondieron esta pregunta



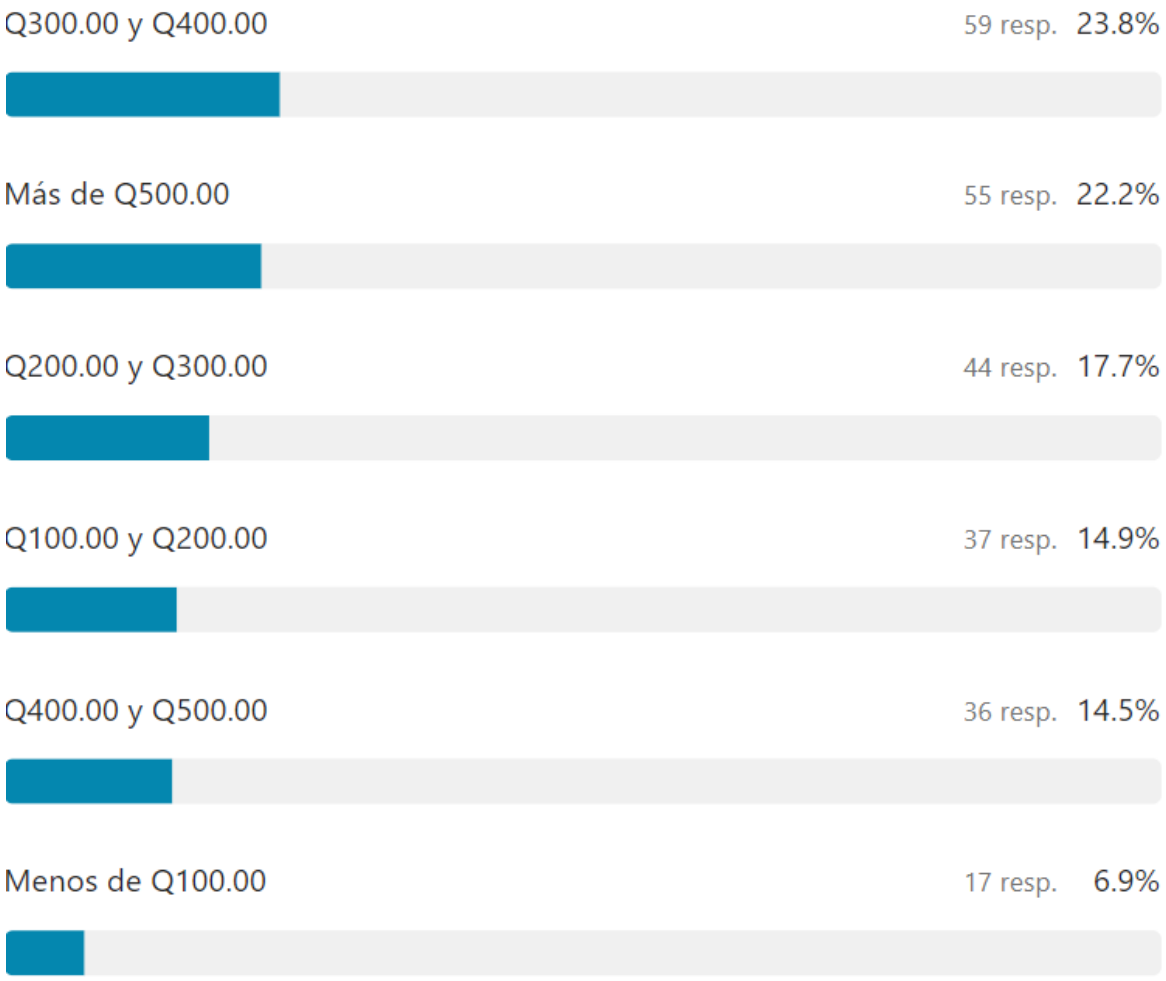
Pregunta 20. En promedio ¿cuántos viajes realizas al día en la ciudad de Guatemala?

250 de 260 personas respondieron esta pregunta



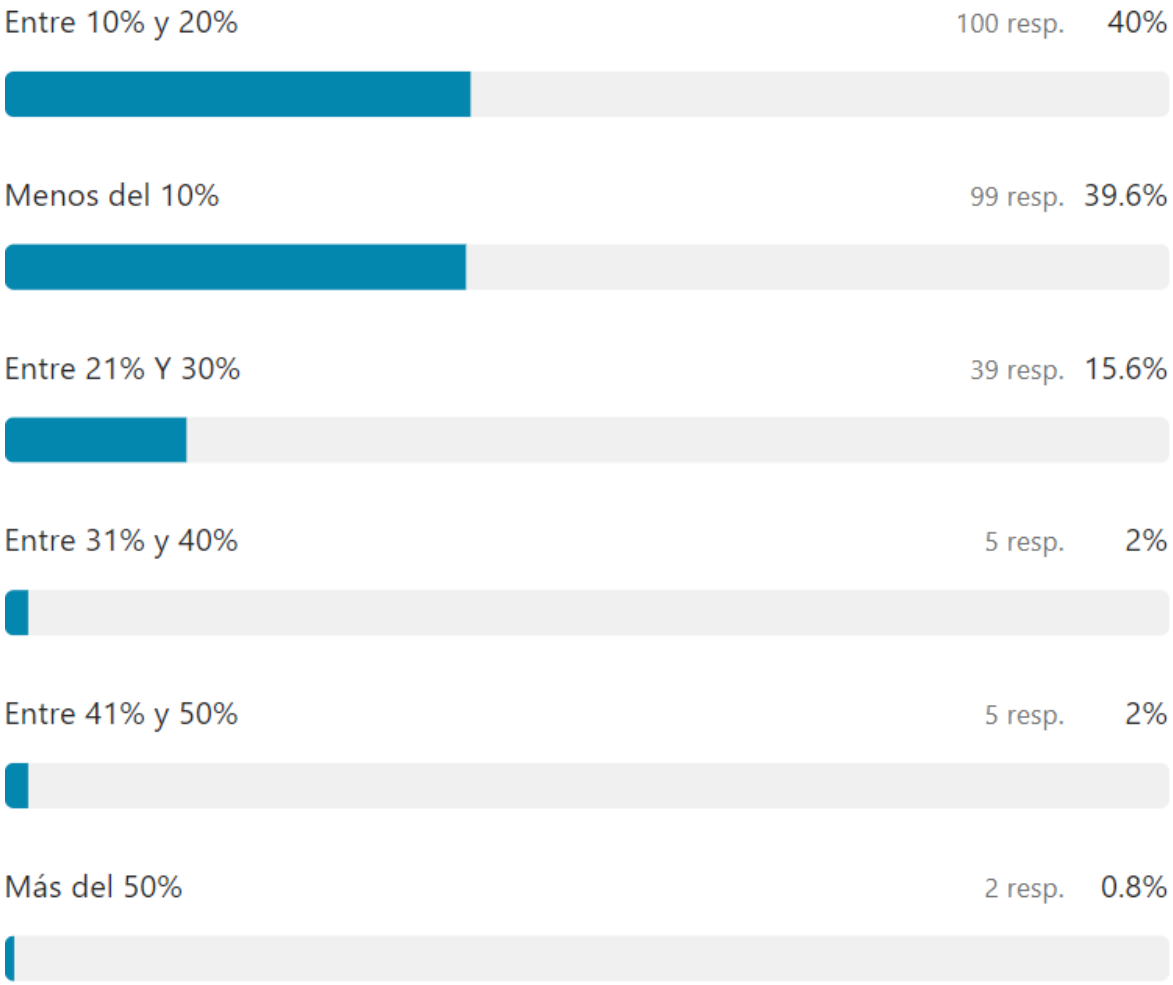
Pregunta 21. En promedio ¿cuánto dinero gastas en transporte mensualmente?

250 de 260 personas respondieron esta pregunta



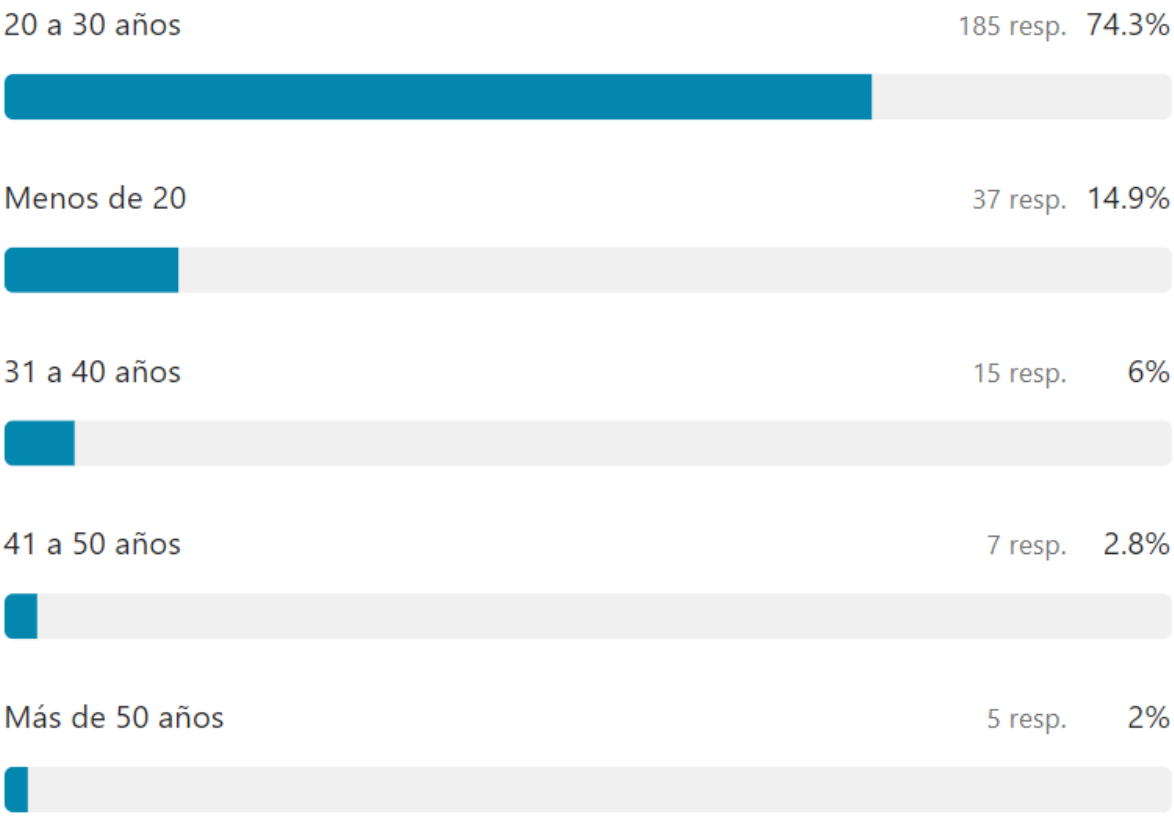
Pregunta 22. ¿Qué porcentaje de tus ingresos gastas mensualmente en transporte?

250 de 260 personas respondieron esta pregunta



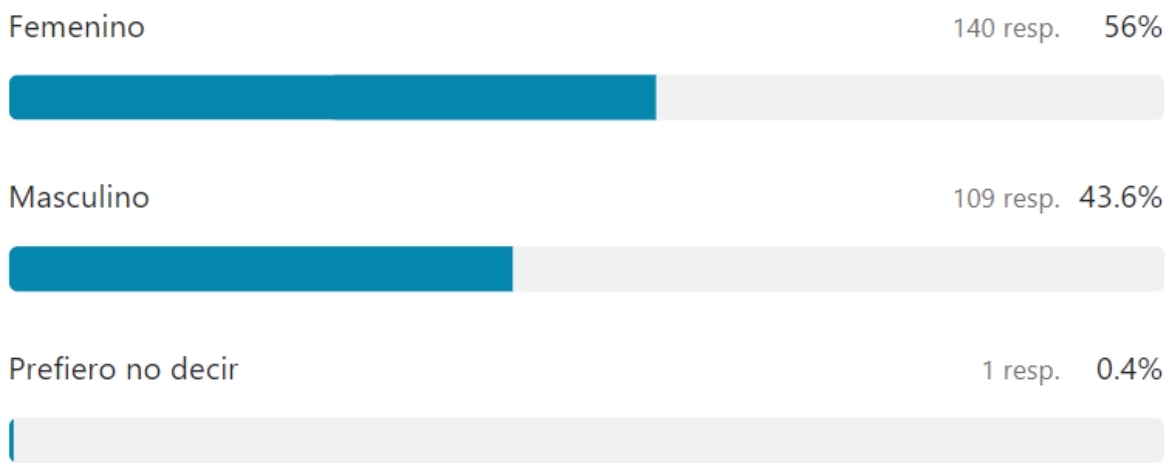
Pregunta 23. Mi edad está dentro del siguiente rango

249 de 260 personas respondieron esta pregunta



Pregunta 24. Mi sexo es

250 de 260 personas respondieron esta pregunta



Reporte de encuesta

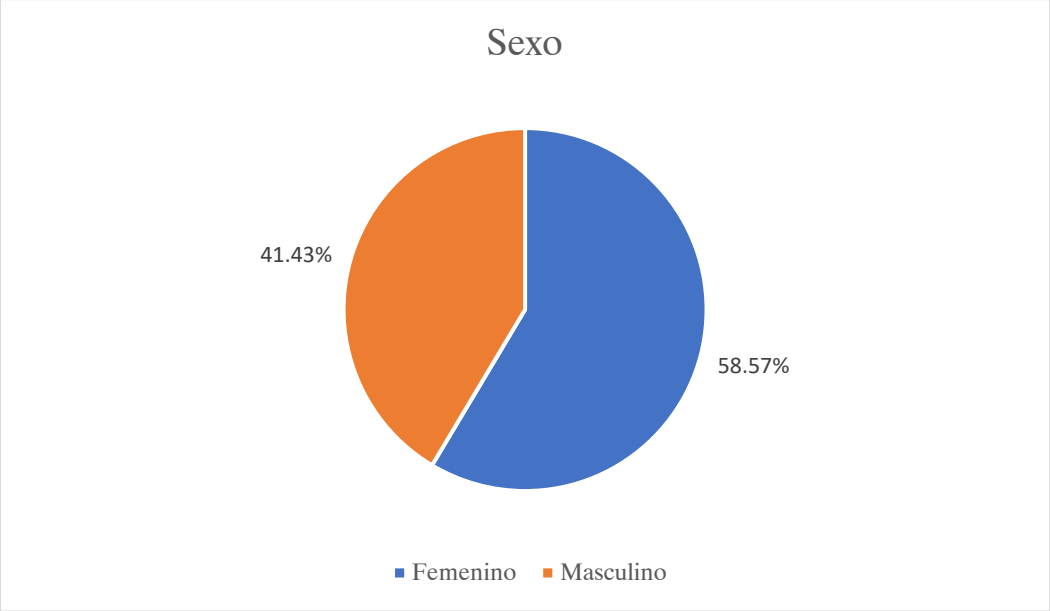
Resultados filtrados a población estudiantil de interés

Movilidad en la Ciudad de Guatemala

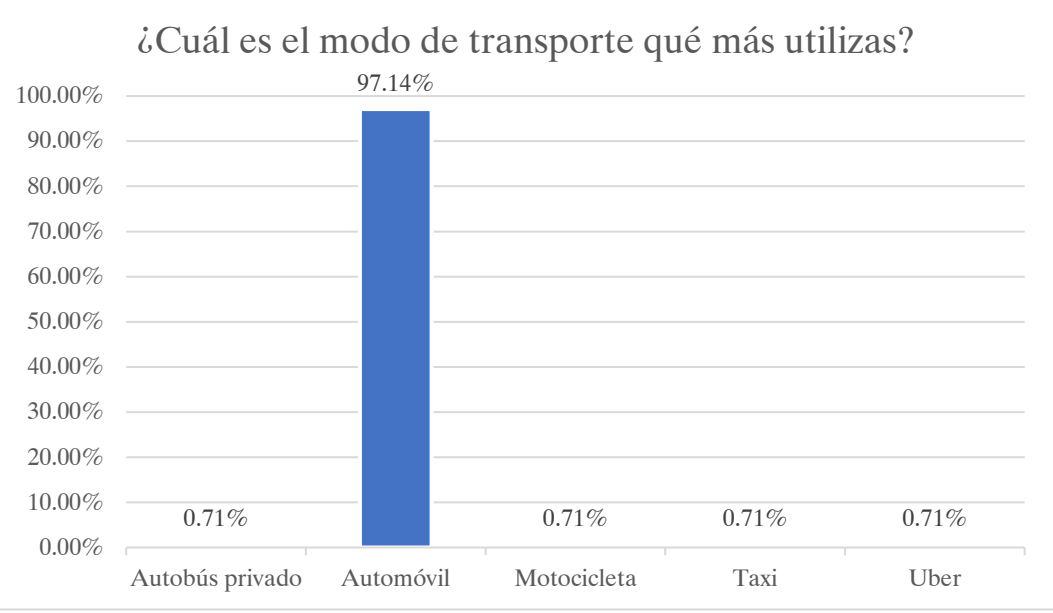
Análisis población estudiantil

140 de los 260 encuestados son estudiantes universitarios

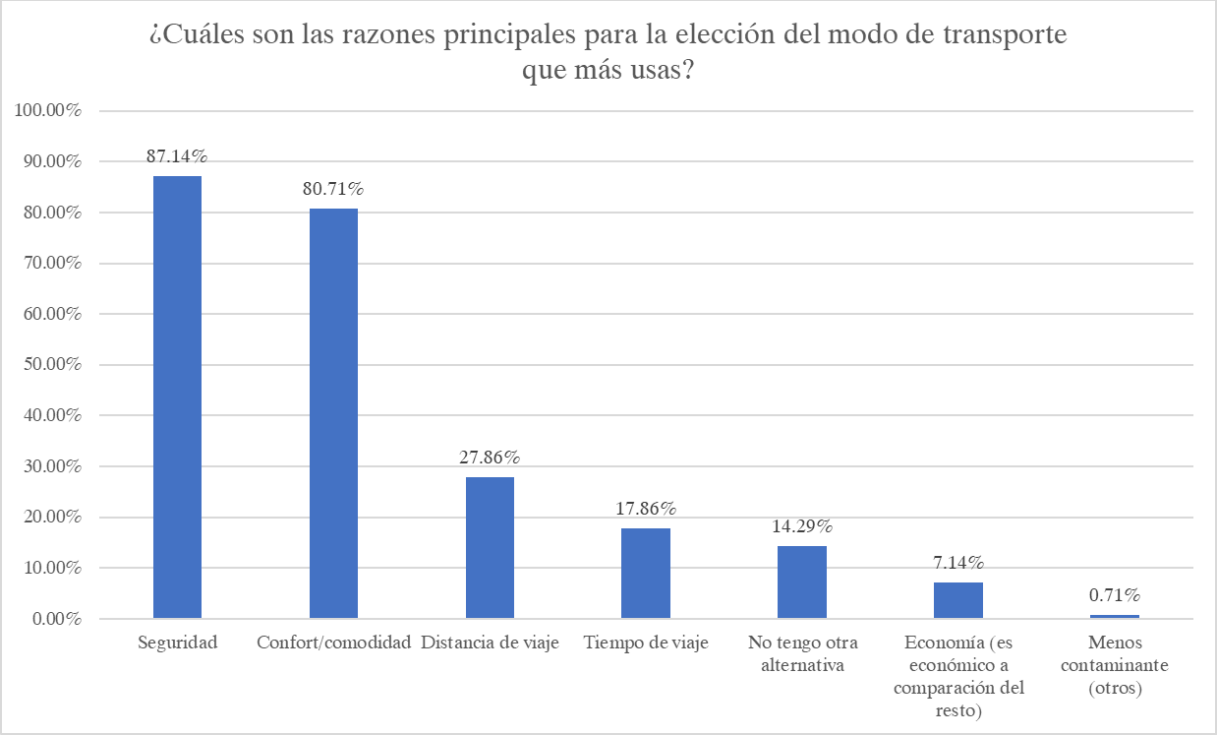
Sexo de los estudiantes universitarios que respondieron la encuesta



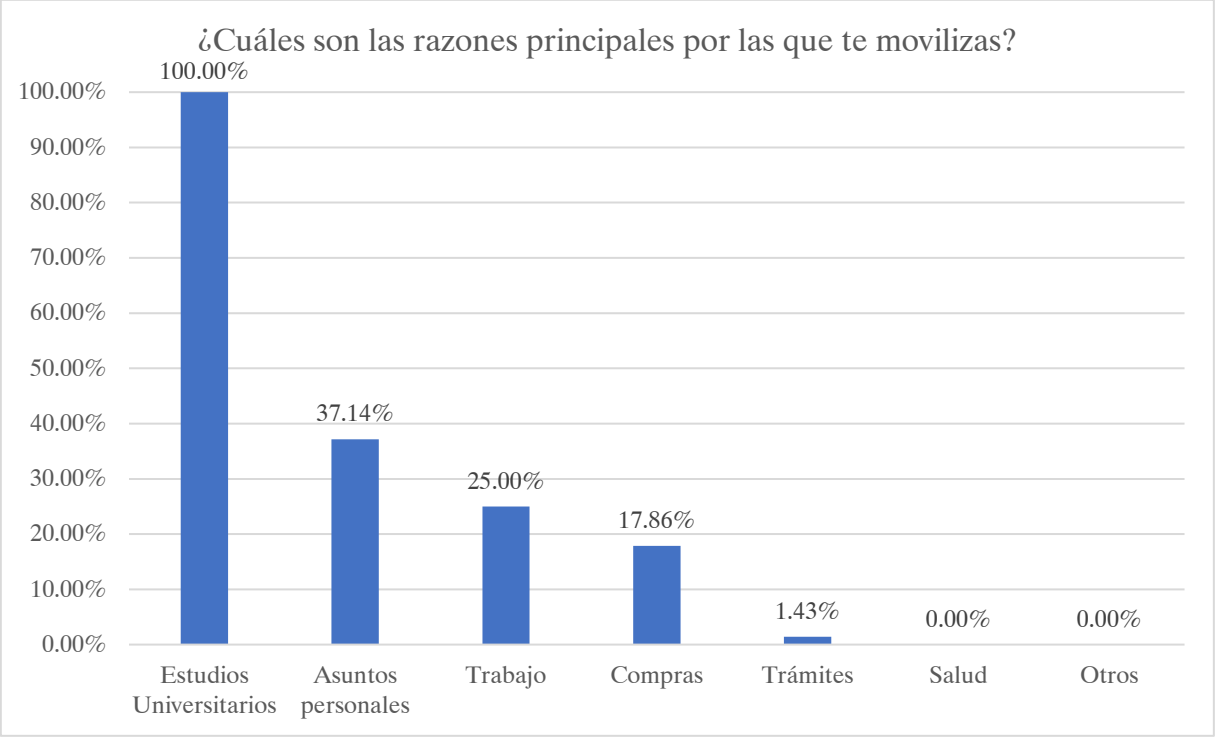
Modo de transporte principal de los estudiantes universitarios



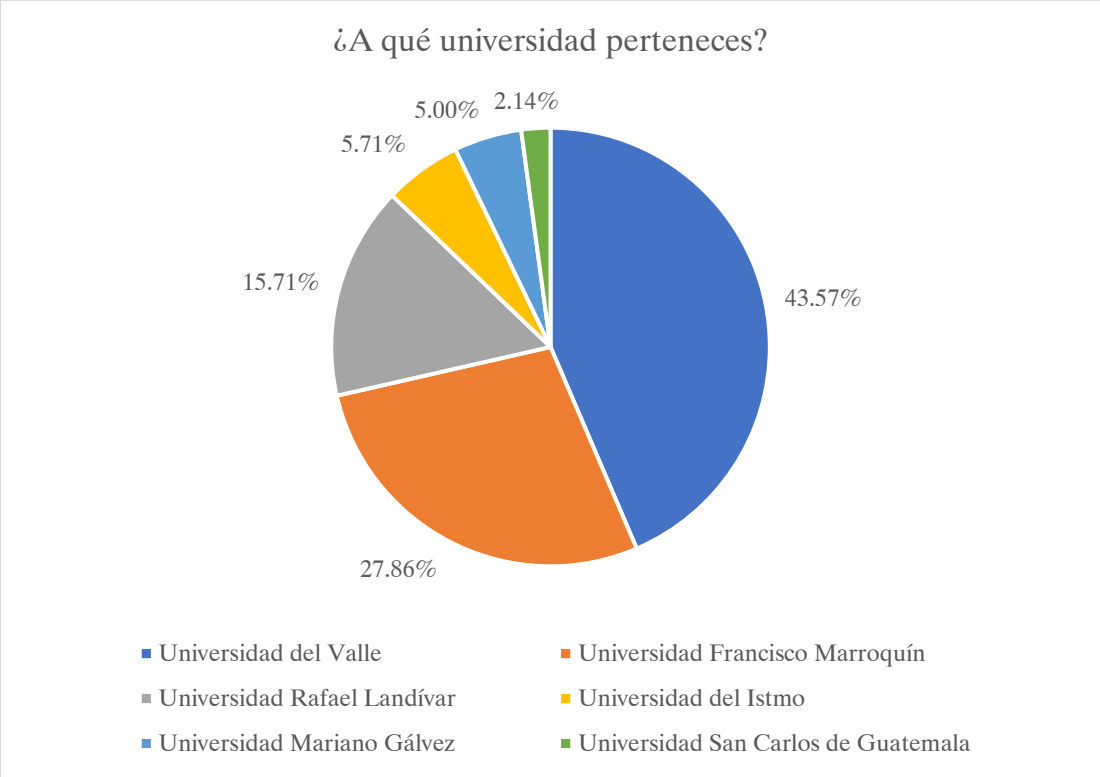
Criterios de selección del modo de transporte



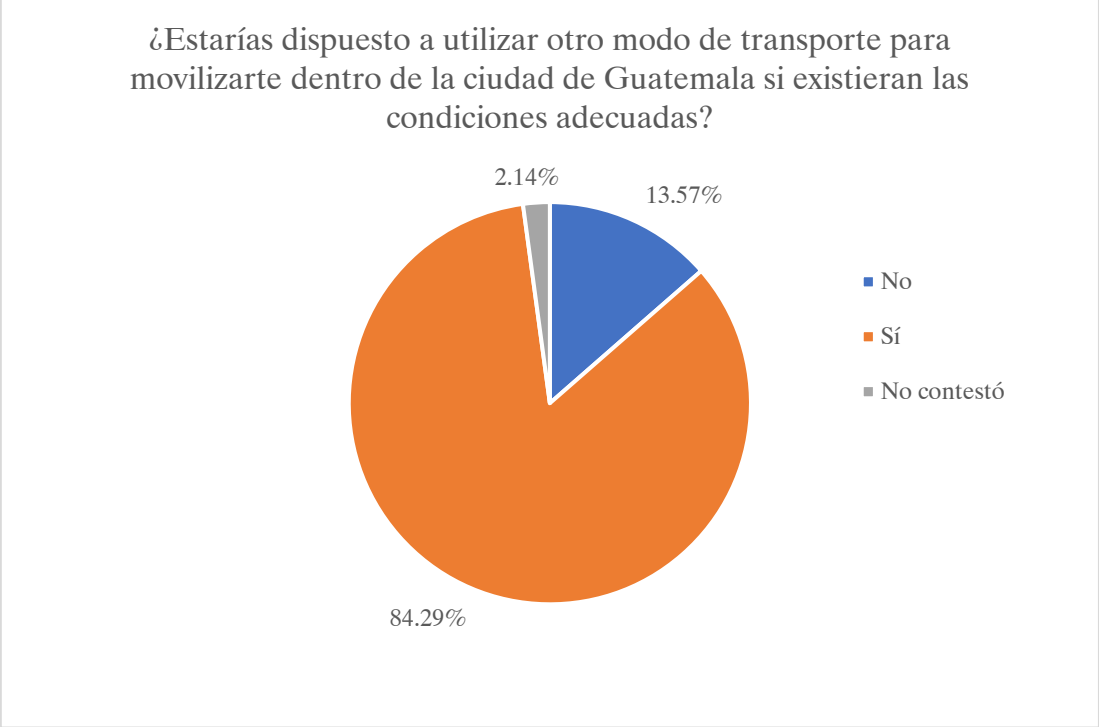
Razones principales por las que se movilizan los estudiantes universitarios



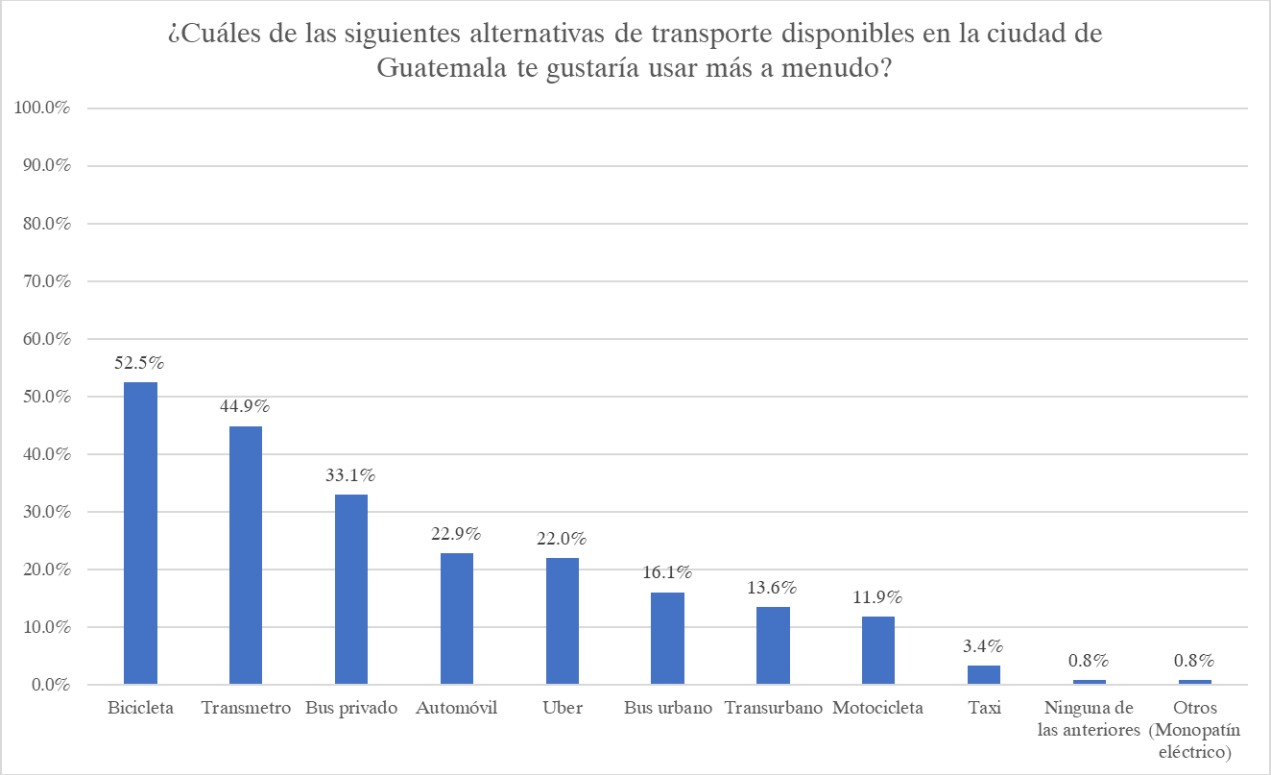
Casa de estudios de los universitarios



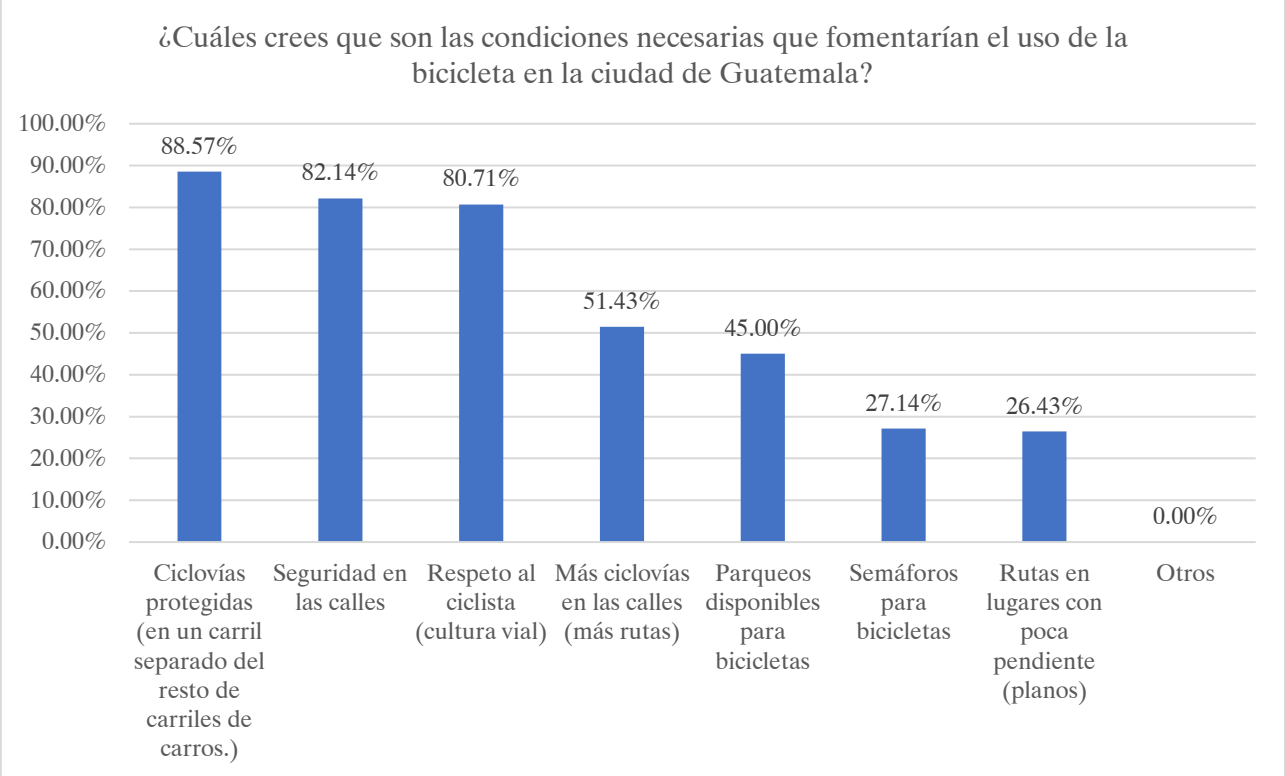
Disponibilidad a uso de modos de transporte alternativos



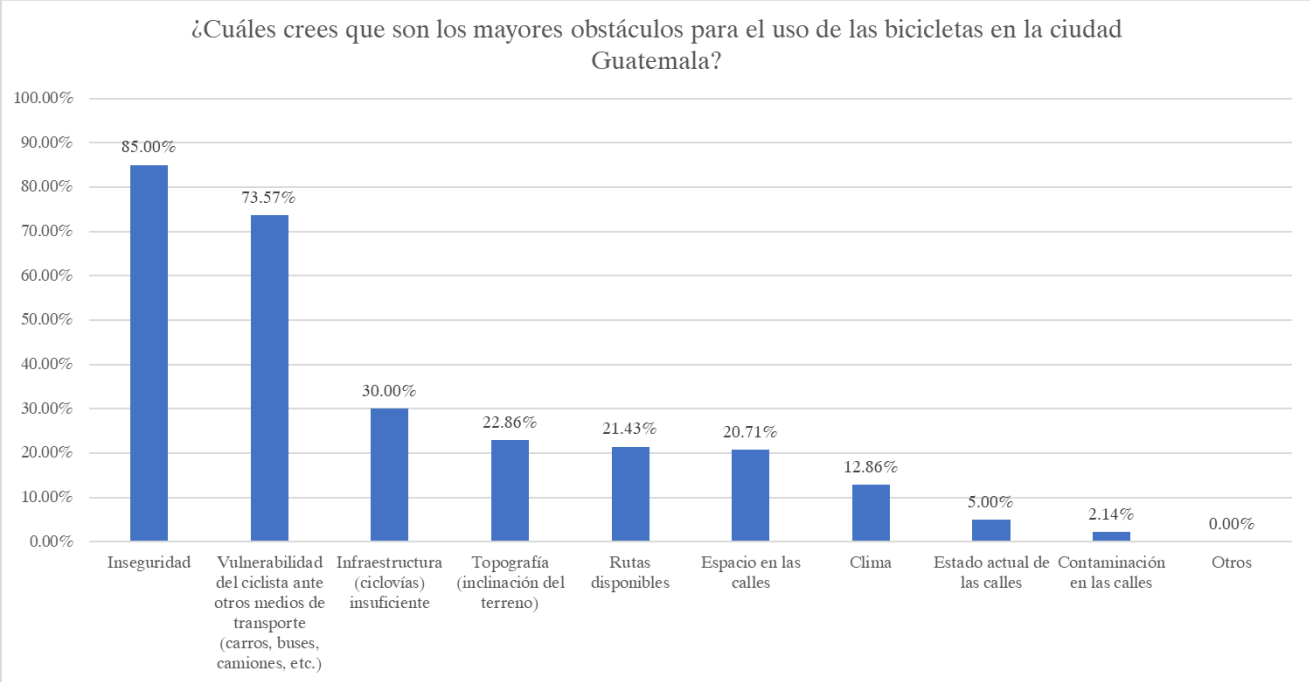
Alternativas de mayor interés para los universitarios



Condiciones necesarias para para fomentar el uso de la bicicleta en la ciudad de Guatemala



Obstáculos principales para el uso de la bicicleta en la ciudad de Guatemala

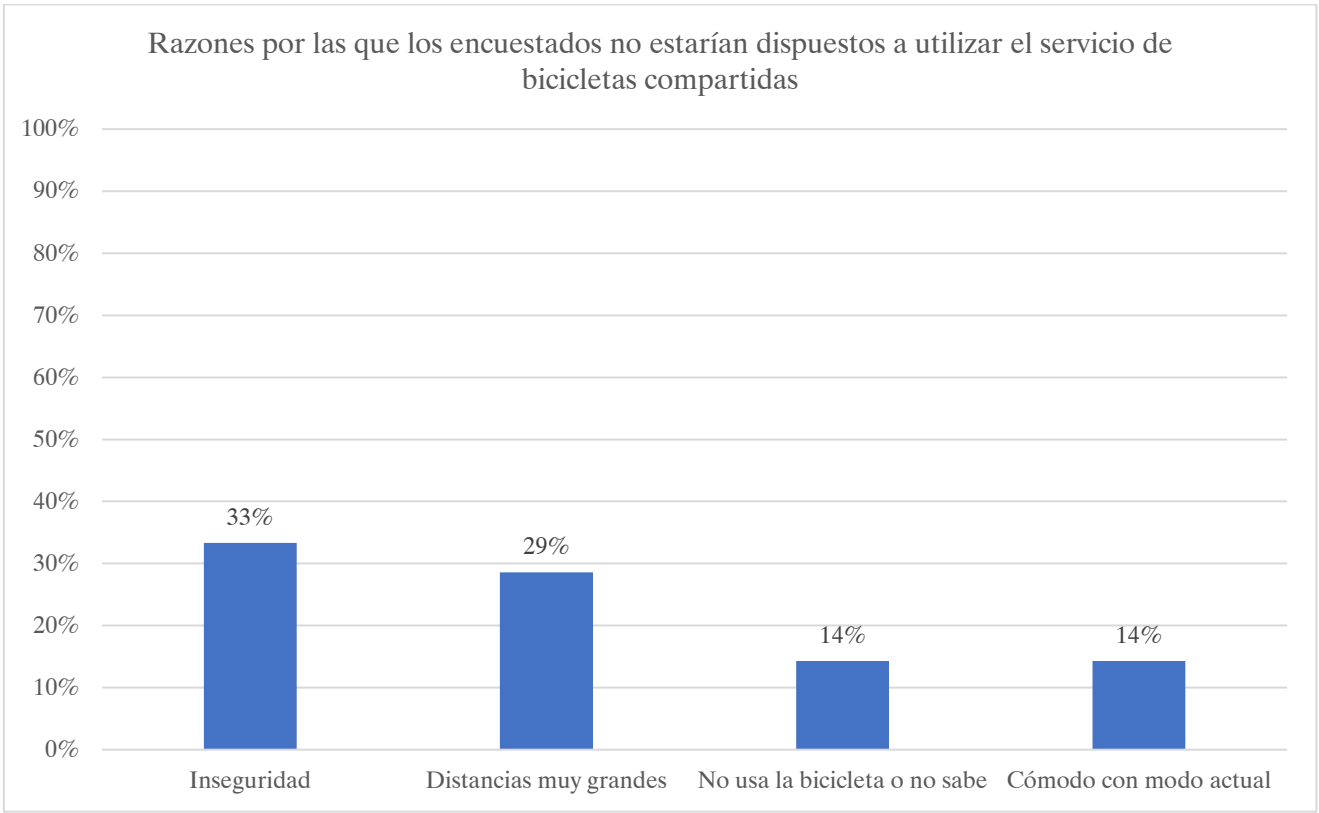


Disponibilidad para utilizar un servicio de bicicletas compartidas

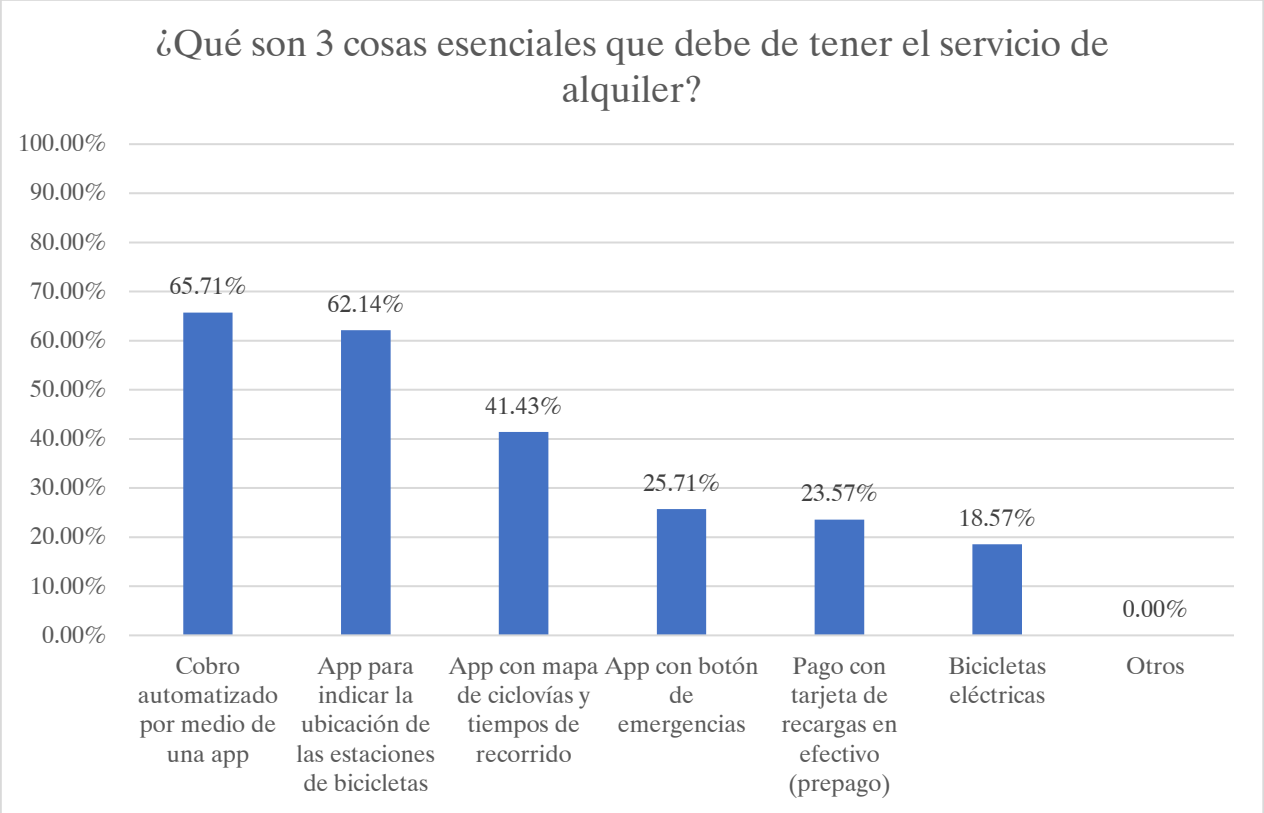


Clasificación de las razones por las que los estudiantes no estarían dispuestos a utilizar la bicicleta compartida a través del método antropológico por agrupación de conceptos

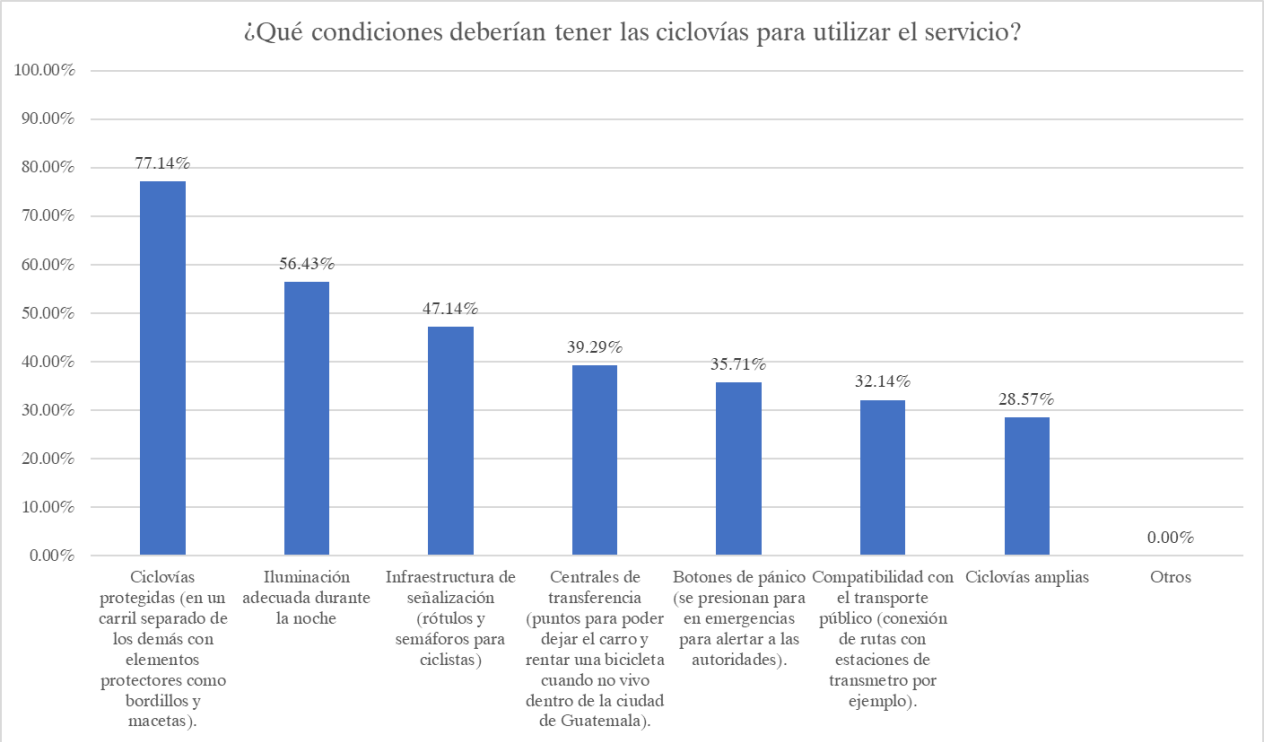
Respuesta	Inseguridad	Falta de infraestructura	Distancias muy grandes	Relieve inconveniente	Llegar sudado	No usa la bicicleta o no sabe	Cómodo con modo actual	Llevo muchas cosas	tiempo de viaje	Cansancio	Dependiente de factores externos
Peligro	1										
No hay donde		1									
Seguridad, comodidad y distancia necesarias para recorrer	1		1				1				
La inseguridad	1										
Las distancias que recorro son muy largas para usar bicicleta			1								
Mis puntos de viaje son muy lejos y el relieve no es nada			1	1							
Prefiero utilizar el carro y si es necesario prefiero caminar. No me gusta llegar sudado a lugares					1						
No suelo usar bicicleta						1					
Porque considero que un automóvil me sirve perfectamente y me daría un poco de miedo transportarme sola en bicicleta	1						1				
O me asaltan o me atropellan	1										
Si es por ocio si, pero para transporte no porque llevo muchas cosas conmigo. Y entre ellas computadora con trabajo.								1			
Falta de seguridad y es muy larga la distancia	1		1								
No me gustan											
No utilizaría la bicicleta como medio, no sé andar en bici						1					
No uso bicicleta						1					
Distancia de movilidad, lo que implica cansancio y más tiempo que en carro.			1						1	1	
Porque vivo muy lejos, ir de Villa Nueva a zona 15/10 es una distancia muy larga para recorrer en bicicleta sin embargo como para un mini viaje al parque o tipo en Cayalá si estaría			1								
Me gusta manejar carro							1				
Debido a que siento que depende de que hayan para movilizarse es muy dependiente a otros factores fuera de mi											1
Por el momento es más cómodo usar otros métodos.											
Es peligroso	1										
Total	7	1	6	1	1	3	3	1	1	1	1



Elementos esenciales del servicio de bicicletas compartidas



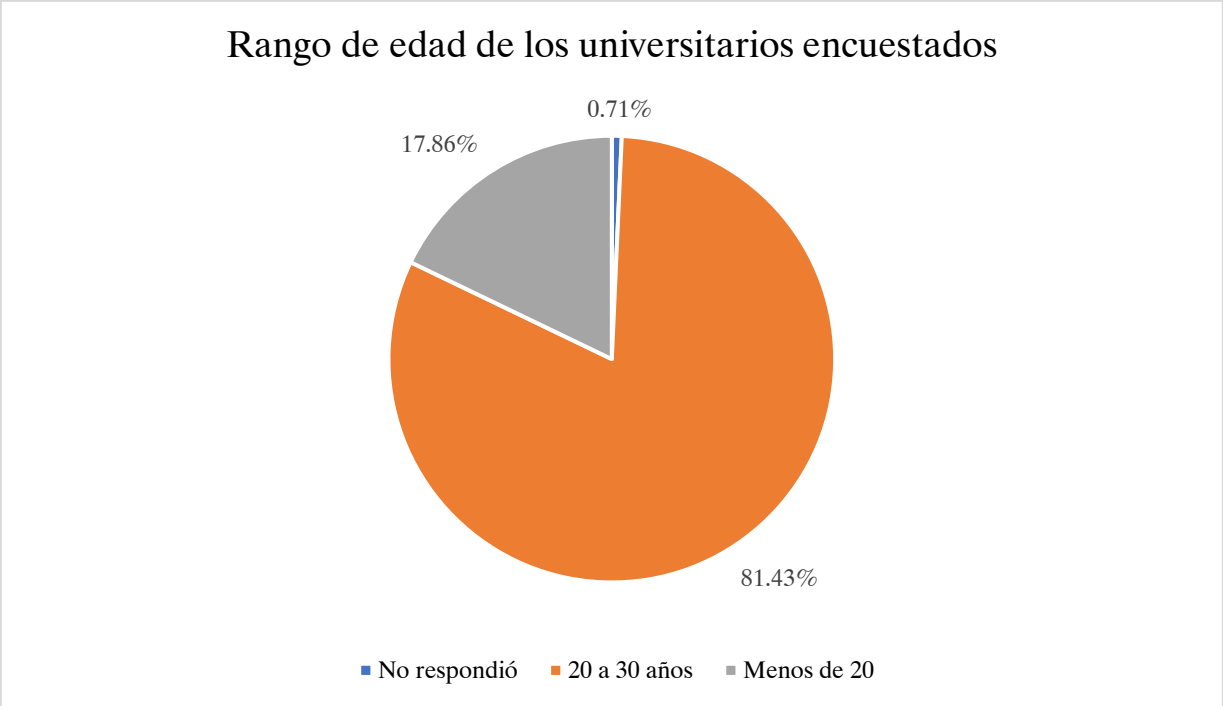
Condiciones necesarias de las ciclovías para que los universitarios utilicen el servicio



Matriz de ingresos y gastos en transporte

En promedio cuánto dinero gastas en transporte mensualmente	Porcentaje de ingresos correspondiente al gasto por transporte						
	Entre 10% y 20%	Entre 21% Y 30%	Entre 31% y 40%	Entre 41% y 50%	Más del 50%	Menos del 10%	Total general
No respondió	1						1
Más de Q500.00	6	5	1	1	1	11	25
Menos de Q100.00	6					4	10
Q100.00 y Q200.00	6	3		1		13	23
Q201.00 y Q300.00	12	3		1		8	24
Q301.00 y Q400.00	20	7	1			8	36
Q401.00 y Q500.00	5	5	3	1		7	21
Total general	56	23	5	4	1	51	140

Rango de edad de los encuestados



Cuadro ampliado sensores

Sensores disponibles en el mercado para conteo de ciclistas

Sensor	Funcionamiento	Temporalidad	Tipo de usuarios registrados por el sensor						Datos registrados adicionales	Precisión	Limitantes	Instalación	Costo incial	Costos de operación
			CA de todos los usuarios	CA peatones y ciclistas	CA bicicletas y vehículos	CAI de bicicletas	CAI peatones	CAI vehículos motorizados						
Conteo Automatizado a partir de videos	Uso de algoritmos computarizados para el procesamiento de videos y detección de peatones o ciclistas.	Permanente.				x	x	x	Dirección y características del usuario (género y edad aproximada). Pueden calcular velocidad.	Varía según proveedor y condiciones de instalación.	Suceptibilidad al deslumbramiento solar y la falta de iluminación.	Se coloca sobre postes para elevar la cámara. Se deben evitar zonas de vibración y deslumbramiento solar.	$1000 a $1,300	Elevados
Magnetómetros	Detectan cambios en el magnetismo de la tierra cuando las partes metálicas de las bicicletas pasan sobre ellos.	Permanente			x					No se cuenta con información al respecto.	No diseñado especificamente para conteos de ciclistas.	Se colocan enterrados en el suelo.	No se cuenta con información.	No se cuenta con información.
Tiras piezoeléctricas	Conformadas por dos tiras que emiten una señal eléctrica que se ve deformada por las llantas de la bicicleta.	Uso permanente.			x				Dirección y velocidad.	89%	No se puede usar en lugares de tráfico mixto. No son precisos cuando varios ciclistas pasan sobre el sensor al mismo tiempo.	Se colocan empotradas en el pavimento. Dificultad para detectar bicicletas no convencionales. A colocar en puntos donde no se detendran los ciclistas.	$1000 a $1,300	Bajos
Contadores de Tubos Neumáticos	Comprende dos tubos de hule colocados sobre la calle/ciclovía en el punto de medición de forma perpendicular a la dirección del tránsito. Es capaz de detectar la dirección de los usuarios y el tipo de usuario a través de la presión ejercida (la cual genera un pulso de aire en el interior que viaja hasta un detector en donde se registra el conteo), la duración de la presión, espaciamiento entre llantas, etc	Uso temporal.				x		x	Dirección y velocidad.	85% hasta el 100%	Uso a corto plazo. Suceptibilidad al robo.	Se colocan sobre el pavimento, perpendiculares a la dirección del flujo en puntos donde no se detendrán los ciclistas. Se sujetan por medio de cintas o clavos.	$1000 a $1,300	Medios
Detectores de bucle de inducción	Conformado por cables sobre los cuales circulan pequeñas corrientes eléctricas para generar un campo magnético. Los elementos metálicos de las bicicletas generan cambios sobre el campo magnético cuando pasan sobre el sensor permitiendo así registrar la cantidad de usuarios.	Permanente o temporal				x		x	Presencia de ciclistas en intersecciones esperando la luz verde del semáforo.	90%	Uso temporal limitado a un solo uso.	Se colocan empotradas en el pavimento. No es posible detectar ciclistas que pasan al mismo tiempo sobre el sensor. Suceptibles a interferencia electromagnética. Problemas para reconocer bicicletas no convencionales.	$1000 a $1,300	Bajos
Sensor térmico	Sensores que generan imágenes a través del calor emitido por el cuerpo humano.	Permanente.		x					Dirección.	No se cuenta con información de ensayos sufiencietes para proveer esta información.	No se cuenta con información de estudios que indique las limitantes.	Se requiere de una fuente de energía externa y un punto de colocación elevado sobre el punto de medición.	No se cuenta con información.	No se cuenta con información.
Sersor infrarrojo activo	Emiten luz infrarroja desde un punto emisor a un punto recibidor y detectan cuando el haz de luz es interrumpido.	Permanente o temporal	x						Dirección.	91%	No pueden distinguir ciclistas de peatones. No pueden colocarse en ubicaciones donde habrá acumulación de peatones o ciclistas. Suceptibles a conteos falsos ocacionados por animales, objetos, lluvia, hojas, etc. No pueden contar ciclistas que transiten el uno al lado del otro. No puede utilizarse para mediciones sobre calles.	Se requiere de dos postes, uno para el emisor y otro para el recibidor.	más de $3000	Bajos

Sensor	Funcionamiento	Temporalidad	Tipo de usuarios registrados por el sensor						Datos registrados adicionales	Precisión	Limitantes	Instalación	Costo incial	Costos de operación
			CA de todos los usuarios	CA peatones y ciclistas	CA bicicletas y vehículos	CAI de bicicletas	CAI peatones	CAI vehículos motorizados						
Sensor infrarrojo pasivo	Detectan ciclistas y peatones al comparar la temperatura del fondo con la radiación infrarroja que emiten las personas que pasan dentro del campo de visión del sensor.	Permanentes.	x						Dirección.	Entre el 83% y 97% dependiendo del equipo.	No pueden distinguir ciclistas de peatones. Suceptibles a errores de conteo por obstrucciones ocasionadas por grupos de personas. Suceptible a temperaturas extremas.	Se montan sobre postes a una altura entre 60 y 90 cm. Se debe evitar colocarlos en puntos donde se detendrán los peatones o los ciclistas.	$1000 a $1,300	Bajos
Sensores de ondas de radio	Cuentan con un emisor y un receptor y detectan cuando las ondas se ven interrumpidas por ciclistas o peatones.	Permanente o temporal.	x			x	x		Dirección.	69% al 73%	Son suceptibles a obstrucción en grupos de peatones o ciclistas.	Se debe colocar al emisor y al receptor uno enfrente del otro (separación alrededor de 3m). Pueden colocarse en postes o escondidos detrás de algunos objetos mientras sean delgados y de plástico o madera.	más de $3000	Bajos
Sensores de presión de fibra óptica	Registran cambios en la cantidad de luz transmitida a través del cable de fibra óptica enterrado en el recorrido gracias a la presión ejercida sobre el mismo.	Permanente.				x		x	Peso de vehículos	No se cuenta con información al respecto.	Proceso de instalación especializado.	Se colocan dentro de aberturas en el pavimento.	No se cuenta con información.	No se cuenta con información.
Sensores de tecnología radar y LIDAR	Combinación de tecnología radar y LIDAR para detección de ciclistas.	Permanente o temporal.				x	x	x	Dirección y velocidad.	98%	No se cuenta con información de estudios que indique las limitantes.	Se instala elevado en un poste sobre el punto de medición.	No se cuenta con información.	No se cuenta con información.
Escáneres Laser	Registran peatones y ciclistas mediante la emisión de pulsos láser en diferentes direcciones y el análisis de sus relfexiones. En la actualidad existen dos tipos, horizontales y verticales	Permanente.				x	x			97%	Disminución de precisión durante precipitación y niebla.	De tipo horizontal requieren una ubicación sin obstrucciones. De tipo vertical requieren un punto de colocación elevado sobre el punto de medición. Adicionalmente se requiere una conexión eléctrica.	No se cuenta con información.	No se cuenta con información.

En donde:

CAI Conteo aislado

CA coneto agrupado

Cuadro definiciones ciclovías

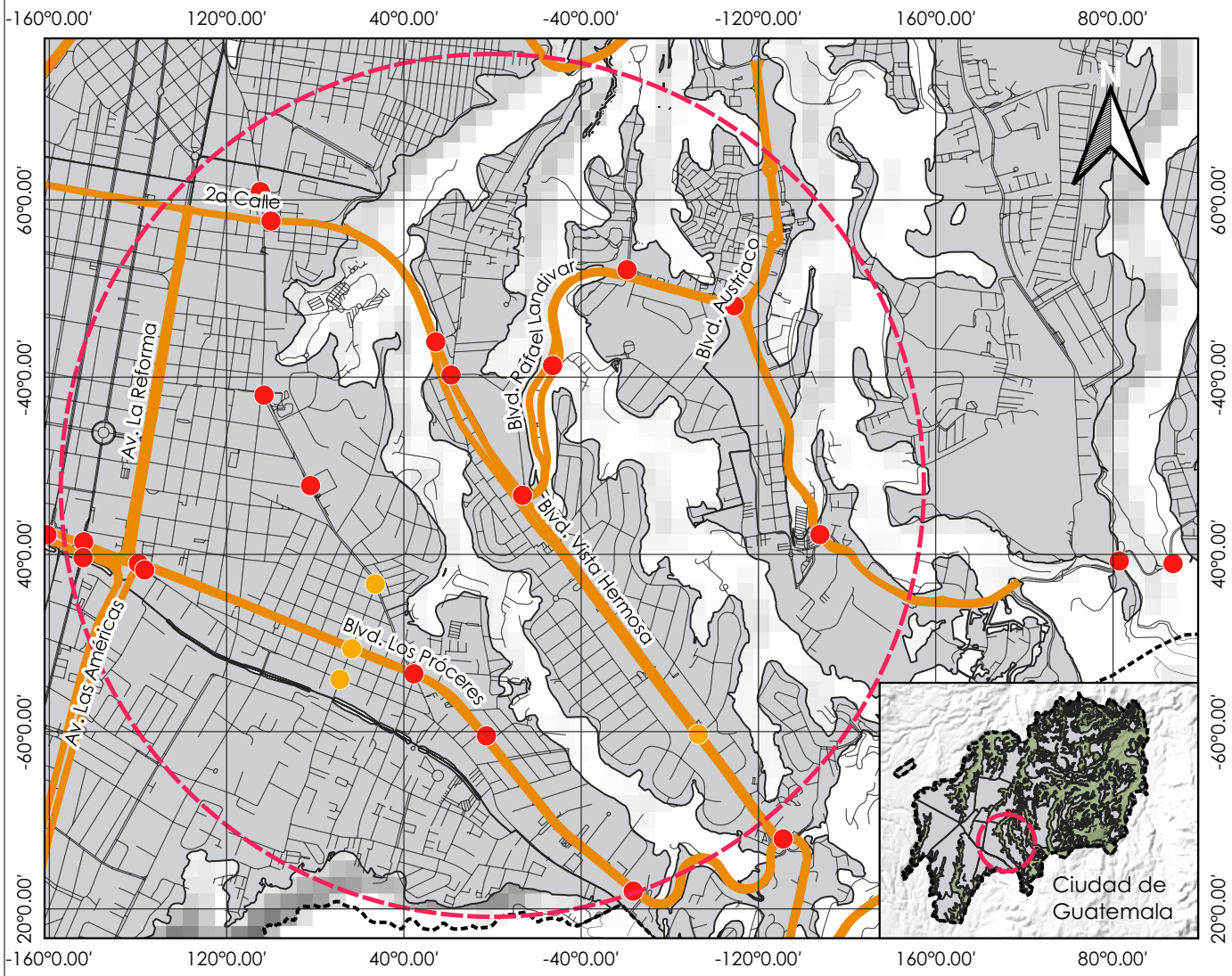
Definiciones de las tipologías de ciclovías de las guías/publicaciones consultadas

Tipología y clasificación de infraestructura para circulación de ciclistas			
Designación	**Clasificación**		**Definición**
UBDG	Carriles bici (carriles de uso preferencial para bicicletas delimitados por pintura).	Carriles bici convencionales	Espacio de circulación para ciclistas ubicado adyacente a los carriles de vehículos motorizados y que sigue la dirección del flujo vehicular motorizado.
		Carriles bici con buffer	Poseen las mismas características de los carriles bici convencionales y se le agrega una separación de los carriles para vehículos motorizados a través de una región de buffer generado con líneas diagonales de pintura sobre el pavimento.
		Carriles bici contraflow	Carriles bici que permiten la circulación de ciclistas en la dirección contraria del tránsito motorizado, convirtiendo en dos vías una calle de una vía.
		Carriles bici del lado izquierdo	Carriles bici convencionales ubicados a la izquierda de la dirección del tráfico de vehículos motorizados utilizados en casos donde hay paradas de bus del lado derecho y/o zonas de carga y descarga utilizadas con frecuencia.
	Ciclovías (carriles exclusivos para bicicletas separados por elementos físicos de los espacios de circulación para vehículos motorizados).	Ciclovía protegida de una vía	Carril bici convencional separado a través de elementos físicos (bolardos, jardineras, parqueo paralelo de carros, etc.) de los carriles de los vehículos motorizados.
		Ciclovía elevada	Infraestructura para ciclistas separada verticalmente del tránsito de vehiculos motorizados a traves de un cambio en la elevación.
		Ciclovías de doble vía	Carriles para la circulación de ciclistas, separados físicamente de los carriles de circulación vehicular, ubicados en un lado de la calle y que permite el flujo de ciclistas en dos direccipnes (doble vía).
	Otros	Carriles de uso compartido	Carriles en donde coexisten vehículos motorizados y ciclistas.
SBLP	Carriles bici separados (clasificados por tipología con base a la elevación, independiente de los elementos de separación utilizados y la vía)	Carril bici separado a nivel de acera	Carril de uso exclusivo para ciclistas ubicado a la altura de la acera. Cuenta con una zona de buffer entre la acera y el carril bici y entre el carril bici y la calle.
		Carril bici separado a nivel de calle	Carril de uso exclusivo para ciclistas ubicado a la altura de la calle, separado de los carriles de vehículos motorizados por zona de buffer (camellones, bolardos, maceteros, etc).
		Carril bici separado a nivel intermedio entre calle y acera	Carril de uso exclusivo para ciclistas ubicado a una altura intermedia entre la calle y la acera, separado de los carriles de vehículos motorizados por zona de buffer (camellones, bolardos, maceteros, etc) y de la acera por medio de una zona de buffer.
		Carril bici elevado	Similar al carril bici separado a nivel intermedio entre la calle y la acera con la diferencia de que cuenta con una zona de buffer entre la calle y el carril bici reducida y generada a través del cambio de nivel.
GDBF	Infraestructura para ciclistas sobre calles	Carriles de uso compartido	Carriles donde coexisten vehículos motorizados y ciclistas (puede ser cualquier tipo de calle).
		Carriles de uso compartido delimitados	Carriles donde coexisten vehículos motorizados y ciclistas que cuentan con señalización en el pavimento indicando la circulación de ciclistas en la calle.
		andénes (Paved Shoulders)	Espacios contiguos a la calle que podrán ser utilizados por ciclistas.
		Carriles bici	Carriles de uso preferencial para ciclistas de una vía orientada en la dirección del tráfico motorizado. delimitados por pintura.
		Boulevares para bicicletas	Calles adecuadas para la circulalción de ciclistas donde se limita el acceso a vehículos (son calles barriales intervenidas).
	Rutas de uso mixto		Espacios para la circulación de ciclistas separados físicamente de la calle a través de una barrera o un espacio libre
AMN	Carriles bici separados		Espacios para la circulación de ciclistas separados físicamente de la calle a través de una barrera o un espacio libre.
GDI	Ruta ciclista	Ciclocarril	Espacio de circulación para ciclistas ubicado adyacente a los carriles de vehículos motorizados y que sigue la dirección del flujo vehicular motorizado (es de una dirección). Se encuentra delimitado por una línea de pintura contínua.
		Ciclovía	Espacio de uso exclusivo para el ciclista separada del flujo vehicular a través de elementos físicos (material que restringe el acceso vehicular)
		Calles con espacios compartidos	Calles barriales consideradas zonas de tránsito calmado donde pueden coexistir bicicletas y vehículos motorizados sin la necesidad de una delimitación física.
MBC	Ciclorrutas (espacio de circulación exclusivo para ciclistas)	Ciclorruta en calzada	Carril exclusivo para el uso de bicicletas sobre la calle delimitadas por pintura o una separación vertical (elevación).
		Ciclorruta en andén	Carril exclusivo para el uso de bicicletas sobre el andén de la calle.
		Ciclorruta en separador	Carril exclusivo para la circulación de la bicicleta colocado en el camellón central.
		Ciclorruta compartida prioridad ciclista	Carril de uso compartido entre ciclistas y vehículos motorizados. Cuenta con señalización para establecer la prioridad de paso a ciclistas a través de señales verticales y señales de pintura en el pavimento.
		Ciclorruta carril bus-bici	Carriles de uso exclusivo para bicicletas y buses (son espacios de uso mixto entre estos dos modos) están delimitados con señalización vertical y de pintura en pavimento.
		Ciclorruta en alameda	Espacio destinado a la circulación de ciclistas en senderos peatonales dentro de corredores verdes.
		Ciclorruta en parque	Circuitos para el uso recreativo de la bicicleta dentro de parques.
		Vía 30 km/hr	Calles de con límites de velocidad de 30 km/hr que pueden ser utilizadas por ciclistas para conectarse a través de ciclovías.
		Ciclopuente	Puente para uso de la bicicleta que permite a los usuarios circular de forma continua a través de vialidades, intersecciones y accidentes geográficos.
		Ciclotunel	Tunel para ciclistas que permite su circulación de forma continua pasando por debajo de obstáculos.

Base cartográfica

Mapas elaborados como parte de la propuesta del sistema de bicicletas compartidas

Mapa de barreras viales



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Barreras viales

Pasos a desnivel

- Construidos
- Pendientes

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia con base en tipología vial del POT de la Municipalidad de Guatemala.

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa de barreas por uso de suelo



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Barreras por uso de suelo

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

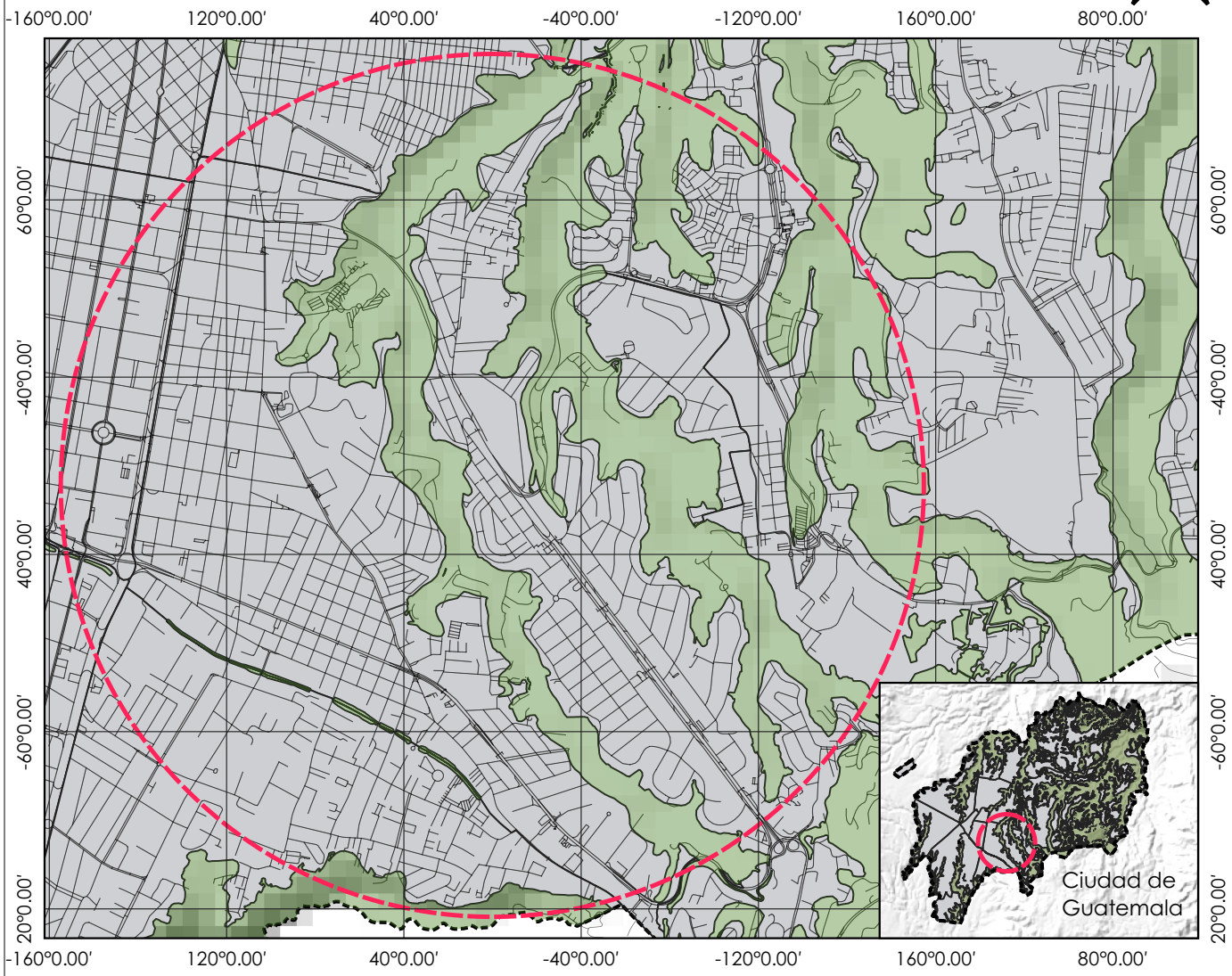
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia con base en información de Open Street Maps (OSM) e imágenes satelitales.

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa de barreras naturales



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Barrancos

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

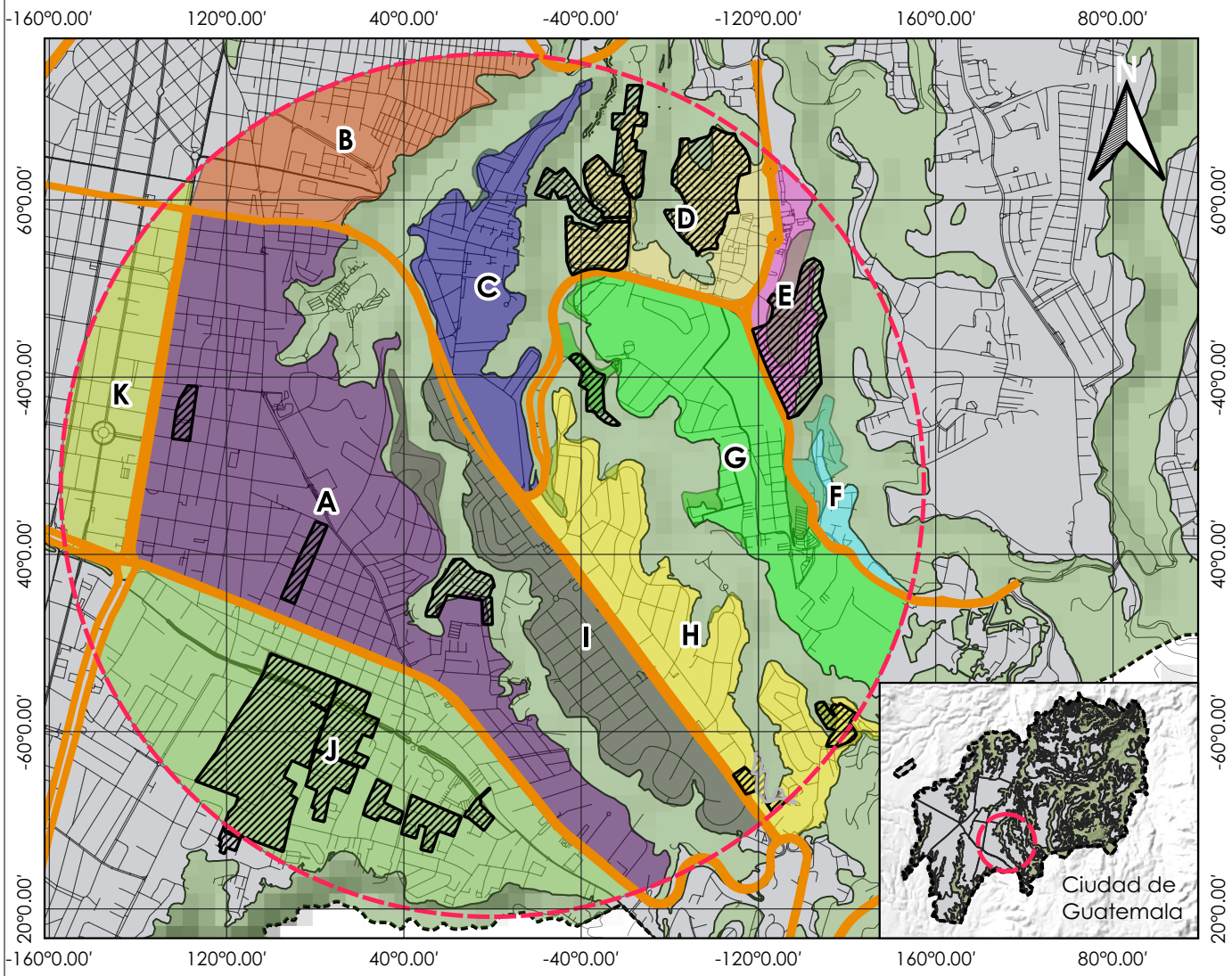
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia con base en shape de Barrancos generado por Fundaeco.

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa de distritos



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Barreras viales
- Barrancos
- Barreras por uso de suelo

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

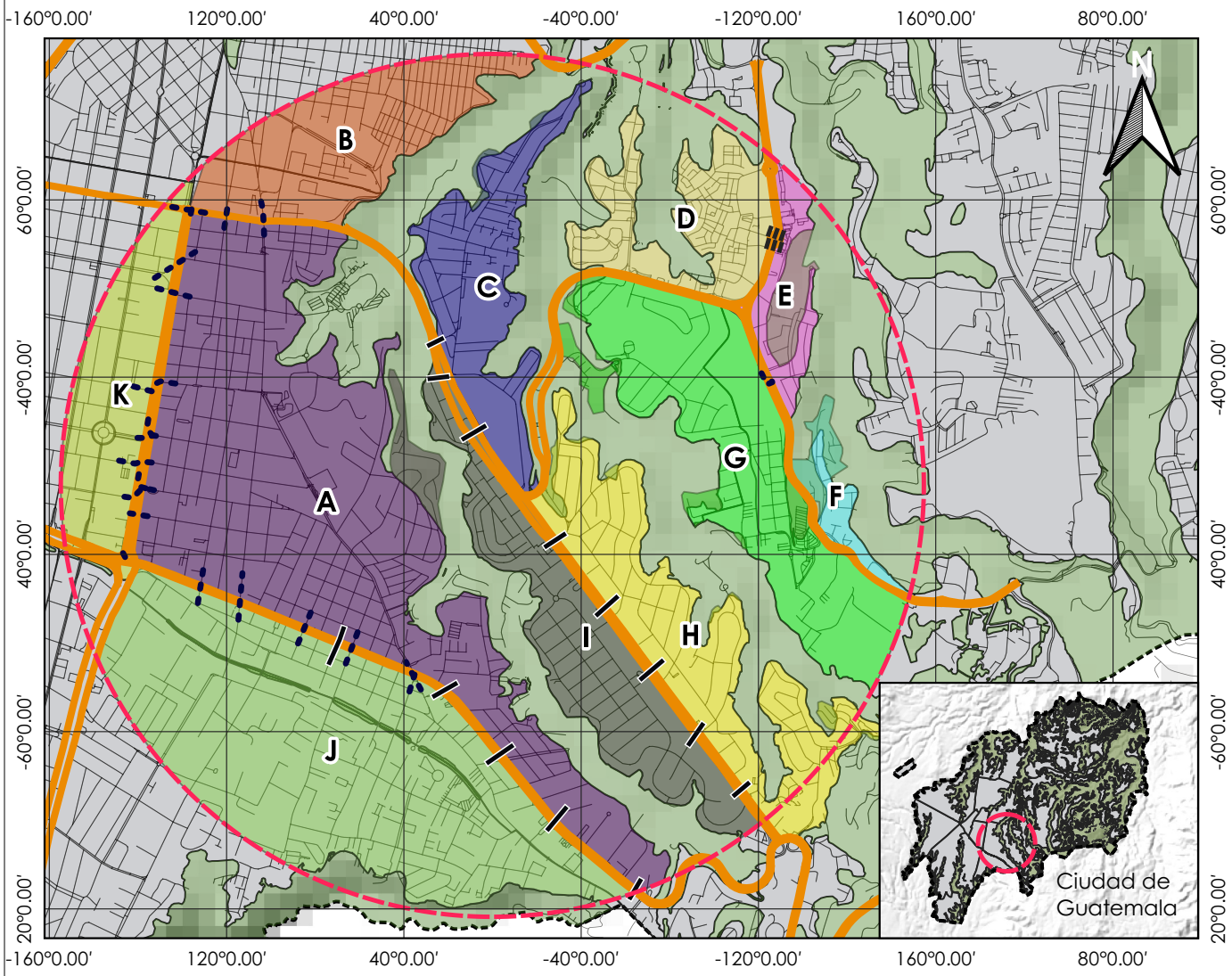
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia empleando capa base de barrancos de Fundaeco.

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa de permeabilidad distrital



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Barreras viales
- Barrancos

Permeabilidad distrital

- Semáforos
- Pasarelas
- Pasos de zebra fuera de semáforos

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

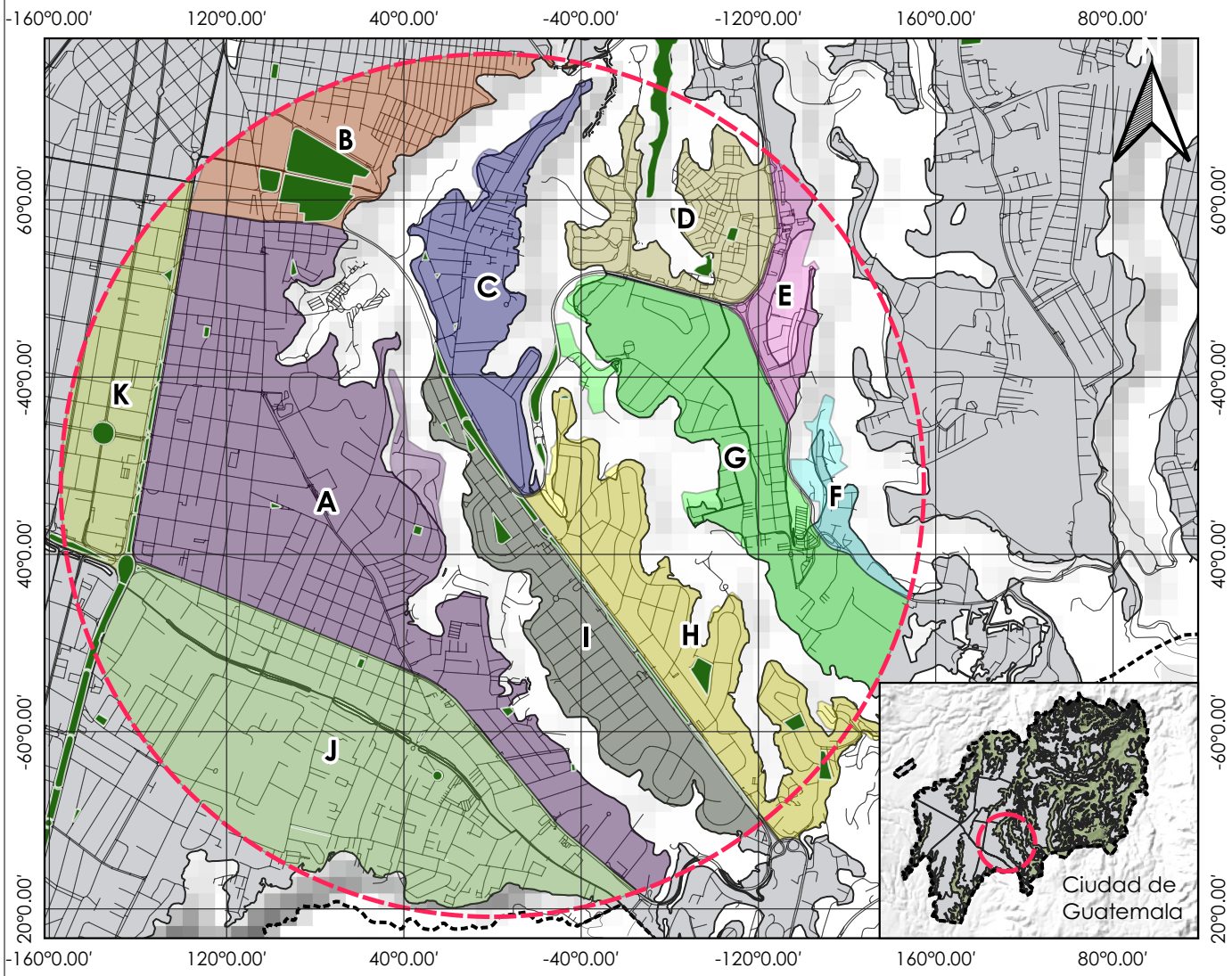
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de OSM. Capa base de barrancos de Fundaeco.

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa de espacios públicos



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Espacios públicos

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

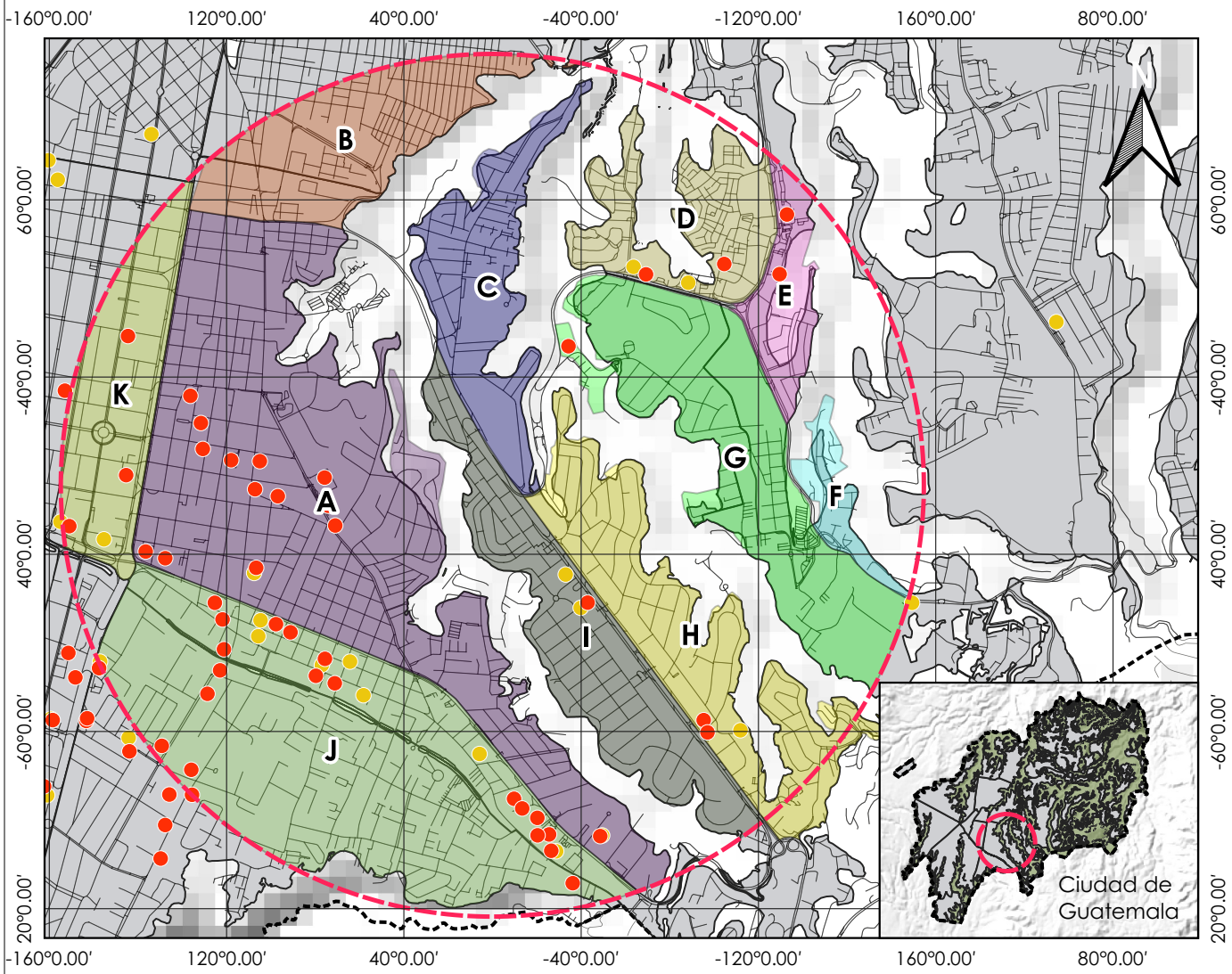
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Municipalidad de Guatemala.

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa de comercio



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Desarrollo comercial
- Mercados y supermercados

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

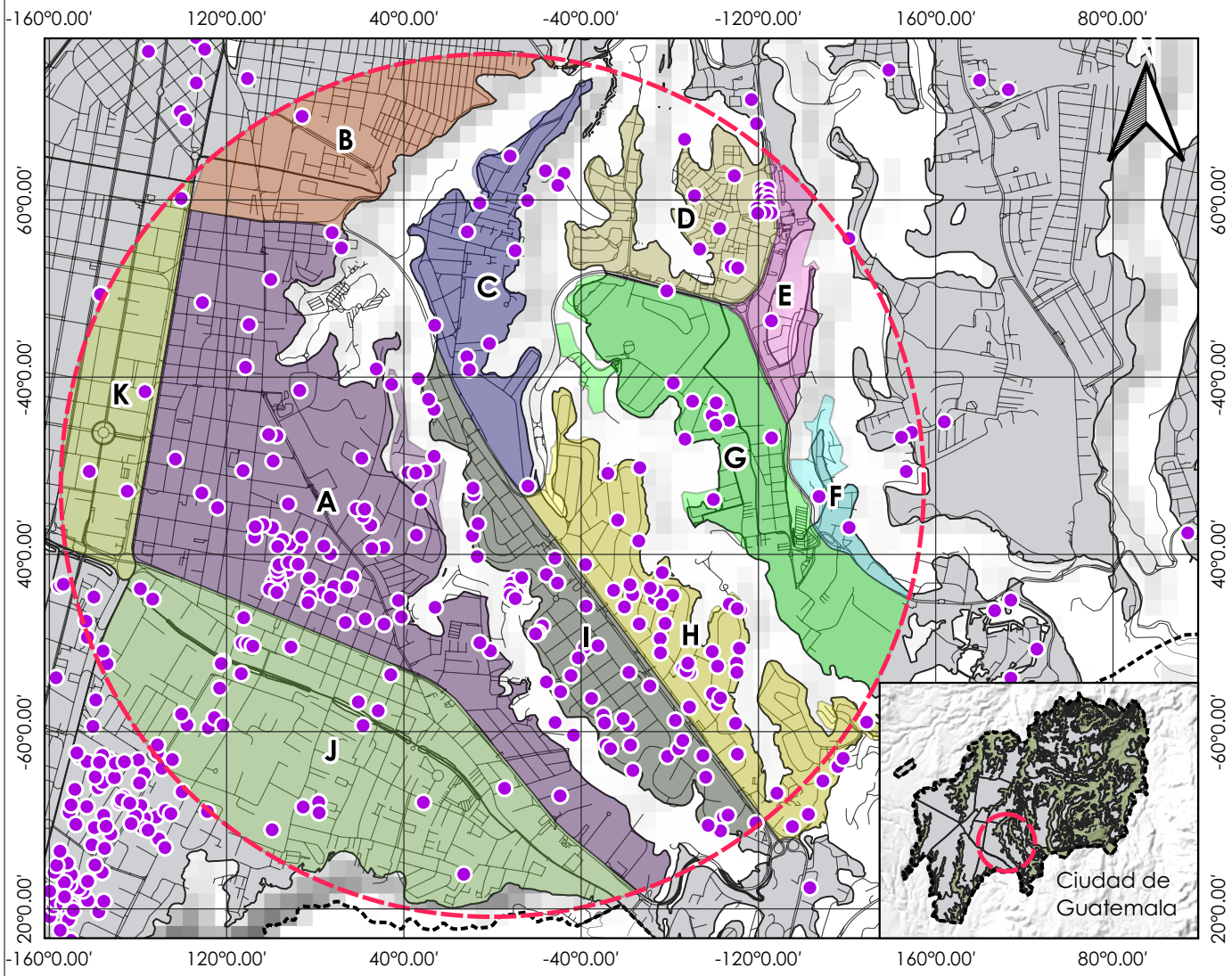
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa desarrollo apartamentos



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Apartamentos

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

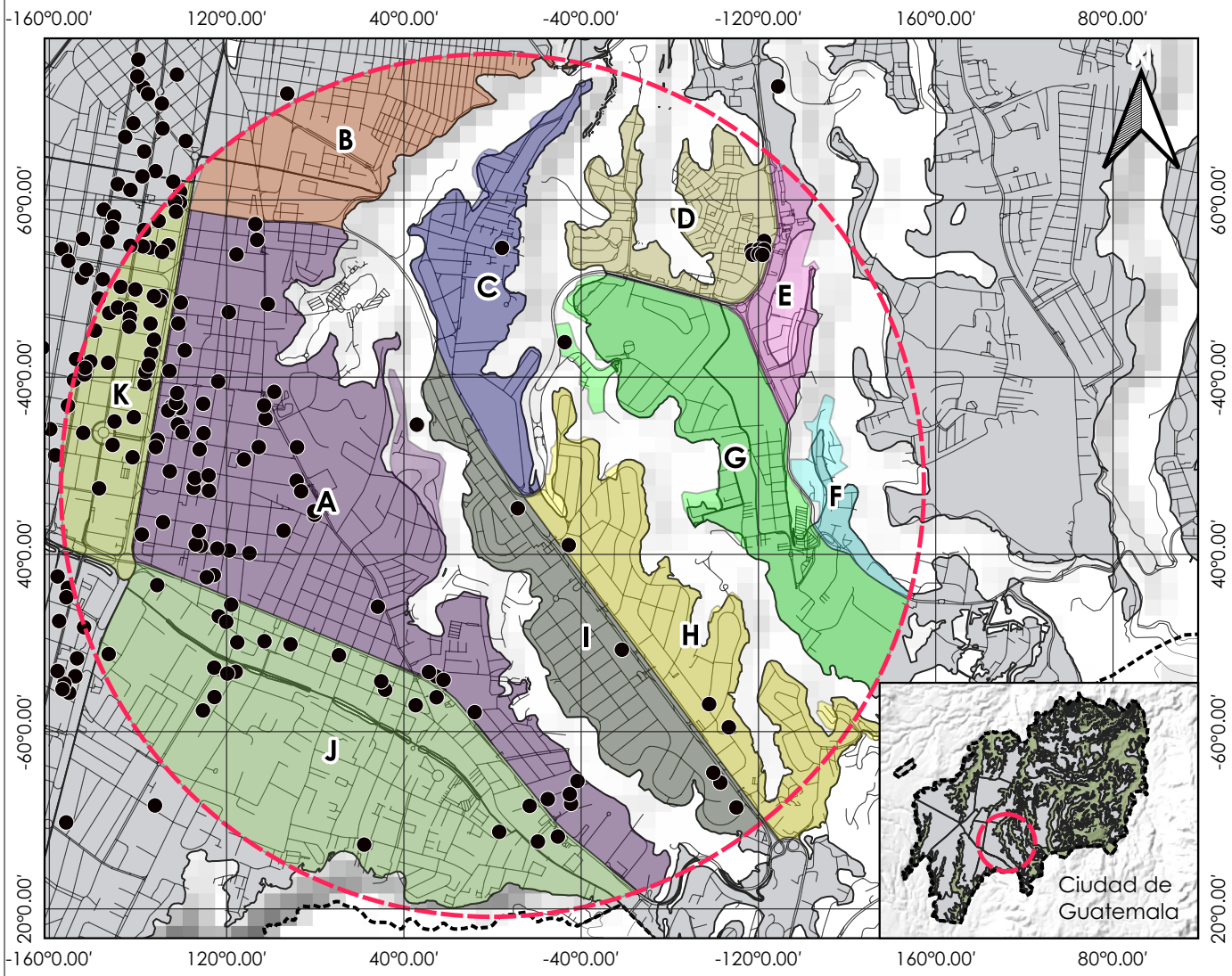
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa desarrollo edificios de oficinas



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Edificios de oficinas

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

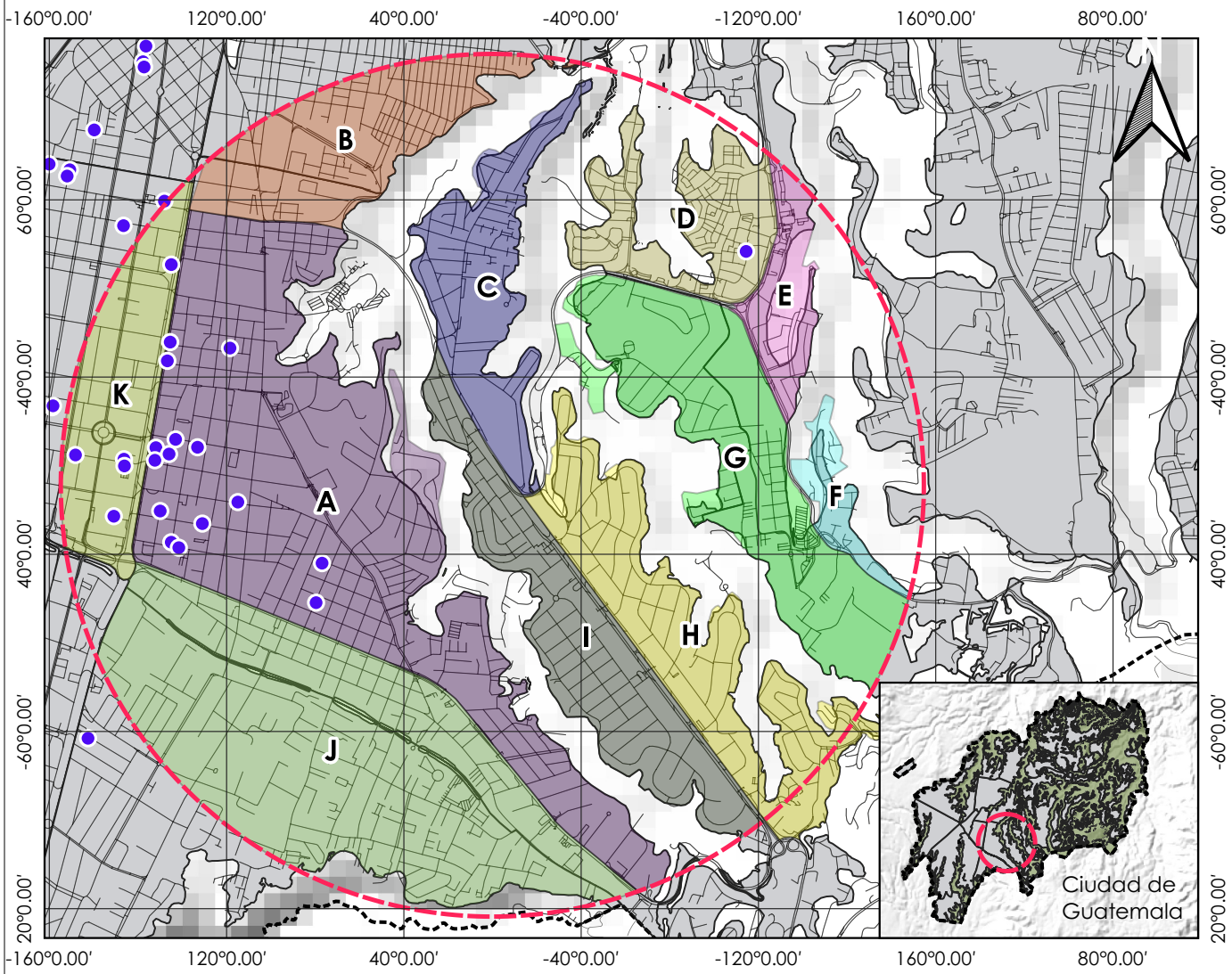
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa desarrollo hotelero



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Hoteles

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

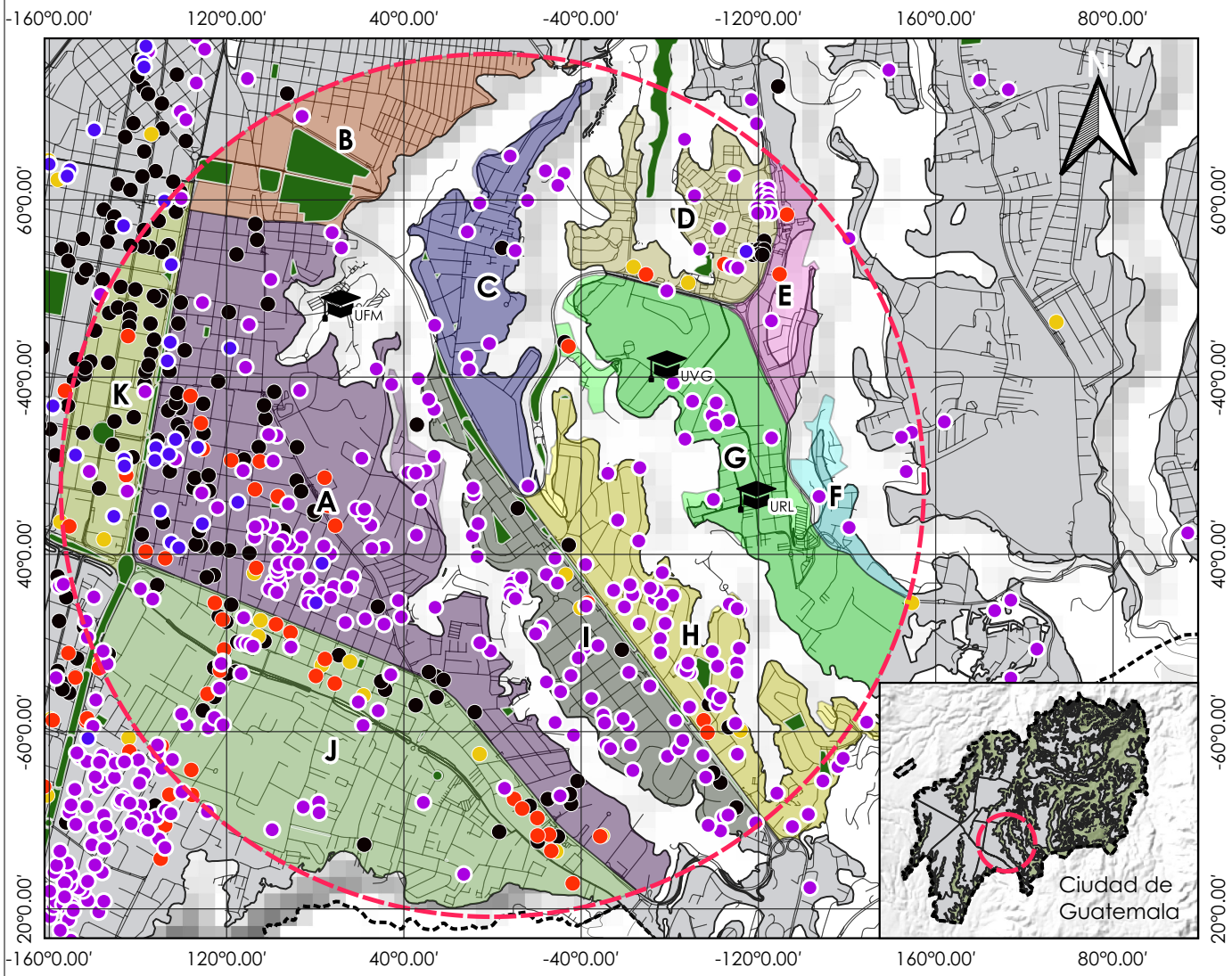
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa puntos de interés



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles

Puntos de interés

- Apartamentos
- Desarrollo comercial
- Mercados y supermercados
- Edificios de oficinas
- Hoteles
- Espacios públicos
- Universidades

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

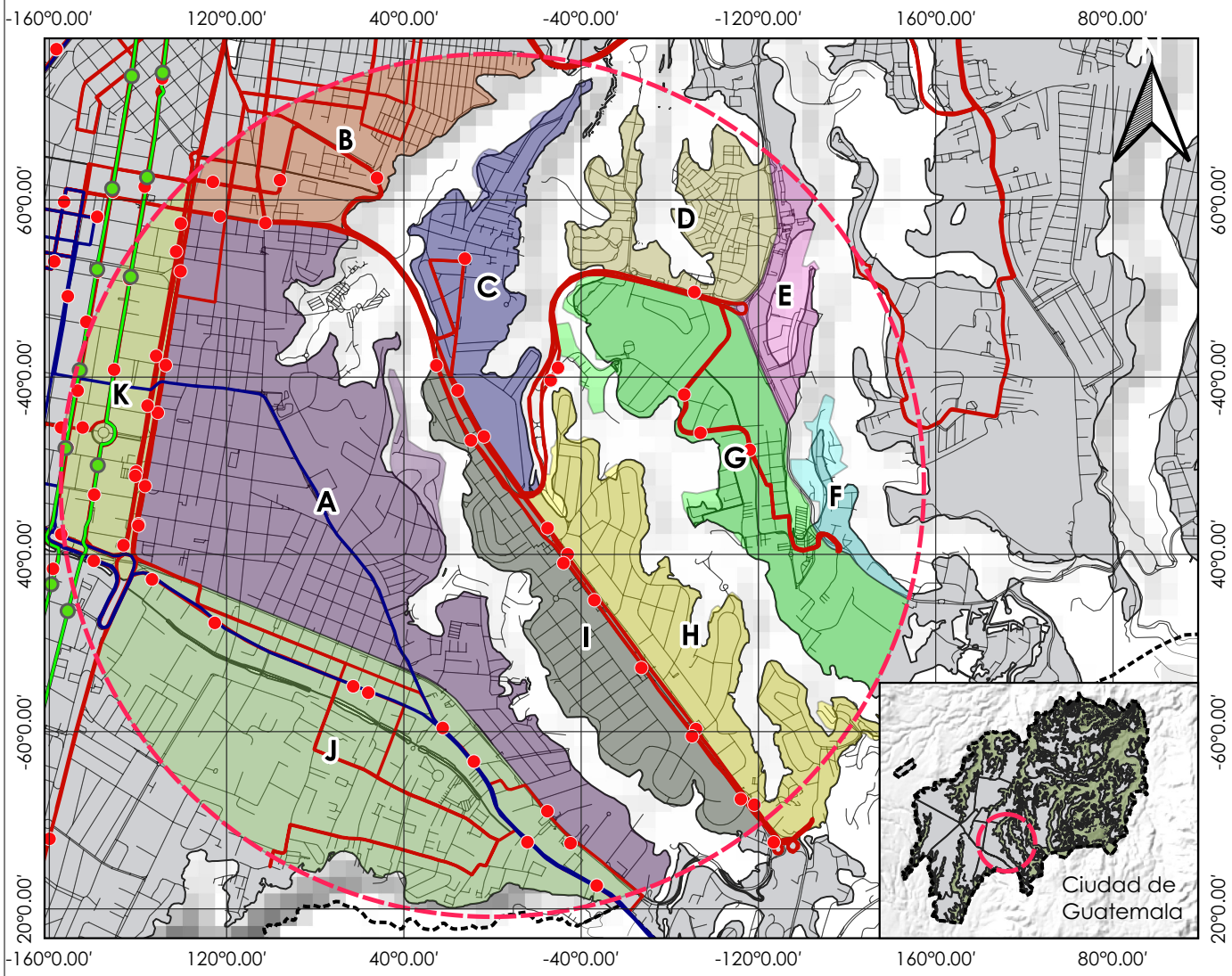
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa transporte colectivo



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles

Rutas transporte colectivo

- Rutas buses urbanos
- Rutas Transurbano
- Rutas Transmetro

Paradas transporte colectivo

- Paradas buses urbanos
- Paradas Transurbano
- Estaciones Transmetro

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

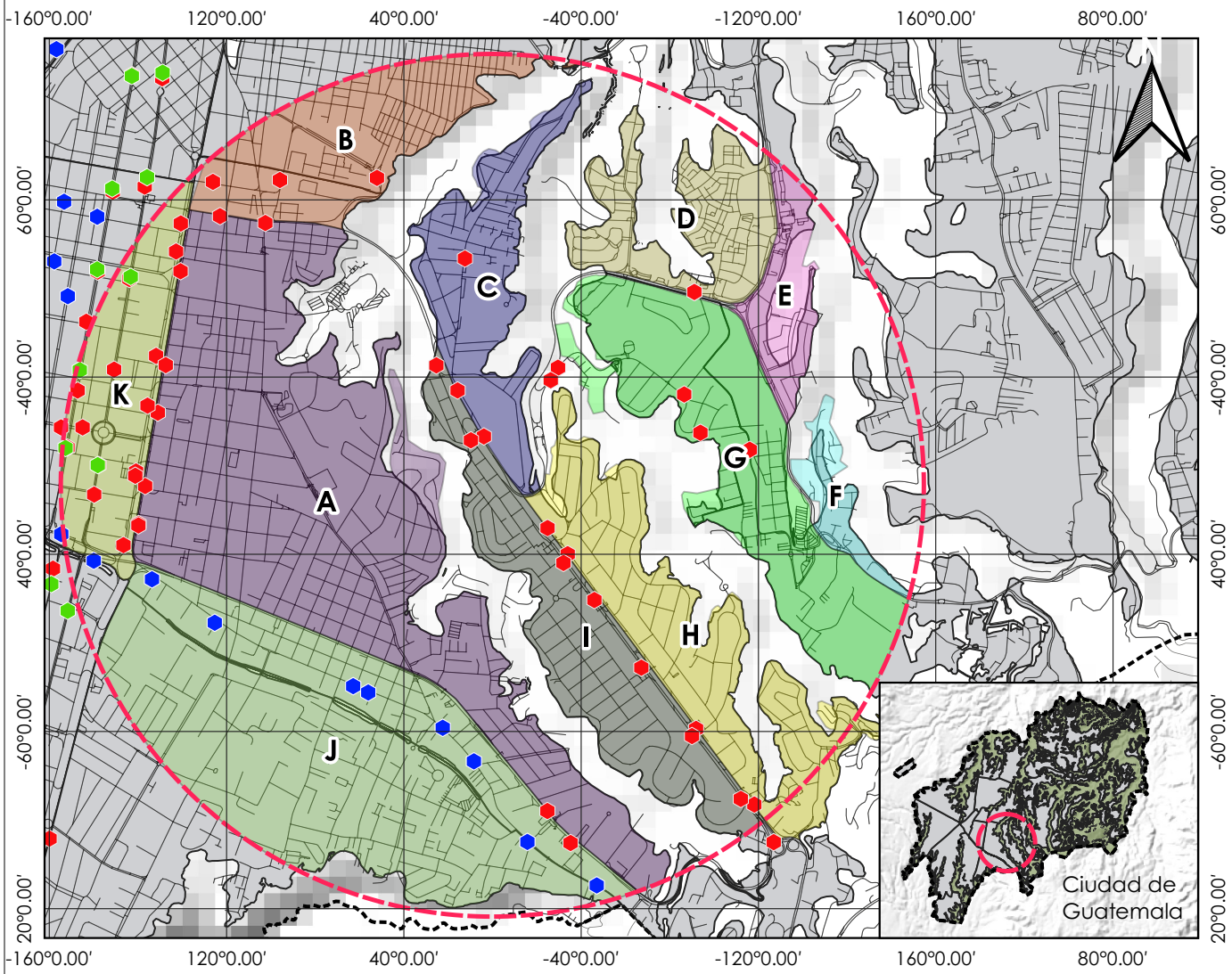
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Municipalidad de Guatemala

Proyección Sistema Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa potenciales centrales de transferencia



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles

Paradas transporte colectivo

- Estaciones Transmetro
- Paradas buses urbanos
- Paradas Transurbano

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

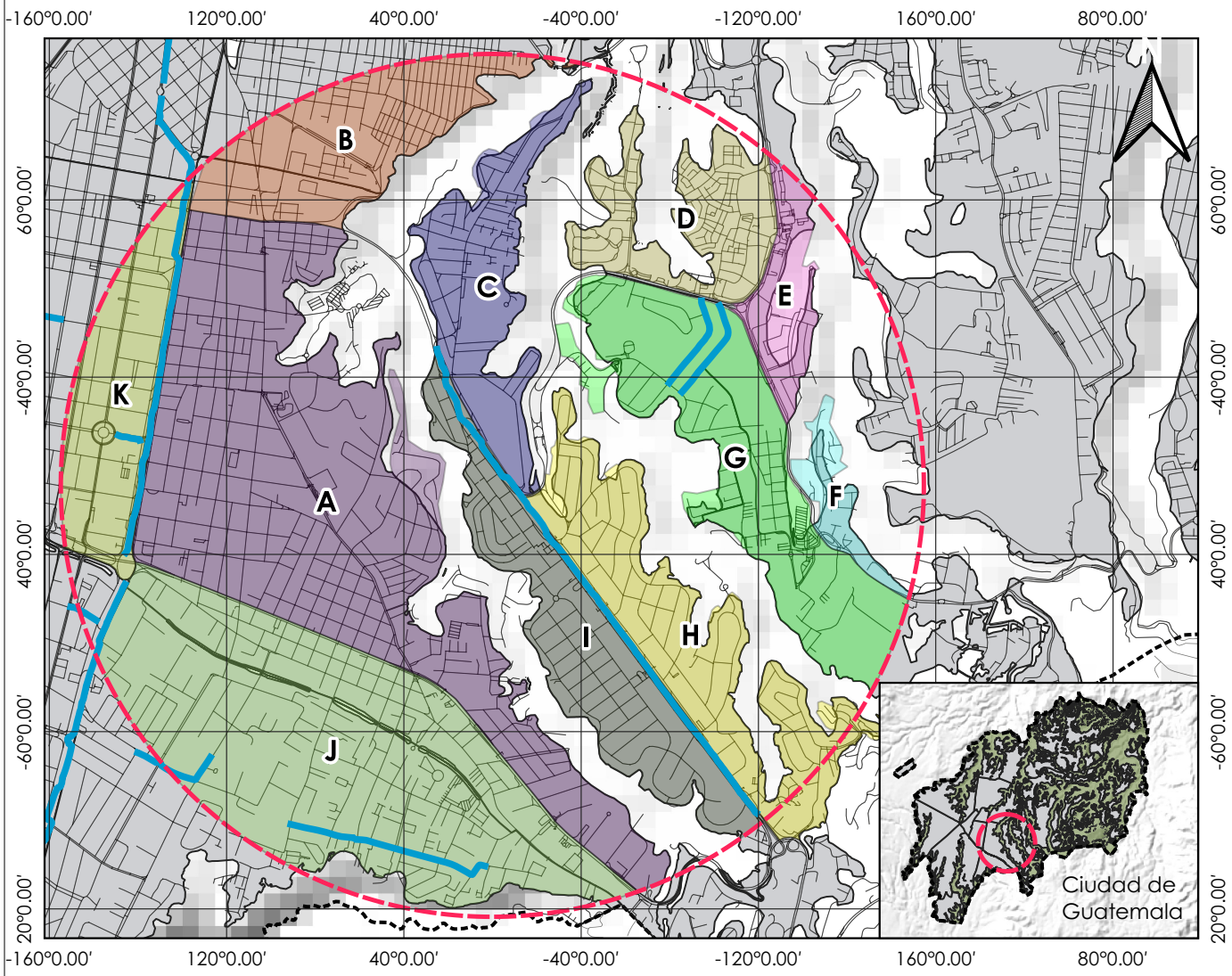
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Municipalidad de Guatemala.

Proyección Sistema Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa ciclovías existentes



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Ciclovías existentes

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

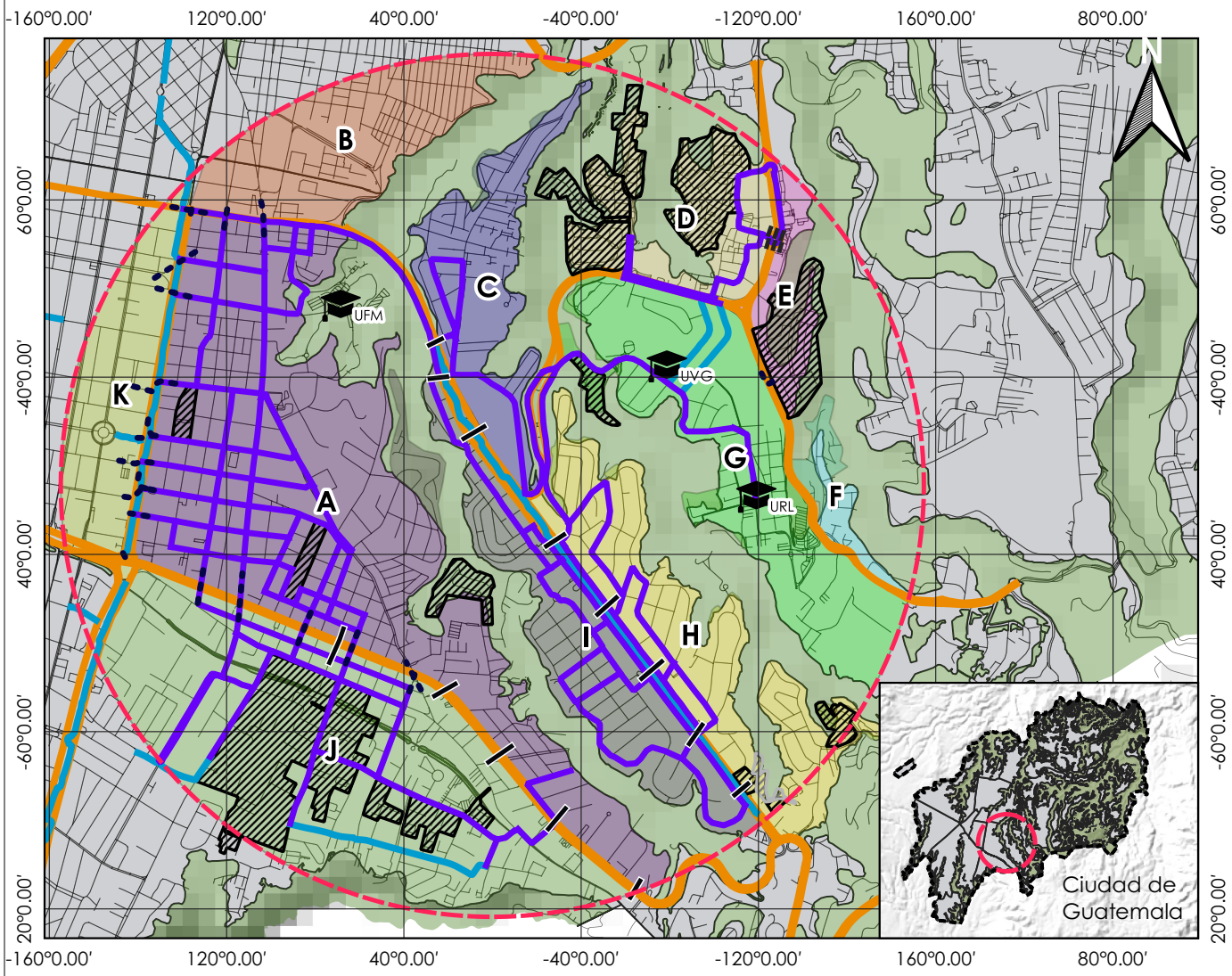
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa propuesta de ciclovías



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Universidades
- Ciclovías existentes
- Rutas propuestas
- Barreras viales
- Barreras naturales
- Barreras por uso de suelo

Permeabilidad distrital

- Pasos de zebra fuera de semáforos
- Semáforos
- Pasarelas

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

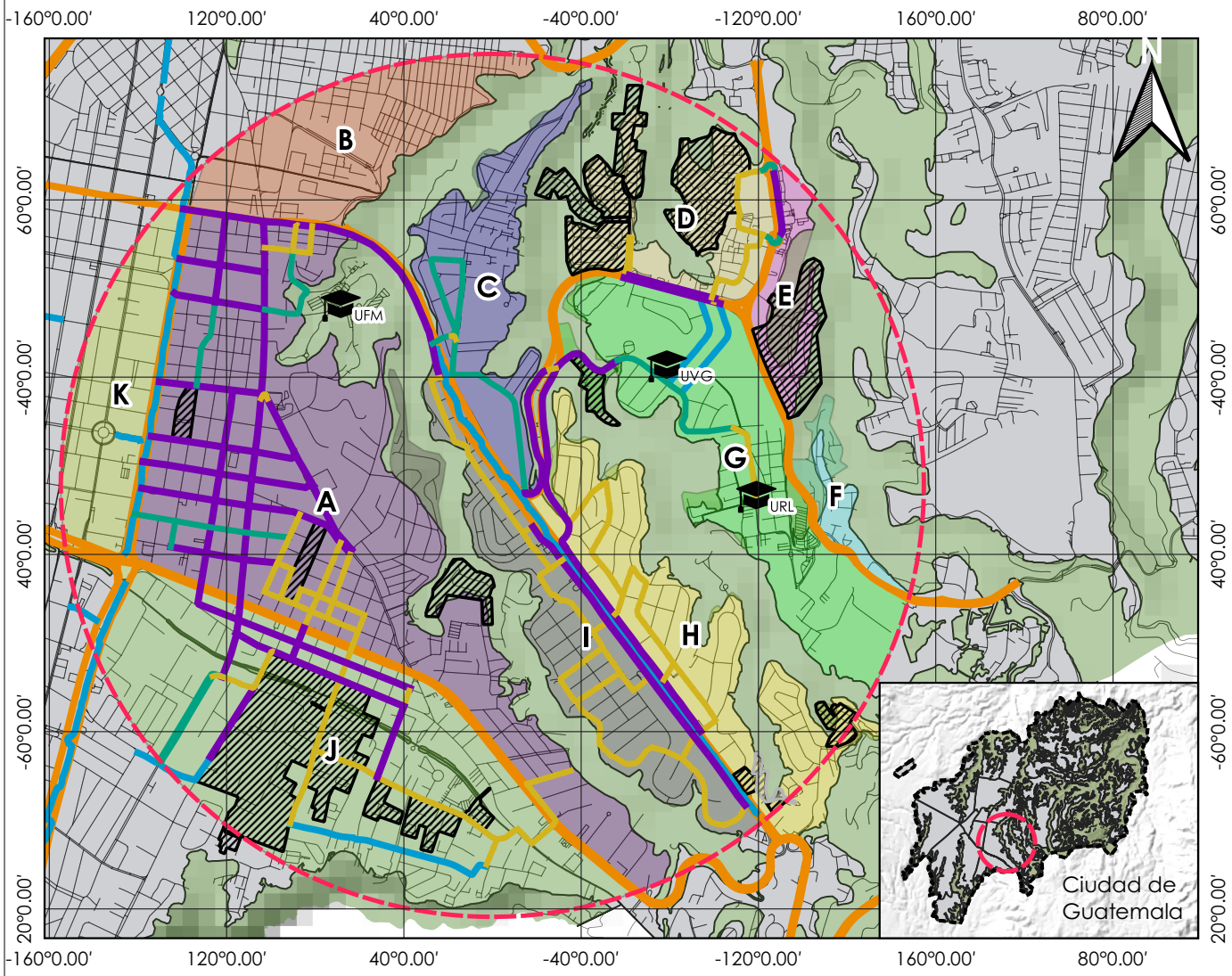
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa propuesta de tipologías de ciclovías



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Universidades
- Ciclovías existentes
- Rutas propuestas
- Barreras viales
- Barreras naturales
- Barreras por uso de suelo

Tipología de ciclovía

- Calle compartida
- Convencional
- Protegida

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

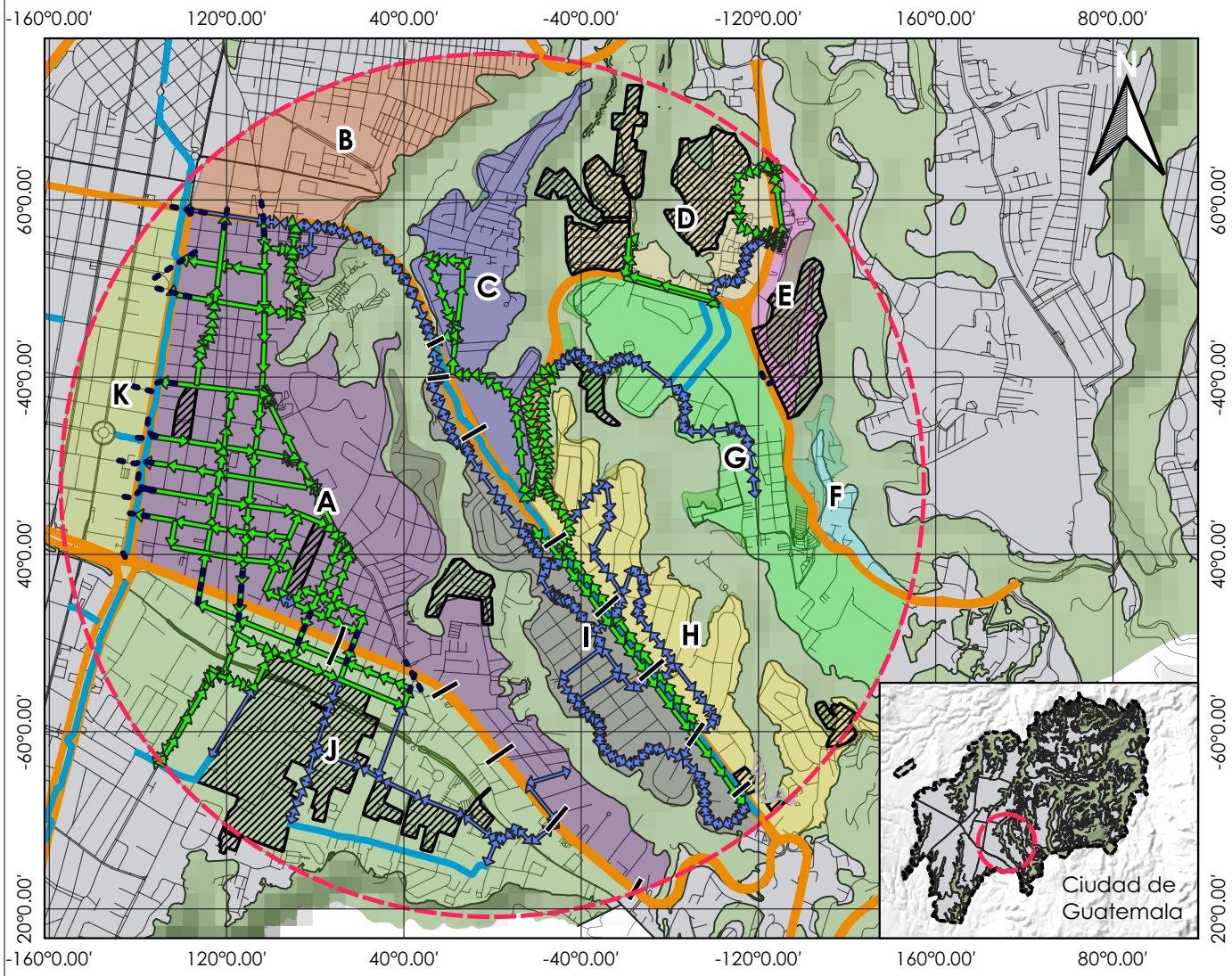
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa propuesta de ciclovías con sentido de vía



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Ciclovías existentes
- Barreras viales
- Barreras naturales
- Barreras por uso de suelo

Permeabilidad distrital

- Pasos de zebra fuera de semáforos
- Semáforos
- Pasarelas

Ciclovías propuestas

- 1 sentido
- 2 sentidos

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

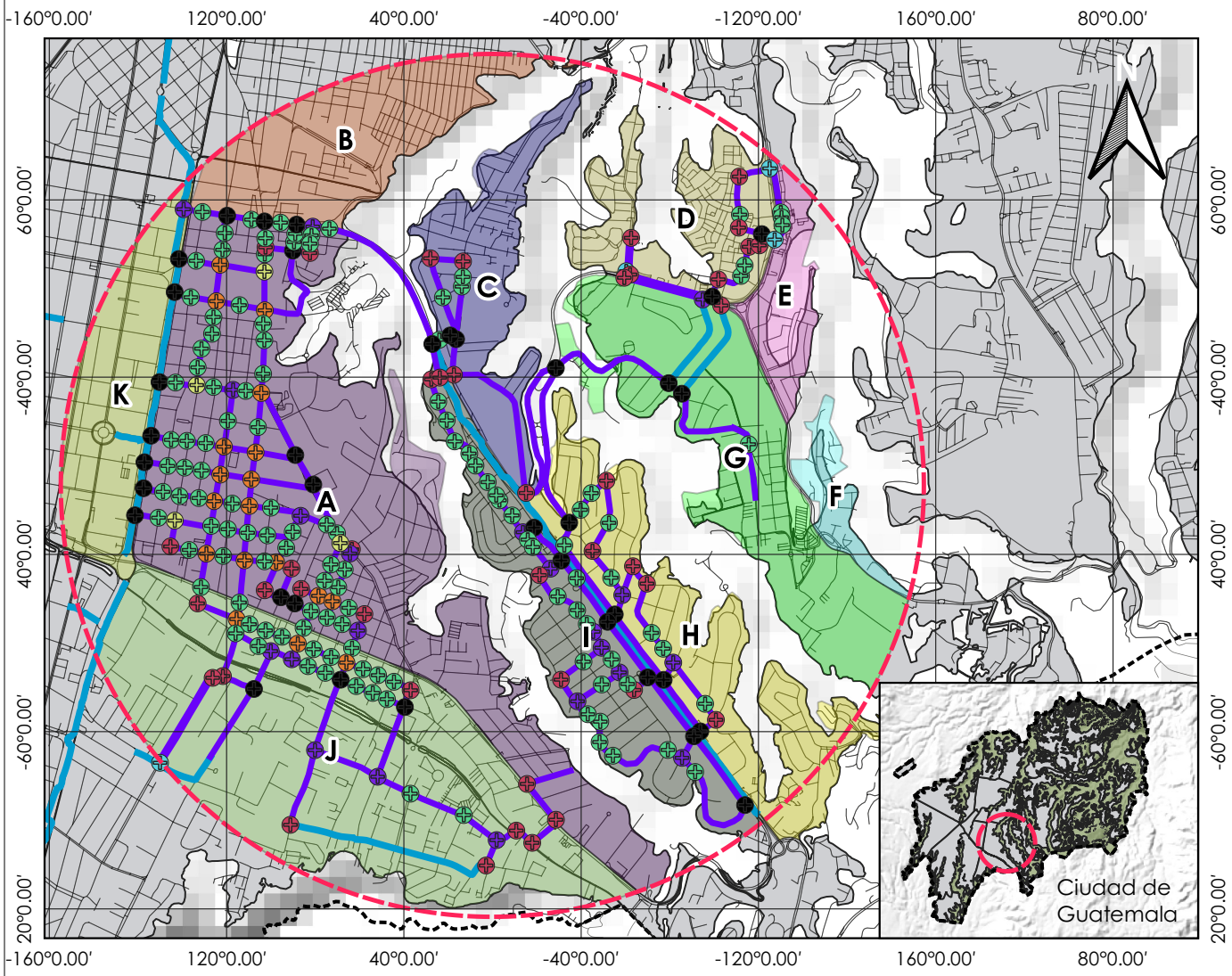
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa propuesta de nodos e intersecciones



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Ciclovías existentes
- Ciclovías propuestas

Nodos

- 1 dirección
- Incorporación
- Rotonda
- 2 direcciones
- Esquinas
- Especiales
- Integración de rutas
- Rotondas

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

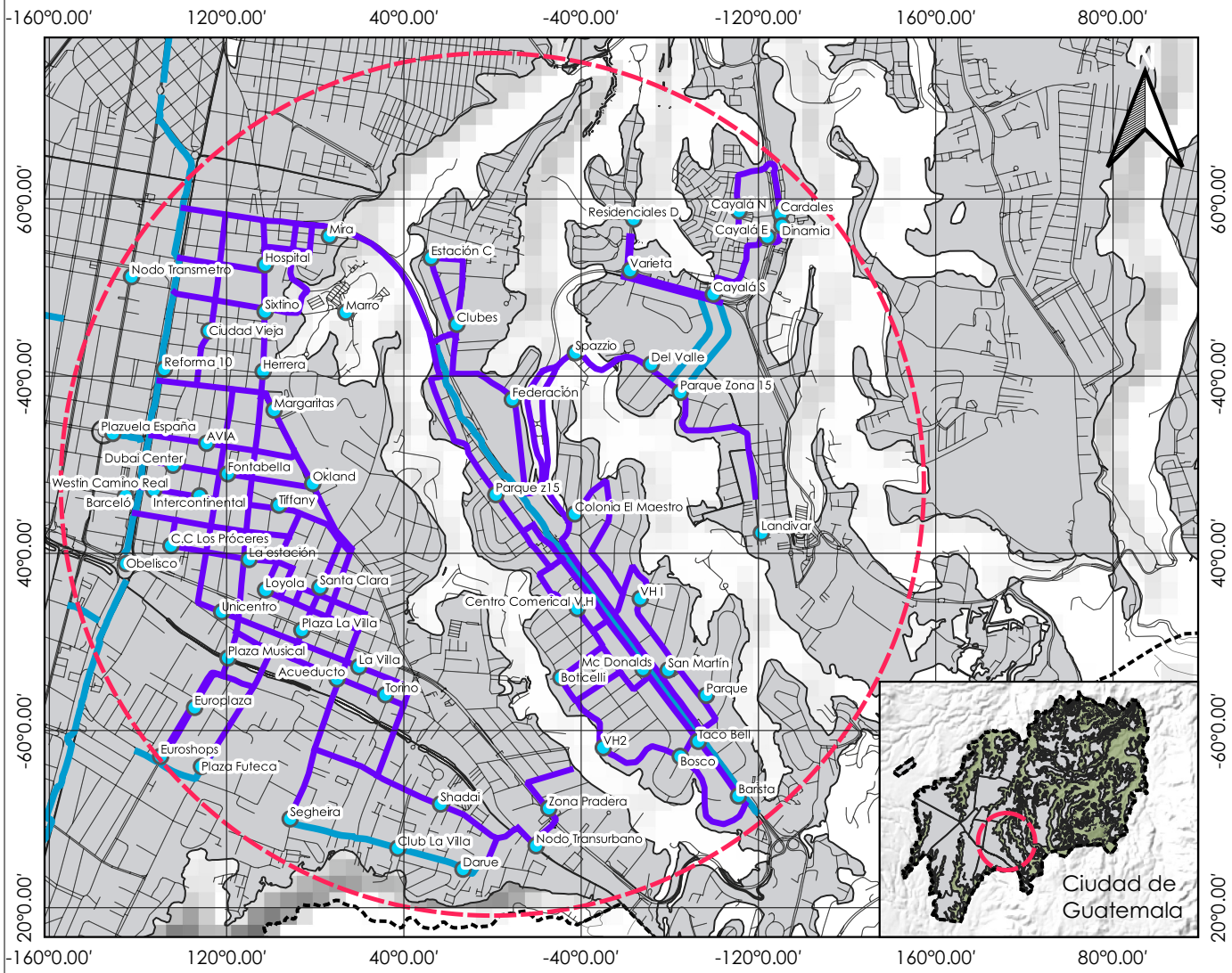
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa potenciales estaciones de bicicletas



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Estaciones propuestas
- Ciclovías existentes
- Ciclovías propuestas

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

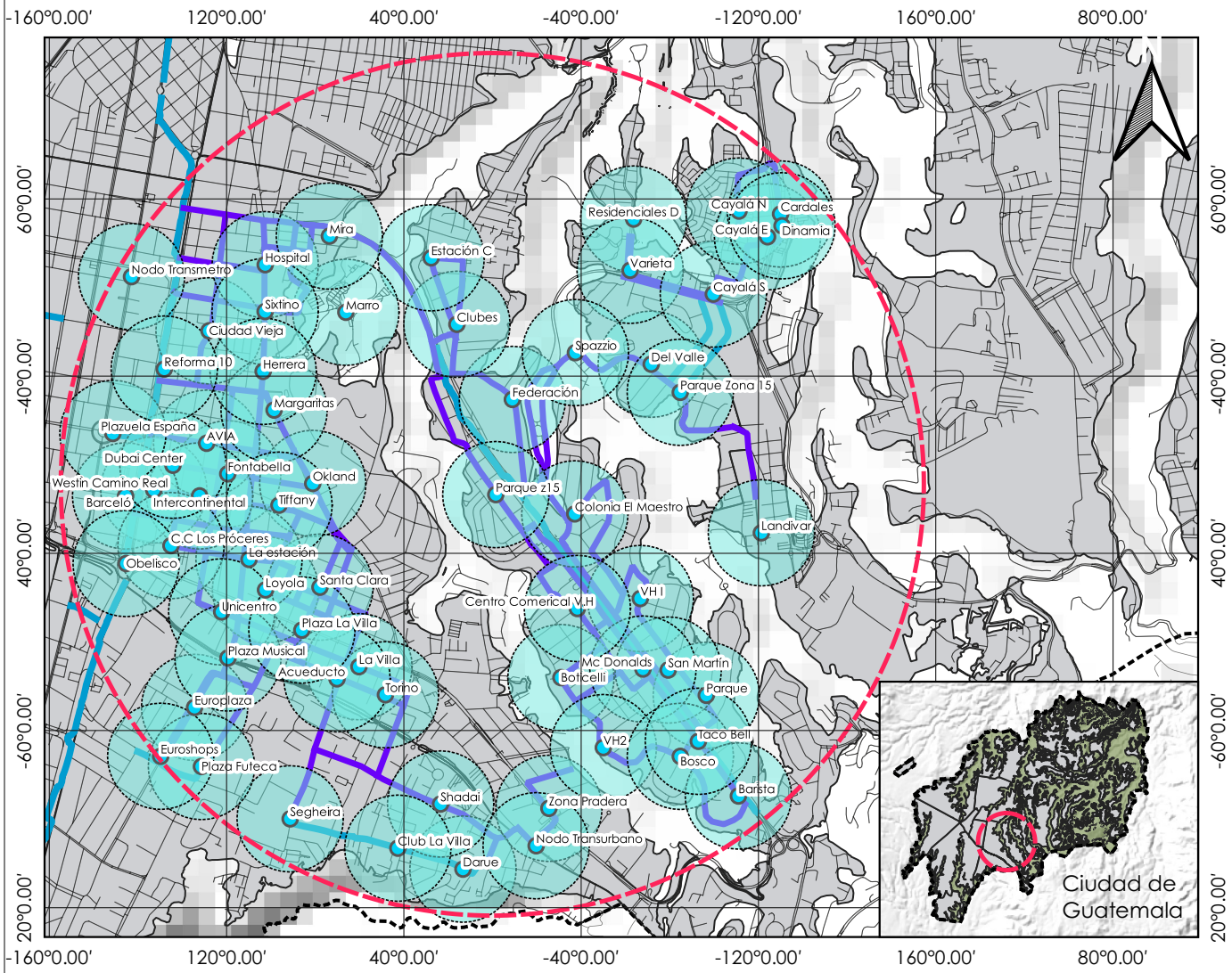
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Municipalidad de Guatemala.

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa de cobertura de potenciales estaciones de bicicletas



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Estaciones propuestas
- Ciclovías existentes
- Ciclovías propuestas
- Cobertura 300m

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

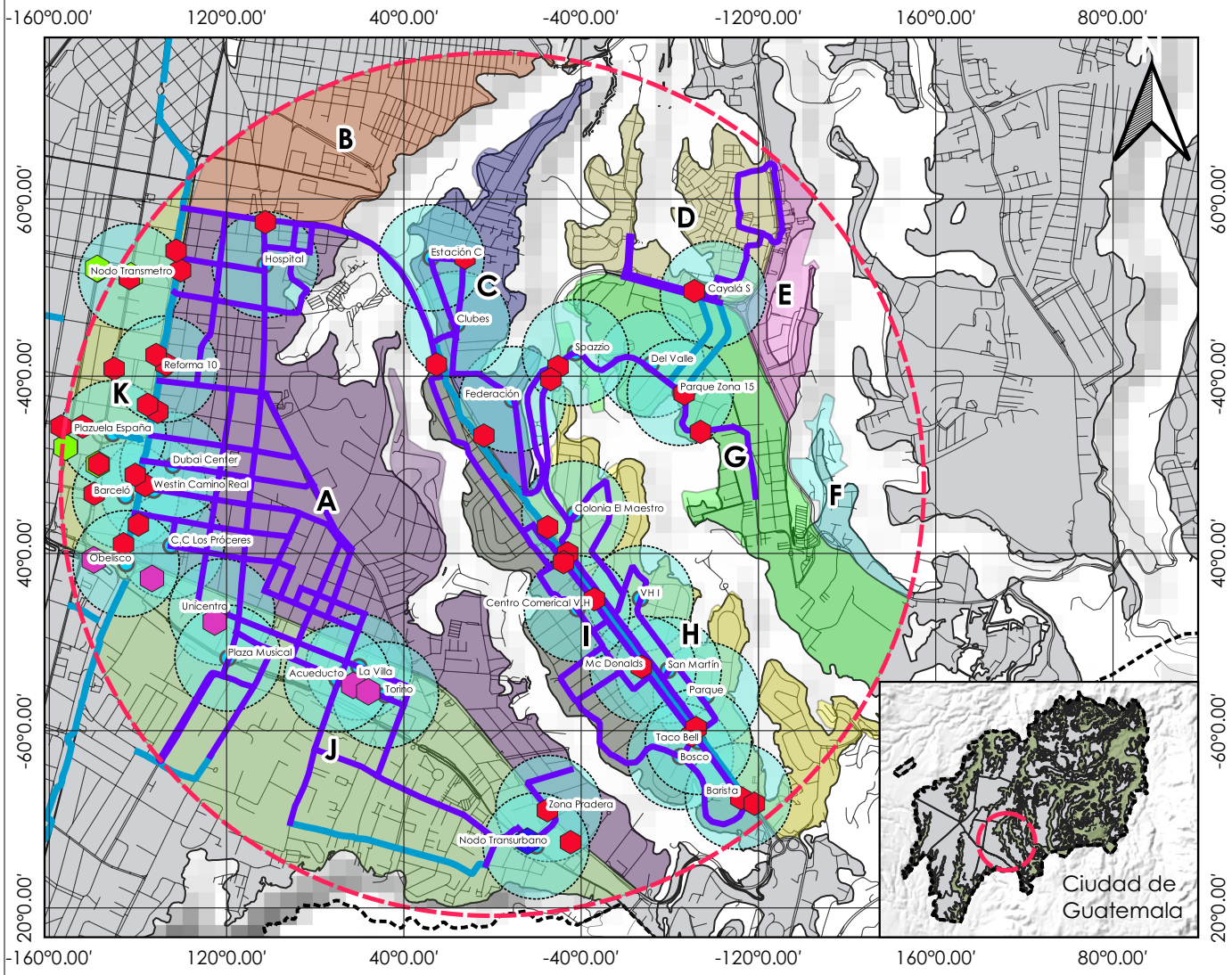
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Municipalidad de Guatemala.

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa de centrales de transferencia seleccionadas



ESCALA 1:3500

0 1 2 3 km

LEYENDA

- Área de estudio
- Área construida
- Calles
- Estaciones propuestas
- Ciclovías existentes
- Ciclovías propuestas
- Cobertura 300m
- Estaciones Transmetro
- Paradas buses urbanos
- Paradas Transurbano
- TU + BU

Distritos

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

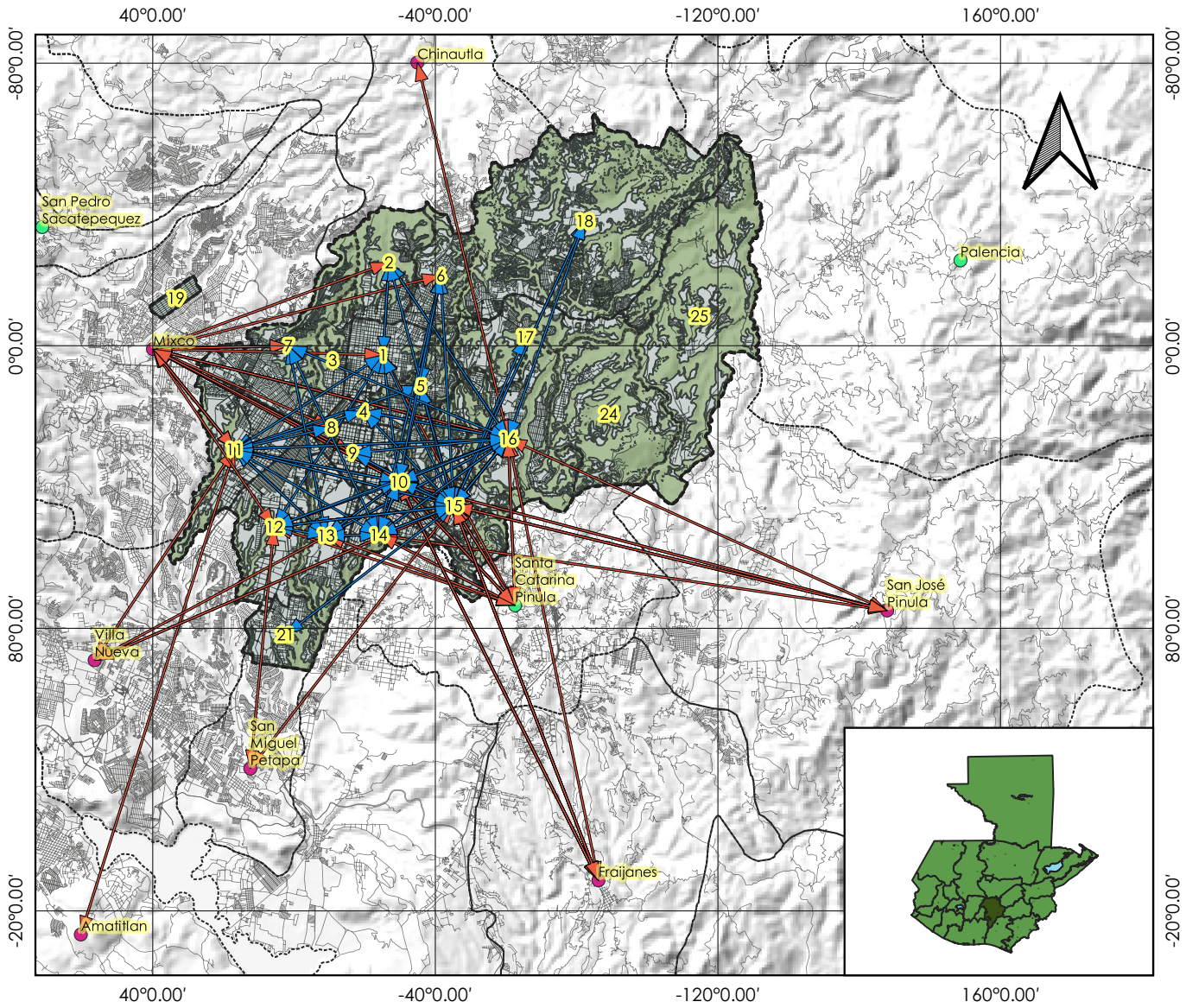
Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Municipalidad de Guatemala.

Proyección Sistema Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Mapa orígenes y destinos de encuesta



ESCALA 1:231000

0 6 12 18 km

LEYENDA

- Área construida
- Calles
- Orígenes y destinos CDG
- Orígenes y destinos periferia
- Centroide municipios
- Barrancos
- Zonas
- Municipio Guatemala

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Mapa elaborado por: Juan Andrés Rivera estudiante de la Universidad del Valle de Guatemala.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de encuesta.

Proyección Sistema
Coordenado UTM Zona 15N

DATUM WGS 1984

Presupuesto de obra

Resumen de presupuesto de obra elaborado en CYPE Arquímedes

Cuadro de precios descompuestos

Nº	Código	Ud	Descripción			Total
			2 Señalización			
			2.1 Intersecciones			
			2.1.1 Intersección ciclovías 1 vía			
2.1.1.1	02.1.1.1	**Ud**	**Intersección vehicular con ciclovía en una dirección**			
	TSV050b	1.000	Ud	Señal de dirección para cilcistas.	504.17	504.17
	TSV030	1.000	Ud	Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero g…	190.39	190.39
		3.000	%	Costes indirectos	694.56	20.84
				Precio total por Ud		**715.40**
				Son setecientos quince Quetzales con cuarenta centavos		
2.1.1.2	02.1.1.2	**Ud**	**Intersección vehicular con ciclovías en dos sentidos**			
	TSV050	2.000	Ud	Señal de decisión para ciclistas.	504.17	1,008.34
	TSV030b	2.000	Ud	Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero g…	190.39	380.78
	MSH100d	1.000	m²	Caja de espera	7.78	7.78
		3.000	%	Costes indirectos	1,396.90	41.91
				Precio total por Ud		**1,438.81**
				Son mil cuatrocientos treinta y ocho Quetzales con ochenta y un centavos		
2.1.1.3	02.1.1.3	**Ud**	**Esquina cruce a la izquierda**			
	TSV050d	1.000	Ud	Señal de cruce para ciclistas.	504.17	504.17
	TSV030bb	1.000	Ud	Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero g…	190.39	190.39
	MSH100c	1.000	m²	Caja de espera	7.78	7.78
		3.000	%	Costes indirectos	702.34	21.07
				Precio total por Ud		**723.41**
				Son setecientos veintitres Quetzales con cuarenta y un centavos		
2.1.1.4	02.1.1.4	**Ud**	**Esquina cruce a la derecha**			
	TSV050k	1.000	Ud	Señal de cruce para ciclistas.	504.17	504.17
	TSV030d	1.000	Ud	Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero g…	190.39	190.39
		3.000	%	Costes indirectos	694.56	20.84
				Precio total por Ud		**715.40**
				Son setecientos quince Quetzales con cuarenta centavos		
2.1.1.5	02.1.1.5	**Ud**	**Integración de rutas tipo A**			
	TSV050c	1.000	Ud	Señal de cruce para ciclistas	504.17	504.17
	TSV050f	1.000	Ud	Señal de dirección para cilcistas.	504.17	504.17
	MSH100d	1.000	m²	Caja de espera	7.78	7.78
	TSV030b	2.000	Ud	Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero g…	190.39	380.78
		3.000	%	Costes indirectos	1,396.90	41.91
				Precio total por Ud		**1,438.81**
				Son mil cuatrocientos treinta y ocho Quetzales con ochenta y un centavos		
2.1.1.6	02.1.1.6	**Ud**	**Integración de rutas tipo B**			
	TSV050c	1.000	Ud	Señal de cruce para ciclistas	504.17	504.17
	TSV050f	1.000	Ud	Señal de dirección para cilcistas.	504.17	504.17
	TSV030b	2.000	Ud	Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero g…	190.39	380.78
		3.000	%	Costes indirectos	1,389.12	41.67
				Precio total por Ud		**1,430.79**
				Son mil cuatrocientos treinta Quetzales con setenta y nueve centavos		

Cuadro de precios descompuestos

Nº	Código	Ud	Descripción			Total
2.1.1.7	02.1.1.7	**Ud**	**Divergencia de rutas tipo A**			
	TSV050e	1.000	Ud	Señal de decisión para ciclistas.	504.17	504.17
	TSV030b	1.000	Ud	Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero g…	190.39	190.39
	MSH100d	1.000	m²	Caja de espera	7.78	7.78
		3.000	%	Costes indirectos	702.34	21.07
				Precio total por Ud		**723.41**
				Son setecientos veintitres Quetzales con cuarenta y un centavos		
2.1.1.8	02.1.1.8	**Ud**	**Divergencia de rutas tipo B**			
	TSV050e	1.000	Ud	Señal de decisión para ciclistas.	504.17	504.17
	TSV030b	1.000	Ud	Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero g…	190.39	190.39
		3.000	%	Costes indirectos	694.56	20.84
				Precio total por Ud		**715.40**
				Son setecientos quince Quetzales con cuarenta centavos		
			2.1.2 Intersección ciclovías 2ble vía			
2.1.2.1	02.1.2.1	**Ud**	**1 dirección**			
	TSV050f	2.000	Ud	Señal de dirección para cilcistas.	504.17	1,008.34
	TSV030c	2.000	Ud	Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero g…	190.39	380.78
		3.000	%	Costes indirectos	1,389.12	41.67
				Precio total por Ud		**1,430.79**
				Son mil cuatrocientos treinta Quetzales con setenta y nueve centavos		
2.1.2.3	02.1.2.3	**Ud**	**Esquina**			
	TSV030b	2.000	Ud	Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero g…	190.39	380.78
	TSV050c	2.000	Ud	Señal de cruce para ciclistas	504.17	1,008.34
		3.000	%	Costes indirectos	1,389.12	41.67
				Precio total por Ud		**1,430.79**
				Son mil cuatrocientos treinta Quetzales con setenta y nueve centavos		
2.1.2.4	02.1.2.4	**Ud**	**Incorporación/divergencia de ciclovías**			
	TSV050e	3.000	Ud	Señal de decisión para ciclistas.	504.17	1,512.51
	TSV030b	3.000	Ud	Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero g…	190.39	571.17
	MSH100d	2.000	m²	Caja de espera	7.78	15.56
		3.000	%	Costes indirectos	2,099.24	62.98
				Precio total por Ud		**2,162.22**
				Son dos mil ciento sesenta y dos Quetzales con veintidos centavos		
			2.1.3 Intersecciones especiales			
2.1.3.1	02.1.3.1	**Ud**	**Intersecciones casos especiales**			
	TSV050c	18.000	Ud	Señal de cruce para ciclistas	504.17	9,075.06
	TSV050e	27.000	Ud	Señal de decisión para ciclistas.	504.17	13,612.59
	TSV050f	3.000	Ud	Señal de dirección para cilcistas.	504.17	1,512.51
	TSV050i	10.000	Ud	Señal de alto para ciclistas.	524.28	5,242.80
	MSH100d	15.000	m²	Caja de espera	7.78	116.70
	TSV030b	2.000	Ud	Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero g…	190.39	380.78
		3.000	%	Costes indirectos	29,940.44	898.21
				Precio total por Ud		**30,838.65**
				Son treinta mil ochocientos treinta y ocho Quetzales con sesenta y cinco centavos		
			2.2 Tramos			
			2.2.1 Calles compartidas			

Cuadro de precios descompuestos

Nº	Código	Ud	Descripción			Total
2.2.1.1	MSH130	**m²**	**Aplicación manual de pintura plástica para exterior, a base de resinas acrílicas, color blanco, acabado satinado, textura lisa, para marcado de flechas e inscripciones en vías ciclistas. Incluso microesferas de vidrio, para conseguir efecto retrorreflectante en seco.**			
	mt27mvp010e	0.285	l	Pintura plástica para exterior, a base de resi…	111.40	31.75
	mt27mvh100a	0.190	kg	Microesferas de vidrio.	13.25	2.52
	mo041	0.121	h	Albañil de obra civil.	42.45	5.14
	mo087	0.241	h	Ayudante de albañil de obra civil.	31.65	7.63
	%	2.000	%	Costes directos complementarios	12.77	0.26
		3.000	%	Costes indirectos	47.30	1.42
				Precio total por m²		**48.72**
				Son cuarenta y ocho Quetzales con setenta y dos centavos		
				2.2.2 Ciclovías convencionales		
2.2.2.1	MSH100	**m²**	**Aplicación manual de dos manos de pintura plástica, antideslizante, color verde oscuro, acabado satinado, textura lisa, la primera mano diluida con un 20% de agua y la siguiente diluida con un 5% de agua o sin diluir, (rendimiento: 0,1 l/m² cada mano); en ciclovías convencionales.**			
	mt27pii060r	0.200	l	Pintura plástica, a base de resinas acrílicas, …	2.25	0.45
	mo038	0.097	h	Pintor.	42.45	4.12
	mo076	0.097	h	Ayudante de pintor.	31.65	3.07
	%	2.000	%	Costes directos complementarios	7.19	0.14
		3.000	%	Costes indirectos	7.78	0.23
				Precio total por m²		**8.01**
				Son ocho Quetzales con un centavo		
2.2.2.2	MSH130b	**m²**	**Aplicación manual de pintura plástica para exterior, a base de resinas acrílicas, color blanco, acabado satinado, textura lisa, para marcado de flechas e inscripciones en vías ciclistas. Incluso microesferas de vidrio, para conseguir efecto retrorreflectante en seco.**			
	mt27mvp010e	0.285	l	Pintura plástica para exterior, a base de resi…	111.40	31.75
	mt27mvh100a	0.190	kg	Microesferas de vidrio.	13.25	2.52
	mo041	0.121	h	Albañil de obra civil.	42.45	5.14
	mo087	0.241	h	Ayudante de albañil de obra civil.	31.65	7.63
	%	2.000	%	Costes directos complementarios	12.77	0.26
		3.000	%	Costes indirectos	47.30	1.42
				Precio total por m²		**48.72**
				Son cuarenta y ocho Quetzales con setenta y dos centavos		
2.2.2.3	TSV030bbbb	**Ud**	**Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero galvanizado, de sección rectangular, de 80x40x2 mm, para soporte de señalización vertical de tránsito, hincado con medios mecánicos al terreno.**			
	mt53bps030b	2.800	m	Poste de tubo de acero galvanizado, de sec…	61.13	171.16
	mq03tab050	0.045	h	Equipo de hinca de postes, sobre neumáticos.	282.76	12.72
	mo041	0.060	h	Albañil de obra civil.	42.45	2.55
	mo087	0.121	h	Ayudante de albañil de obra civil.	31.65	3.83
	%	2.000	%	Costes directos complementarios	6.38	0.13
		3.000	%	Costes indirectos	190.39	5.71
				Precio total por Ud		**196.10**
				Son ciento noventa y seis Quetzales con diez centavos		

Cuadro de precios descompuestos

Nº	Código	Ud	Descripción			Total
2.2.2.4	TSV050cb	**Ud**	**Señal vertical de tránsito de acero galvanizado, circular, de 60 cm de diámetro, con retrorreflectancia nivel 1 (E.G.).**			
	mt53spc010a	1.000	Ud	Señal vertical de tránsito de acero galvaniza…	432.36	432.36
	mq07cce010a	0.189	h	Camión con cesta elevadora de brazo articul…	125.54	23.73
	mo041	0.181	h	Albañil de obra civil.	42.45	7.68
	mo087	0.181	h	Ayudante de albañil de obra civil.	31.65	5.73
	%	2.000	%	Costes directos complementarios	13.41	0.27
		3.000	%	Costes indirectos	469.77	14.09
				Precio total por Ud		**483.86**
				Son cuatrocientos ochenta y tres Quetzales con ochenta y seis centavos		
			2.2.3 Ciclovías protegidas			
2.2.3.1	MSH130bb	**m²**	**Aplicación manual de pintura plástica para exterior, a base de resinas acrílicas, color blanco, acabado satinado, textura lisa, para marcado de flechas e inscripciones en vías ciclistas. Incluso microesferas de vidrio, para conseguir efecto retrorreflectante en seco.**			
	mt27mvp010e	0.285	l	Pintura plástica para exterior, a base de resi…	111.40	31.75
	mt27mvh100a	0.190	kg	Microesferas de vidrio.	13.25	2.52
	mo041	0.121	h	Albañil de obra civil.	42.45	5.14
	mo087	0.241	h	Ayudante de albañil de obra civil.	31.65	7.63
	%	2.000	%	Costes directos complementarios	12.77	0.26
		3.000	%	Costes indirectos	47.30	1.42
				Precio total por m²		**48.72**
				Son cuarenta y ocho Quetzales con setenta y dos centavos		
2.2.3.2	TSV030bbbc	**Ud**	**Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero galvanizado, de sección rectangular, de 80x40x2 mm, para soporte de señalización vertical de tránsito, hincado con medios mecánicos al terreno.**			
	mt53bps030b	2.800	m	Poste de tubo de acero galvanizado, de sec…	61.13	171.16
	mq03tab050	0.045	h	Equipo de hinca de postes, sobre neumáticos.	282.76	12.72
	mo041	0.060	h	Albañil de obra civil.	42.45	2.55
	mo087	0.121	h	Ayudante de albañil de obra civil.	31.65	3.83
	%	2.000	%	Costes directos complementarios	6.38	0.13
		3.000	%	Costes indirectos	190.39	5.71
				Precio total por Ud		**196.10**
				Son ciento noventa y seis Quetzales con diez centavos		
2.2.3.3	TSV050cbb	**Ud**	**Señal vertical de tránsito de acero galvanizado, circular, de 60 cm de diámetro, con retrorreflectancia nivel 1 (E.G.).**			
	mt53spc010a	1.000	Ud	Señal vertical de tránsito de acero galvaniza…	432.36	432.36
	mq07cce010a	0.189	h	Camión con cesta elevadora de brazo articul…	125.54	23.73
	mo041	0.181	h	Albañil de obra civil.	42.45	7.68
	mo087	0.181	h	Ayudante de albañil de obra civil.	31.65	5.73
	%	2.000	%	Costes directos complementarios	13.41	0.27
		3.000	%	Costes indirectos	469.77	14.09
				Precio total por Ud		**483.86**
				Son cuatrocientos ochenta y tres Quetzales con ochenta y seis centavos		

Cuadro de precios descompuestos

Nº	Código		Ud	Descripción			Total
2.2.3.4	MSH100b		**m²**	**Aplicación manual de dos manos de pintura plástica, antideslizante, color verde oscuro, acabado satinado, textura lisa, la primera mano diluida con un 20% de agua y la siguiente diluida con un 5% de agua o sin diluir, (rendimiento: 0,1 l/m² cada mano); en ciclovías convencionales.**			
		mt27pii060r		0.200 l	Pintura plástica, a base de resinas acrílicas, …	2.25	0.45
		mo038		0.097 h	Pintor.	42.45	4.12
		mo076		0.097 h	Ayudante de pintor.	31.65	3.07
		%		2.000 %	Costes directos complementarios	7.19	0.14
				3.000 %	Costes indirectos	7.78	0.23
					Precio total por m²		**8.01**
					Son ocho Quetzales con un centavo		
				2.3 Semáforos			
2.3.1	02.4.1		**Ud**	**Semáforo con 3 Luces LED de 30 cm de diámetro**			
					Sin descomposición		6,298.50
				3.000 %	Costes indirectos	6,298.50	188.96
					Precio total redondeado por Ud .....…		**6,487.46**
					Son seis mil cuatrocientos ochenta y siete Quetzales con cuarenta y seis centavos		

Cuadro de precios descompuestos

Nº	Código		Ud	Descripción			Total
				3 Elementos de protección			
				3.1 Calles compartidas			
3.1.1	03.1.1		**Ud**	**Elemento reductor de velocidad tipo túmulo**			
				Sin descomposición			2,400.00
			3.000 %	Costes indirectos	2,400.00		72.00
				Precio total redondeado por Ud .....…			**2,472.00**
				Son dos mil cuatrocientos setenta y dos Quetzales			
				3.2 Ciclovías convencionales			
3.2.1	03.1.1b		**Ud**	**Elemento reductor de velocidad tipo túmulo**			
				Sin descomposición			2,400.00
			3.000 %	Costes indirectos	2,400.00		72.00
				Precio total redondeado por Ud .....…			**2,472.00**
				Son dos mil cuatrocientos setenta y dos Quetzales			
				3.3 Ciclovías protegidas			
3.3.1	TPH080		**Ud**	**Bolardo flexible fijo, de caucho, de 100 cm de altura y 9 cm de diámetro, fijado a una base de concreto f'c=210 kg/cm² (3000 psi), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 19 mm (3/4"), consistencia plástica con aglomerante hidráulico, compuesto por cementos de alta resistencia y aditivos específicos, de fraguado rápido.**			
		mt52mug340a	1.000	Ud	Bolardo flexible fijo, de 100 cm de altura y 9 …	813.27	813.27
		mt10hmf050…	0.200	m³	Concreto masivo f'c=210 kg/cm² (3000 psi), …	800.00	160.00
		mt09amp010a	0.150	kg	Aglomerante hidráulico, compuesto por cem…	4.65	0.70
		mo041	0.300	h	Albañil de obra civil.	42.45	12.74
		mo087	0.200	h	Ayudante de albañil de obra civil.	31.65	6.33
		%	0.500	%	Costes directos complementarios	19.07	0.10
			3.000	%	Costes indirectos	993.14	29.79
					Precio total redondeado por Ud .....…		**1,022.93**
					Son mil veintidos Quetzales con noventa y tres centavos		

Cuadro de precios descompuestos

Nº	Código	Ud	Descripción		Total
			4 Iluminación		
4.1	TIF010	**Ud**	**Farola, modelo Rama "SANTA & COLE", de 4700 mm de altura, compuesta por columna cilíndrica de acero galvanizado pintado y 1 luminaria rectangular de poliamida, de 1163x200x98 mm, color gris, para lámpara fluorescente triple TC-TEL de 57 W.**		
	mt10hmf050…	0.254 m³	Concreto masivo f'c=210 kg/cm² (3000 psi), …	1,150.88	292.32
	mt34syc010j…	1.000 Ud	Farola, modelo Rama "SANTA & COLE", de …	15,302.81	15,302.81
	mt34tuf020w	1.000 Ud	Lámpara fluorescente compacta TC-TEL de …	206.70	206.70
	mq07cce010a	0.223 h	Camión con cesta elevadora de brazo articul…	125.54	28.00
	mo020	0.362 h	Albañil.	42.45	15.37
	mo113	0.241 h	Peón albañil.	30.45	7.34
	mo003	0.604 h	Electricista.	43.64	26.36
	mo102	0.604 h	Ayudante de electricista.	31.58	19.07
	%	2.000 %	Costes directos complementarios	68.14	1.36
		3.000 %	Costes indirectos	15,899.33	476.98
			Precio total redondeado por Ud .....…		**16,376.31**

Son dieciseis mil trescientos setenta y seis Quetzales con treinta y un centavos

Cuadro de precios descompuestos

Nº	Código	Ud	Descripción		Total
			5 Estaciones		
5.1	05.1	**Ud**	**Totem de renta de bicicletas con marco de aluminio para renta de bicicletas compartidas por medio de pago automatizado.**		
			Sin descomposición		2,550.00
		3.000 %	Costes indirectos	2,550.00	76.50
			Precio total redondeado por Ud .....…		**2,626.50**
			Son dos mil seiscientos veintiseis Quetzales con cincuenta centavos		
5.2	05.2	**Ud**	**Parqueo con bloqueo inteligente para sistemas de bicicletas compartidas.**		
			Sin descomposición		2,310.00
		3.000 %	Costes indirectos	2,310.00	69.30
			Precio total redondeado por Ud .....…		**2,379.30**
			Son dos mil trescientos setenta y nueve Quetzales con treinta centavos		

Cuadro de precios descompuestos

Nº	Código	Ud	Descripción		Total
			6 Flotilla		
6.1	06.1	**ud**	**Bicicleta eléctrica adaptable con marco de aluminio y batería EnergyPAK400 con capacidad de viajes desde 50km por carga hasta 160 km por carga en condiciones óptimas.**		
			Sin descomposición		19,731.15
		3.000 %	Costes indirectos	19,731.15	591.93
			Precio total redondeado por ud .....…		**20,323.08**

Son veinte mil trescientos veintitres Quetzales con ocho centavos

Cuadro de precios nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Quetzales)	En letra (Quetzales)
	1 Trabajos de restauración		
	2 Señalización		
	2.1 Intersecciones		
	2.1.1 Intersección ciclovías 1 vía		
2.1.1.1	Ud Intersección vehicular con ciclovía en una dirección	715.40	SETECIENTOS QUINCE QUETZALES CON CUARENTA CENTAVOS
2.1.1.2	Ud Intersección vehicular con ciclovías en dos sentidos	1,438.81	MIL CUATROCIENTOS TREINTA Y OCHO QUETZALES CON OCHENTA Y UN CENTAVOS
2.1.1.3	Ud Esquina cruce a la izquierda	723.41	SETECIENTOS VEINTITRES QUETZALES CON CUARENTA Y UN CENTAVOS
2.1.1.4	Ud Esquina cruce a la derecha	715.40	SETECIENTOS QUINCE QUETZALES CON CUARENTA CENTAVOS
2.1.1.5	Ud Integración de rutas tipo A	1,438.81	MIL CUATROCIENTOS TREINTA Y OCHO QUETZALES CON OCHENTA Y UN CENTAVOS
2.1.1.6	Ud Integración de rutas tipo B	1,430.79	MIL CUATROCIENTOS TREINTA QUETZALES CON SETENTA Y NUEVE CENTAVOS
2.1.1.7	Ud Divergencia de rutas tipo A	723.41	SETECIENTOS VEINTITRES QUETZALES CON CUARENTA Y UN CENTAVOS
2.1.1.8	Ud Divergencia de rutas tipo B	715.40	SETECIENTOS QUINCE QUETZALES CON CUARENTA CENTAVOS
	2.1.2 Intersección ciclovías 2ble vía		
2.1.2.1	Ud 1 dirección	1,430.79	MIL CUATROCIENTOS TREINTA QUETZALES CON SETENTA Y NUEVE CENTAVOS
2.1.2.2	Ud 2 direcciones	2,877.61	DOS MIL OCHOCIENTOS SETENTA Y SIETE QUETZALES CON SESENTA Y UN CENTAVOS
2.1.2.3	Ud Esquina	1,430.79	MIL CUATROCIENTOS TREINTA QUETZALES CON SETENTA Y NUEVE CENTAVOS
2.1.2.4	Ud Incorporación/divergencia de ciclovías	2,162.22	DOS MIL CIENTO SESENTA Y DOS QUETZALES CON VEINTIDOS CENTAVOS
	2.1.3 Intersecciones especiales		
2.1.3.1	Ud Intersecciones casos especiales	30,838.65	TREINTA MIL OCHOCIENTOS TREINTA Y OCHO QUETZALES CON SESENTA Y CINCO CENTAVOS
	2.2 Tramos		

Cuadro de precios nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Quetzales)	En letra (Quetzales)
	2.2.1 Calles compartidas		
2.2.1.1	m² Aplicación manual de pintura plástica para exterior, a base de resinas acrílicas, color blanco, acabado satinado, textura lisa, para marcado de flechas e inscripciones en vías ciclistas. Incluso microesferas de vidrio, para conseguir efecto retrorreflectante en seco.	48.72	CUARENTA Y OCHO QUETZALES CON SETENTA Y DOS CENTAVOS
	2.2.2 Ciclovías convencionales		
2.2.2.1	m² Aplicación manual de dos manos de pintura plástica, antideslizante, color verde oscuro, acabado satinado, textura lisa, la primera mano diluida con un 20% de agua y la siguiente diluida con un 5% de agua o sin diluir, (rendimiento: 0,1 l/m² cada mano); en ciclovías convencionales.	8.01	OCHO QUETZALES CON UN CENTAVO
2.2.2.2	m² Aplicación manual de pintura plástica para exterior, a base de resinas acrílicas, color blanco, acabado satinado, textura lisa, para marcado de flechas e inscripciones en vías ciclistas. Incluso microesferas de vidrio, para conseguir efecto retrorreflectante en seco.	48.72	CUARENTA Y OCHO QUETZALES CON SETENTA Y DOS CENTAVOS
2.2.2.3	Ud Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero galvanizado, de sección rectangular, de 80x40x2 mm, para soporte de señalización vertical de tránsito, hincado con medios mecánicos al terreno.	196.10	CIENTO NOVENTA Y SEIS QUETZALES CON DIEZ CENTAVOS
2.2.2.4	Ud Señal vertical de tránsito de acero galvanizado, circular, de 60 cm de diámetro, con retrorreflectancia nivel 1 (E.G.).	483.86	CUATROCIENTOS OCHENTA Y TRES QUETZALES CON OCHENTA Y SEIS CENTAVOS
	2.2.3 Ciclovías protegidas		
2.2.3.1	m² Aplicación manual de pintura plástica para exterior, a base de resinas acrílicas, color blanco, acabado satinado, textura lisa, para marcado de flechas e inscripciones en vías ciclistas. Incluso microesferas de vidrio, para conseguir efecto retrorreflectante en seco.	48.72	CUARENTA Y OCHO QUETZALES CON SETENTA Y DOS CENTAVOS
2.2.3.2	Ud Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero galvanizado, de sección rectangular, de 80x40x2 mm, para soporte de señalización vertical de tránsito, hincado con medios mecánicos al terreno.	196.10	CIENTO NOVENTA Y SEIS QUETZALES CON DIEZ CENTAVOS
2.2.3.3	Ud Señal vertical de tránsito de acero galvanizado, circular, de 60 cm de diámetro, con retrorreflectancia nivel 1 (E.G.).	483.86	CUATROCIENTOS OCHENTA Y TRES QUETZALES CON OCHENTA Y SEIS CENTAVOS
2.2.3.4	m² Aplicación manual de dos manos de pintura plástica, antideslizante, color verde oscuro, acabado satinado, textura lisa, la primera mano diluida con un 20% de agua y la siguiente diluida con un 5% de agua o sin diluir, (rendimiento: 0,1 l/m² cada mano); en ciclovías convencionales.	8.01	OCHO QUETZALES CON UN CENTAVO
	2.3 Semáforos		

Cuadro de precios nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Quetzales)	En letra (Quetzales)
2.3.1	Ud Semáforo con 3 Luces LED de 30 cm de diámetro	6,487.46	SEIS MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y SIETE QUETZALES CON CUARENTA Y SEIS CENTAVOS
	3 Elementos de protección		
	3.1 Calles compartidas		
3.1.1	Ud Elemento reductor de velocidad tipo túmulo	2,472.00	DOS MIL CUATROCIENTOS SETENTA Y DOS QUETZALES
	3.2 Ciclovías convencionales		
3.2.1	Ud Elemento reductor de velocidad tipo túmulo	2,472.00	DOS MIL CUATROCIENTOS SETENTA Y DOS QUETZALES
	3.3 Ciclovías protegidas		
3.3.1	Ud Bolardo flexible fijo, de caucho, de 100 cm de altura y 9 cm de diámetro, fijado a una base de concreto f'c=210 kg/cm² (3000 psi), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 19 mm (3/4"), consistencia plástica con aglomerante hidráulico, compuesto por cementos de alta resistencia y aditivos específicos, de fraguado rápido.	1,022.93	MIL VEINTIDOS QUETZALES CON NOVENTA Y TRES CENTAVOS
	4 Iluminación		
4.1	Ud Farola, modelo Rama "SANTA & COLE", de 4700 mm de altura, compuesta por columna cilíndrica de acero galvanizado pintado y 1 luminaria rectangular de poliamida, de 1163x200x98 mm, color gris, para lámpara fluorescente triple TC-TEL de 57 W.	16,376.31	DIECISEIS MIL TRESCIENTOS SETENTA Y SEIS QUETZALES CON TREINTA Y UN CENTAVOS
	5 Estaciones		
5.1	Ud Totem de renta de bicicletas con marco de aluminio para renta de bicicletas compartidas por medio de pago automatizado.	2,626.50	DOS MIL SEISCIENTOS VEINTISEIS QUETZALES CON CINCUENTA CENTAVOS
5.2	Ud Parqueo con bloqueo inteligente para sistemas de bicicletas compartidas.	2,379.30	DOS MIL TRESCIENTOS SETENTA Y NUEVE QUETZALES CON TREINTA CENTAVOS
	6 Flotilla		
6.1	ud Bicicleta eléctrica adaptable con marco de aluminio y batería EnergyPAK400 con capacidad de viajes desde 50km por carga hasta 160 km por carga en condiciones óptimas.	20,323.08	VEINTE MIL TRESCIENTOS VEINTITRES QUETZALES CON OCHO CENTAVOS

Ciudad de Guatemala
Ing.

Juan Andrés Rivera Gándara

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Quetzales)	Total (Quetzales)
	1 Trabajos de restauración		
	2 Señalización		
	2.1 Intersecciones		
	2.1.1 Intersección ciclovías 1 vía		
2.1.1.1	Ud Intersección vehicular con ciclovía en una dirección		
	Mano de obra	*19.79*	
	Equipo y herramienta	*36.45*	
	Materiales	*637.92*	
	Herramienta menor	*0.40*	
	3 % Costos indirectos	*20.84*	
			715.40
2.1.1.2	Ud Intersección vehicular con ciclovías en dos sentidos		
	Mano de obra	*46.77*	
	Equipo y herramienta	*72.90*	
	Materiales	*1,276.29*	
	Herramienta menor	*0.94*	
	3 % Costos indirectos	*41.91*	
			1,438.81
2.1.1.3	Ud Esquina cruce a la izquierda		
	Mano de obra	*26.98*	
	Equipo y herramienta	*36.45*	
	Materiales	*638.37*	
	Herramienta menor	*0.54*	
	3 % Costos indirectos	*21.07*	
			723.41
2.1.1.4	Ud Esquina cruce a la derecha		
	Mano de obra	*19.79*	
	Equipo y herramienta	*36.45*	
	Materiales	*637.92*	
	Herramienta menor	*0.40*	
	3 % Costos indirectos	*20.84*	
			715.40
2.1.1.5	Ud Integración de rutas tipo A		
	Mano de obra	*46.77*	
	Equipo y herramienta	*72.90*	
	Materiales	*1,276.29*	
	Herramienta menor	*0.94*	
	3 % Costos indirectos	*41.91*	
			1,438.81
2.1.1.6	Ud Integración de rutas tipo B		
	Mano de obra	*39.58*	
	Equipo y herramienta	*72.90*	
	Materiales	*1,275.84*	
	Herramienta menor	*0.80*	
	3 % Costos indirectos	*41.67*	
			1,430.79
2.1.1.7	Ud Divergencia de rutas tipo A		
	Mano de obra	*26.98*	
	Equipo y herramienta	*36.45*	
	Materiales	*638.37*	
	Herramienta menor	*0.54*	
	3 % Costos indirectos	*21.07*	
			723.41

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe Parcial (Quetzales)	Importe Total (Quetzales)
2.1.1.8	Ud Divergencia de rutas tipo B		
	Mano de obra	*19.79*	
	Equipo y herramienta	*36.45*	
	Materiales	*637.92*	
	Herramienta menor	*0.40*	
	3 % Costos indirectos	*20.84*	
			715.40
	2.1.2 Intersección ciclovías 2ble vía		
2.1.2.1	Ud 1 dirección		
	Mano de obra	*39.58*	
	Equipo y herramienta	*72.90*	
	Materiales	*1,275.84*	
	Herramienta menor	*0.80*	
	3 % Costos indirectos	*41.67*	
			1,430.79
2.1.2.2	Ud 2 direcciones		
	Mano de obra	*93.54*	
	Equipo y herramienta	*145.80*	
	Materiales	*2,552.58*	
	Herramienta menor	*1.88*	
	3 % Costos indirectos	*83.81*	
			2,877.61
2.1.2.3	Ud Esquina		
	Mano de obra	*39.58*	
	Equipo y herramienta	*72.90*	
	Materiales	*1,275.84*	
	Herramienta menor	*0.80*	
	3 % Costos indirectos	*41.67*	
			1,430.79
2.1.2.4	Ud Incorporación/divergencia de ciclovías		
	Mano de obra	*73.75*	
	Equipo y herramienta	*109.35*	
	Materiales	*1,914.66*	
	Herramienta menor	*1.48*	
	3 % Costos indirectos	*62.98*	
			2,162.22
	2.1.3 Intersecciones especiales		
2.1.3.1	Ud Intersecciones casos especiales		
	Mano de obra	*901.79*	
	Equipo y herramienta	*1,401.78*	
	Materiales	*27,621.55*	
	Herramienta menor	*15.32*	
	3 % Costos indirectos	*898.21*	
			30,838.65
	2.2 Tramos		
	2.2.1 Calles compartidas		
2.2.1.1	m² Aplicación manual de pintura plástica para exterior, a base de resinas acrílicas, color blanco, acabado satinado, textura lisa, para marcado de flechas e inscripciones en vías ciclistas. Incluso microesferas de vidrio, para conseguir efecto retrorreflectante en seco.		
	Mano de obra	*12.77*	
	Materiales	*34.27*	
	Herramienta menor	*0.26*	
	3 % Costos indirectos	*1.42*	
			48.72

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Quetzales)	Total (Quetzales)
	2.2.2 Ciclovías convencionales		
2.2.2.1	m² Aplicación manual de dos manos de pintura plástica, antideslizante, color verde oscuro, acabado satinado, textura lisa, la primera mano diluida con un 20% de agua y la siguiente diluida con un 5% de agua o sin diluir, (rendimiento: 0,1 l/m² cada mano); en ciclovías convencionales.		
	Mano de obra	*7.19*	
	Materiales	*0.45*	
	Herramienta menor	*0.14*	
	3 % Costos indirectos	*0.23*	
			8.01
2.2.2.2	m² Aplicación manual de pintura plástica para exterior, a base de resinas acrílicas, color blanco, acabado satinado, textura lisa, para marcado de flechas e inscripciones en vías ciclistas. Incluso microesferas de vidrio, para conseguir efecto retrorreflectante en seco.		
	Mano de obra	*12.77*	
	Materiales	*34.27*	
	Herramienta menor	*0.26*	
	3 % Costos indirectos	*1.42*	
			48.72
2.2.2.3	Ud Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero galvanizado, de sección rectangular, de 80x40x2 mm, para soporte de señalización vertical de tránsito, hincado con medios mecánicos al terreno.		
	Mano de obra	*6.38*	
	Equipo y herramienta	*12.72*	
	Materiales	*171.16*	
	Herramienta menor	*0.13*	
	3 % Costos indirectos	*5.71*	
			196.10
2.2.2.4	Ud Señal vertical de tránsito de acero galvanizado, circular, de 60 cm de diámetro, con retrorreflectancia nivel 1 (E.G.).		
	Mano de obra	*13.41*	
	Equipo y herramienta	*23.73*	
	Materiales	*432.36*	
	Herramienta menor	*0.27*	
	3 % Costos indirectos	*14.09*	
			483.86
	2.2.3 Ciclovías protegidas		
2.2.3.1	m² Aplicación manual de pintura plástica para exterior, a base de resinas acrílicas, color blanco, acabado satinado, textura lisa, para marcado de flechas e inscripciones en vías ciclistas. Incluso microesferas de vidrio, para conseguir efecto retrorreflectante en seco.		
	Mano de obra	*12.77*	
	Materiales	*34.27*	
	Herramienta menor	*0.26*	
	3 % Costos indirectos	*1.42*	
			48.72
2.2.3.2	Ud Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero galvanizado, de sección rectangular, de 80x40x2 mm, para soporte de señalización vertical de tránsito, hincado con medios mecánicos al terreno.		
	Mano de obra	*6.38*	
	Equipo y herramienta	*12.72*	
	Materiales	*171.16*	
	Herramienta menor	*0.13*	
	3 % Costos indirectos	*5.71*	
			196.10

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe Parcial (Quetzales)	Importe Total (Quetzales)
2.2.3.3	Ud Señal vertical de tránsito de acero galvanizado, circular, de 60 cm de diámetro, con retrorreflectancia nivel 1 (E.G.).		
	Mano de obra	*13.41*	
	Equipo y herramienta	*23.73*	
	Materiales	*432.36*	
	Herramienta menor	*0.27*	
	3 % Costos indirectos	*14.09*	
			483.86
2.2.3.4	m² Aplicación manual de dos manos de pintura plástica, antideslizante, color verde oscuro, acabado satinado, textura lisa, la primera mano diluida con un 20% de agua y la siguiente diluida con un 5% de agua o sin diluir, (rendimiento: 0,1 l/m² cada mano); en ciclovías convencionales.		
	Mano de obra	*7.19*	
	Materiales	*0.45*	
	Herramienta menor	*0.14*	
	3 % Costos indirectos	*0.23*	
			8.01
	2.3 Semáforos		
2.3.1	Ud Semáforo con 3 Luces LED de 30 cm de diámetro		
	Sin descomposición	*6,298.50*	
	3 % Costos indirectos	*188.96*	
			6,487.46
	3 Elementos de protección		
	3.1 Calles compartidas		
3.1.1	Ud Elemento reductor de velocidad tipo túmulo		
	Sin descomposición	*2,400.00*	
	3 % Costos indirectos	*72.00*	
			2,472.00
	3.2 Ciclovías convencionales		
3.2.1	Ud Elemento reductor de velocidad tipo túmulo		
	Sin descomposición	*2,400.00*	
	3 % Costos indirectos	*72.00*	
			2,472.00
	3.3 Ciclovías protegidas		
3.3.1	Ud Bolardo flexible fijo, de caucho, de 100 cm de altura y 9 cm de diámetro, fijado a una base de concreto f'c=210 kg/cm² (3000 psi), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 19 mm (3/4"), consistencia plástica con aglomerante hidráulico, compuesto por cementos de alta resistencia y aditivos específicos, de fraguado rápido.		
	Mano de obra	*19.07*	
	Materiales	*973.97*	
	Herramienta menor	*0.10*	
	3 % Costos indirectos	*29.79*	
			1,022.93
	4 Iluminación		
4.1	Ud Farola, modelo Rama "SANTA & COLE", de 4700 mm de altura, compuesta por columna cilíndrica de acero galvanizado pintado y 1 luminaria rectangular de poliamida, de 1163x200x98 mm, color gris, para lámpara fluorescente triple TC-TEL de 57 W.		
	Mano de obra	*68.14*	
	Equipo y herramienta	*28.00*	
	Materiales	*15,801.83*	
	Herramienta menor	*1.36*	
	3 % Costos indirectos	*476.98*	
			16,376.31

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Quetzales)	Total (Quetzales)
	5 Estaciones		
5.1	Ud Totem de renta de bicicletas con marco de aluminio para renta de bicicletas compartidas por medio de pago automatizado.		
	Sin descomposición	*2,550.00*	
	3 % Costos indirectos	*76.50*	
			2,626.50
5.2	Ud Parqueo con bloqueo inteligente para sistemas de bicicletas compartidas.		
	Sin descomposición	*2,310.00*	
	3 % Costos indirectos	*69.30*	
			2,379.30
	6 Flotilla		
6.1	ud Bicicleta eléctrica adaptable con marco de aluminio y batería EnergyPAK400 con capacidad de viajes desde 50km por carga hasta 160 km por carga en condiciones óptimas.		
	Sin descomposición	*19,731.15*	
	3 % Costos indirectos	*591.93*	
			20,323.08

Ciudad de Guatemala
Ing.

Juan Andrés Rivera Gándara

PRESUPUESTO Y MEDICIÓN

PRESUPUESTO PARCIAL Nº 2 Señalización

Nº	DESCRIPCIÓN	UDS.	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
2.1 Intersecciones								
2.1.1 Intersección ciclovías 1 vía								
2.1.1.1	**Ud. Intersección vehicular con ciclovía en una dirección**					81.000	715.40	57,947.40
2.1.1.2	**Ud. Intersección vehicular con ciclovías en dos sentidos**					18.000	1,438.81	25,898.58
2.1.1.3	**Ud. Esquina cruce a la izquierda**					4.000	723.41	2,893.64
2.1.1.4	**Ud. Esquina cruce a la derecha**					17.000	715.40	12,161.80
2.1.1.5	**Ud. Integración de rutas tipo A**					4.000	1,438.81	5,755.24
2.1.1.6	**Ud. Integración de rutas tipo B**					3.000	1,430.79	4,292.37
2.1.1.7	**Ud. Divergencia de rutas tipo A**					1.000	723.41	723.41
2.1.1.8	**Ud. Divergencia de rutas tipo B**					3.000	715.40	2,146.20
2.1.2 Intersección ciclovías 2ble vía								
2.1.2.1	**Ud. 1 dirección**					42.000	1,430.79	60,093.18
2.1.2.2	**Ud. 2 direcciones**					0.000	2,877.61	0.00
2.1.2.3	**Ud. Esquina**					20.000	1,430.79	28,615.80
2.1.2.4	**Ud. Incorporación/divergencia de ciclovías**					14.000	2,162.22	30,271.08
2.1.3 Intersecciones especiales								
2.1.3.1	**Ud. Intersecciones casos especiales**					1.000	30,838.65	30,838.65
2.2 Tramos								
2.2.1 Calles compartidas								
2.2.1.1	**M². Aplicación manual de pintura plástica para exterior, a base de resinas acrílicas, color blanco, acabado satinado, textura lisa, para marcado de flechas e inscripciones en vías ciclistas. Incluso microesferas de vidrio, para conseguir efecto retrorreflectante en seco.**					513.300	48.72	25,007.98
2.2.2 Ciclovías convencionales								
2.2.2.1	**M². Aplicación manual de dos manos de pintura plástica, antideslizante, color verde oscuro, acabado satinado, textura lisa, la primera mano diluida con un 20% de agua y la siguiente diluida con un 5% de agua o sin diluir, (rendimiento: 0,1 l/m² cada mano); en ciclovías convencionales.**					10,767.670	8.01	86,249.04

Suma y sigue ... 372,894.37

PRESUPUESTO PARCIAL Nº 2 Señalización

Nº	DESCRIPCIÓN	UDS.	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
2.2.2.2	**M². Aplicación manual de pintura plástica para exterior, a base de resinas acrílicas, color blanco, acabado satinado, textura lisa, para marcado de flechas e inscripciones en vías ciclistas. Incluso microesferas de vidrio, para conseguir efecto retrorreflectante en seco.**							
						69.600	48.72	3,390.91
2.2.2.3	**Ud. Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero galvanizado, de sección rectangular, de 80x40x2 mm, para soporte de señalización vertical de tránsito, hincado con medios mecánicos al terreno.**							
						35.000	196.10	6,863.50
2.2.2.4	**Ud. Señal vertical de tránsito de acero galvanizado, circular, de 60 cm de diámetro, con retrorreflectancia nivel 1 (E.G.).**							
						35.000	483.86	16,935.10
2.2.3	**Ciclovías protegidas**							
2.2.3.1	**M². Aplicación manual de pintura plástica para exterior, a base de resinas acrílicas, color blanco, acabado satinado, textura lisa, para marcado de flechas e inscripciones en vías ciclistas. Incluso microesferas de vidrio, para conseguir efecto retrorreflectante en seco.**							
						228.000	48.72	11,108.16
2.2.3.2	**Ud. Poste de 2,8 m de altura, de tubo de acero galvanizado, de sección rectangular, de 80x40x2 mm, para soporte de señalización vertical de tránsito, hincado con medios mecánicos al terreno.**							
						116.000	196.10	22,747.60
2.2.3.3	**Ud. Señal vertical de tránsito de acero galvanizado, circular, de 60 cm de diámetro, con retrorreflectancia nivel 1 (E.G.).**							
						116.000	483.86	56,127.76
2.2.3.4	**M². Aplicación manual de dos manos de pintura plástica, antideslizante, color verde oscuro, acabado satinado, textura lisa, la primera mano diluida con un 20% de agua y la siguiente diluida con un 5% de agua o sin diluir, (rendimiento: 0,1 l/m² cada mano); en ciclovías convencionales.**							
						35,981.720	8.01	288,213.58
2.3	**Semáforos**							
2.3.1	**Ud. Semáforo con 3 Luces LED de 30 cm de diámetro**							
						14.000	6,487.46	90,824.44

Total presupuesto parcial nº 2 ... 869,105.42

PRESUPUESTO PARCIAL Nº 3 Elementos de protección

Nº	DESCRIPCIÓN	UDS.	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
3.1 Calles compartidas								
3.1.1	**Ud. Elemento reductor de velocidad tipo túmulo**							
						174.000	2,472.00	430,128.00
3.2 Ciclovías convencionales								
3.2.1	**Ud. Elemento reductor de velocidad tipo túmulo**							
						70.000	2,472.00	173,040.00
3.3 Ciclovías protegidas								
3.3.1	**Ud. Bolardo flexible fijo, de caucho, de 100 cm de altura y 9 cm de diámetro, fijado a una base de concreto f'c=210 kg/cm² (3000 psi), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 19 mm (3/4"), consistencia plástica con aglomerante hidráulico, compuesto por cementos de alta resistencia y aditivos específicos, de fraguado rápido.**							
						13,740.000	1,022.93	14,055,058.20

Total presupuesto parcial nº 3 ... 14,658,226.20

PRESUPUESTO PARCIAL Nº 4 Iluminación

Nº	DESCRIPCIÓN	UDS.	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
4.1	**Ud. Farola, modelo Rama "SANTA & COLE", de 4700 mm de altura, compuesta por columna cilíndrica de acero galvanizado pintado y 1 luminaria rectangular de poliamida, de 1163x200x98 mm, color gris, para lámpara fluorescente triple TC-TEL de 57 W.**					3,339.000	16,376.31	54,680,499.09

Total presupuesto parcial nº 4 ... 54,680,499.09

PRESUPUESTO PARCIAL Nº 5 Estaciones

Nº	DESCRIPCIÓN	UDS.	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
5.1	**Ud. Totem de renta de bicicletas con marco de aluminio para renta de bicicletas compartidas por medio de pago automatizado.**					64.000	2,626.50	168,096.00
5.2	**Ud. Parqueo con bloqueo inteligente para sistemas de bicicletas compartidas.**					640.000	2,379.30	1,522,752.00

Total presupuesto parcial nº 5 ... 1,690,848.00

PRESUPUESTO PARCIAL Nº 6 Flotilla

Nº	DESCRIPCIÓN	UDS.	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
6.1	**Ud. Bicicleta eléctrica adaptable con marco de aluminio y batería EnergyPAK400 con capacidad de viajes desde 50km por carga hasta 160 km por carga en condiciones óptimas.**					320.000	20,323.08	6,503,385.60

Total presupuesto parcial nº 6 ... 6,503,385.60

RESUMEN POR CAPÍTULOS

CAPÍTULO SEÑALIZACIÓN	869,105.42
CAPÍTULO ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	14,658,226.20
CAPÍTULO ILUMINACIÓN	54,680,499.09
CAPÍTULO ESTACIONES	1,690,848.00
CAPÍTULO FLOTILLA	6,503,385.60
REDONDEO.....	
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	78,402,064.31

EL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL ASCIENDE A LAS EXPRESADAS SETENTA Y OCHO MILLONES CUATROCIENTOS DOS MIL SESENTA Y CUATRO QUETZALES CON TREINTA Y UN CENTAVOS.

Proyecto: Cuantificación y costo

Capítulo	Importe
Capítulo 2 Señalización	869,105.42
Capítulo 2.1 Intersecciones	261,637.35
Capítulo 2.1.1 Intersección ciclovías 1 vía	111,818.64
Capítulo 2.1.2 Intersección ciclovías 2ble vía	118,980.06
Capítulo 2.1.3 Intersecciones especiales	30,838.65
Capítulo 2.2 Tramos	516,643.63
Capítulo 2.2.1 Calles compartidas	25,007.98
Capítulo 2.2.2 Ciclovías convencionales	113,438.55
Capítulo 2.2.3 Ciclovías protegidas	378,197.10
Capítulo 2.3 Semáforos	90,824.44
Capítulo 3 Elementos de protección	14,658,226.20
Capítulo 3.1 Calles compartidas	430,128.00
Capítulo 3.2 Ciclovías convencionales	173,040.00
Capítulo 3.3 Ciclovías protegidas	14,055,058.20
Capítulo 4 Iluminación	54,680,499.09
Capítulo 5 Estaciones	1,690,848.00
Capítulo 6 Flotilla	6,503,385.60
Presupuesto de ejecución material	78,402,064.31
0% de gastos generales	0.00
0% de beneficio industrial	0.00
Suma	78,402,064.31
0% IVA	0.00
Presupuesto de ejecución	78,402,064.31

Asciende el presupuesto de ejecución a la expresada cantidad de SETENTA Y OCHO MILLONES CUATROCIENTOS DOS MIL SESENTA Y CUATRO QUETZALES CON TREINTA Y UN CENTAVOS.

Ciudad de Guatemala
Ing.

Juan Andrés Rivera Gándara