

**UNIVERSIDAD DE SONORA**  
**DIVISIÓN DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“SISTEMA SUSTENTABLE DE RUTAS DE TRANSPORTE  
COLECTIVO PARA LA UNIVERSIDAD DE SONORA”**

**TRABAJO ESCRITO**

**Que para obtener el DIPLOMA de  
ESPECIALIZACIÓN EN DESARROLLO SUSTENTABLE**

**Presenta:**

**Manuel Alejandro Lara Díaz**

**1942**  
**Director de Tesina:**

**Dr. Héctor Manuel Guzmán Grijalva**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess





**UNIVERSIDAD DE SONORA  
DIVISION DE INGENIERIA**

**COORDINACION DE PROGRAMA DEL POSGRADO EN SUSTENTABILIDAD  
ESPECIALIZACION EN DESARROLLO SUSTENTABLE**

Hermosillo, Sonora, a 21 de septiembre del 2020

**Dr. Javier Esquer Peralta**  
**Coordinador del Posgrado en Sustentabilidad**  
**P R E S E N T E.-**

Por este conducto, hago de su conocimiento que estoy de acuerdo que se realice el siguiente examen de posgrado:

Programa	Maestria en Sustentabilidad:	Especialidad en Desarrollo Sustentable:	X
Alumno(a):	Manuel Alejandro Lara Diaz		
Expediente:	209201681		
Fecha:	28 de septiembre del 2020		
Hora:	11:00 horas		
Edificio y Aula:	Plataforma virtual		

**Relación de Jurados:**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE:</b>	Dr. Héctor Manuel Guzmán Grijalva	
<b>SECRETARIO:</b>	Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras	
<b>VOCAL:</b>	Dr. Javier Esquer Peralta	
<b>SUPLENTE:</b>	Dra. Nora Elba Munguía Elba	

**A T E N T A M E N T E**

**MIEMBROS DEL JURADO**



# ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVO ESTRATÉGICO</b> .....	<b>2</b>
<b>III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>3</b>
<b>IV. ANALISIS LITERARIO</b> .....	<b>4</b>
4.1 El congestionamiento vial, causas y consecuencias .....	4
4.2 Movilidad Urbana Sustentable, Deficiencias y Retos.....	6
4.3 Sistemas de Transporte Sustentable en Universidades .....	9
<b>V. METODOLOGIA</b> .....	<b>14</b>
5.1. Tipo de estudio.....	14
5.2 Diseño metodológico .....	14
5.3 Alcance .....	16
5.4 Pregunta de investigación .....	16
5.5 Objeto de estudio .....	16
5.6 Selección del lugar del objeto de estudio .....	16
5.7 Selección y tamaño de muestra.....	17
5.8 Instrumentos de recolección y manejo de datos.....	17
<b>VI. RESULTADOS</b> .....	<b>18</b>
6.1 Distribución geográfica de los estudiantes en la ciudad de Hermosillo, Sonora .....	18
6.2 Diseño de las rutas de transporte .....	22
6.2.1 Factores considerados en el diseño de las rutas.....	23
6.3 Propuesta del Sistema de Transporte Colectivo Institucional para el Campus Central de la Universidad de Sonora.....	26
6.3.1 Pasos para el diseño de las rutas y la ubicación de estaciones de abordaje de autobús ..	26
6.3.2 Descripción de las rutas y ubicación de las estaciones de abordaje de autobús .....	32
6.3.3 Horarios de operación del sistema de transporte .....	53
6.3.4 Características de la flota de autobuses .....	57
6.4 Operación del Sistema .....	59
<b>VII. ANALISIS</b> .....	<b>62</b>
<b>VIII. CONCLUSIONES</b> .....	<b>67</b>
<b>IX. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>68</b>
<b>X. REFERENCIAS</b> .....	<b>70</b>

<b>ANEXOS.....</b>	<b>83</b>
ANEXO A. PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA PARADA O ESTACION DE AUTOBUS.....	83
ANEXO B. CONGESTION VEHICULAR CAPTADA DENTRO DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SONORA.....	84

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Atributos de calidad del transporte publico .....	8
Tabla 2. Colonias con mayor poblacion de estudiantes universitarios.....	18
Tabla 3. Muestra de algunas colonias de Hermosillo indicando el rango en el que se ubican en terminos de su poblacion estudiantil .....	21
Tabla 4. Objetivos y enfoques utilizados en la definicion de un diseño de rutas de transporte colectivo.....	22
Tabla 5. Factores de diseño de un sistema de autobuses para estudiantes universitario .....	223
Tabla 6. Características de los tipos de vialidades.....	25
Tabla 7. Rutas Propuestas.....	32
Tabla 8. Características generales de la ruta 1-Altare.....	36
Tabla 9. Vialidades recorridas en fase I de ruta.....	38
Tabla 10. Vialidades recorridas en fase II de ruta.....	38
Tabla 11. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 1, Fase 1 .....	40
Tabla 12. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 1, Fase 2 .....	40
Tabla 13. Características generales de la ruta 2-Monteverde .....	41
Tabla 14. Vialidades recorridas en fase I de ruta.....	43
Tabla 15. Vialidades recorridas en fase I de ruta .....	43
Tabla 16. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 2, Fase 1 .....	43
Tabla 17. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 2, Fase 2 .....	44
Tabla 18. Características generales de la ruta 3-Villa Bonita .....	45
Tabla 19. Vialidades recorridas en fase I de ruta.....	46
Tabla 20. Vialidades recorridas en fase I de ruta .....	46
Tabla 21. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 3, Fase 1 .....	48
Tabla 22. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 3, Fase 2 .....	48
Tabla 23. Características generales de la ruta 4-Puerta Real .....	50

Tabla 24. Vialidades recorridas en fase I de ruta.....	51
Tabla 25. Vialidades recorridas en fase II de ruta.....	51
Tabla 26. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 4, Fase 1 .....	52
Tabla 27. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 4, Fase 2 .....	53
Tabla 28. Horario de ruta Altares.....	56
Tabla 29. Horario de ruta Monteverde.....	56
Tabla 30. Horario de ruta Villa Bonita.....	56
Tabla 31. Horario de ruta Puerta Real.....	56
Tabla 32. Tiempo destinado en paradas para ascender o descender del autobús .....	56
Tabla 33. Capacidad de traslado de pasajeros del sistema de transporte.....	60

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pirámide de la jerarquía de la movilidad.....	6
Figura 2 Autobús del Campus, Universidad de Indiana.....	10
Figura 3 Ruta de Circuito Lobobus.....	11
Figura 4 Rutas del Sistema de Transporte BUAP.....	11
Figura 5 Unidad de Transporte Potrobus.....	12
Figura 6 Usuarios del sistema Woo Bike Share.....	13
Figura 7 Mapa de calor de Hermosillo - distribución geográfica de alumnos.....	20
Figura 8 Identificación de las zonas de origen y destino de una ruta de transporte.....	28
Figura 9 Zona de origen de ruta y ubicación de vialidades principales .....	29
Figura 10 Propuesta de ruta en base a distribución de alumnos y tipos de vialidad.....	30
Figura 11 Selección de ubicación de estaciones de abordaje a través de la ruta propuesta.....	31
Figura 12 Mapa de Calor y Rutas de Transporte Propuestas (visualización mediante software ArcGIS).....	33
Figura 13 Recorrido de las Rutas (visualización mediante plataforma Google Maps).....	34
Figura 14 Ruta 1 – Altares (visualización utilizando plataforma Google Maps).....	37
Figura 15 Ruta 1 - Altares, Acercamiento 1.....	39
Figura 16 Ruta 1 - Altares, Acercamiento 2.....	39
Figura 17 Ruta 2 – Monteverde (visualización utilizando plataforma Google Maps).....	42
Figura 18 Ruta 3 – Villa Bonita (visualización utilizando plataforma Google Maps).....	45
Figura 19 Ruta 3 – Villa Bonita Acercamiento 1.....	47



Figura 20 Ruta 3 – Villa Bonita Acercamiento 2.....	47
Figura 21 Ruta 4 – Puerta Real (visualización utilizando plataforma Google Maps).....	49
Figura 22 Ruta 4 – Puerta Real, Acercamiento 1.....	51
Figura 23 Ruta 4 – Puerta Real, Acercamiento 2.....	52
Figura 24. Especificaciones Urviabus G3.....	58
Figura: 25 Autobús propuesto para el sistema de transporte.....	58

## **INDICE DE GRAFICAS**

Grafica 1. Distribución horaria de entradas y salidas de vehículos y peatones al campus cada 15 minutos .....	54
Grafica 2. Identificación de los horarios de operación de los autobuses.....	55

## RESUMEN

Con la finalidad de mitigar los impactos sociales, ambientales y económicos ocasionados por el congestionamiento vial en el campus central de la universidad de Sonora, y siguiendo metodologías aplicadas en el marco internacional, se diseñó un sistema de rutas de transporte colectivo que busca disminuir el ingreso de vehículos al campus, al ofrecer un servicio de transporte de calidad a los estudiantes universitarios. Inicialmente, se adoptó la estrategia implementada por la Universidad de Chipre, la cual clasifica a las colonias de la localidad en base a la cantidad de estudiantes que reside en cada una de ellas. Esta metodología fue adaptada al contexto de la Universidad de Sonora y de la ciudad de Hermosillo, sirviendo como base para la elaboración de un mapa de calor, y con ello, caracterizar la distribución geográfica de los 18 585 estudiantes inscritos en el semestre 2019-2 de la institución. Además, se utilizó el enfoque de diseño heurístico formulado por Bowerman et al. (1995), que permite definir los recorridos de las rutas y realizar mejoras al proyecto original a medida que el sistema se encuentra en funcionamiento. De esta forma, se definieron 4 rutas como las opciones más convenientes para el traslado de estudiantes; prestando el servicio a distintas zonas de la localidad y priorizando las colonias con mayor población estudiantil. Finalmente, se seleccionaron distintos horarios para la operación de los autobuses en base al estudio de movilidad elaborado por la Dirección de Infraestructura de la Universidad.

## **ABSTRACT**

In light of the multiple social, environmental and economic impacts caused by the traffic congestion at the University of Sonora main campus, and according to methodologies applied worldwide, a collective transportation system proposal that aims to reduce the car use inside the campus, by offering a quality transportation service to the university students, was designed. Initially, a strategy implemented at the University of Chipre, which classifies the different neighborhoods of a city according to the number of students that live in each one of them, was selected. This particular methodology was adapted to the current mobility conditions of the University of Sonora and the city of Hermosillo, which served as a basis to create a choropleth map and distinguish the geographic distribution of the 18 585 students living across the urban area on the city. Furthermore, the heuristic designing approach developed by Bowerman et al. (1995) was also used. This approach allows for modifications to the system to be made after the design stage has been concluded and when it is already in operation. As a result, four routes were designed as the most suitable choices to provide transportation to students, by serving multiple areas of the city and covering the neighborhoods with the highest of the student population. Finally, it was established the schedule of the transportation service based on a mobility study carried out by the Infrastructure Office of the University of Sonora.

# I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio aborda la problemática actual que sufre la comunidad universitaria del campus central de la Universidad de Sonora, con relación al congestionamiento vial (CV) que se presenta internamente en la institución, y que, a su vez, causa complicaciones que afectan el funcionamiento de las vialidades aledañas al campus. En atención a ello, se presenta una propuesta de un sistema de rutas para el transporte colectivo de estudiantes, que busca reducir el uso del automóvil particular al desarrollar un proyecto ad hoc a las condiciones urbanas de la localidad; ofreciendo una alternativa que mejore potencialmente la movilidad de la comunidad universitaria.

La investigación integra un análisis literario del estado del arte con relación al problema de CV en el cual se manifiestan los principales impactos negativos causados por este problema, además, se presentan las principales características que integran a la movilidad urbana; desglosando una serie de ejemplos sobre diferentes instituciones universitarias alrededor del mundo, en las cuales se han implementado sistemas de transporte exclusivos para el traslado de estudiantes.

Al inicio del estudio, mediante la elaboración de un mapa de calor, se proyecta la distribución geográfica de los estudiantes universitarios a través de la ciudad de Hermosillo. Además, se consideran distintos factores que caracterizan las condiciones en las que se desarrolla el proyecto en cuestión, como las percepciones de los estudiantes sobre el transporte urbano y los tipos de vialidades que conforman la red vial de la localidad. Como fase principal del proyecto, se elabora una propuesta de un sistema de rutas de transporte colectivo para estudiantes de la Universidad de Sonora. La propuesta consta del diseño de un sistema conformado por 4 rutas de autobuses que cubren distintas zonas de la localidad, tal es el caso de los sectores norte, sur, oeste y noroeste.

Finalmente, como parte integral del proyecto, se incluye una serie de elementos que representan una etapa fundamental del estudio, y que ofrecen una mejor perspectiva sobre la operatividad del servicio, tal es el caso de los horarios de operación de las rutas, los tiempos de recorrido efectuados, las características físicas sobre el modelo de autobús propuesto, y los gastos correspondientes al mantenimiento y consumo de combustible de los autobuses.

## **II. OBJETIVO ESTRATÉGICO**

Prevenir, eliminar y/o reducir potencialmente los efectos negativos originados por el congestionamiento vial presentado en el campus central de la universidad de Sonora, mediante la implementación de un sistema sustentable de rutas de transporte colectivo.

### **III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un análisis literario del estado del arte con relación al fenómeno de congestionamiento vial y a la aplicación de sistemas de transporte colectivo sustentables en instituciones universitarias alrededor del mundo.
- Caracterizar la distribución geográfica de los estudiantes universitarios en la zona urbana de Hermosillo.
- Diseñar un sistema estratégico de rutas de transporte colectivo para estudiantes universitarios en la ciudad de Hermosillo, Sonora.
- Proponer un sistema de rutas de transporte que mejore potencialmente la movilidad de los estudiantes y la vialidad en la Unidad Regional Centro (URC) de la Universidad de Sonora.

## IV. ANALISIS LITERARIO

### 4.1 El congestionamiento vial, causas y consecuencias

El congestionamiento vial (CV) es un fenómeno urbano que se origina cuando la infraestructura de las vialidades no logra satisfacer la demanda de espacio suficiente en calles y avenidas para permitir la circulación de vehículos automotores, en forma confortable, segura y eficiente (Toulmi et al., 2019). La Organización de las Naciones Unidas (ONU), a través de la agenda 2030 aborda en su objetivo 11.3 los problemas asociados al CV (UN, 2015); un fenómeno que exhibe múltiples aristas y que constituye un reto que en muchas ocasiones puede resultar sumamente difícil y costoso resolver debido al dinamismo y complejidad del tráfico vehicular (Shaik et al., 2019). Por tanto, es imprescindible la elaboración de estrategias integrales para remediar esta problemática (Kim et al., 2016).

Este fenómeno urbano genera impactos negativos que se manifiestan en el medio ambiente y en la salud humana; además de efectos adversos de carácter social (Vencataya et al., 2018). En el ámbito ambiental, al tráfico vehicular se le atribuye la generación del 30% de las emisiones de materia contaminante presente en el aire (Kim et al. 2017). Entre las emisiones que predominan en áreas urbanas son el dióxido de carbono, el metano, los óxidos de nitrógeno y el material particulado, las cuales fueron definidas en el protocolo de Kioto como las principales causantes del efecto invernadero (Jia, Yan y Shen, 2018). Aunado a lo anterior, el material particulado, constituido por partículas de diámetro aerodinámico de 2,5 µm y 10 µm, es originado en gran medida por el desgaste de frenos, embragues y polvo de asfalto (Gómez et al., 2019); por lo que se considera entre los contaminantes atmosféricos más peligrosos para la salud humana, debido a su capacidad de penetrar en el torrente sanguíneo (Salud Geoambiental, 2014).

En ese sentido, el CV vial tiene fuertes impactos en la salud pública, en parte, debido a la relación que existe entre la cantidad de vehículos y la calidad del aire de una determinada metrópoli, así como a las enfermedades respiratorias que se derivan de ello (Del Sordo, 2011). La contaminación del aire afecta a nueve de cada diez habitantes en áreas urbanas, dándose el caso de que la exposición a ella la convierten en un factor de riesgo en la adquisición de malestares físicos como irritación ocular, dolores de cabeza y náuseas (Kar, Zhang y Pinkerton, 2019); además, se asocia con enfermedades crónicas en el sistema

nervioso, el sistema digestivo y el sistema urinario, agravando afecciones como el asma y el cáncer de pulmón (Jiang, Mei y Feng, 2016).

En otro contexto, los efectos sociales del CV se manifiestan en elevadas tasas de accidentes viales y una decreciente productividad económica debido, en parte, al uso de sistemas ineficientes de transporte (Vencataya et al., 2018). Los choques vehiculares y el estrés ocasionado en los viajes de traslado son considerados también como afectaciones directas del CV. Estas afectaciones reducen la capacidad de las vialidades, incrementando los tiempos de traslado, y como consecuencia aumentando el costo económico de cada viaje realizado (Zeng et al., 2019). Un ejemplo particular de ello es la Ciudad de México, en donde se registró un aumento del 90% en accidentes de tránsito en los últimos 40 años, causando miles de muertes y generando costos exorbitantes anualmente (Zamudio y Alvarado, 2014).

Una de las causas más relevantes en la generación del CV es la ineficiente planeación urbana (Pi et al., 2019). El desarrollo de una planeación urbana evoluciona en gran medida de acuerdo con ciertas tendencias de la población, relacionadas principalmente con la ubicación de las zonas de trabajo y habitacionales de los habitantes de una determinada localidad y con el medio de transporte utilizado entre ellas (Wang y Connors, 2018). Esta proyección usualmente representa un reto para los gobiernos, ya que el óptimo funcionamiento de un sistema urbano requiere considerar aspectos ecológicos y promover el crecimiento económico y la equidad social (Abushgra y Bach, 2013).

Cabe mencionar que el uso exorbitante del automóvil particular es una de las principales causas que generan el CV (Pi et al., 2019), tendencia que en algunos casos obedece a una expansión urbana descontrolada y al uso ineficiente de espacios (Giduthuri, 2015). En este sentido, el uso del automóvil particular ha sido objeto de estudio, con la finalidad de identificar los principales motivos de su preferencia en comparación con otros medios de transporte; estos estudios han determinado dos motivos en particular, a saber, la distancia entre el origen y el destino del viaje y la calidad del servicio de transporte público (Cattaneo et al., 2018).



## 4.2 Movilidad Urbana Sustentable, Deficiencias y Retos

En la búsqueda del desarrollo sustentable (DS), se ha optado por la implementación de sistemas de movilidad urbanos que brinden oportunidades y medios para proveer servicios básicos de traslado a la población, de manera equitativa y eficiente; evitando excesivos efectos contaminantes y elevados costos (Lizárraga, 2006). De esta manera, la movilidad urbana sustentable confronta los problemas derivados del CV., empleando no solo la tecnología para la mejora de los medios y sistemas de movilidad, sino también a través del diseño inteligente de redes de transporte, que atienda las necesidades de todos los usuarios (Anastasiadou y Vougias, 2019). En este sentido, se toma como referencia la pirámide de movilidad (figura 1), una estructura con cinco divisiones que establece los principales medios de transporte y su nivel de prioridad, considerando las ventajas y beneficios que ofrecen no solo a los usuarios, sino también en términos de montos de inversión pública para el desarrollo de la infraestructura necesaria. (Movilidad Metropolitana, 2018).

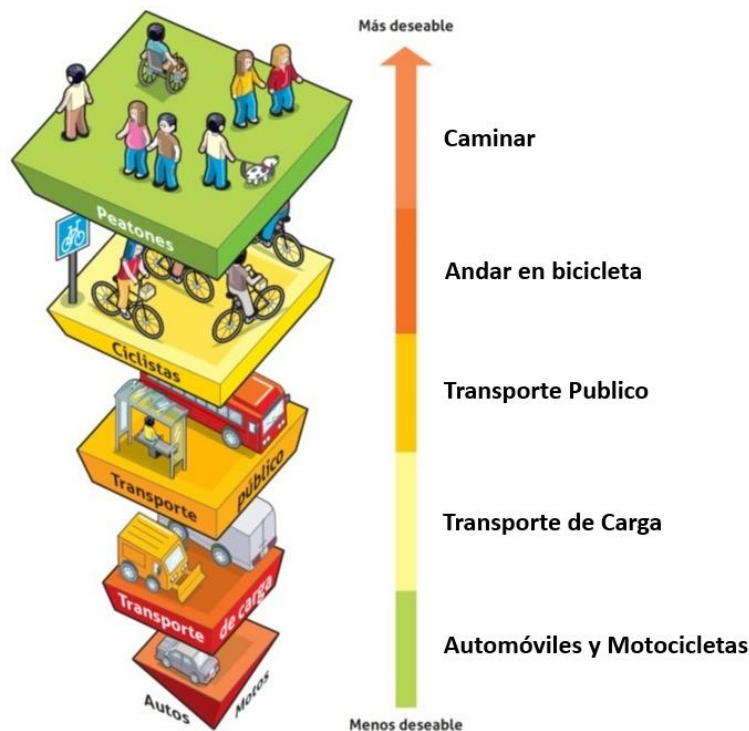


Figura 1. Pirámide de la jerarquía de la movilidad

Fuente: ITDP, 2013

La jerarquización de los distintos medios de transporte mediante el uso de la pirámide de movilidad promueve la equidad y el beneficio social, a la vez que contempla los impactos ambientales de cada uno de ellos (Gobierno de la ciudad de México, 2019). De este modo, se establece que el peatón es quien tiene una mayor prioridad en el uso de las vialidades, seguido por el ciclista, el transporte colectivo, el transporte de carga y finalmente por el automóvil particular (ITDP, 2013). Cabe recalcar, que el automóvil privado se sitúa al final en términos de prioridad entre los usuarios de las vialidades, situación que comúnmente no coincide con las condiciones de infraestructura de una gran cantidad de ciudades alrededor del mundo (Universidad de Monterrey, 2019). Esto puede adjudicarse al particular enfoque en el desarrollo de infraestructura vial en las ciudades actuales, donde las vialidades se planifican y construyen tomando en cuenta en primera instancia las necesidades del automovilista y situando al peatón y al ciclista en un segundo plano (Narváez, 2017).

En virtud de lo anterior, la infraestructura y/o equipamiento urbano deben contar con una planeación adecuada que permita y favorezca el uso armónico y funcional de las vialidades; particularmente facilitando su utilización a peatones y ciclistas, que resultan ser los más vulnerables en términos de seguridad (Giduthuri, 2015) Además, la buena calidad y operatividad de este tipo de equipamiento fomenta el desarrollo urbano de las localidades e impulsa el crecimiento económico (Hoorweg y Bhada, 2012). El desarrollo inadecuado de infraestructura urbana regularmente se refleja en ciudades con poca accesibilidad y escasamente incluyentes; además de una predisposición de dependencia al automóvil particular; razones por las que se considera necesario una adecuada implementación del equipamiento urbano en una ciudad (Yang et al., 2017)

Asimismo, en la búsqueda de una movilidad urbana sustentable, el transporte colectivo se posiciona como una de las modalidades de mayor idoneidad, al considerar elementos tales como el espacio, tiempo, recursos y energía requeridos para el traslado de personas (CONUEE, 2016). En esta modalidad de transporte es esencial considerar los tres componentes que forman parte del sistema, los cuales son:

#### ❖ Vehículo

Este elemento del sistema colectivo representa a la unidad de transporte, la cual posee una serie de características que determinan su capacidad (número máximo de personas) y el tipo de combustible a utilizar.

❖ **Infraestructura**

Este componente se conforma por una serie de estaciones de pasajeros, ya sea para abordar o bajar de la unidad de transporte, espacios destinados a su mantenimiento, sistemas para el control de los vehículos, así como señalización para su operación.

❖ **Red de transporte**

La red de transporte corresponde al sistema de rutas que cubren las unidades de transporte que brindan el servicio (UNCUYO, 2017).

Sin embargo, es importante destacar que particularmente en países en desarrollo los sistemas de transporte colectivo suelen presentar deficiencias relacionadas con la fiabilidad, el confort y la seguridad del servicio; así como con fallas en el diseño de la red de transporte, impidiendo una correcta conectividad y cobertura del servicio proporcionado a la población (Narváez, 2017), lo cual constituye un detonante para la generación del CV en las vialidades (Jans, 2017). Por lo tanto, se han definido ciertos factores que es importante considerar durante la implementación de sistemas de transporte colectivo, y que van desde la percepción del usuario acerca del servicio a características operativas de la unidad de transporte (Lauren et al., 2013), tal como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1. Atributos de calidad del transporte publico**

	<b>Caracterisitas</b>	<b>Definicion</b>
<b>Características Físicas</b>	Exactitud del servicio	Nivel de exactitud entre el horario estimado de ruta en relacion al servicio real
	Frecuencia	Frecuencia de la operación del servicio en un tiempo dado
	Velocidad	El tiempo necesario de viaje entre puntos especificos
	Accesibilidad	Grado de disponibilidad del transporte publico a distintos sectores de la comunidad
	Precio	Costo monetario del servicio de transporte
	Informacion	Cantidad de informacion disponible acerca de rutas y/o conexiones entre rutas
	Dificultad para cambio de rutas	Grado de dificultad en conecciones de ruta, incluyendo tiempos de espera
	Condicion del vehiculo	Condiciones fisicas y mecanicas de los vehiculos de transporte
<b>Características Percividas</b>	Comodidad	Nivel de comodidad, en relacion a acceso a asientos, nivel de sonido, manejo del operador
	Seguridad	Nivel de seguridad percivida por el pasajero, en relacion a accidentes viales y seguridad personal
	Conveniencia	Grado de facilidad y sencillez en la utilizacion del servicio
	Condiciones de las paradas y estaciones	Belleza y atractivo fisico de los vehiculos de transporte

*Fuente: (Lauren et al., 2013)*

### **4.3 Sistemas de Transporte Sustentable en Universidades**

En la transición hacia estilos de vida sustentable, las universidades desarrollan un papel sumamente importante, desempeñándose como líderes y agentes de cambio al encaminar sus esfuerzos en dirección al logro del DS (Paradowska, 2019). Por ello, las universidades buscan promover, fomentar y aplicar ideas innovadoras que estén en conformidad con los objetivos actuales establecidos internacionalmente (Cebrián, 2019). En este contexto se busca implementar la sustentabilidad en instituciones educativas a través de mejoras continuas, la colaboración multidisciplinaria de profesionistas y la asignación de recursos económicos. Ante este panorama, es factible la integración de estrategias y proyectos de movilidad sustentable (MS) en las escuelas como un importante elemento de mejora de los campus universitarios (Velázquez et al., 2006).

Estudios realizados en la última década han demostrado que los estudiantes universitarios se caracterizan por ser más flexibles respecto a otros usuarios de las vialidades sobre el tipo de transporte que utilizan (Whalen et al., 2013), manifestando que, de contar con la infraestructura adecuada, estarían dispuestos a renunciar al uso del automóvil particular y se inclinarían por modos de traslado más sustentable; por ejemplo, el transporte público o la bicicleta (Lauren et al., 2013). Los impactos que este cambio de actitud tendría en las localidades sería sumamente positivo, toda vez que los estudiantes representan un porcentaje significativo de la población (Cattaneo et al. 2018).

Es importante señalar que en distintas universidades alrededor del mundo ya se han implementado sistemas de MS para atender las necesidades de los estudiantes (Hanover Research, 2014), entre los que destacan: los sistemas de transporte colectivo universitarios y los programas para el uso compartido de bicicletas (Associates, 2018). Asimismo, en los últimos años ha evolucionado una nueva modalidad de transporte entre los estudiantes llamada vehículos compartidos o carpooling, una aplicación que opera mediante el celular, la cual consiste en establecer una ruta de origen-destino y en base a ella asignar un vehículo particular con trayecto similar (Bruglieri et al., 2011).

Entre los sistemas de transporte colectivo universitarios con mayor grado de consolidación en el marco internacional destacan:

- *El sistema de autobuses de la Universidad de Indiana, Estados Unidos*

El programa de movilidad de la Universidad de Indiana implementa siete rutas con autobuses exclusivos de la institución (figura 2) que proporcionan servicio a la comunidad universitaria. El adecuado funcionamiento de este sistema se basa en la programación de los horarios de las diferentes rutas, las cuales operan de acuerdo con los horarios del alumnado; una variable clave para el correcto funcionamiento de este sistema (University of Indiana, 2020).

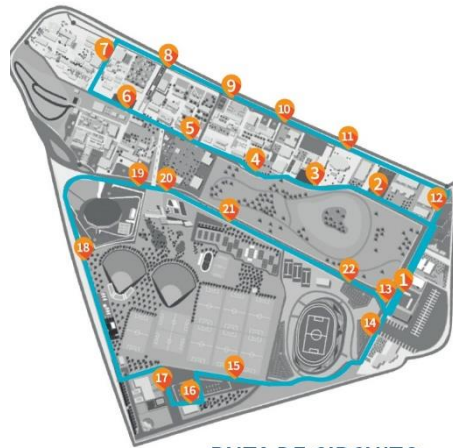


**Figura 2 Autobús del Campus, Universidad de Indiana**

Fuente: University of Indiana, 2020

- ❖ *El Sistema de Transporte de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), México*

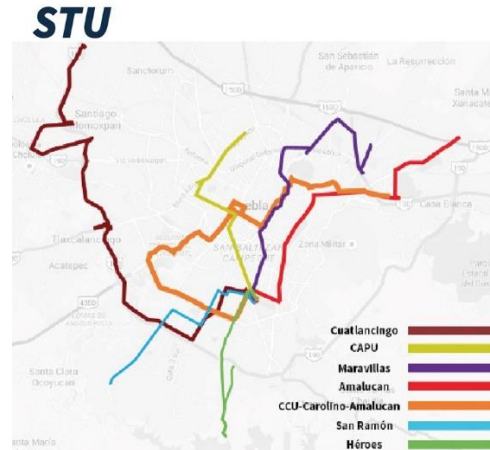
Como parte de su proyecto de intermodalidad, la BUAP ofrece distintos medios de transporte a estudiantes, maestros y personal administrativo; lo cual facilita la movilidad de la comunidad universitaria proporcionando servicios de traslado tanto dentro como fuera de la institución (BUAP, 2016). Para la movilidad interna, la BUAP ofrece Lobobus, un sistema de autobuses que posee 1 sola ruta y 22 paradas distribuidas dentro del campus universitario, como se muestra en la figura 3; lo que favorece y agiliza las actividades de sus usuarios (Reyes et al., 2015).



**RUTA DE CIRCUITO LOBOBUS**

**Figura 3. Ruta de Circuito Lobobus**

Fuente: BUAP, 2016



**Figura 4. Rutas del Sistema de Transporte BUAP**

Fuente: BUAP, 2016

Asimismo, la BUAP posee un sistema de transporte urbano que constituye una opción económica, segura y exclusiva para sus estudiantes, maestros y trabajadores y que cubre distintos sectores de la ciudad. Su sistema cuenta con 50 autobuses, 10 rutas de transporte y una terminal en el interior de la universidad; como se ilustra en la Figura 4 (BUAP, 2016).

❖ *El sistema de autobuses de la Universidad de Ohio (CATS), Estados Unidos*

CATS es un sistema proporcionado por el departamento de transporte del campus universitario, cuyo servicio cuenta con tres rutas que benefician a estudiantes, profesores y empleados, y en el que cada ruta está conformada por cuatro paradas o estaciones de abordaje de pasajeros. Este sistema cubre áreas internas y externas del campus en distintos horarios del día y está equipado con el software DoubleMap que permite a los usuarios dar seguimiento a los autobuses en tiempo real (University of Ohio, 2020).

❖ *El servicio de autobuses de La Universidad de Bloomsburg, Pensilvania, Estados Unidos*

La universidad de Bloomsburg, a través del departamento de infraestructura, opera un sistema de 6 rutas de transporte que facilitan la movilidad de sus estudiantes hacia distintas zonas de la ciudad. El sistema cuenta con 10 choferes de tiempo completo y 5 choferes de medio tiempo, satisfaciendo las necesidades de movilidad de la comunidad estudiantil. Este servicio cuenta con la particularidad de trasladar estudiantes hacia zonas departamentales, donde se alojan un gran número de estudiantes (Bloomsburg University, 2020).

❖ *El Potrobus de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM)*

Potrobus proporciona un servicio de traslado exclusivo, seguro y de calidad a estudiantes de la UAEM. Este sistema es conformado por 8 rutas que recorren distintos sectores de la ciudad y que cuentan con estaciones distribuidas alrededor de los campos universitarios (Mexiquense, 2020).



**Figura 5. Unidad de Transporte Potrobus**

Fuente: UAEM, 2020

La operación del servicio Potrobus es llevada a cabo bajo una compañía de transporte externo, la cual ofrece autobuses equipados con tecnología de vigilancia y geolocalización. Además, cada unidad de transporte cuenta con 37 asientos, video de vigilancia y sistema de validación para choferes y usuarios, tal como se ilustra en la figura 5. El principal requisito para utilizar este servicio es ser alumno regular vigente, asimismo, se requiere descargar la aplicación telefónica “Potrobus”, por medio de la cual se gestiona su operación (UAEM, 2020).

De modo similar, la movilidad estudiantil ha tenido importantes mejoras con la implementación de sistemas de bicicletas compartidas, una modalidad que ostenta múltiples beneficios; razón por la cual se suma a las modalidades de transporte con mejores proyecciones de crecimiento en campus universitarios (Kellstedt et al., 2019). Un ejemplo sobresaliente de ellos es el aplicado en la universidad de Worcester Inglaterra, mismo que se describe a continuación (Worcester University, 2020).

❖ *Sistema Woo Bike Share implementado por la Universidad de Worcester, Inglaterra*

Como una alternativa para la movilidad de la comunidad universitaria, Woo Bike Shore posee un sistema de 50 bicicletas tradicionales y 50 bicicletas eléctricas, mismas que pueden ser utilizadas dentro y fuera del campus. Este programa cuenta con distintas estaciones, las cuales permiten a los usuarios ya sea entregar o disponer de una bicicleta, al momento de cubrir la cuota correspondiente (figura 6) (Worcester University, 2020).



**Figura 6. Usuarios del sistema Woo Bike Share**

Fuente: Worcester, 2020



## V. METODOLOGIA

### 5.1. Tipo de estudio

La investigación en curso tendrá un enfoque cuantitativo; toda vez que el estudio a desarrollarse y la ubicación geográfica del alumnado universitario utilizando mapas elaborados mediante el software ArcGIS tendrán como base la cantidad de alumnos inscritos en la Universidad de Sonora y la distribución geográfica por vecindarios de sus domicilios particulares.

### 5.2 Diseño metodológico

El diseño metodológico de la investigación ha sido establecido como *caso de estudio*.

La metodología del proyecto se basa en el Modelo de Maximización de la Entropía, aplicado a la planificación del transporte; un método que permite el diseño y la optimización de sistemas de transporte, y en el cual se considera fundamental conocer los puntos de origen y destino de los usuarios a transportar. En este sentido, se ha tomado como referencia el caso de estudio de la Universidad de Chipre, que utiliza este modelo de transporte para el desarrollo de su sistema de rutas de transporte institucional (Christodoulou, 2010).

Tanto en la Universidad de Chipre como en la Universidad de Sonora se registra un uso excesivo del automóvil particular y una ocupación vehicular (personas por vehículo) relativamente baja (Dirección de Infraestructura Unison, 2017), además de que los estudiantes cuentan con un servicio de transporte público ineficiente en los sectores en que residen. Es digno de mención el hecho de que el diseño del sistema de transporte colectivo institucional de la Universidad de Chipre utiliza la distribución geográfica de los alumnos en base a las colonias en donde habitan. Esto facilita la adaptación de este modelo para su implementación en la Universidad de Sonora, debido a la disponibilidad de ese tipo información con relación a los alumnos de esta institución.

Conjuntamente, se ha considerado el enfoque de diseño de rutas heurístico desarrollado por Bowerman, 1995. Una particularidad importante de este método es que permite realizar mejoras al sistema de rutas una vez que se encuentra en operación; lo cual beneficia a los

usuarios al permitir implementar periódicamente cambios que eleven la eficiencia del sistema, conforme se detectan fallas en el planteamiento original.

De esta manera, las etapas correspondientes para el cumplimiento de los alcances fijados en este proyecto se enumeran a continuación.

**FASE I.** Se solicitará información al Departamento de Servicios Escolares de la Universidad de Sonora sobre el nombre de las colonias de la ciudad de Hermosillo en las que residen los alumnos inscritos en el semestre 2019-2. Tal información se procesará para poder cuantificar el número total de alumnos que habita en cada colonia de la localidad.

**FASE II.** Se realizará la captura de datos correspondientes a cada colonia utilizando el software ArcGIS. Esto permitirá la elaboración de un mapa que muestra la ubicación y extensión de las diferentes colonias de la ciudad de Hermosillo.

**FASE III.** El mapa se vinculará a un mapa de calor, el cual será elaborado para mostrar el número de estudiantes que habita en cada colonia de la ciudad, con el fin de detectar las áreas en las que reside una mayor cantidad de alumnos.

**FASE IV.** En base a la información plasmada en el mapa de calor, se diseñará un sistema de rutas de transporte colectivo universitario, que da prioridad a aquellos sectores con mayor población estudiantil y que satisfaga a la mayor cantidad de alumnos posible, tomando como referencia el enfoque de diseño implementado por Bowerman (1995).

**FASE V.** Se ubicarán una serie de estaciones de abordaje al autobús en cada una de las rutas; tomando como referencia el enfoque de optimización implementado por Bowerman, R., Hall, B. y Calamai, P. (1995), y además, considerando la distancia máxima que se debe recorrer caminando para llegar a las estaciones conforme a las recomendaciones emitidas por el instituto del transporte y desarrollo de políticas (ITDP, 2017).

**FASE VI.** Se propondrá el horario más adecuado para la operación del sistema de movilidad universitario, de acuerdo con el estudio de movilidad realizado por la dirección de infraestructura de la Universidad de Sonora en el año 2017.

### **5.3 Alcance**

El alcance de la investigación se circunscribirá a determinar un conjunto de rutas de transporte colectivo en la ciudad de Hermosillo, con el fin de proporcionar una opción sustentable y segura, enfocada a la movilidad de estudiantes universitarios.

La cantidad óptima de rutas que se propondrá en este proyecto de investigación dependerá de la distribución geográfica de las zonas y/o colonias con mayor cantidad de estudiantes; información que se plasmará en un mapa y se analizará mediante el software ArcGIS. Posteriormente, en base al análisis realizado y a la disponibilidad de vialidades apropiadas para la operación de autobuses de pasajeros, se propondrá el diseño del sistema de transporte universitario, especificando la cantidad y el trayecto de las rutas, así como los horarios de operación más convenientes.

### **5.4 Pregunta de investigación**

1. ¿Cuáles son las opciones de rutas más convenientes para diseñar un sistema de transporte colectivo sustentable para estudiantes universitarios?

### **5.5 Objeto de estudio**

El objeto de estudio son las necesidades de movilidad funcional y las alternativas de transporte con las que puede contar la comunidad estudiantil de la Universidad de Sonora, Unidad Regional Centro (URC).

### **5.6 Selección del lugar del objeto de estudio**

Debido a la naturaleza del problema esta investigación se ha delimitado geográficamente para su desarrollo a la ciudad de Hermosillo, Sonora; en la que se definirán las rutas más convenientes para el transporte colectivo de estudiantes.

La investigación se desarrollará en un periodo de tiempo que comprende del mes de octubre del 2019 a junio del 2020.

### **5.7 Selección y tamaño de muestra**

La selección de los datos utilizados se realizará en base a la problemática de congestión vial que se suscita al interior del campus central de la Universidad de Sonora. En tal sentido, esta selección se realizó de acuerdo con los siguientes criterios.

1. Disponibilidad de información relevante.
2. La cantidad de alumnos inscritos en la Universidad de Sonora.
3. Las características de la propuesta del sistema de transporte sustentable.
4. Identificación en la literatura de casos de estudio similares.

En virtud de lo anterior, se solicitará el apoyo al Departamento de Servicios Escolares de la Universidad de Sonora, quienes proporcionaron la información de los alumnos inscritos en el periodo escolar 2019-2. De esta forma, los datos utilizados están conformados por la población total de alumnos universitarios inscritos en el período señalado y por los nombres de sus respectivas colonias de residencia.

### **5.8 Instrumentos de recolección y manejo de datos**

Una vez obtenidos los datos referentes a las residencias de los alumnos universitarios, se utilizará el software Microsoft Excel, que permitió ordenar y cuantificar los 18 585 datos recibidos. Mediante este software se determinó la cantidad exacta de alumnos de la Universidad de Sonora que habitan en cada colonia de la ciudad de Hermosillo, Sonora.

Posteriormente se utilizará el software ArcGIS para la georreferenciación de 2 elementos fundamentales de la investigación; el mapa de calor elaborado en base a la cantidad de alumnos por colonia y las rutas del sistema de transporte público existente proyectadas en un mapa de la localidad.

Finalmente, se utilizará la herramienta Google Maps para la proyección de las distintas rutas del sistema y sus respectivas y de las estaciones de abordaje; la cual permitirá estimar tiempos de viajes en tiempo real y visualizar con mayor facilidad el diseño de las rutas.

## VI. RESULTADOS

### 6.1 Distribución geográfica de los estudiantes en la ciudad de Hermosillo, Sonora

Entender el contexto de las características geográficas de la localidad donde se desarrolla este proyecto es fundamental para lograr una adecuada interpretación de los resultados parciales y finales obtenidos a lo largo de esta investigación. En relación a ello, se encontró que la ciudad de Hermosillo, Sonora, cuenta con un total de 653 colonias registradas en el censo de población 2010, realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas Geográficas y de Información (INEGI) (Hermosillo, 2010). No obstante, en la recopilación de datos llevada a cabo en esta investigación se identificaron 677 colonias, en las cuales residen un total de 18 580 estudiantes inscritos en el ciclo escolar 2019-2 de la Universidad de Sonora. Lo anterior supone una amplia distribución de los estudiantes en el área metropolitana de la ciudad de Hermosillo, y un aumento en el número de colonias registradas en el municipio en la última década.

Al proyectar la distribución geográfica de los estudiantes en un mapa de la localidad, se detectó que, a pesar de haber un gran número de colonias en donde residen alumnos universitarios, solo un pequeño porcentaje de ellas los alojan en cantidades significativas. Un ejemplo de lo anterior es el hecho de que solo el 8.2% del total de colonias alberga a la mitad del total de estudiantes inscritos, lo que equivale a 9 292 individuos (tabla 2). Debido a esto, se determinó que algunas zonas de la localidad fueran excluidas del diseño del sistema de rutas; permitiendo priorizar aquellos sectores en los que habita un mayor número de alumnos universitarios, y maximizar así la calidad y los beneficios del servicio de transporte a proponer.

**Tabla 2. Colonias con mayor población de estudiantes universitarios**

ALTARES	LEY 57	ALVARO OBREGON	MISION DEL SOL	LAS QUINTAS
SAHUARO	SAN BENITO	VALLE DEL MARQUEZ	VILLAS DEL MEDITERRANEO	BUGAMBILIAS
LAS LOMAS	LOS JARDINES	VILLA DE SERIS	LAS GRANJAS	VILLA HERMOSA
VILLA BONITA	JESUS GARCIA	DUNAS	PASEO SAN ANGEL	LOS OLIVOS
BALDERRAMA	VILLA SONORA	INSURGENTES	5 DE MAYO	MIGUEL HIDALGO
PALO VERDE	PUEBLITOS	LOMAS DE MADRID	LOS ENCINOS	EMILIANO ZAPATA
NUEVO HERMOSILLO	MONTECARLO	LOS ANGELES	MODELO	PEDREGAL DE LA VILLA
OLIVARES	CUAUHTEMOC	LA VERBENA	SONACER	FUENTES DEL MEZQUITAL
SOLIDARIDAD	CENTRO	VILLA COLONIAL	APACHE	HEBERTO CASTILLO
PUERTA REAL	LOPEZ PORTILLO	URBI VILLA DEL REY	JACINTO LOPEZ	CHOYAL
VILLAS DEL REAL	SAN ANGEL	CAMINO REAL	CORCELES	

Fuente: Elaboración Propia, 2020

En base a la información sobre la distribución geográfica de los estudiantes en el casco urbano, se elaboró un mapa de calor mediante la definición de una serie de rangos de población que permiten identificar de forma visual aquellas colonias en las que reside un mayor número de estudiantes; con el fin de detectar eficazmente aquellos sectores prioritarios de la localidad dada relevancia que en ellos reviste la implementación de soluciones relacionadas al transporte colectivo universitario.

Los rangos establecidos fueron determinados por el software ArcGIS, de acuerdo al método de clasificación Jenks, el cual permite agrupar datos y obtener la mejor disposición de valores en diferentes rangos. De esta manera se establecieron 6 rangos que clasifican a las colonias de acuerdo a la cantidad de alumnos que habitan en ellas. Cada rango es representado por un color específico, lo cual permite una visualización de los datos, tal como se muestra en la figura 6.1.

El primer rango engloba a todas las colonias en las que residen entre 0 y 12 estudiantes, y al que no se le asignó color debido a que la cantidad de estudiantes que moran en ellas es inapreciable. Asimismo, el rango mostrado en color azul comprende aquellas colonias en las que viven de 13 a 35 alumnos; en las que aparecen en color verde habitan de 36 a 69 alumnos; en color amarillo se engloban vecindarios con una cantidad de alumnos que fluctúa entre 72 y 116; las colonias en color naranja son aquellas con una población estudiantil que oscila entre los 131 y 233 individuos; y finalmente el rango mostrado en color rojo corresponde a las colonias con la mayor presencia de estudiantes; la cual se sitúa entre los 245 y 593 universitarios (tabla 3).

En forma paralela, la figura 7 muestra las diferentes zonas de la ciudad establecidas por el Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo (IMPLAN). Esta información se integró al mapa de calor con el único fin de incorporar un elemento que ofrezca un marco de referencia relativo a la ubicación geográfica de aquellas colonias en las que se implementen rutas de transporte. Conforme a lo anterior, la ciudad se ha dividido territorialmente en los siguientes sectores: zona norte, noroeste, noreste, sur, sureste, suroeste, centro y Hermosillo norte.

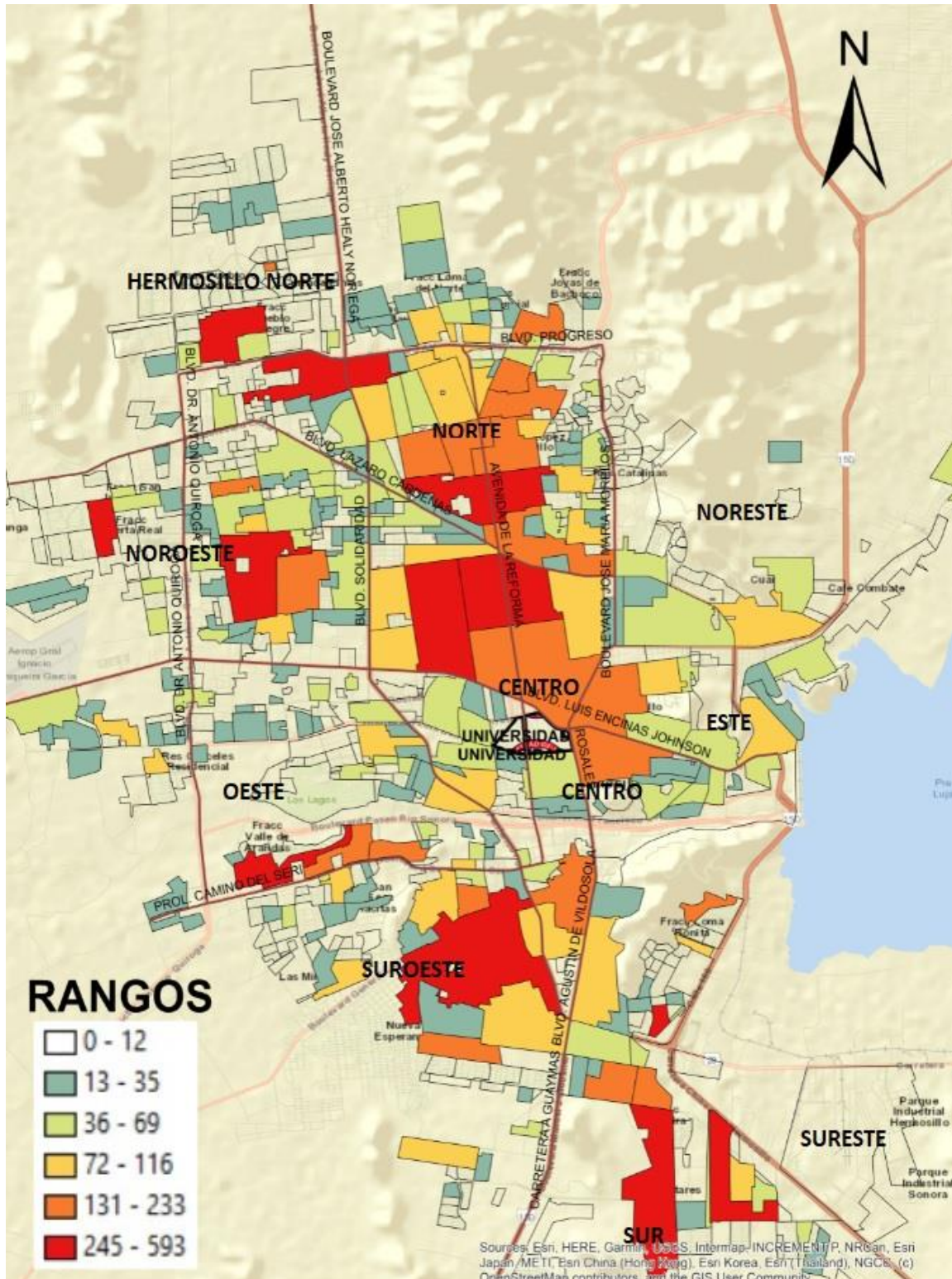


Figura 7. Mapa de calor de Hermosillo que muestra la distribución geográfica de alumnos  
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3. Muestra de algunas colonias de Hermosillo indicando el rango en el que se ubican en términos de su población estudiantil.**

RANGO 0-12 ESTUDIANTES		RANGO 13-35 ESTUDIANTES		RANGO 36-69 ESTUDIANTES	
Colonia	Cantidad de Estudiantes	Colonia	Cantidad de Estudiantes	Colonia	Cantidad de Estudiantes
VILLA MERLOT	12	VILLAS DEL CORTIJO	35	VILLAS DE CORTES	68
CASA GRANDE	11	ARBOLEDAS	34	PERISUR	65
CERRADA DE LA CAPILLA	11	MISION DEL REAL	34	SAHUARO FINAL	65
CONDESA	11	SAN LUIS REY	34	Y GRIEGA	55
VISTA REAL	10	PUERTA DEL REY	28	LOS NARANJOS	53
AMPLIACION LADRILLERAS	9	SAHUARO INDECO	28	LAS PLACITAS	51
CAPERUZO	9	SAN FRANCISCO	28	REVOLUCION	50
FUENTE DE PIEDRA	9	ALCALA	27	SANTA ISABEL	49
ISSSTE	9	SIERRA BLANCA	14	VIÑEDOS	47
VILLAS DE ROMANZA	2	TIERRA NUEVA	14	VILLA SATELITE	45
ALBORADA	1	VILLA LOURDES	14	ARANDANOS	38
ALCATRAZ	1	AKIWIKI	13	COUNTRY CLUB	36
RANGO 72-116 ESTUDIANTES		RANGO 131-233 ESTUDIANTES		RANGO 245-593 ESTUDIANTES	
Colonia	Cantidad de Estudiantes	Colonia	Cantidad de Estudiantes	Colonia	Cantidad de Estudiantes
VILLA COLONIAL	116	SAN BENITO	229	ALTARES	593
URBI VILLA DEL REY	115	LOS JARDINES	197	SAHUARO	346
CAMINO REAL	113	JESUS GARCIA	194	LAS LOMAS	344
LAS GRANJAS	110	VILLA SONORA	188	VILLA BONITA	325
PASEO SAN ANGEL	109	PUEBLITOS	184	BALDERRAMA	312
JACINTO LOPEZ	100	MONTECARLO	183	PALO VERDE	295
LAS QUINTAS	96	CUAUHTEMOC	175	NUEVO HERMOSILLO	284
LOS OLIVOS	90	CENTRO	167	OLIVARES	273
FUENTES DEL MEZQUITAL	84	LOPEZ PORTILLO	167	SOLIDARIDAD	268
HEBERTO CASTILLO	84	SAN ANGEL	167	PUERTA REAL	263
CHOYAL	83	ALVARO OBREGON	165	VILLAS DEL REAL	254
SAN LUIS	72	VALLE DEL MARQUEZ	159	LEY 57	245

Fuente: Elaboración Propia

En primera instancia se identificó que en las zonas este, noreste y sureste no habita un número significativo de estudiantes universitarios; en ellas se hallan las colonias Coloso, El Mariachi, Ranchito, Revolución, Café Combate, Parque Industrial, Loma Linda, Pitic, La Jolla, Sabinos, etc. Por otra parte, se identificaron sectores que destacan debido a que en ellos se encuentra una colonia en particular en la que reside una cantidad notable de estudiantes; tal es el caso de la colonia Villa Bonita en la zona oeste y la colonia Palo Verde en la zona suroeste.

Finalmente, las zonas que revisten mayor importancia ya que en ellas se encuentran dos o más colonias con un elevado número de estudiantes, son el sector noroeste donde se ubican las colonias Puerta Real, Sahuaro y Dunas; el sector sur, con las colonias Altares, Nuevo Hermosillo y Cuauhtémoc; el sector norte con las colonias Ley 57, López Portillo, Los Ángeles y Los Jardines; y el sector Hermosillo Norte, donde se localizan las colonias Villa del Real, Solidaridad y Pueblitos.



## 6.2 Diseño de las rutas de transporte

Durante la etapa de planeación de un sistema de transporte colectivo urbano (STCU), es necesario definir cuáles serán los principales objetivos que el servicio de transporte deberá satisfacer, para de esta manera, lograr que su operación resulte ser conveniente, tanto para el usuario como para los operarios del servicio.

Es importante señalar que si bien los objetivos de un sistema de transporte colectivo estudiantil (STCE) comparten ciertas similitudes con los del transporte público urbano, el primero está acotado por una serie de factores particulares que deben tomarse en cuenta para estar en posibilidades de brindar un servicio que resulte atractivo para el estudiante; y que son explicados en detalle en la siguiente sección. En este sentido, los objetivos y factores del sistema proporcionan y delimitan los alcances que el servicio de transporte deberá satisfacer.

Entre los objetivos más relevantes pueden enumerarse la minimización de aspectos como el tiempo total de recorrido del autobús, la cantidad de rutas y la longitud de sus trayectos, el número de autobuses, el tiempo de viaje de los estudiantes, el tamaño de la flota de autobuses y los costos de operación; además de buscar reducir la distancia que el estudiante deberá recorrer caminando para trasladarse de su domicilio a la parada de autobús más cercana y viceversa. En este contexto, existen diversos enfoques de diseño como el de factibilidad matemática, programación lineal o el heurístico, que focalizan el diseño en un objetivo en particular, como es mostrado en la tabla 4.

**Tabla 4. Objetivos y enfoques utilizados en la definición de un diseño de rutas de transporte colectivo**

Autor(es)	Enfoque de Diseño	Objetivo Principal del Enfoque
Newton and Thomas (1969)	Heurístico	Minimizar el tiempo total de viaje del autobús
Bennett and Gazis (1972)	Factibilidad Matemática	Minimizar número de autobuses y el tiempo de viaje de los estudiantes
Verderber (1974)	Programación Lineal	Minimizar el tiempo total de viaje del autobús
Chapleau et. Al. (1985)	Heurístico	Minimizar el número de rutas
Schittekat et. al. (2013)	Programación Matemática	Minimizar la longitud total del recorrido de viaje del autobús
Sales (2018)	Algoritmos Meméticos	Minimizar la flota de autobuses y los costos asociados

Fuente: Sales et al. 2018

No obstante, el hecho de contar con diferentes objetivos imposibilita la estructuración de un diseño que resulte ser único y óptimo; sino que por el contrario varias alternativas pueden ser consideradas. Al esquema que busca alcanzar un compromiso entre los objetivos relacionados con el usuario y aquellos pertinentes al organismo operador del servicio, mediante la generación de un conjunto de posibles soluciones, se le conoce como soluciones no dominadas. Esta coyuntura se presenta al no existir una solución que mejore un objetivo en particular sin afectar el resto.

En el presente estudio para el diseño de rutas de transporte se ha optado por implementar un enfoque heurístico, toda vez que esta orientación permite realizar modificaciones al proyecto una vez que el sistema se encuentra en funcionamiento. Cabe mencionar que esto resulta particularmente conveniente debido a que es posible mejorar de manera constante las características de la propuesta original y alcanzar una mayor eficiencia operativa en la medida en que el servicio de transporte es proporcionado.

### **6.2.1 Factores considerados en el diseño de las rutas**

Un componente de gran importancia en el desarrollo del proyecto fue la identificación de diversos factores que surgen del contexto actual en el que se plantea el sistema de transporte. Estos factores atañen a los puntos de vista de los estudiantes universitarios en relación con la movilidad urbana; a las condiciones y características de la red vial en la ciudad de Hermosillo y a la cantidad de información de la que se dispone para la realización del proyecto (tabla 5).

**Tabla 5. Factores de diseño de un sistema de autobuses para estudiantes universitarios**

<b>No.</b>	<b>Factores Considerados</b>
1	Puntos de vista de los estudiantes sobre el transporte
2	Características y condiciones de la red vial en Hermosillo
3	Información disponible para el desarrollo del proyecto

Fuente: Elaboración propia

El primer factor se relaciona con diferentes aspectos vinculados a los puntos de vista y apreciaciones de los estudiantes de la Universidad de Sonora sobre el medio de transporte que utilizan para trasladarse de sus hogares al campus universitario y viceversa. De acuerdo a los resultados obtenidos en una investigación realizada en el año 2014, el 42.3% de los estudiantes utilizan automóvil como principal medio de transporte para desplazarse hacia y desde la Universidad, y el 51% utiliza el transporte público (Moreno, 2014). Asimismo, se concluyó que el tiempo figura como el factor al que los estudiantes otorgan mayor importancia; siendo además la principal razón que los impulsa a la utilización del automóvil particular en lugar del transporte público.

Por otro lado, a través del referido estudio, fue posible conocer el sentir de los estudiantes en relación al grado de importancia que asignan a lo que ellos perciben como múltiples deficiencias en la calidad del servicio que presta el sistema de transporte público; sobresaliendo la inseguridad, su poca confiabilidad en términos de horarios y los tiempos de recorrido como las más relevantes. En este contexto, resulta digno de mención el hecho de que las opiniones expresadas por los estudiantes en referencia a la movilidad vial han sido consideradas en el diseño del STCE; con el propósito de proponer un sistema de rutas acorde a las necesidades del usuario.

Otro de los factores importantes es el vinculado a las características físico-espaciales que influyen y dan forma a la movilidad en la zona urbana de Hermosillo; como lo es su red vial. La principal motivación para el análisis de este punto se basa en la necesidad de cotejar las características actuales de las distintas vialidades de la localidad con las posibles rutas del sistema de transporte universitario y obtener de esta forma, un panorama más amplio sobre las rutas que deben ser consideradas para su inclusión dentro del recorrido de las unidades y las que deben ser descartadas. Esto condujo a que, durante el diseño de las rutas, de manera preferente, se tomaran en cuenta aquellas rutas que, por sus dimensiones y por ofrecer la posibilidad de transitar a través de ellas a velocidades apropiadas (tabla 6), ofrecen ventajas para la operación del sistema. Además, se identificaron las que han sido pavimentadas y las que son de terracería.

**Tabla 6. Características de los tipos de vialidades**

TIPO DE VIALIDAD	No. DE CARRILES POR SENTIDO	ANCHO DE CARRIL	LIMTES DE VELOCIDAD EN HERMOSILLO	FUNCION
PRIMARIA	4	3.50 metros	60 km/h	Comunicar a la ciudad desde sus extremos, conectar los principales corredores urbanos
COLECTORA	3	3.50 metros	60 km/h y 45 km/hr	Conectar vialidades primarias, enlazar con otras vialidades primarias, colectoras y subcolectoras
SUBCOLECTORA	2	3.50 metros	45 km/h	Enlazar con vialidades colectoras, reforzar la movilidad no motorizada, tanto peatonal como ciclista
ACCESO A COLONIA	2	3.50 metros	45 km/hr y 30 km/h	Comunicar calles locales y subcolectoras, así como el resto de la red vial
LOCAL	1	3.50 metros	30 km/h	Enlazar con otras vialidades locales, de acceso a colonias y subcolectoras

Fuente: SIDUR, 2016

La tercera condicionante alude a la cantidad de información que se encuentra disponible para el desarrollo del proyecto. Como se especificó en la sección concerniente a metodología, el modelo adoptado para el diseño del sistema de rutas de transporte es el de maximización de la entropía. Esta técnica emplea el domicilio exacto de los estudiantes para el diseño de las rutas y la selección de la ubicación de las paradas de transporte. Sin embargo, en este proyecto solo se conoce el nombre de la colonia en la que reside cada uno de los estudiantes inscritos en la universidad; lo que genera cierto grado de incertidumbre en las soluciones obtenidas.

Las tres condicionantes planteadas anteriormente han sido consideradas con el fin de complementar y enriquecer la metodología adoptada para el desarrollo del presente proyecto. El enfoque y el modelo de transporte seleccionados para el diseño del STCE se basan en información técnica y hallazgos obtenidos en otros casos de estudio.

Por otra parte, el análisis de los factores previamente descritos responde a la búsqueda de soluciones a las necesidades actuales de los estudiantes o pasajeros, en función de la disponibilidad de recursos en términos de equipo e infraestructura con los que cuenta el campus central de la Universidad de Sonora, y de las características de la red de vialidades de la ciudad de Hermosillo; todo ello con el propósito de elaborar un diseño de rutas basado en datos técnicos que considere la distribución geográfica estudiantil, las necesidades de movilidad de los alumnos y las vialidades que utilizará el servicio de transporte.

### **6.3 Propuesta del Sistema de Transporte Colectivo Institucional para el Campus Central de la Universidad de Sonora**

Como se ha definido por Mauttone (2003), la planificación de un sistema de transporte colectivo implica determinar distintos elementos que deben definir a detalle las características del sistema y que tienen un marcado impacto en la calidad y la operación del servicio. En este sentido, los elementos que serán abordados, puntualizados y definidos como parte integral del sistema de transporte institucional son:

- Diseño de las rutas y ubicación de las paradas de autobús
- Horario de operación del servicio
- Características de la flota de autobuses
- Costos estimados de operación

#### **6.3.1 Pasos para el diseño de las rutas y la ubicación de estaciones de abordaje de autobús**

Como ha sido mencionado en secciones previas, el problema de optimización de rutas se basa en el logro de distintos objetivos. Asimismo, se ha tomado como referencia el enfoque heurístico implementado por Bowerman (1995), quien puntualiza que los dos aspectos esenciales que deben definirse para llegar a una solución cercana a la óptima en el proceso de diseño del sistema de transporte son los siguientes:

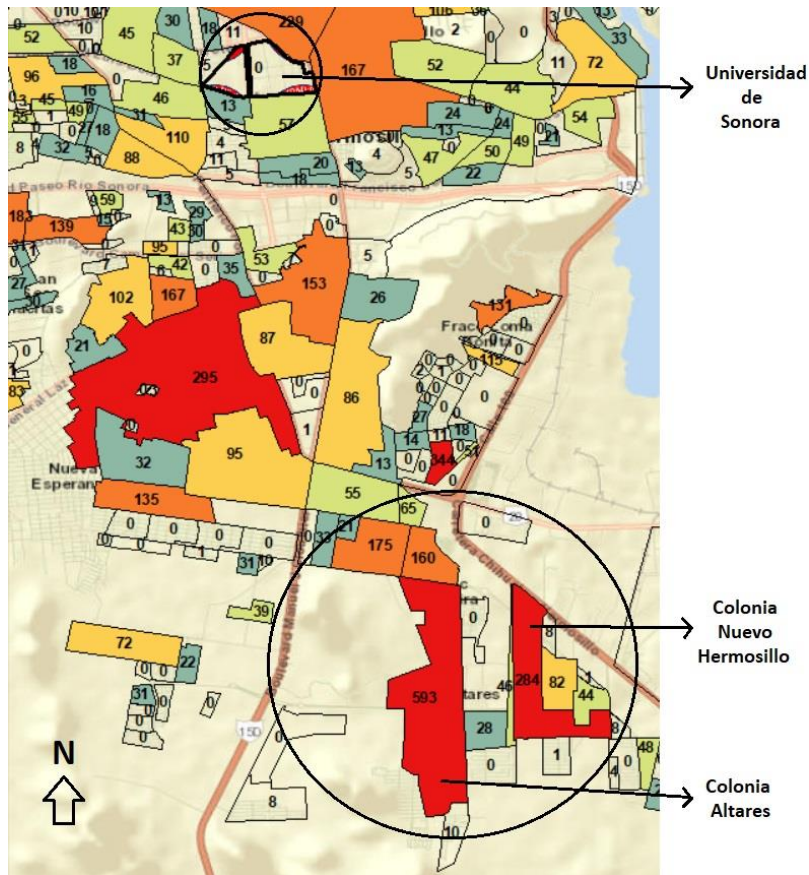
1. El diseño de las trayectorias de las rutas que visitan las paradas de autobús
2. La determinación de la ubicación de las paradas de autobús escolar

Generalmente, una vez diseñadas las rutas, los elementos restantes se definen con mayor facilidad; sin embargo, en la literatura se identifican dos estrategias que difieren en el orden en el cual debe realizarse el proceso. Dadas las características y condicionantes (discutidas en la sección anterior) en las que se enmarca la propuesta de diseño del STCE para la Universidad de Sonora, se ha determinado que la opción más factible para lograr la optimización de rutas consiste en iniciar con la definición de las mismas; realizando un trazado que responda a la distribución de estudiantes en las distintas colonias de la ciudad, y que a la vez considere las vialidades de fácil acceso que permitan reducir los tiempos de recorrido al final del trayecto de la ruta.

Seguidamente, es necesario determinar la ubicación de las paradas de los autobuses considerando la distancia máxima recomendada que debe recorrer a pie un estudiante para acceder a una terminal del sistema de autobuses escolares, la cual es de 500 metros (ITDP, 2017). En este sentido, se estableció una serie de estaciones de abordaje de autobuses para cada ruta, definiendo distancias adecuadas entre terminales contiguas; permitiendo al usuario un acceso conveniente al servicio de transporte, sin afectar la movilidad del autobús y su tiempo de recorrido.

A manera de ejemplificación del proceso de diseño, se presenta a continuación una explicación detallada del diseño de la ruta 1 – Altares; mostrándose la serie de pasos llevados a cabo para el diseño de los recorridos y la selección de la ubicación de las estaciones de ascenso y descenso a las unidades.

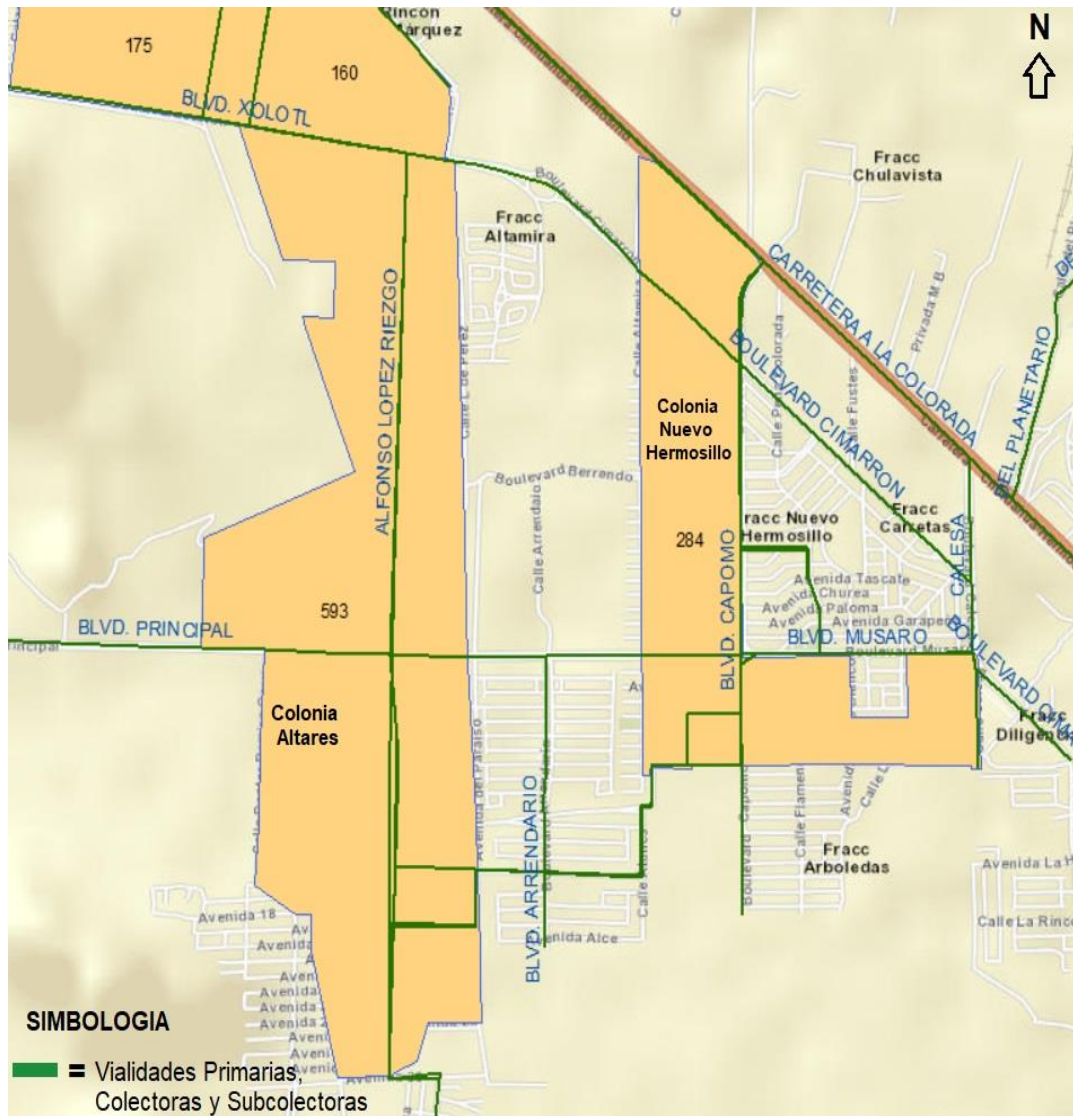
En la figura 8, se muestra un mapa de calor que permite identificar las áreas con una población elevada de estudiantes. Al observar el mapa se puede apreciar que el sector sur alberga a una cantidad de 877 alumnos únicamente en las colonias Altares y Nuevo Hermosillo, sin considerar las colonias aledañas; lo que lo convierte una opción prioritaria para la operación del servicio de transporte.



**Figura 8. Identificación de las zonas de origen y de destino para el diseño de una ruta de transporte**  
Fuente: Elaboración propia

De esta forma, se muestran dos demarcaciones señaladas por círculos; una que corresponde a la zona de origen y en la que se localizan las colonias Altares y Nuevo Hermosillo, y otra que indica el sector de destino, representado por la Universidad de Sonora. Ambas zonas deberán ser conectadas mediante un servicio de transporte colectivo, con el fin de asegurar el traslado de estudiantes de una manera rápida y de fácil acceso para sus usuarios.

Una vez identificada la zona de origen, se procede a realizar una evaluación que permita seleccionar el punto de partida más conveniente y establecer el inicio de la ruta. Asimismo, en conformidad con la restricción 2 sobre los tipos de vialidades (sección anterior), en el mapa se muestran únicamente las vialidades principales (primarias, colectoras y subcolectoras), con el fin de considerar en la propuesta de ruta aquellas avenidas que sean aptas para brindar a los autobuses una movilidad segura y eficiente (figura 9).



**Figura 9. Zona de origen de ruta y ubicación de vialidades principales**  
 Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, al cotejar de manera manual y a través del software ArcGIS las distintas características y factores mencionados previamente, se procede a trazar estratégicamente una propuesta de ruta que se adapte a la fisonomía del territorio que se desea cubrir con el servicio de transporte. Como se muestra en la figura 10, el inicio de la ruta se establece en uno de los confines de la zona; lo que en este caso permite recorrer de manera longitudinal la superficie que corresponde a la colonia Nuevo Hermosillo. Seguidamente, se incorporó un cambio de dirección con la finalidad de proveer el servicio de transporte a la colonia Altares, y manteniendo una orientación de viaje en dirección hacia la zona de destino, es decir, la Universidad de Sonora.



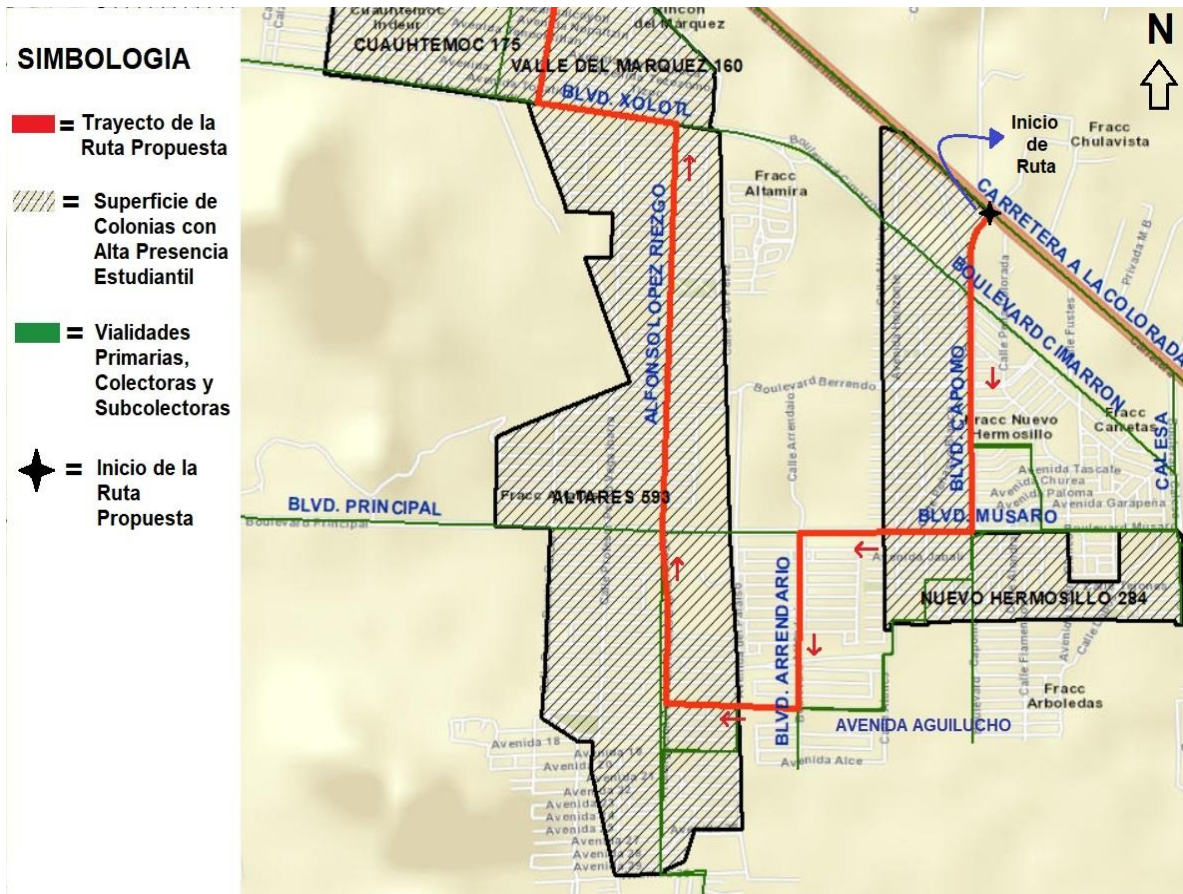
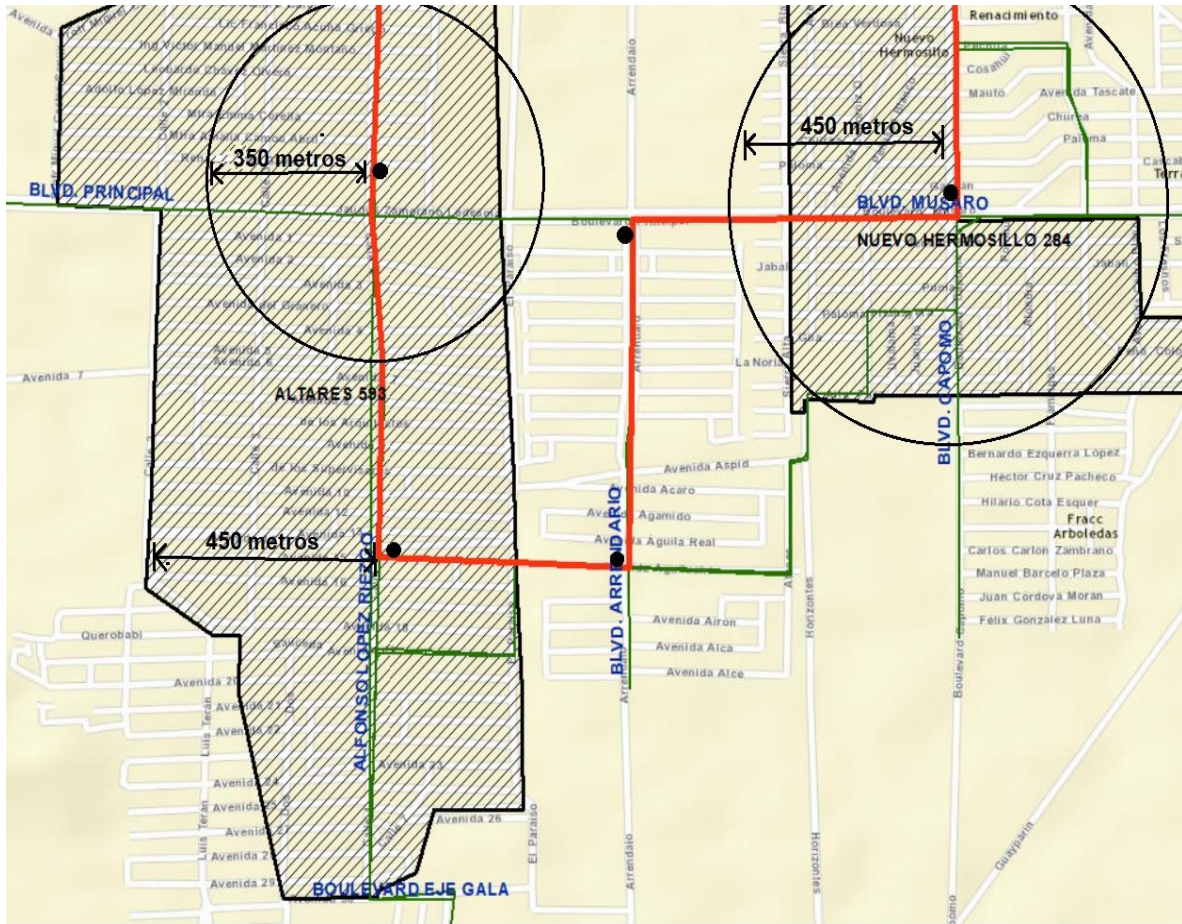


Figura 10. Propuesta de ruta en base a distribución de alumnos y tipos de vialidad  
 Fuente: Elaboración propia

De manera conjunta, durante el trazado de la ruta se busca permanentemente obtener un diseño que cumpla con las especificaciones pertinentes a la selección de la ubicación de las estaciones de abordaje, las cuales deben permitir el acceso a la mayor cantidad posible de estudiantes, sin que se exceda la distancia máxima recomendable que deben transitar caminando para llegar a ellas (figura 11).



**SIMBOLOGIA**

- = Paradas o Estaciones de Autobuses
- = Trayecto de la Ruta Propuesta
- //// = Superficie de Colonias con Gran Cantidad de Estudiantes



**Figura 11 Selección de ubicación de estaciones de abordaje a través de la ruta propuesta**  
 Fuente: Elaboración propia

Una vez definida la ruta, se ubican y definen en el mapa las distintas terminales a lo largo del trayecto. Para ello, se recurre a la utilización de la plataforma Google Maps con el propósito de estimar las distancias que cumplan con los requerimientos previamente establecidos, y de esta forma, definir las paradas convenientemente. Asimismo, a través del portal de internet del servicio de transporte urbano del municipio se identifican las distintas paradas y rutas que operan en la ciudad; evitando proponer paradas que interfieran tanto con el tráfico vehicular de la zona o con la operación del servicio de transporte público urbano.

El procedimiento y la serie de pasos previamente descritos han sido implementados para el diseño de cada una de las rutas propuestas; las cuales se describen en la siguiente sección.

### 6.3.2 Descripción de las rutas y ubicación de las estaciones de abordaje de autobús

El sistema de transporte diseñado consta de 4 rutas que cubren los sectores norte, sur, oeste y noroeste de la ciudad de Hermosillo. Es importante destacar que debido a la información que es posible visualizar en el mapa de calor, se deduce que más de cuatro rutas podrían ser necesarias para cubrir algunos sectores de la localidad a los que se justifica brindar el servicio. Sin embargo, debido a que la presente propuesta constituye un punto de partida y se configura como un proyecto piloto para la resolución del problema de congestión vehicular dentro del campus universitario, se ha decidido proponer inicialmente 4 rutas con las que se pretende satisfacer la demanda de transporte en las cuatro zonas con un mayor número de requerimientos de traslados al campus y, de esta manera, minimizar inicialmente la flota de autobuses necesaria y reducir los costos asociados a la operación del sistema.

En las figuras 12 y 13 se muestran las 4 rutas diseñadas, proyectadas a través del software ArcGIS y la plataforma Google Maps, respectivamente, las cuales se muestran en la tabla 7. Como se puede observar en la figura 7, con ellas se busca satisfacer la necesidad de movilidad de aquellos alumnos que habitan en las zonas con una mayor presencia estudiantil.

Tabla 7. Rutas Propuestas

Ruta	Nombre	Color de Ruta	Sector
1	Altares	Rojo	Sur
2	Monteverde	Azul	Norte
3	Villa Bonita	Amarillo	Oeste
4	Puerta Real	Rosa	Noroeste

Fuente: Elaboración Propia

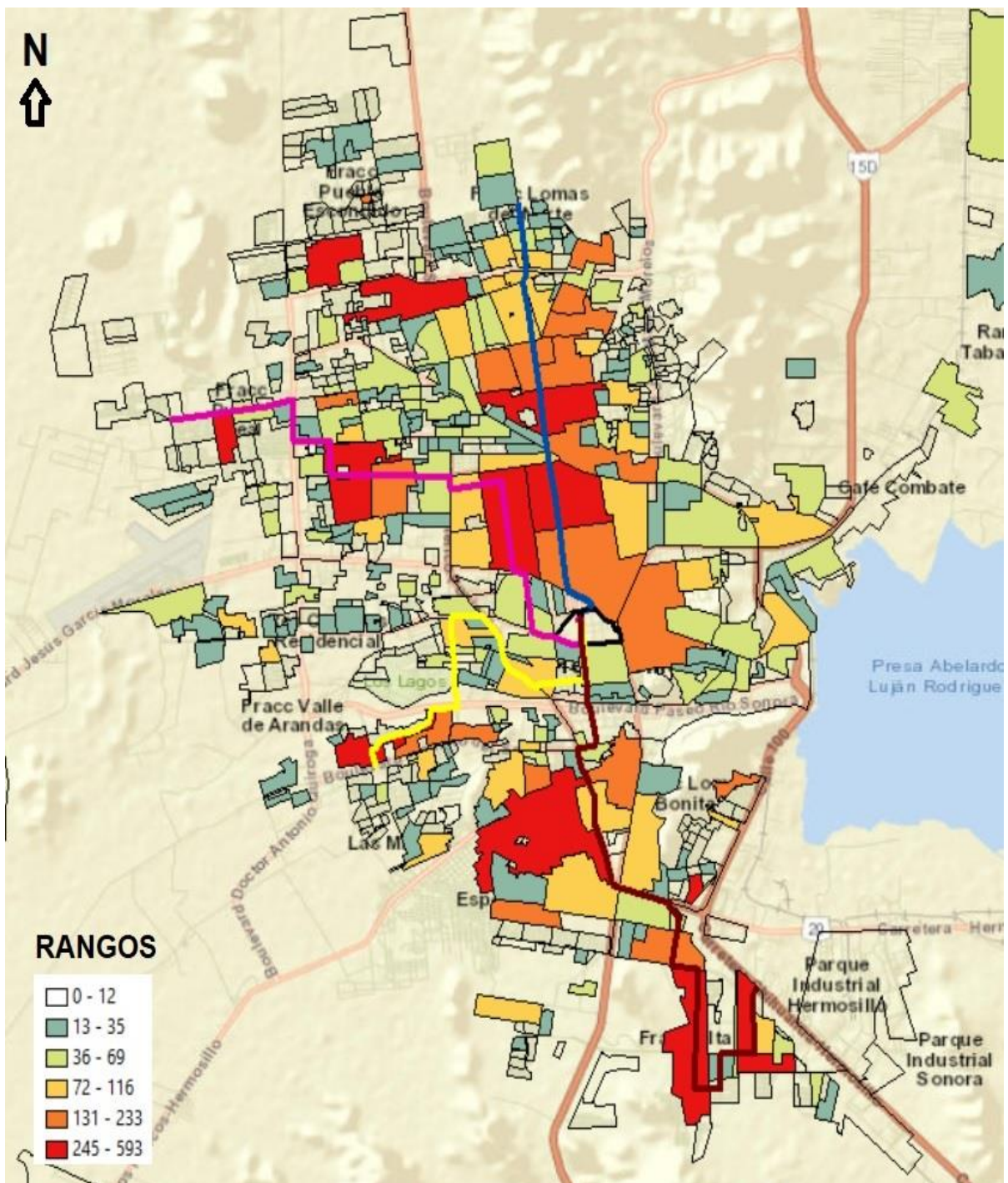
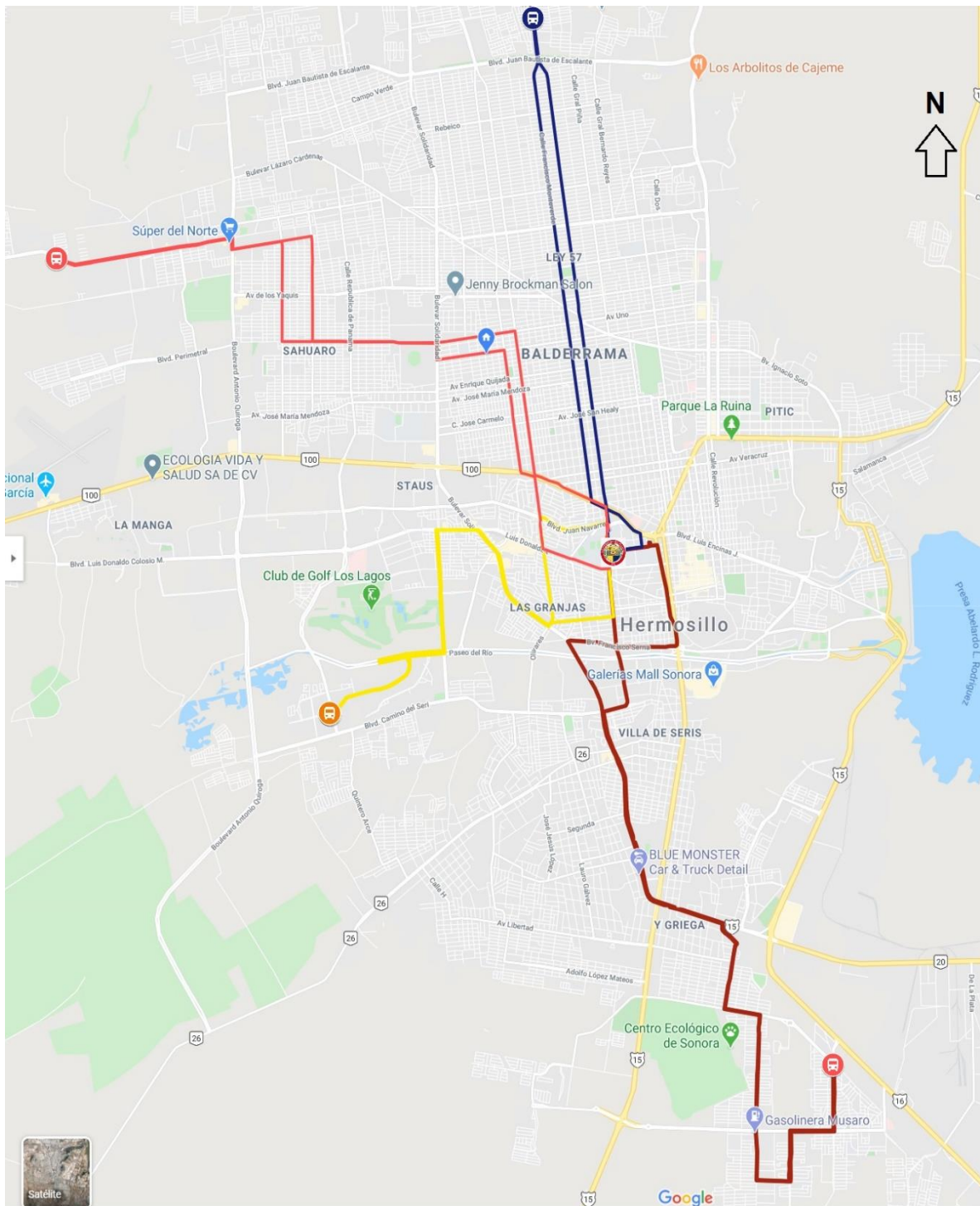


Figura 12. Mapa de Calor y Rutas de Transporte Propuestas (visualización mediante ArcGIS).

Fuente: Elaboración propia



**Figura 13. Recorridos de las Rutas (visualización utilizando Google Maps).**

Fuente: Elaboración propia

Cada ruta posee un origen y un destino definido, y la operación de las rutas se divide en dos fases. La fase 1 corresponde a los segmentos de los recorridos en los cuales se traslada a los estudiantes desde sus colonias de residencia hacia el campus universitario; para lo cual abordan los autobuses en las distintas paradas que se encuentran estratégicamente distribuidas a lo largo de la ruta. La fase 2 corresponde a los trayectos que transportan a los estudiantes del campus universitario a sus colonias de residencia. Por consiguiente, toda vez que el origen y destino de los viajes depende de la fase que se desarrolle; en el caso de los viajes de la fase 1 el origen corresponde a la primera parada de autobús de la ruta, y el destino correspondería al campus universitario; sitio al que finalmente arribarían los pasajeros. Por otro lado, en los viajes de la fase 2, el origen corresponde al campus universitario, y el destino son las paradas de autobús que se localizan en las distintas colonias por las que éste transita y en las que descenderían los estudiantes.

En la figura 6.7 se muestra la trayectoria completa de cada ruta, incluyendo las fases 1 y 2, Si bien se buscó mantener el mismo recorrido en ambas fases; la diferencia existente entre los recorridos en dirección al campus y los de retorno en dirección a los vecindarios en los que viven los estudiantes, resulta ser evidente al observar el mapa. Un ejemplo de ello corresponde a la ruta 2 - Monteverde, ilustrada en color azul. Esta ruta transita por la calle Francisco Monteverde en el recorrido correspondiente a la fase 1; sin embargo, los trayectos de la fase 2 se efectúan por la avenida Reforma, debido a que la circulación en ambas calles es en un solo sentido. De esta forma y como se ilustra en la figura 6.7, al proyectar las rutas se busca mantener un recorrido tan similar como sea posible entre ambas fases; utilizando avenidas que permitan a los estudiantes recorrer distancias razonables desde sus casas a las respectivas paradas de autobuses, tanto para los trayectos en dirección al campus, como en los de retorno a sus residencias.

A continuación, se proporciona una descripción detallada de cada una de las rutas, puntualizando las consideraciones aplicables a los diferentes trayectos y los recorridos efectuados por las 4 rutas propuestas.

## ❖ RUTA 1. ALTARES

Al analizar la distribución geográfica y demográfica de los estudiantes en la ciudad de Hermosillo, se detectó que la zona sur de la localidad cuenta con una cantidad significativa de estudiantes universitarios; destacando las colonias Altares, Nuevo Hermosillo y Cuauhtémoc; con una población de 593, 284 y 175 estudiantes, respectivamente; lo que representa el 5.6% del total de alumnos inscritos en el semestre 2019-2.

En virtud de lo anterior, se determinó iniciar la etapa de diseño de la ruta y la selección de la localización de las terminales de autobuses, conforme a la metodología establecida. Las características de la ruta elaborada (figura 14) se puntualizan en la tabla 8.

**Tabla 1. Características generales de la ruta 1. Altares**

RUTA	DISTANCIA DE LA RUTA EN KM.			COBERTURA Y/O COLONIAS RECORRIDAS POR LA RUTA	NUMERO DE PARADAS		SECTOR DE LA CIUDAD
	VIAJE DE IDA AL CAMPUS - FASE I	VIAJE DE REGRESO A COLONIAS - FASE II	TOTAL		TRAYECTO DE IDA AL CAMPUS - FASE I	TRAYECTO DE REGRESO A COLONIAS - FASE II	
1 Altares	14.1	15.2	29.3	Chula vista, Renacimiento, Nuevo Hermosillo, Mallorca, altares, Valle del Marquez, Cuauhtemoc, Perisur, Y Griega, Akiwiki, Villa Hermosa, Palo Verde, Emiliano Zapata, Las Villas, Proyecto Rio Sonora, El Malecon, La Mosca, Las Palmas, Centenario	12	19	Sector Sur

Fuente: Elaboración propia

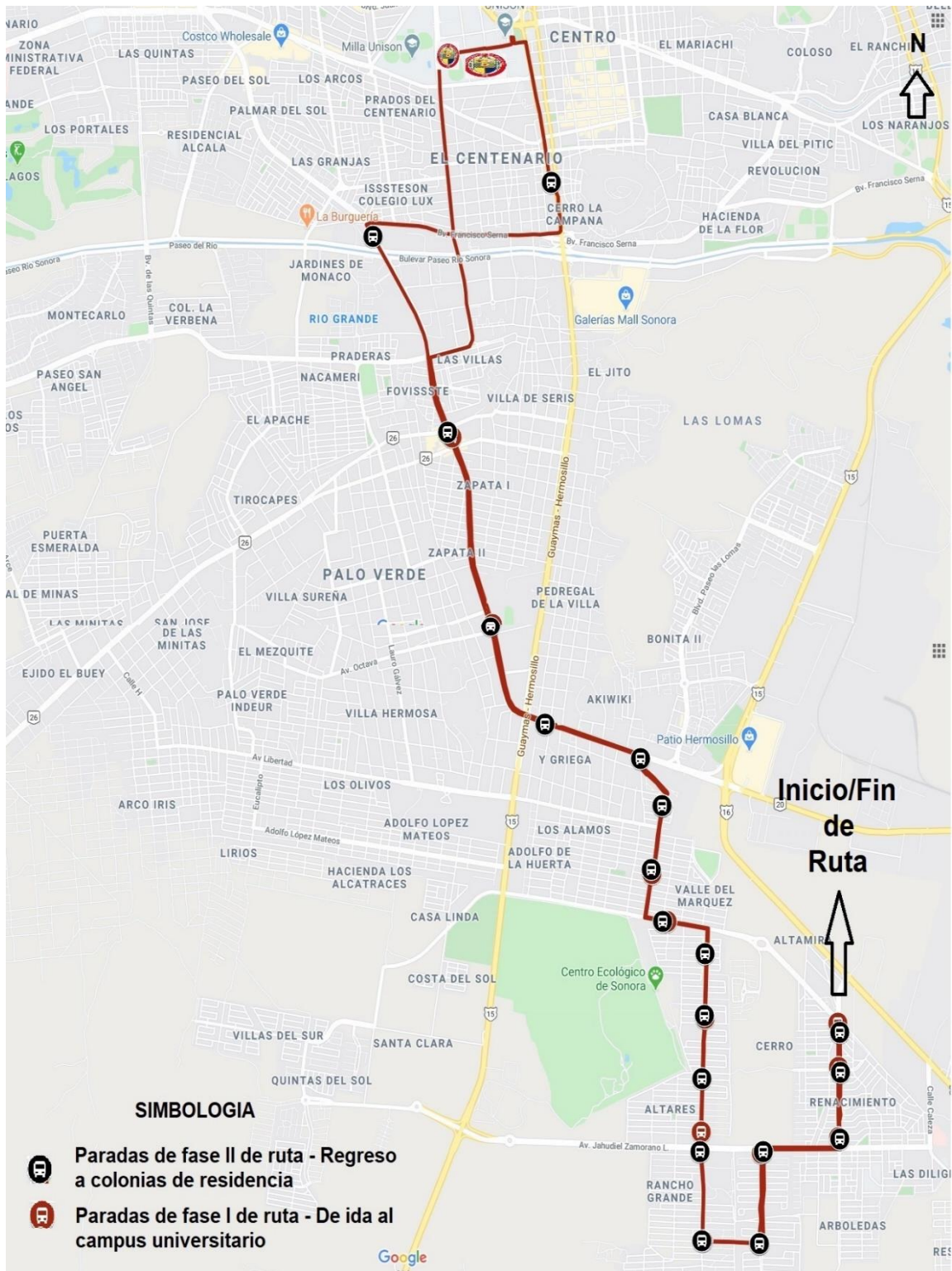


Figura 14. Ruta 1 – Altares (visualización utilizando plataforma Google Maps).

Fuente: Elaboración propia



Además, como un elemento esencial de la ruta en cuestión, se consideraron las distintas vialidades que forman parte de la ruta Altares; tomando en cuenta los factores mencionados en la sección 6.2.1 para su elección. A continuación, se presenta el conjunto de vialidades que integran el recorrido de la ruta Altares; especificando el tipo de vialidad y su longitud, y mostrando en la tabla 9 el recorrido hacia el campus universitario, es decir, la fase I; y en la tabla 10 el que corresponde a la fase II.

**Tabla 9. Vialidades recorridas en fase I de ruta**

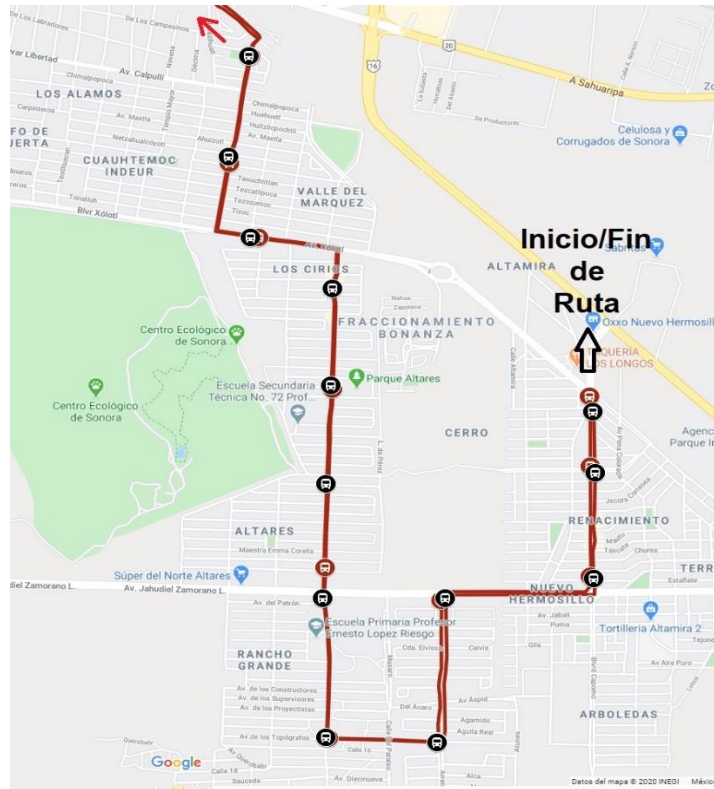
<b>Secuencia Cronologica de las Vialidades Recorridas Por la Ruta</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Tipo de Vialidad</b>
Bld. Capomo	900	Secundaria
Bld. Musaro	619	Colectora
Calle Arrendario	720	Colectora
Calle Quince	480	Colectora/Local
Bld. Alfonso Lopez Riesgo	2,350	Colectora
Av. Xolotl	528	Secundaria
Calle Templo Quetzalcoatl	950	Local
Periferico Sur	1,000	Primaria
Bld. Solidaridad	2,900	Primaria
Calle de la Reforma	2,540	Secundaria

Fuente: Elaboración propia

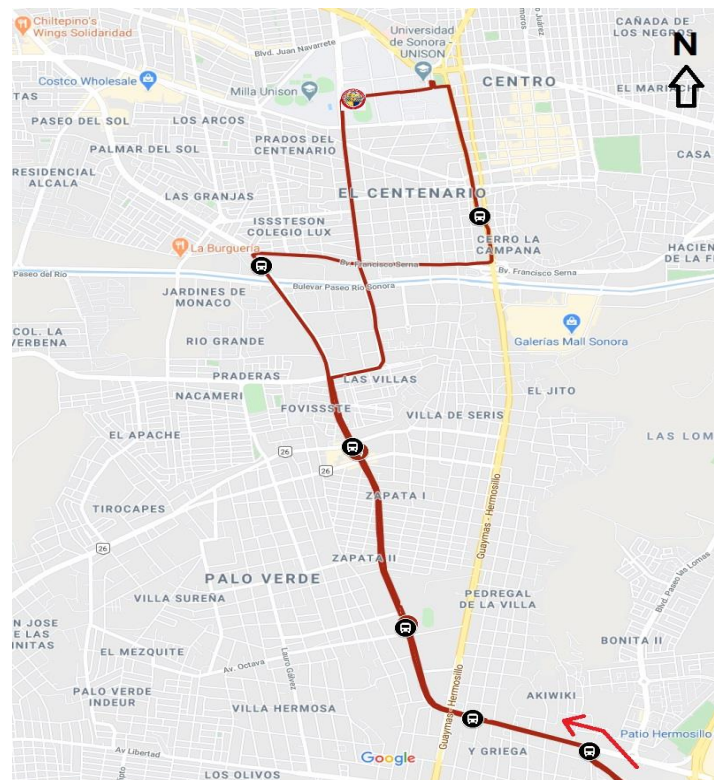
**Tabla 10. Vialidades recorridas en fase II de ruta**

<b>Secuencia Cronologica de las Vialidades Recorridas Por la Ruta</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Tipo de Vialidad</b>
Av. Rosales	1,450	Primaria
Bld. Francisco Serna	1,590	Secundaria
Bld. Solidaridad	4,040	Primaria
Periferico Sur	1,000	Primaria
Calle Templo Quetzalcoatl	950	Local
Av. Xolotl	528	Secundaria
Bld. Alfonso Lopez Riesgo	2,350	Colectora
Calle Quince	480	Colectora/Local
Calle Arrendario	720	Colectora
Bld. Musaro	619	Colectora
Bld. Capomo	900	Secundaria

Fuente: Elaboración propia



**Figura 15. Ruta 1 - Altares, Cercanías 1**  
 Fuente: Elaboración propia



**Figura 16. Ruta 1 - Altares, Cercanías 2**  
 Fuente: Elaboración propia

En las tablas 11 y 12 se indican los tiempos que le toma al autobús arribar a cada una de las terminales de la ruta a partir del punto de inicio, correspondientes a las fases I y II, respectivamente.

**Tabla 11. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 1, Fase 1**

TIEMPO RECORRIDO		
PARADA	REFERENCIA	MINUTO
1	Inicio de ruta - Blvd. Capomo y Blvd. Cimarron	0m 0s
2	Super del Norte/Blvd. Muraro	1m
3	Escuela Primaria Guadalupe Ortega	2m 30s
4	Oxxo Mallorca	4m
5	Esquina Ave. Aguilucho	6m 30s
6	Oxxo Calle Quince	8m
7	Parada de Camion	11m 30s
8	Parque Altares	14m
9	Soriana Altares	16m 30s
10	Refresqueria Rosita	18m
11	Parque Perisur	19m 30s
12	Ley Palo Verde	23m
13	Solidaridad frente a Tianguis Palo Verde	25m 30s
14	Campus (fin)	31m

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 1, Fase 2**

TIEMPO DE RECORRIDO		
PARADA	REFERENCIA	MINUTO
	Campus (inicio)	0m 0s
1	Auditorio Civico del Estado	4m
2	Solidaridad entre Carlos Balderrama y Manuel Ojeda - Tianguis Palo Verde (costado de Restaurante Little Caesar)	10m 30s
3	Solidaridad entre Sexta y Ocatava - Ley Palo Verde - Parada de Autobus Publico	13m
4	Periferico Sur y Plutarco Elias Calles - Circulo Llantero Continental	15m 30s
5	Periferico Sur y Calle Ixtlahuatl - Farmacia Benavides Perisur	17m
6	Parque Perisur	18m 30s
7	Calle Templo Quetzalcoatl y Netzahualcoytl	20m
8	Av. Xolotl y Templo de Mina	21m 30s
9	Calle Profesor Lopez Riesgo entre Oscar Pinto y Lucie Navarro	23m
10	Calle Profesor Lopez Riesgo frente a Parque Altares	24m 30s
11	Calle Profesor Lopez Riesgo esq. Av. Luz Martinon Pujol - Abarrey	26m
12	Calle Alfonso Lopez Riesgo esq. Blvd. Musaro - Oxxo	27m 30s
13	Calle Alfonso Lopez Riesgo esq. con Av. de los Topografos	29m
14	Avenida Aguilucho esq. con Arrendario	30m 30s
15	Blvd Arrendario Esq. Blvd. Musaro	33m
16	Blvd. Capomo Esq. Calle Gavilan	34m 30s
17	Blvd. Capomo Esq. Berrendo - Empeños la Mejor	36m
18	Fin de Ruta. Blvd. Capomo entre Nuevo Pedregal y Cima Espinada - Parada Transporte Publico	37m 30s

Fuente: Elaboración propia

## ❖ RUTA 2 - MONTEVERDE

La ruta 2 del sistema, denominada ruta Monteverde, busca satisfacer la demanda de traslado de los estudiantes en la zona norte de la ciudad (tabla 13). Como se observa en el mapa de calor en la figura 7, el espacio territorial comprendido entre la zona norte y el campus universitario integra un corredor formado por varias colonias en las que reside una cantidad importante de alumnos. Ello resulta evidente al analizar el volumen de población estudiantil en las colonias Ley 57, Balderrama, San Benito y López Portillo, y que corresponde al 5.2% del total de la comunidad estudiantil inscrita en el semestre 2019-2.

Una de las características más relevantes de la ruta 2 es su particular trayectoria (figura 17), ya que transita por todas las colonias ubicadas entre el sector norte y centro de la ciudad al recorrer la avenida Monteverde casi en su totalidad. Esta particularidad permite que el recorrido sea relativamente rápido; consiguiéndose el logro de uno de los objetivos fundamentales de la metodología aplicada y beneficiando a más de 1 800 alumnos que habitan en las zonas aledañas a la trayectoria de la ruta.

**Tabla 13. Características generales de la ruta 2-Monteverde**

RUTA	DISTANCIA EN KM.			COBERTURA DE COLONIAS RECORRIDAS POR LA RUTA	NUMERO DE PARADAS		SECTOR DE ORIGEN
	FASE I (de colonias a campus)	FASE II (de campus a colonias)	TOTAL		TRAYECTO DE IDA AL CAMPUS - FASE 1	TRAYECTO DE REGRESO A COLONIAS - FASE II	
2 Monteverde	9.8	9.9	19.7	Lomas de Reforma, Villas del Palmar, Villa Colonial, Herberto Castillo, Jacinto Lopez, Lomas de Madrid, Ley 57, Jesus Garcia, Isssteson, Luis Encinas, Balderrama, San Benito	12	14	Sector Norte

Fuente: Elaboración propia

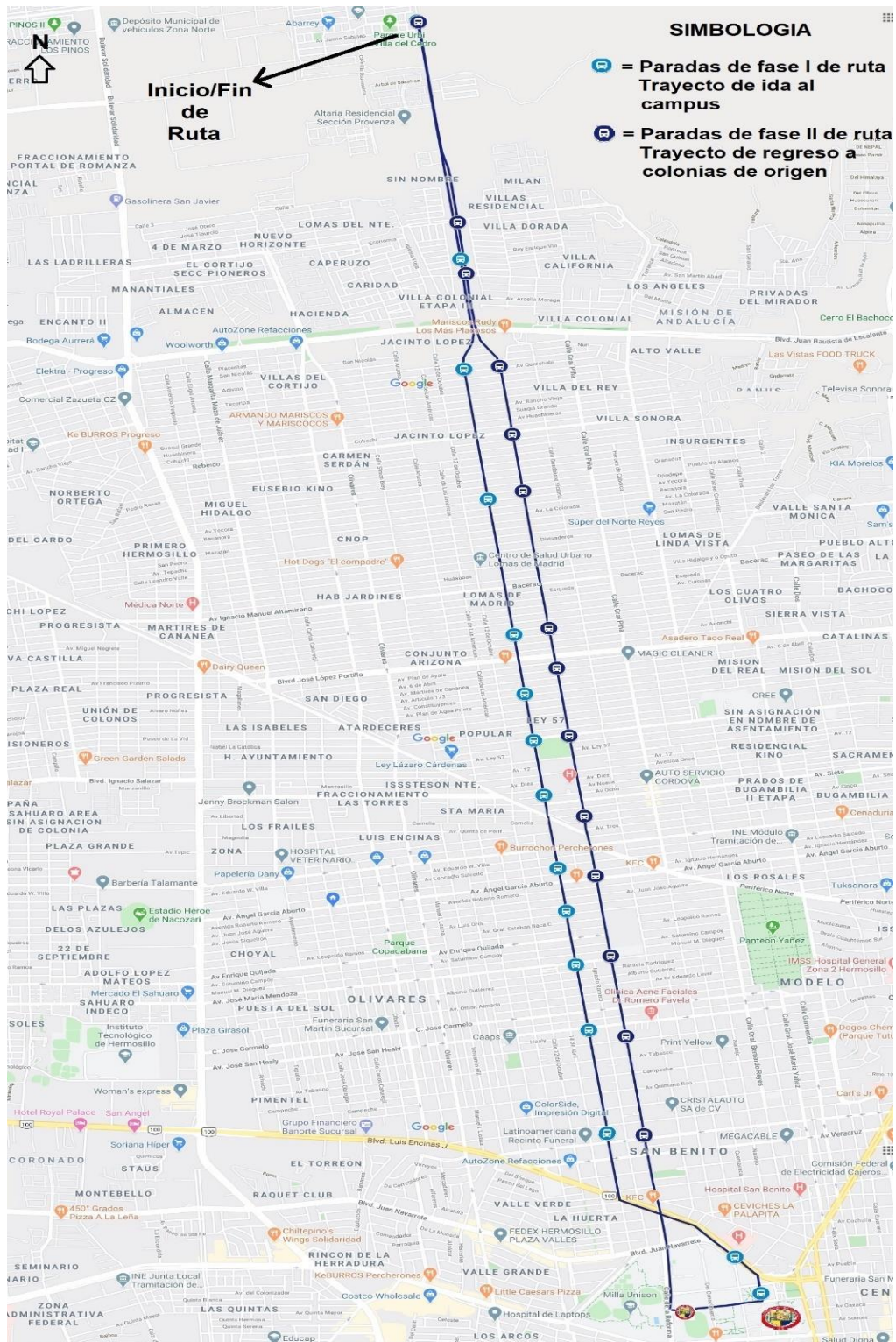


Figura 17. Ruta 2 – Monteverde (vista desde Google Maps)

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, las vialidades que conforman la trayectoria de cada fase de la ruta en cuestión se enumeran en las tablas 14 y 15, en tanto que los tiempos de recorrido se señalan en las tablas 6.15 y 6.16.

**Tabla 14. Vialidades recorridas en fase I de ruta**

Secuencia Cronologica de las Vialidades Recorridas Por la Ruta	Longitud (m)	Tipo de Vialidad
Jose Maria Escrivá de Balaguer	2,230	Secundaria
Calle Francisco Monteverde	6,340	Secundaria
Blvd. Luis Encinas	940	Secundaria

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15. Vialidades recorridas en fase I de ruta**

Secuencia Cronologica de las Vialidades Recorridas Por la Ruta	Longitud (m)	Tipo de Vialidad
Calle de la Reforma	7,160	Secundaria
Blvd. Josemaria Escrivá de Balaguer	2,230	Secundaria

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 16. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 2, Fase 1**

TIEMPO RECORRIDO		
PARADA	REFERENCIA	MINUTO
1	Inicio de ruta. Blvd. Paseo del Cedro y Blvd. Jose Maria Escrivá	0m 0s
2	Blvd. Jose Maria Escrivá, Plancha Express	3m
3	Blvd. Jose Maria Escrivá, Llantera el Patrón	5m 30s
4	Calle Monteverde y Avenida Yecora	7m
5	Calle Monteverde, Iglesia Nuestra Señora de Guadalupe	9m 30s
6	Monteverde y Calle Artículo Tercero	11m
7	Calle Monteverde, Unidad Deportiva Ley 57	12m 30s
8	Calle Monteverde, Hospital HIES	14m
9	Calle Monteverde y Calle Leocaldo Salcedo	15m 30s
10	Calle Monteverde y Avenida Luis Orci	17m
11	Calle Monteverde y Avenida Jose Maria Mendoza/Frente a Foto Color Facil	18m 30s
12	Calle Monteverde y Avenida Jose S. Healy/Restaurant Xi Wei	20m
13	Monteverde entre Aguascalientes y Nayarit	21m 30s
14	Blvd. Luis Encinas frente a Hospital General	25m
15	Campus (Fin)	26m

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 2, Fase 2**

<b>TIEMPO RECORRIDO</b>		
<b>PARADA</b>	<b>REFERENCIA</b>	<b>MINUTO</b>
	Campus (Inicio)	0m 0s
1	Reforma entre Nayarit y Aguascalientes	2m
2	Reforma entre Michoacan y Av. Jose Healy	3m 30s
3	Reforma y Jose Maria Mendoza - Escuela Secundaria No. 4	5m
4	Reforma y Garcia Aburto	6m 30s
5	Reforma y Av. Cinco	8m
6	Reforma y Ley Federal del Trabajo - Unidad Deportiva Ley 57	9m 30s
7	Reforma y Av. 6 de Abril	11m
8	Reforma y Av. Huepac	12m 30s
9	Reforma y Av. Opodepe	14m
10	Reforma y Av. Rebeico	15m 30s
11	Reforma y Av. Querobabi	17m
12	Jose Maria Escrivá y Blvd. Lucrecia Ruiz de Ayon - Colegio Castelo	20m 30s
13	Jose Maria Escrivá y Blvd. Luz Valencia	22m
14	Fin de Ruta. Monteverde y Blvd. Paseo del Cedro	24m 30s

Fuente: Elaboración propia

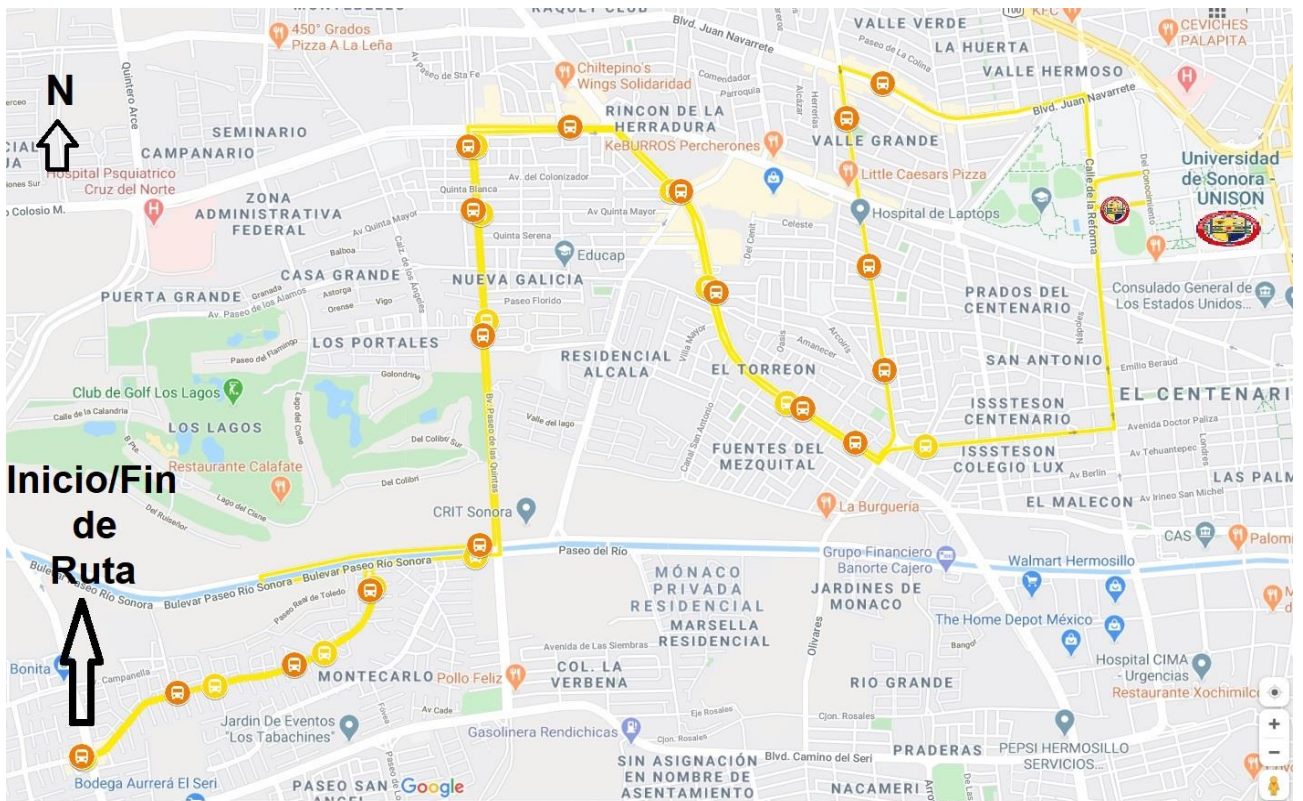
### ❖ RUTA 3. VILLA BONITA

La tercera ruta del sistema de transporte institucional pretende brindar el servicio a la relativamente alta cantidad de estudiantes que residen en la zona oeste de la localidad; particularmente en las colonias Villa Bonita, Montecarlo, La Verbena y Las Quintas (tabla 18); las cuales alojan a un total de 743 estudiantes, equivalente al 4% del total de alumnos inscritos. Por otro lado, como se observa en la figura 18 las colonias cubiertas por esta ruta se encuentran mucho menos dispersas en términos geográficos que aquellas transitadas por otras rutas, lo cual resulta ser algo favorable para el diseño de la ruta y que además facilita el acceso a ella de los alumnos que habitan el sector.


Tabla 18. Características generales de la ruta 3-Villa Bonita

RUTA	DISTANCIA EN KM.			COBERTURA DE COLONIAS RECORRIDAS POR LA RUTA	NUMERO DE PARADAS		SECTOR DE ORIGEN
	FASE I (de colonias a campus)	FASE II (de campus a colonias)	TOTAL		TRAYECTO DE IDA AL CAMPUS - FASE I	TRAYECTO DE REGRESO A COLONIAS - FASE II	
3 Villa Bonita	8.7	10.5	19.2	Villa Bonita, Montecarlo, Portal del Lago, Valle del Lago, Los Portales, Quintas Galicia, Las Quintas, De Anza, Paseo del Sol, Metrocentro, Los Arcos, Hacienda Real, Palmar del Sol, Villa Sol, Las Granjas, Fuentes del Mezquital, Issteson Centenario, Fuentes del Centenario	11	17	Sector Oeste

Fuente: Elaboración propia



**SIMBOLOGIA**

 = Paradas de la fase II de la ruta Trayecto de regreso a colonias de origen


 = Paradas de la fase I de la ruta Trayecto de ida al campus

Figura 18. Ruta 3 – Villa Bonita (visualización utilizando plataforma Google Maps).

Fuente: Elaboración propia



Es importante mencionar que una particularidad de los estudiantes que moran en el sector oeste de la ciudad es la alta incidencia en el uso del automóvil para trasladarse al campus; y que en el estudio realizado por Moreno (2014) se determinó como el medio de transporte más utilizado por los universitarios en esta zona. Esta particularidad, sin duda, ha sido un elemento determinante al plantear el establecimiento de la ruta Villa Bonita; ya que esto constituiría una alternativa idónea dentro del desarrollo de una estrategia enfocada en disminuir la cantidad de vehículos al interior del campus universitario; evitando así la consiguiente congestión vial.

Como se observa en las tablas 19 y 20, la jerarquía de las vialidades que conforman esta ruta es adecuada para permitir la circulación del autobús universitario con facilidad. Se trata de vialidades primarias, secundarias y colectoras, que permiten el tránsito a velocidades de hasta 60 km/h y cuyas dimensiones son aptas para el desplazamiento del autobús.

**Tabla 19. Vialidades recorridas en fase I de ruta**

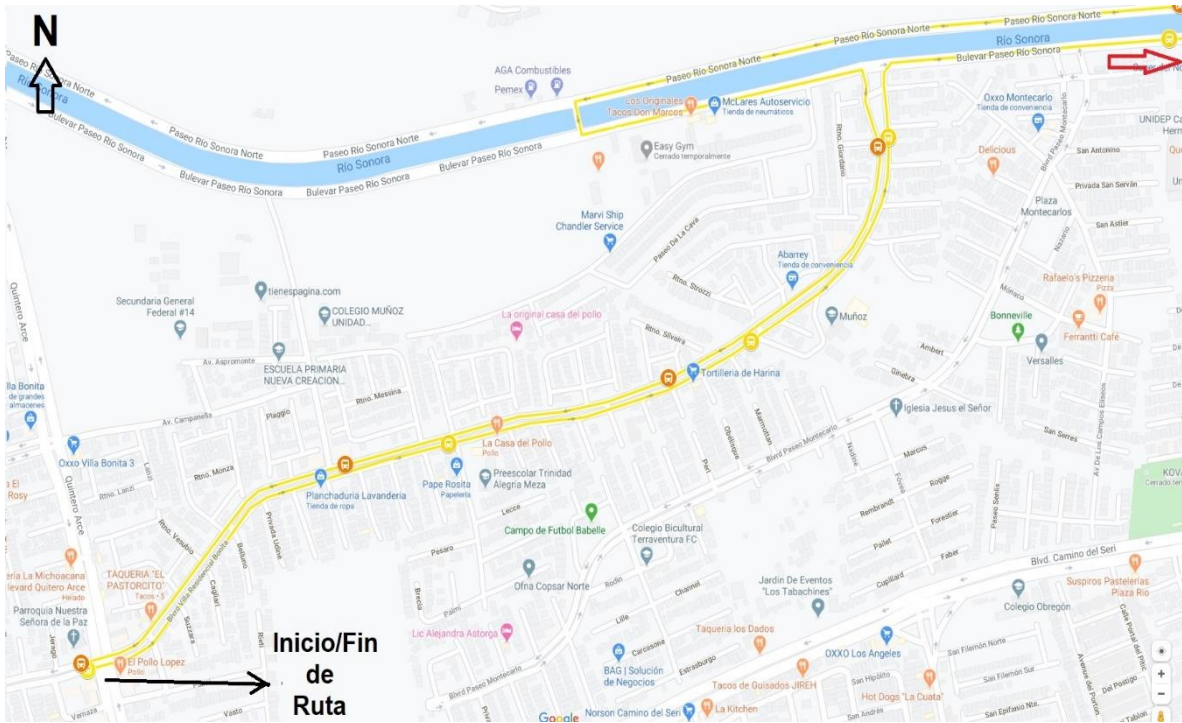
Secuencia Cronologica de las Vialidades Recorridas Por la Ruta	Longitud (m)	Tipo de Vialidad
Blvd. Villa Bonita	1,570	Colectora
Paseo Rio Sonora	510	Primaria
Blvd. Paseo de las Quintas	1,760	Secundaria
Av. Luis Donaldo Colosio	574	Primaria
Blvd. Solidaridad	1,840	Primaria
Av. Doctor Paliza	995	Colectora
Calle de la Reforma	1,000	Secundaria

Fuente: Elaboración propia

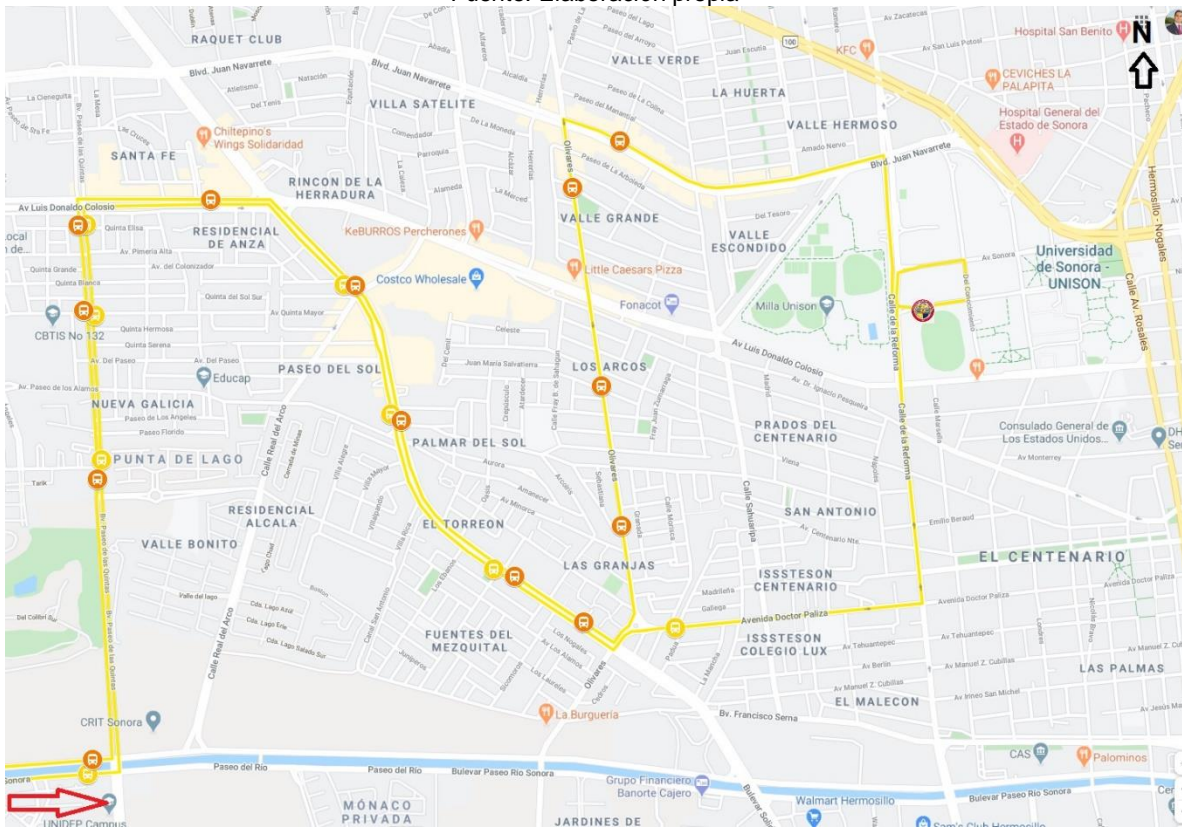
**Tabla 20. Vialidades recorridas en fase I de ruta**

Secuencia Cronologica de las Vialidades Recorridas Por la Ruta	Longitud (m)	Tipo de Vialidad
Calle de la Reforma	460	Secundaria
Blvd. Navarrete	1,060	Secundaria
Calle Olivares	1,660	Secundaria
Blvd. Solidaridad	1,830	Primaria
Av. Luis Donaldo Colosio	600	Primaria
Blvd. Paseo de las Quintas	1,740	Secundaria
Paseo Rio Sonora	1,420	Primaria
Blvd. Villa Bonita	1560	Colectora

Fuente: Elaboración propia



**Figura 19. Ruta 3 – Villa Bonita Acercamiento 1**  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 20. Ruta 3 – Villa Bonita Acercamiento 2**  
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 3, Fase 1**

TIEMPO RECORRIDO		
PARADA	REFERENCIA	MINUTO
1	Inicio de Ruta. Blvd Villa Bonita y Calle Quintero Arce/Oxxo Villabonita	0m 0s
2	Calle Benevento	2m
3	Blvd. Villa Bonita frente a Mundo Pie	3m 30s
4	Privada Bernini	5m
5	Paseo Rio Sonora/Super del Norte/Montercarlo	6m 30s
6	Blvd. Las Quintas/A 20 m. de Universidad Vizcaya	9m
7	Avenida Quinta Mayor	10m 30s
8	Oxxo Las Quintas	12m
9	Contraesquina Office Max/Parada Transporte Publico	14m 30s
10	Solidaridad entre Av. Paseo de los Alamos y Avenida del Paseo - Centor de Negocios Las Palmas	16m
11	Parque Las Fuentes/Frente a Motel La Nuit	17m 30s
12	Avenida Dr. Paliza y Calle Pauda	19m
13	Campus (Fin)	22m 30s

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 3, Fase 2**

TIEMPO RECORRIDO		
PARADA	REFERENCIA	MINUTO
	Campus (Inicio)	0m 0s
1	Blvd. Navarrete Esq. Pseo Valle Verde	2m
2	Olivares Esq. Paseo del Prado	3m 30s
3	Olivares Esq. Fray Marcos de Niza	5m
4	Olivares Esq. Calle Barcelona	6m 30s
5	Solidaridad y Calle E	8m
6	Solidaridad entre Calle Olmos y Andaluza	9m 30s
7	Solidaridad Esq. Av. Hidalgo - Farmacia Similares	11m
8	Solidaridad entre Blvd. Colosio y Calle Real del Arco - Frente a Office Max	12m 30s
9	Blvd. Colosio entre Atardecer y Solidaridad - Dogos del Miami	14m
10	Blvd. Paseo las Quintas Esq. Quinta Elisa - Pet Xpress	15m 30s
11	Blvd. Las Quintas Esq. Av. Quinta Mayor - Cenaduria La Quinta	17m
12	Blvd. Paseo de Las Quintas Esq. Provincia Albacete - Deportivo Los Portales	18m 30s
13	Paseo Rio Sonora Esq. Blvd. Las Quintas	21m
14	Blvd. Villa Bonita Esq. Giordano	23m 30s
15	Blvd. Villa bonita frente a privada Spezia	25m
16	Blvd. Villa Bonita - Farmacia Kino	26m 30s
17	Fin de Ruta. Blvd. Villa Bonita entre Quintero Arce y Jerago - Parroquia Nuestra Señora de la Paz	28m

Fuente: Elaboración propia

## ❖ RUTA 4. PUERTA REAL

La última ruta de la propuesta, ilustrada en la figura 21, busca trasladar a los estudiantes que residen en el sector noroeste de la localidad al campus escolar. El diseño de esta ruta ha sido elaborado en base al elevado número de estudiantes que residen en las colonias Puerta Real, Sahuaro, Dunas, Álvaro Obregón y Olivares, entre otras, y en las que habita el 6.4% del total de alumnos inscritos en el semestre 2019-2, es decir, 1,198 estudiantes. En este sentido, se proyectó un trayecto que recorre las colonias antes mencionadas, a través de vialidades que permiten y facilitan una correcta movilidad del autobús institucional.



Figura 21. Ruta 4 – Puerta Real (visualización utilizando plataforma Google Maps)

Fuente: Elaboración propia

Una particularidad importante de la ruta 4 - Puerta Real es la utilización de varios pares viales para la conexión de los puntos inicial y final del trayecto. Como se observa en las figuras 22 y 23, existen varios tramos, como el correspondiente a la calle Olivares en la fase II de la ruta, que opera como par vial de la calle López del Castillo de la fase I. Este es el mismo caso del par vial formado por las calles Carlos Balderrama y Lázaro Mercado. Otra peculiaridad de esta ruta es la gran cantidad de colonias, que en número de 17, se ubican en sus inmediaciones (tabla 23), además del fraccionamiento Puerta Real y las múltiples secciones que la conforman; lo cual resulta ser sumamente benéfico y conveniente en términos de accesibilidad para los estudiantes de ese sector de la ciudad.

**Tabla 23. Características generales de la ruta 4-Puerta Real**

RUTA	DISTANCIA EN KM.			COBERTURA DE COLONIAS RECORRIDAS POR LA RUTA	NUMERO DE PARADAS		SECTOR DE ORIGEN
	FASE I (de colonias a campus)	FASE II (de campus a colonias)	TOTAL		TRAYECTO DE IDA AL CAMPUS - FASE 1	TRAYECTO DE REGRESO A COLONIAS - FASE II	
4 Puerta Real	12.7	13.2	25.9	Puerta Real (Seccion I,II,III,IV,V,VI, VII), San Marcos, San Bosco, Lirios, San Francisco, Dunas, Benei, Fonhapo, Nueva Palmira, Sahuaro, Sahuaro Final, Alvaro Obregon, Adolfo Lopez Mateos, Choyal, Olivares, Villa Satelite, Valle Verde, Valle Grande	15	22	Sector Noroeste

Fuente: Elaboración propia

Las vialidades comprendidas en la trayectoria de la mencionada ruta se enumeran en las tablas 24 y 25, indicándose además el tiempo de recorrido requerido para el arribo de las unidades a cada una de las terminales desde su partida de las estaciones ubicadas al inicio de los trayectos.

Tabla 24. Vialidades recorridas en fase I de ruta

Secuencia Cronologica de las Vialidades Recorridas Por la Ruta	Longitud (m)	Tipo de Vialidad
Av. Gaspar Luken Escalante	2,640	Secundaria
blvd. Antonio Quiroga	155	Primaria
Av. Sostenes Rocha	747	Local
Calle Lazaro Mercado	1,420	Secundaria
Av. Perimetral Norte	2,280	Secundaria
Blvd. Solidaridad	214	Primaria
Av. Angel Garcia Aburto	1,010	Colectora
Calle Lopez del Castillo	1,760	Secundaria
Blvd. Luis Encinas	205	Primaria
Calle Olivares	1,150	Secundaria
Av. Luis Donaldo Colosio	1,000	Primaria
Calle de la Reforma	354	Secundaria

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Vialidades recorridas en fase II de ruta

Secuencia Cronologica de las Vialidades Recorridas Por la Ruta	Longitud (m)	Tipo de Vialidad
Calle de la Reforma	717	Secundaria
Blvd. Luis Encinas	1,150	Primaria
Calle Olivares	2,070	Secundaria
Periferico Norte	1,150	Secundaria
Av. Perimetral Norte	1,820	Secundaria
Calle Carlos Balderrama	1,490	Secundaria
Av. Sostenes Rocha	1,170	Local
blvd. Antonio Quiroga	167	Primaria
Av. Gaspar Luken Escalante	2,060	Secundaria

Fuente: Elaboración propia

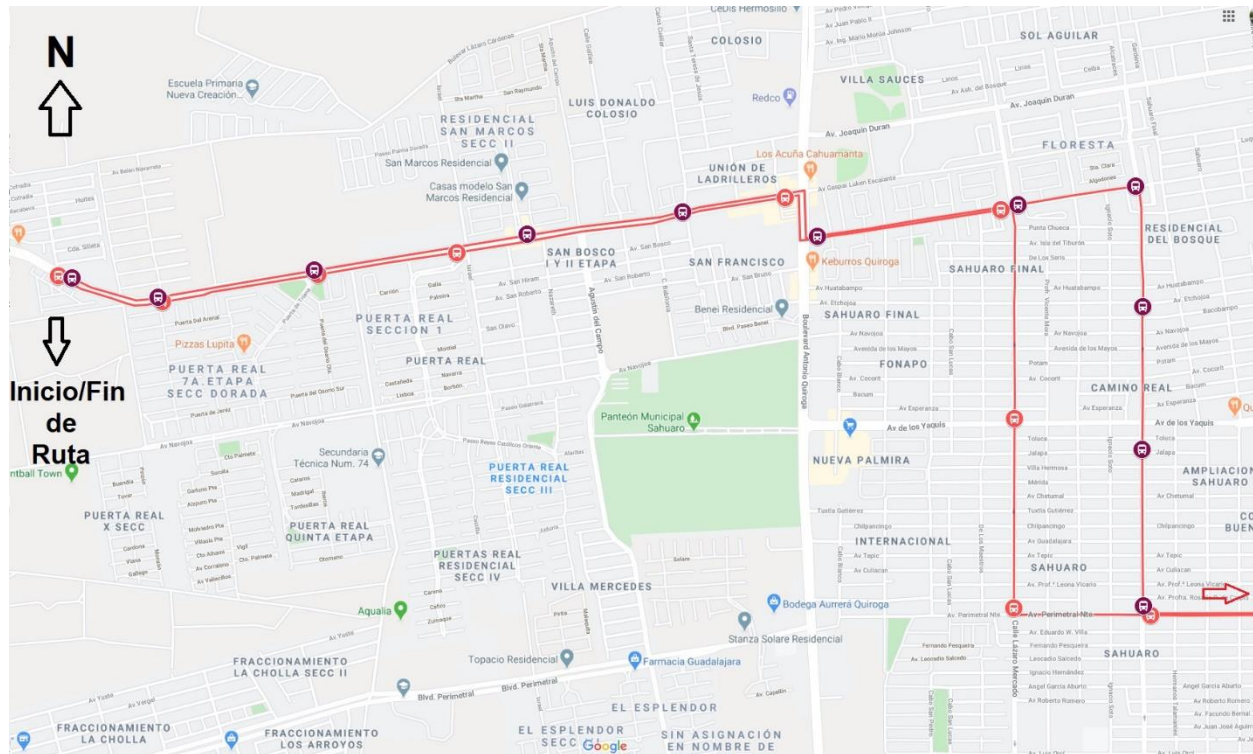
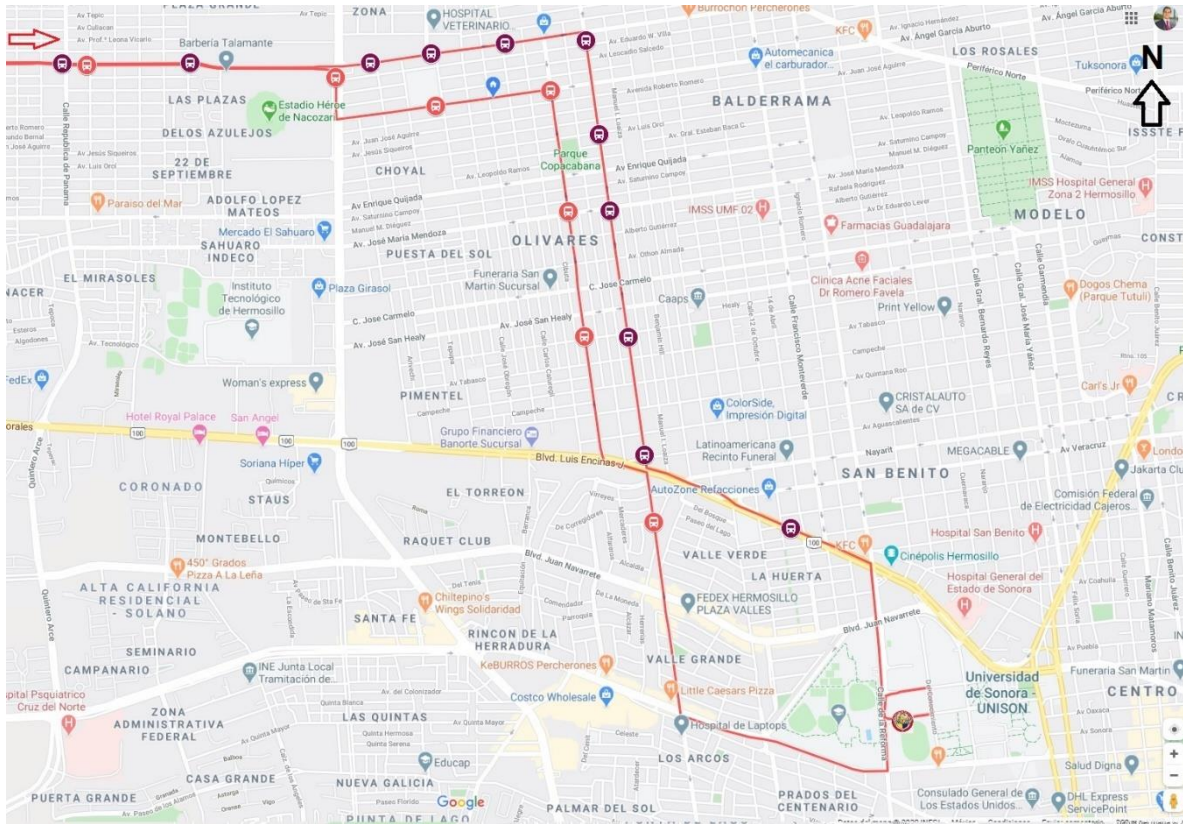


Figura 22. Ruta 4 – Puerta Real, Acercamiento 1

Fuente: Elaboración propia



**Figura 23. Ruta 4 – Puerta Real, Acercamiento 2**  
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 26. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 4, Fase 1**

TIEMPO RECORRIDO		
PARADA	REFERENCIA	MINUTO
1	Inicio de Ruta - Entrada Privada Sacramento - California Residencial	0m 0s
2	Av. Gaspar Luken y Puerta del Osario	1m
3	Av. Gaspar Luken - Entrada Puerta Real 7a Seccion Dorada	2m 30s
4	Av. Gaspar Luken y Paseo Reyes Catolicos - Entrada Puerta Real Seccion 1	4m
5	Gran Plaza	6m 30s
6	Esquina Calle Lazaro Mercado/Oxxo	10m
7	Avenida de los Yaquis	12m 30s
8	Parada Transporte Publico/Avenida Perimetral Norte/Barber Shop Phoenix	14m
9	Perimetral Esquina Carlos Balderrama/frente a farmacia YZA	15m 30s
10	Perimetral Esquina con Calle República del Salvador	17m
11	CUM/Parada de Transporte Publico	21m 30s
12	Parque el Choyal/Parada de Transporte Publico	23m
13	Esquina Lopez del Castillo y Angel Aburto	24m 30s
14	Esquina Avenida Jose Maria Mendoza	26m
15	Esquina con Avenida Michoacan/Frente a Pescadería del Rio	27m 30s
16	Olivares Esq. Calle Plaza Mayor	30m
17	Campus (Fin)	34m 30s

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 27. Tiempos estimados de recorrido, Ruta 4, Fase 2**

TIEMPO RECORRIDO		
PARADA	REFERENCIA	MINUTO
	Campus (inicio)	0m 0s
1	Blvd. Luis Encinas entre 14 de Abril y 12 de Octubre	2m
2	Olivares Esq. Calle Aguascalientes	3m 30s
3	Olivares Esq. Calle Michoacan	5m
4	Olivares Esq. Ave. Jose Maria Mendoza	6m 30s
5	Olivares Esq. Avenida Luis Orci	8m
6	Olivares esq. Eduardo W. Villa - Novedades Cordova	9m 30s
7	Periferico Norte Esq. Carlos Caturegli - Farmacia Benavides	11m
8	Periferico Norte Esq. Margarita Maza de Juarez - Procuraduria de la Defensa del Adulto	12m 30s
9	Periferico Norte entre Arturo S. Haro y Blvd. Solidaridad - Comandancia Norte	14m
10	Perimetral Norte Esq. Calle Belice - Farmacia Guadalajara	16m 30s
11	Perimetral Norte Esq. Republica de Panama	18m
12	Calle Carlos Balderrama entre Av. Perimetral y Prof. Rosario P. de Carpio - Farmacia YZA	19m 30s
13	Calle Carlos Balderrama Esq. Calle Jalapa	21m
14	Calle Carlos Balderrama Esq. Av. Etchojoa - Super Js	23m 30s
15	Av. Sostenes Rocha Esq. Calle Carlos Balderrama - Mini Super San Francisco	25m
16	Av. Sostenes Rocha Esq. Lazaro Mercado - Oxxo	26m 30s
17	Av. Sostenes Rocha entre Cabo Blanco y Blvd. Antonio Quiroga - Plaza Turquesa	29m
18	Av. Gaspar Luken Esq. Carlos Cuellar	31m 30s
19	Av. Gaspar Luken entre Blvd. San Marcos y Agustin del Campo - Que Rollo Sushi	33m
20	Av. Gaspar Luken y Puerta de Triana	34m 30s
21	Av. Gaspar Luken y Puerta del Osario	36m
22	Fin de la ruta. Av. Gaspar Luken entre Calle de los Coras y Anna Georgina - Oxxo	37m 30s

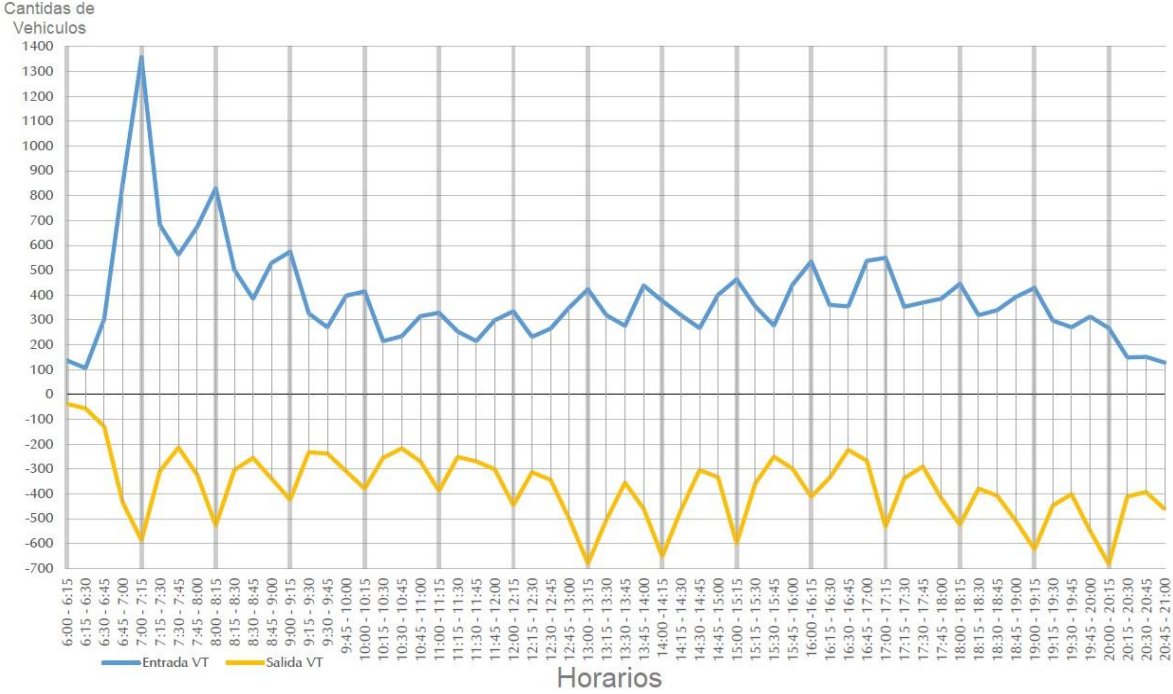
Fuente: Elaboración propia

### 6.3.3 Horarios de operación del sistema de transporte

La frecuencia de los recorridos de las unidades de transporte representa uno de los aspectos más importantes dentro del diseño y desarrollo del sistema. Esta etapa puede aportar ventajas que permitan un funcionamiento sustentable de los autobuses, mediante una utilización responsable de recursos, como el combustible o el capital económico. Por otra parte, una programación ineficiente en las frecuencias de operación puede conllevar el uso inadecuado e ineficiente de los recursos. Por ello, resulta de vital importancia disponer de datos e información fehacientes y precisos sobre los horarios de movilidad estudiantil para estar en posibilidades de brindar solidez y mayor justificación al proyecto.



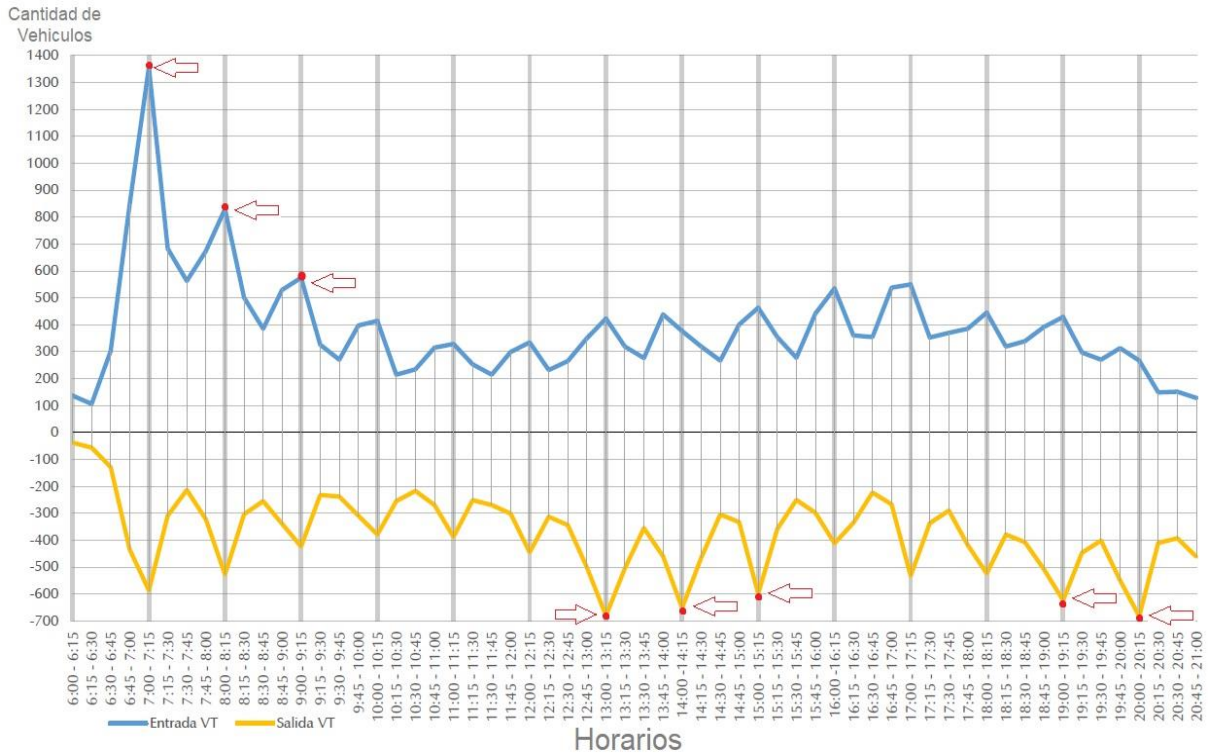
Durante el desarrollo de esta propuesta de sistema de transporte no fue posible disponer de información sobre los horarios de ingreso a clase y salida de los estudiantes. Por tal motivo, se recurrió el estudio de movilidad desarrollado por la Dirección de Infraestructura de la Universidad de Sonora en el año 2017, el cual proporciona información sobre la magnitud del flujo vehicular en el campus mediante la medición de aforos desde las 06:00 am hasta las 08:45 pm (grafica 1).



**Grafica 1. Distribución horaria de entradas y salidas de vehículos y peatones al campus cada 15 minutos**

Fuente: Departamento de infraestructura, 2017

Seguidamente, como se muestra en la gráfica 2, esta herramienta ha permitido identificar las horas punta, es decir, las horas de mayor flujo vehicular, y, por consiguiente, definir los horarios más convenientes para la operación de los autobuses en las distintas rutas establecidas.



**Grafica 2. Identificación de los horarios de operación de los autobuses**

Fuente: Departamento de infraestructura, 2017

De esta manera, en las tablas 28, 29, 30 y 31 se muestran los horarios de operación de los autobuses para cada una de las rutas y sus respectivas fases; considerando, además, los tiempos de retraso originados por su permanencia en las distintas paradas ubicadas a lo largo del trayecto (tabla 32), y que se describen en base al período del día en el cual se prestará el servicio.

**Tabla 28. Horario de ruta Altares**

RUTA 1. ALTARES				
LUNES A VIERNES				
VIAJES DE LA FASE I		VIAJES DE LA FASE II		Cantidad de Autobuses
Salida Inicio de Ruta	Llegada al Campus	Salida desde Campus	Llegada a Final de Ruta	
6:19 a. m.	6:50 a. m.			2
7:19 a. m.	7:50 a. m.			2
8:19 a. m.	8:50 a. m.			2
		12:10 p. m.	12:46 p. m.	2
		1:10 p. m.	1:46 p.m.	2
		2:10 p. m.	2:46 p.m.	2
		3:10 p. m.	3:46 p.m.	2
		8:10 p. m.	8:46 p.m.	2
		9:10 p. m.	9:46 p.m.	2

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 29. Horario de ruta Monteverde**

RUTA 2. MONTEVERDE				
LUNES A VIERNES				
VIAJES DE LA FASE I		VIAJES DE LA FASE II		Cantidad de Autobuses
Salida Inicio de Ruta	Llegada al Campus	Salida desde Campus	Llegada a Final de Ruta	
6:23 p.m.	6:50 a. m.			2
7:23 p.m.	7:50 a. m.			2
8:23 p.m.	8:50 a. m.			2
		12:10 p. m.	12:35 p.m.	2
		1:10 p. m.	1:35 p.m.	2
		2:10 p. m.	2:35 p.m.	2
		3:10 p. m.	3:35 p.m.	2
		8:10 p. m.	8:35 p.m.	2
		9:10 p. m.	9:35 p.m.	2

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 30. Horario de ruta Villa Bonita**

RUTA 3. VILLA BONITA				
LUNES A VIERNES				
VIAJES DE LA FASE I		VIAJES DE LA FASE II		Cantidad de Autobuses
Salida Inicio de Ruta	Llegada al Campus	Salida desde Campus	Llegada a Final de Ruta	
6:27 a.m.	6:50 a. m.			2
7:27 a.m.	7:50 a. m.			2
8:27 a.m.	8:50 a. m.			2
		12:10 p. m.	12:38 p.m.	2
		1:10 p. m.	1:38 p.m.	2
		2:10 p. m.	2:38 p.m.	2
		3:10 p. m.	3:38 p.m.	2
		8:10 p. m.	8:38 p.m.	2
		9:10 p. m.	9:38 p.m.	2

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 31. Horario de ruta Puerta Real**

RUTA 4. PUERTA REAL				
LUNES A VIERNES				
VIAJES DE LA FASE I		VIAJES DE LA FASE II		Cantidad de Autobuses
Salida Inicio de Ruta	Llegada al Campus	Salida desde Campus	Llegada a Final de Ruta	
6:15 a.m.	6:50 a. m.			2
7:15 a.m.	7:50 a. m.			2
8:15 a.m.	8:50 a. m.			2
		12:10 p. m.	12:48 p.m.	2
		1:10 p. m.	1:48 p.m.	2
		2:10 p. m.	2:48 p.m.	2
		3:10 p. m.	3:48 p.m.	2
		8:10 p. m.	8:48 p.m.	2
		9:10 p. m.	9:48 p.m.	2

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 32. Tiempo destinado en paradas para ascender o descender del autobús**

Tipo de parada de autobus	Parte del día	Tiempo de servicio (s)
Localizada en Intersecciones	Mañana	20.4
	Mediodía	28.9
	Tarde	27.8
Localizada entre manzanas	Mañana	18.5
	Mediodía	19.6
	Tarde	17.7

Fuente: Arhin et al. 2016

### **6.3.4 Características de la flota de autobuses**

Actualmente, el sector del transporte cuenta con una amplia gama de opciones en relación a marcas y modelos de autobuses que se utilizan para la movilidad de pasajeros, ya sea para el transporte público urbano o el transporte de personal ofrecido por compañías privadas. Las distintas marcas y modelos en el mercado permiten comparar las diferentes características interiores y exteriores de los autobuses, además de sus especificaciones técnicas, las cuales impactan directamente en los costos y la calidad del servicio durante la operación del sistema de transporte. Debido a lo anterior, la elección del modelo y marca del autobús representa una etapa sumamente importante en el diseño del sistema de transporte.

En el caso de la propuesta de transporte colectivo institucional para la Universidad de Sonora, se decidió emplear la misma marca y modelo de autobús con los que opera actualmente la Dirección de Infraestructura para prestar el servicio de traslado a estudiantes universitarios al Departamento de Agricultura y Ganadería, y en la realización de viajes oficiales de la institución. La principal razón en la que se sustenta esta elección tiene que ver con la amplia capacidad con la que dispone este modelo de autobús en términos de la cantidad de pasajeros que puede transportar; lo cual ofrece ventajas relacionadas con el número de estudiantes que podrían utilizar el servicio para trasladarse al campus; y que potencialmente redundará en una disminución de la congestión vial que en él ocurre.

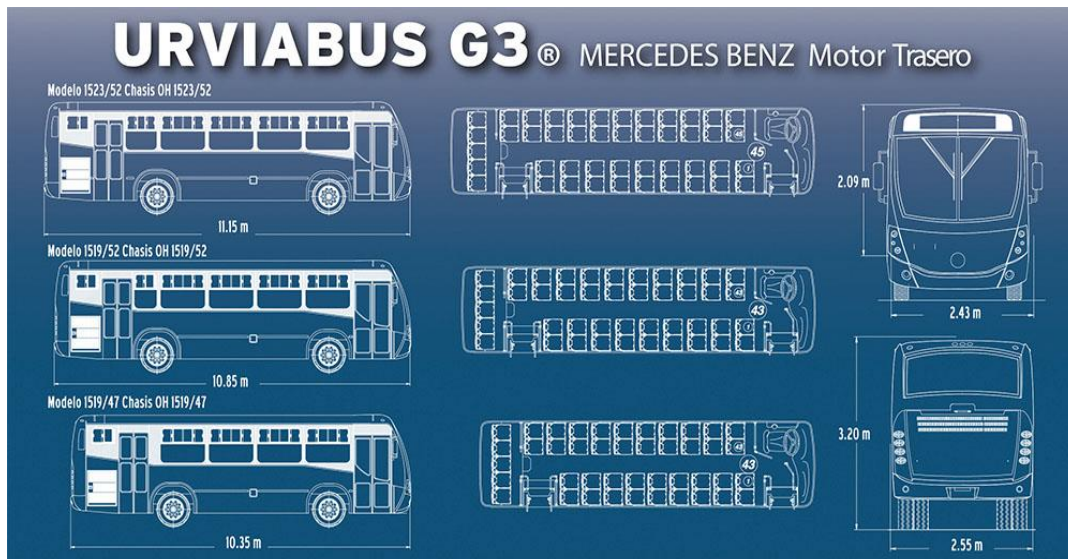
A continuación, se enumeran las principales características de este autobús; y en las figuras 24 y 25 se muestran su aspecto exterior y la distribución de sus asientos.

Especificaciones Técnicas:

- Autobús URVIABUS G3
- Modelo: 1523/52
- Motor: Mercedes-Benz, motor trasero, OM 96 LA, Diesel
- Chasis: OH 1524/52
- Potencia: Motor de 235 Hp
- Certificación: Euro V Blue Tec 5
- Longitud total: 11.15 m

- Altura total: 3.20 m
- Ancho total: 2.55 m
- Altura interior: 2.09 m
- Ancho interior: 2.43 m
- Cantidad de asientos: 45
- Capacidad total de pasajeros: 100

(BECCAR, 2015)



**Figura 24.. Especificaciones Urviabus G3**

Fuente: BECCAR, 2015



**Figura: 25. Autobús propuesto para el sistema de transporte**

Fuente: Unison, 2016

El modelo y marca de autobús seleccionado han sido determinados en base a dos consideraciones principales; la primera se relaciona con la capacidad de pasajeros que pueden ser transportados por cada unidad; la segunda se sustenta en el hecho de que la institución ya opera con unidades motorizadas de estas características. Esto supone ventajas derivadas de la familiaridad vinculada con la utilización y operación de dicho modelo y que facilitan el brindar el mantenimiento necesario a los vehículos. No obstante, en lo concerniente a la implementación de un sistema de transporte institucional; la decisión sobre el modelo y las características de las unidades a utilizar recaería en el departamento u organismo encargado de su gestión.

#### **6.4 Operación del Sistema**

Una vez definidas las rutas y sus respectivos horarios de recorrido, se procedió a definir el aspecto logístico relacionado con la operación de los autobuses. A este respecto, se considera que una flota de autobuses apropiada, inicialmente y como proyecto piloto, estaría compuesta por 16 unidades, de esta forma, cada ruta dispondría de cuatro autobuses. En términos de espacio, la capacidad de transportar pasajeros en autobuses urbanos se calcula en base al número de asientos con los que dispone la unidad, ya que se considera que el número de asientos equivale a la cantidad de personas que pueden trasladarse de forma sentada, y adicionalmente la misma cantidad de pasajeros que pueden trasladarse de forma parada (Tirachini et al., 2014). Para efectos de esta propuesta, se ha seleccionado un autobús que dispone de 45 asientos, lo que supondría una capacidad total de 90 pasajeros.

En ese sentido, se realizan los cálculos que muestran el total de alumnos que pueden ser transportados en el presente proyecto y propuesta de transporte, los cuales se muestran en la tabla 33.

**Tabla 33. Capacidad de traslado de pasajeros del sistema de transporte**

Capacidad de estudiantes-pasajeros por autobus	90
Cantidad de autobuses por ruta	4
Cantidad total de rutas	4
Cantidad de horarios propuestos para la operacion del servicio	9
Cantidad de viajes propuestos para cada ruta y horario	2
Total de traslados efectuados para cada ruta y horario	180
Total de traslados efectuados diariamente para cada ruta	1620
<b>Total de traslados efectuados diariamente en todas las rutas</b>	<b>6 480</b>

Fuente: Elaboración propia

Al analizar la cantidad estimada de traslados que pueden proporcionarse a través de la presente propuesta de transporte, se determina que el sistema de autobuses tendría la capacidad de transportar a una gran parte de la comunidad estudiantil; lo cual supondría un impacto positivo en el fenómeno de congestión vial presentado dentro del campus universitario.

Por otra parte, la operación y circulación de los autobuses se llevaría a cabo de la siguiente manera:

1. En el primer recorrido del día (7:00 a.m.), correspondiente a la fase I de las rutas, dos autobuses de cada ruta iniciarán simultáneamente sus trayectos a partir de la estación inicial y en la hora establecida; manteniendo una separación mínima y buscando arribar a las distintas estaciones de abordaje en la hora programada, para el ascenso de los estudiantes.
2. Al finalizar el viaje, el descenso de pasajeros se efectúa dentro del campus universitario, en un área determinada por las autoridades universitarias.
3. Los dos camiones restantes de cada una de las rutas comenzaran el inicio de sus trayectos para proporcionar el servicio de transporte al segundo viaje del día, correspondiente a la siguiente hora (8:00 a.m.). Para lo cual, se situará en la parada inicial a la hora programada.

4. El último viaje de la fase I, correspondiente al siguiente horario (9:00 a.m.), es asignado a los dos autobuses que inicialmente comenzaron el primer viaje. Por ello, al finalizar su primer trayecto, deberán regresar de inmediato a la parada inicial.
5. De forma similar, para aquellos viajes efectuados desde el campus universitario a las distintas colonias de destino (fase II), dos autobuses iniciaran los viajes en los horarios establecidos.
6. Seguidamente, los dos autobuses restantes estarán preparados para comenzar el siguiente viaje, concerniente a la próxima hora.

En este sentido, la operación de los autobuses se realiza de manera conjunta al circular dos autobuses de manera simultánea en cada viaje; lo que permite mantener una capacidad de traslado mayor para cada uno de los horarios en los que se requiere el servicio de transporte.



## VII. ANALISIS

Los hallazgos encontrados en la literatura del presente proyecto han permitido determinar que, en el tema de movilidad urbana, y particularmente el transporte de estudiantes universitarios es fundamental considerar estrategias y soluciones desde distintos enfoques. En este sentido, el presente proyecto ha considerado, de manera particular, abordar el problema de congestión vehicular dentro del campus de la Universidad de Sonora al proponer rutas de transporte colectivo, sin contemplar soluciones integrales que puedan enriquecer los resultados obtenidos.

De tal forma, al examinar y cotejar tanto los hallazgos en la literatura como los resultados en esta investigación, se considera que la implementación de soluciones integrales a los problemas de congestión vial dentro del campus universitario resultaría potencialmente positiva, lo cual pudiera llevarse a cabo al desarrollar proyectos de transporte sustentable, tal como los sistemas de bicicletas compartidas, que han sido puestos en marcha en múltiples universidades alrededor del mundo.

Por otra parte, los resultados obtenidos en la investigación permiten concluir que, debido a las distintas aristas que lo integran y en consonancia con lo indicado en la literatura, el diseño de un sistema de rutas para autobuses escolares entraña un alto grado de complejidad y debe ser analizado desde distintos enfoques mediante la aplicación de modelos matemáticos y de diversas estrategias, con el fin de definir el que mejor se adapte a las circunstancias de cada caso en particular.

Además, al buscar un diseño de rutas que coadyuve en el desarrollo sustentable de la localidad, se emplea un constante enfoque dirigido a mejorar el contexto social, ambiental y económico de la comunidad; diseñando un sistema de rutas de transporte que beneficie a la mayor cantidad de estudiantes, mejorando su calidad de vida, y a su vez, buscando reducir el uso excesivo del automóvil particular; lo cual generaría una disminución en las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera.

Por ello, en la etapa de diseño o trazado de rutas de un sistema de transporte colectivo, siempre se busca, sin importar el modelo matemático o enfoque utilizado, optimizar su desempeño, disminuyendo los tiempos de espera de los usuarios, el número de rutas necesarias para ofrecer el servicio a la mayor cantidad de usuarios posible, y la cantidad de autobuses requeridos para brindar una determinada cobertura.

Sin embargo, al existir distintos objetivos y enfoques de diseño se genera la necesidad de acotar los alcances del proyecto. De esta forma, al especificar las prioridades del sistema de transporte, generalmente, algunos objetivos son particularmente favorecidos con respecto al resto. En ese sentido, es fundamental estudiar y entender el contexto en el cual se desarrolla el proyecto, con el fin de seleccionar el enfoque de diseño más adecuado.

Para el caso de la presente investigación se considero un enfoque de diseño heurístico como el más conveniente. Esta óptica permite, una vez que el proyecto ha sido puesto en marcha, proponer modificaciones en base a su progreso y evolución; toda vez que se basa en realizar mejoras conforme el sistema desarrolla las operaciones ordinarias para las que fue concebido. Es así como, en conformidad con los resultados que se van obteniendo, se potencia una dinámica de mejora continua que permite la renovación permanente del proceso y el incremento de su eficiencia.

De manera conjunta, se realizaron adecuaciones al método de maximización de la entropía, que ha sido implementado para el diseño de las rutas de transporte en la Universidad de Chipre (Christodoulou, 2010). Dado que, para el caso de la Universidad de Sonora, no se cuenta con la misma información utilizada en el proyecto de Chipre, se recurrió a adaptar tal metodología utilizando las colonias de residencia de los estudiantes en la elaboración del mapa de calor, en lugar de la ubicación exacta de sus domicilios particulares.

La utilización de este método en el presente proyecto permitió elaborar un mapa de calor para posteriormente realizar una evaluación de las distintas zonas en las cuales es más conveniente el trazado de rutas.

Una fase sumamente importante del proyecto comprende la consideración de los tres factores que ayudaron a delimitar los alcances del proyecto. Esto mediante el análisis de distintos elementos relacionados con las percepciones de los estudiantes y sus modos de traslado al campus, las condiciones de la red de vialidades de la ciudad, y las limitantes identificadas con relación a la información disponible para la elaboración del proyecto. En

este sentido, al analizar los elementos considerados se concluye que se deben realizar encuestas a estudiantes con el fin de obtener información valiosa sobre sus puntos de vista, en cuanto a futuras propuestas de transporte.

Una de las implicaciones derivadas del análisis de la información antes mencionada es que, en el desarrollo de un sistema de transporte colectivo de una universidad, se deben incluir elementos cualitativos sobre las necesidades de los estudiantes; como la inseguridad y el confort del servicio. Conjuntamente, utilizar tantos datos e información como sea posible, con el fin de desarrollar rutas que ofrezcan tiempos de viaje adecuados y una cobertura apta que beneficie a la mayor cantidad de usuarios. En consecuencia, esto redundará en la reducción de los costos económicos asociados al proyecto; al permitir la búsqueda de alternativas enfocadas en disminuir la longitud de las rutas, y por ende, en el logro del decremento de consumo de combustible y de los impactos negativos al medio ambiente.

Por otra parte, la distribución geográfica de los alumnos, que figura como uno de los objetivos principales de la investigación, y que fue proyectada a través del mapa de calor elaborado, permitió identificar las zonas del municipio de Hermosillo donde residen mayores cantidades de alumnos. Una vez realizado el mapa de calor, se detectaron dos elementos importantes en el desarrollo del STCE.

Primeramente, se identificó que las colonias con mayor cantidad de alumnos son las que poseen una mayor área o extensión de territorio, con excepción de la colonia Altares. Esto indica que los resultados obtenidos mediante el empleo del mapa de calor no ofrecen información lo suficientemente detallada como para determinar con exactitud las zonas con una mayor densidad poblacional de alumnos universitarios en el municipio de Hermosillo; considerándose la densidad como la proporción de alumnos por unidad de superficie en un determinado sector.

Seguidamente, se identificó que la zona este de la localidad aloja una cantidad relativamente baja de estudiantes, por lo que se decidió descartar a este sector en el diseño de las rutas.

Un hallazgo particular que se detectó mediante el mapa de calor fue el de poder identificar aquellas colonias en las que habita una gran cantidad de estudiantes; pero que, sin embargo y a pesar de lo cual, no existe una justificación razonable para brindarles el servicio de transporte; dado el hecho de que existe una baja cantidad de estudiantes en las colonias

aledañas. Tal es el caso de la colonia Las Lomas, en donde habitan 344 estudiantes, pero con respecto a la cual se identificó una escasa cantidad de alumnos con residencia en colonias contiguas, como Lomas de Cortez o Akiwiki.

Después de evaluar los hallazgos encontrados en el mapa de calor y analizar los factores previamente descritos, se determinó que cuatro rutas ofrecen una cobertura idónea para satisfacer la demanda de traslados en las zonas donde se presenta una mayor cantidad de viajes hacia la Universidad de Sonora.

Entre las distintas rutas, la número 1 o Altares, se caracteriza por contar con la mayor residencia estudiantil en las distintas colonias aledañas a su trayecto. Esta ruta posee la mayor longitud, sin embargo, el tiempo total estimado en su recorrido no figura como el más alto; lo que indica, una circulación a través de distintas vialidades que benefician su tiempo de viaje. Por otro lado, la ruta Monteverde se distingue debido a exhibir una trayectoria básicamente recta desde la zona norte de la ciudad hasta el campus universitario; empleando únicamente tres vialidades durante su trayecto, lo que favorece a la movilidad del autobús y su tiempo de viaje.

Una particularidad importante del proyecto es que, con excepción de la ruta Villa Bonita, se han diseñado trayectos que se aproximan a la ruta más directa que es posible establecer entre su origen y el campus universitario; lo que se configura como un beneficio de gran relevancia de acuerdo al sentir de los usuarios del servicio. Además, al diseñar recorridos que minimizan los tiempos de traslado, y tal como se señaló anteriormente, se logra una reducción en el consumo de combustible, y, por consiguiente, una disminución en los costos de operación y emisión de sustancias contaminantes.

Respecto a los horarios de operación de los autobuses se decidió tomar como referencia el estudio de movilidad implementado en 2017 por la Universidad de Sonora. No obstante, la definición de horarios del servicio representa una fase sumamente importante del proyecto; por ello, se considera necesario llevar a cabo una estrategia que permita identificar de forma más precisa los horarios semestrales de clases de la comunidad estudiantil, es decir, los horarios de entrada y salida de los estudiantes, con el fin de establecer el itinerario óptimo para la circulación de los autobuses.

De forma similar, los tiempos de recorrido de las rutas han sido estimados mediante la aplicación Google Maps, sin embargo, es importante destacar que distintos aspectos como

el tráfico vehicular o las variaciones de tiempo en las distintas paradas generarían tiempos de trayecto que no coincidirían con los obtenidos en la aplicación. Dado lo anterior, se percibe la necesidad de realizar estimaciones de manera concurrente a la operación normal del servicio, y con ello, obtener tiempos de recorrido más exactos con base a lo observado en la práctica.

Por otra parte, un factor fundamental en el análisis de la operación de un sistema de transporte corresponde a los costos asociados con la operación del servicio, los cuales se clasifican en costos directos y costos indirectos; los costos directos, a su vez, se dividen en fijos y variables (Alvarez, 2014). Para el actual proyecto se buscó elaborar un desglose detallado del costo económico asociado con la operación de los autobuses, es decir, los costos variables; que incluyen aquellos generados por consumo de combustible, cambio de lubricantes, filtros y neumáticos, y que se calculan en función de las distancias recorridas por los autobuses. Sin embargo, debido a diversas complicaciones originadas por la actual pandemia, generada por la propagación del virus COVID-19; no fue posible recopilar información confiable y precisa referente a los costos mencionados.

Al finalizar el análisis y la propuesta de las rutas se ha detectado que, en la búsqueda de un sistema de transporte sustentable, tanto dentro del campus universitario como en la zona urbana de la ciudad, la formulación de soluciones integrales es un tema que debe ser considerado con detenimiento. El gran potencial que ofrece la implementación de un sistema de transporte colectivo basado en el empleo de autobuses que opere en conjunción con el uso de medios de transporte no motorizado representan un paso indispensable para lograr espacios urbanos que sean armónicamente funcionales (Dalkmann & Sakamoto, 2011).

En ese sentido, aunque las rutas propuestas representan una oportunidad de mejora con relación al problema de congestionamiento vial; la elaboración de proyectos y soluciones alternas a lo propuesto en este estudio son altamente recomendables, dada la complejidad que reviste el tema del transporte urbano y las diversas aristas que lo conforman.

## VIII. CONCLUSIONES

El desarrollo del presente estudio integra cuestiones que se relacionan directamente al ámbito de la movilidad urbana, lo cual tiene implicaciones directas en el desarrollo sustentable de la localidad. En ese sentido, se detectó que la complejidad que conlleva el diseño de rutas de transporte, supera a la sola consideración de los múltiples elementos técnicos que lo conforman, toda vez que las variables cualitativas constituyen una parte esencial en la factibilidad y éxito del proyecto.

La distribución geográfica caracterizada a través del mapa de calor elaborado ha permitido identificar múltiples zonas de la localidad de gran interés. Debido a estos hallazgos se concluye que la estrategia utilizada para la identificación de la distribución de residencias estudiantiles a través de la ciudad de Hermosillo permitirá elaborar futuras propuestas para el diseño de rutas de transporte colectivo. En este contexto, se ha determinado que la cobertura del sistema de rutas guarda consonancia con los patrones geográficos de distribución de las viviendas de los estudiantes; permitiendo de esta manera, ofrecer un servicio a la mayor cantidad de alumnos posible. Por otro lado, debido a que este proyecto de transporte se considera como una propuesta de un programa piloto, cuya implementación conduzca a facilitar e incentivar la apertura de futuras investigaciones; se estima que las cuatro rutas propuestas son suficientes para el desarrollo de una etapa inicial de prueba, que permita realizar una evaluación sobre la operatividad integral del sistema.

Finalmente, se concluye que es necesario disponer de información precisa y específica sobre los estudiantes universitarios, como las direcciones exactas de los domicilios en donde habitan, lo cual permitiría un diseño más certero de las rutas. Adicionalmente, el disponer de sus horarios de sus clases semanales; posibilitaría la definición de horarios de funcionamiento del servicio de transporte acordes a sus necesidades de traslado. En este sentido, se ha identificado que es necesario implementar un sistema institucional de recopilación de datos específicos, adicional al sistema con el que se cuenta actualmente, y de esta manera, disponer de la información necesaria para elaborar un sistema de rutas de transporte ad hoc a los requerimientos y necesidades de los estudiantes.

## IX. RECOMENDACIONES

1. En coordinación con el Departamento de Servicios Escolares de la Universidad de Sonora, realizar recopilación de datos de los estudiantes universitarios sobre la dirección de sus domicilios particulares y sobre los horarios de sus actividades académicas diarias; lo cual podría llevarse a cabo durante el proceso de inscripción semestral que realizan los alumnos periódicamente. De esta manera, el citado organismo permitiría obtener información que favorecería el proceso de diseño de las rutas; conduciría a la optimización de los recorridos; e impactaría de forma positiva en diversos aspectos de la operación del sistema.
2. Con la intención de obtener información adicional sobre los puntos de vista de los estudiantes acerca de los servicios que debería ofrecer un autobús universitario, se recomienda desarrollar encuestas de forma estratégica entre los estudiantes de la Universidad de Sonora.
3. Formular y poner en marcha una aplicación móvil que permita gestionar múltiples operaciones relacionadas con el uso del sistema de autobuses institucional. Esta aplicación tendría el potencial de monitorear el crédito de los usuarios del sistema para el uso de los autobuses; monitorear la ubicación, vía GPS, de los autobuses de interés; actualizar información personal, como la dirección particular; la canalización de quejas respecto a la calidad del servicio prestado, etc.
4. Debido a que el número de estudiantes que acuden al campus universitario se encuentra en constante crecimiento, lo que genera una mayor circulación vehicular en su interior; se recomienda la elaboración e implementación de soluciones estratégicas alternas a un transporte colectivo institucional. En este sentido, se sugiere diseñar y posteriormente poner en marcha un programa de bicicletas compartidas, estableciendo distintas estaciones para bicicletas en diferentes puntos estratégicos y aledaños al campus universitario. La estrategia en cuestión ofrecería a la comunidad estudiantil una manera sustentable de trasladarse en los alrededores y dentro del campus, a la vez de fomentar y promover usos no motorizados de transporte.

5. En vista de los sucesos actuales relativos a la pandemia causada por la propagación del covid-19, y el creciente aumento de contagios en la ciudad de Hermosillo; se sugiere considerar acciones de sanitización periódicas en el interior de los autobuses; lo cual reduciría el riesgo de contagio entre los usuarios del servicio.
6. En consonancia con los objetivos de desarrollo sostenible establecidos internacionalmente con relación al problema del calentamiento global, se sugiere evaluar la alternativa de implementar autobuses eléctricos, y con ello, lograr una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero que son generadas en la localidad.
7. Con el objetivo de canalizar y cuantificar los beneficios obtenidos de un sistema de transporte colectivo de la universidad, se recomienda emplear aforos vehiculares antes y después de la operación del sistema de autobuses.



## X. REFERENCIAS

- Abushgra, A. y Bach, C., 2013. Urban Planning Management, American society for engineering education, Norwich university. [online], Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/259893778>, [Consultado el 31/II/2020].
- Alvarez, J., Calle, D., 2014. Determinación del costo operativo para el transporte de pasajeros en el bus tipo, en el sector urbano de la ciudad de cuenca, con base en el nuevo sistema integrado de transporte, Licenciatura, Universidad politécnica salesiana sede cuenca.
- Anastasiadou, K. y Vougiaris, S., 2019. "Smart" or "sustainably smart" urban road networks? The most important commercial street in Thessaloniki as a case study', *Transport Policy*. Elsevier Ltd, 82, pp. 18–25. doi: 10.1016/j.tranpol.2019.07.009.
- Arhin, S. et al. 2016. 'Optimization of transit total bus stop time models', *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. Periodical Offices of Chang-an University, 3(2), pp. 146–153. doi: 10.1016/j.jtte.2015.07.001.
- Associates, W., 2018. University Transportation Planning | Wells + Associates. Disponible en: <https://www.wellsandassociates.com/university-transportation/>, [Consultado el 2/II/2020].
- BECCAR, 2015. URVIABUS G3 - BECCAR. Available at: <http://www.beccar.com.mx/index.php/unidades2/urviabus-g3#especificaciones> (Accessed: 30 June 2020).
- Bloomsburg University, 2020. Campus Transportation and Shuttle Bus Services | intranet.bloomu.edu, Campus Transportation and Shuttle Bus Services. Disponible en: <https://intranet.bloomu.edu/shuttle-bus>, [Consultado el 5/II/2020].
- Bowerman, R., Hall, B. y Calamai, P. 1995. 'A multi-objective optimization approach to urban school bus routing: Formulation and solution method', *Transportation Research Part A*. Pergamon, 29(2), pp. 107–123. doi: 10.1016/0965-8564(94)E0006-U.
- Bruglieria, M., Ciccarellib, D., Colornia, A. y Luè., A., 2011. 'PoliUniPool: A carpooling system for universities', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Elsevier Ltd, 20, pp. 558–567. doi: 10.1016/j.sbspro.2011.08.062.
- BUAP, 2016. Transporte Universitario, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. [Online], Disponible en: <https://admission.buap.mx/vida-universitaria/transporte-universitario>, [Consultado el 3/II/2020].
- Cattaneo, M., Malighetti, P., Morlotti, Ch. y Paleari, S., 2018 'Students' mobility attitudes and sustainable transport mode choice', *International Journal of Sustainability in Higher Education*. Emerald Group Publishing Ltd., 19(5), pp. 942–962. doi: 10.1108/IJSHE-08-2017-0134.
- Cebrián, G., 2019. 'University and the 2030 Agenda for Sustainable Development: processes and prospects', *Universitas Tarraconensis. Revista de Ciències de l'Educació*. Universitat Rovira I Virgili, 1(1), p. 78. doi: 10.17345/ute.2019.1.2629.
- CONUEE, 2016. Transporte- Estados y Municipios | Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía | Gobierno | gob.mx, Disponible en: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/movilidad-urbana-sustentable-transporte-estados-y-municipios?state=published>, [Consultado el 27/II/2020].
- Christodoulou, S. E. 2010. Traffic modeling and college-bus routing using entropy maximization, *Journal of Transportation Engineering*, 136(2), pp. 102–109. doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000067.
- Dalkmann, H., Brannigan, C., 2011. Module 5e. Sustainable transport: A sourcebook for policy-makers in developing cities. GTZ. Available at: <http://www.sutp.org/en-dn-th5> [Accessed 22 December 2013].
- Del Sordo, F., 2011. Un Sistema de Transporte Universitario con Tecnología BRT como primer paso para mejorar la movilidad de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Maestría de Administración Pública y Política Pública. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey.

- Dirección de Infraestructura Unison, 2017. Estudio de Movilidad URC, [online], Disponible en: <https://infraestructura.unison.mx/publicaciones/>, [Consultado el 12/III/2020].
- Giduthuri, V., 2015. 'Sustainable Urban Mobility: Challenges, Initiatives and Planning', Current Urban Studies. Scientific Research Publishing, Inc, 03(03), pp. 261–265. doi: 10.4236/cus.2015.33022.
- Gobierno de la ciudad de México, 2019. Plan estratégico de movilidad de la ciudad de México, secretaria de movilidad, [online], Disponible en: <https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/uploaded-files/plan-estrategico-de-movilidad-2019.pdf>, [Consultado el 17/II/2020].
- Gómez, F., Artíñano, B., Ramiro, E., Barreiro, M., Núñez, L., Coz, E., Dimitroulopoulou, C., Vardoulakis, S., Yagüe, C., Maqueda, G., Sastre, M., Román-Cascón, C., Santamaría, J.M. y Borge, R., 2019. "Urban vegetation and particle air pollution: Experimental campaigns in a traffic hotspot", Environmental Pollution, vol. 247, pp. 195-205.
- Hanover Research, 2014. Best Practices in University Transportation Services, [online], Disponible en: <https://www.hanoverresearch.com/wp-content/uploads/2017/08/Best-Practices-in-University-Transportation-Services.pdf>, [Consultado el 25/II/2020].
- Hermosillo, H. A. de (2010) *Area Urbana por colonias*. Available at: [http://www.economiahermosillo.gob.mx/portal/descargas/5Area urbana x localidad.pdf](http://www.economiahermosillo.gob.mx/portal/descargas/5Area%20urbana%20x%20localidad.pdf) (Accessed: 23 July 2020).
- Hoorweg, D. y Bhada-Tata, P., 2012. WHAT A WASTE, A Global Review of Solid Waste Management, Urban Development Series Knowledge Papers. [pdf], The World Bank. [Consultado el 24/II/2020].
- Dirección de Infraestructura, (2017) Estudio de Movilidad. Hermosillo.
- ITDP, 2013. Piramide de Jerarquia de la Movilidad Urbana, [online], Disponible en: <http://mexico.itdp.org/multimedia/infografias/jerarquia-de-la-movilidad-urbana-piramide/>, [Consultado el: 23/II/2020].
- ITDP, 2017. DOT ESTANDAR, Desarrollo orientado al transporte. Available at: <https://coreciudades.com/wp-content/uploads/2019/07/Desarrollo-Orientado-al-Transporte-DOT-Estándar.pdf> (Accessed: 16 August 2020).
- Jans, B., 2017. MOVILIDAD URBANA: EN CAMINO A SISTEMAS DE TRANSPORTE COLECTIVO INTEGRADOS. AUS, [online], Disponible en: <http://revistas.uach.cl/index.php/AUS/article/view/616>, [Consultado el 13/II/2020].
- Jia, S., Yan, G. y Shen, A., 2018. Traffic and emissions impact of the combination scenarios of air pollution charging fee and subsidy, Journal of Cleaner Production, vol. 197, pp. 678-689.
- Jiang, X. Q., Mei, X. D. y Feng, D., 2016. 'Air pollution and chronic airway diseases: ¿What should people know and do?', Journal of Thoracic Disease. Pioneer Bioscience Publishing, 8(1), pp. E31–E40. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2015.11.50.
- Kar, O., Zhang, J. y Pinkerton, K., 2019. Pulmonary Health Effects of Air Pollution, National Center for Biotechnology Information, [online], Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4776742/>, [Consultado el 16/XII/2019].
- Kellstedt, D., Spengler, J., Bradley, K. y Maddock, J., 2019. 'Evaluation of free-floating bike-share on a university campus using a multi-method approach', Preventive Medicine Reports. Elsevier Inc., 16. doi: 10.1016/j.pmedr.2019.100981.
- Kim, G., Ong, Y., Cheong, T. y Tan, P., 2016. Solving the Dynamic Vehicle Routing Problem under Traffic Congestion, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, [online], Disponible en <https://ieeexplore.ieee.org/abstract>, [Consultado el 12/X/2019].

- Kim, K., Kumar, P., Szulejko, J., Adelodun, A.A., Junaid, M.F., Uchimiya, M. y Chambers, S., 2017. Toward a better understanding of the impact of mass transit air pollutants on human health, *Chemosphere*, [Online], Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653517301327>, [Consultado el 12/XII/2019].
- Lauren, R., Margareta, F. y Terry, H., 2013. 'Quality attributes of public transport that attract car users: A research review', *Transport Policy*, 25, pp. 119–127. doi: 10.1016/j.tranpol.2012.11.005.
- Lizárraga, C., 2006. "Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI." *Economía, Sociedad y Territorio*, Vol. VI, núm.22, pp.1-35 [Consultado el 12/XII/2019]. ISSN: 1405-8421. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=111/11162202>.
- Mexiquense, 2020. UAMEX anuncia nueva ruta de potrobus – radio y televisión mexiquense, uaeméx anuncia nueva ruta de potrobus. Disponible en: <https://radioytmexiquense.mx/index.php/2020/02/02/uaemex-anuncia-nueva-ruta-de-potrobus/> [Consultado el 5/II/2020].
- Moreno, A. (2014) *Perspectivas Sociales de un Transporte Universitario Sustentable en la Universidad de Sonora*. Universidad de Sonora.
- Movilidad Metropolitana, 2018. ¿Qué es la pirámide de movilidad? ¿A mí de qué me sirve?, Gobierno del estado de Querétaro, [online], Disponible en: <http://www.movilidadmetropolitana.gob.mx/>, [Consultado el 23/II/2020].
- Narváez, L., 2017. *Movilidad urbana en transporte público en el área metropolitana SLP centrada en los estudiantes de la ZUP*. Licenciatura. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Paradowska, M., 2019. 'Rivalry, excludability and positive transport externalities – case study of a private university in Poland', *International Journal of Sustainability in Higher Education*. Emerald Group Publishing Ltd., 20(7), pp. 1290–1312. doi: 10.1108/IJSHE-10-2018-0187.
- Pi, M., Yeon, H., Son, H. y Jang, Y., 2019. Visual Cause Analytics for Traffic Congestion, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, [online], Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=8827957>, [Consultado el 13/II/2020].
- Reyes, C., Aldrin, B. y Edith, V., 2015. Sistema de monitoreo del LOBOBUS', *Artículo Revista Tecnología e Innovación* Diciembre, 2(5), pp. 998–1006. Disponible en: [www.ecorfan.org/bolivia](http://www.ecorfan.org/bolivia), [Consultado el 17/II/2020].
- Sales, L. de P. A. et al., 2018 'Memetic algorithm for the heterogeneous fleet school bus routing problem', *Journal of Urban Planning and Development*. American Society of Civil Engineers (ASCE), 144(2). doi: 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000454.
- Salud Geoambiental, 2014. Material Particulado, [Online], Disponible en: <https://www.saludgeoambiental.org/material-particulado>, [Consultado el: 11/II/2020].
- Shaik S., Rafidah M., Nasrin A., Ismail A., Miss L., Nornazlita H., Mohammad H. y Muhammad A., 2019. Modelling Traffic Congestion based on Air Quality for Greener Environment: An Empirical Study, *IEEE Computer Society*, [online], Disponible en: [www.researchgate.net/publication/332919262](http://www.researchgate.net/publication/332919262), [Consultado el 12/X/2019].
- SIDUR, 2016. Programa de Fortalecimiento de Vialidad para Movilidad en el estado de Sonora, [online], Disponible en: [http://seiot.sonora.gob.mx/PDF/PFVMU/HERMOSILLO/DOCUMENTO\\_COMPLETO\\_HILLO.pdf](http://seiot.sonora.gob.mx/PDF/PFVMU/HERMOSILLO/DOCUMENTO_COMPLETO_HILLO.pdf), [Consultado el 15/III/2020].
- Tirachini, A., Hensher, D. A. y Rose, J. M., 2014. 'Multimodal pricing and optimal design of urban public transport: The interplay between traffic congestion and bus crowding', *Transportation Research Part B: Methodological*. Elsevier Ltd, 61, pp. 33–54. doi: 10.1016/j.trb.2014.01.003.
- Touluni, H., Miyara, M., Nsiri, B. y Boudhane, M., 2019. Traffic congestion prevention system, *International Journal of Communication Networks and Information Security*, [online], Disponible en: [www.researchgate.net/publication/333247810](http://www.researchgate.net/publication/333247810), [Consultado el 12/X/2019].

- UAEM, 2020. Universidad Autónoma del Estado de México - Potrobús, Potrobus, Disponible en: <https://www.uaemex.mx/vida-universitaria/alumnos/potrobus.html>, [Consultado el 5/II/2020].
- UN., 2015. Sustainable Development Goals. [Online], Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>, [Consultado el 12/X/2019].
- UNCUYO, 2017. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería, Catedra Transporte, [online], Disponible en: <http://ingenieria.uncuyo.edu.ar/catedras/u1-medios-de-transporte-urbano.pdf>, [Consultado el: 29/II/2020].
- Unison, T. (2016) UniSon en Twitter: 'Renuevan flotilla de autobuses del campus Hermosillo <https://t.co/ICEIIHOfiX> <https://t.co/DNzVPbKVIq>' / Twitter. Available at: <https://twitter.com/buhosunison/status/776189748784214016/photo/3> (Accessed: 30 June 2020).
- Universidad de Monterrey, 2019. Conoce la pirámide de la movilidad y su importancia, [online], Disponible en: <https://www.udem.edu.mx/es/institucional/noticia/conoce-la-piramide-de-la-movilidad-y-su-importancia>, [Consultado el 23/II/2020].
- University of Indiana, 2020. Campus Bus Service: Indiana University, Campus Bus Service. Disponible en: <https://iubus.indiana.edu/>, [Consultado el 3/II/2020].
- University of Ohio, 2020, Daily Campus Shuttles (CATS) | Ohio University, Daily Campus Shuttles (CATS). Disponible en: <https://www.ohio.edu/transportation-parking/transit-services/cats-campus-transit>, [Consultado el 3/II/2020].
- Velazquez, L., Munguia, N., Platt, A. y Taddei, J., 2006. 'Sustainable university: ¿what can be the matter?', *Journal of Cleaner Production*, 14(9–11), pp. 810–819. doi: 10.1016/j.jclepro.2005.12.008.
- Vencataya, L., Pudaruth, S., Dirpal, G. y Narain, V., 2018. Assessing the Causes & Impacts of Traffic Congestion on the Society, Economy and Individual: A Case of Mauritius as an Emerging Economy, *Studies in Business and Economics*, [online], Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/330572194>, [Consultado el 16/XI/2019].
- Verdugo, S. (2015) Modelo de Transporte Universitario Sustentable. Universidad de Sonora.
- Wang, J. y Connors, R., 2018 'Urban Growth, Transport Planning, Air Quality and Health: A Multi-Objective Spatial Analysis Framework for a Linear Monocentric City', *Networks and Spatial Economics*. Springer New York LLC, 18(4), pp. 839–874. doi: 10.1007/s11067-018-9398-x.
- Whalen, K. E., Páez, A. y Carrasco, J. A., 2013. Mode choice of university students commuting to school and the role of active travel, *Journal of Transport Geography*. Pergamon, 31, pp. 132–142. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2013.06.008.
- Worcester University, 2020. Bike share - University of Worcester, Bike share. Disponible en: <https://www.worcester.ac.uk/about/sustainability/what-we-do/transport-and-travel/bike-share.aspx>, [Consultado el 3/II/2020].
- Yang, L., Van, D., Koen H., Anvari, B. y De Nazelle, A., 2017. 'Simulating the impact of urban transport infrastructure design on local air quality in Beijing', In: (Proceedings) Social Simulation Conference 2017. ESSA: Dublin, Ireland. (2017) (In press), ESSA.
- Zamudio, D. y Alvarado, V., 2014. Hacia el colapso vial, el poder del consumidor, [online], Disponible en: [https://elpoderdelconsumidor.org/wp-content/uploads/2014/11/ColapsoVial\\_final.pdf](https://elpoderdelconsumidor.org/wp-content/uploads/2014/11/ColapsoVial_final.pdf), [Consultado el: 29/II/2020].
- Zeng, J., Qian, Y., Wang, B., Wang, T. y Wei, X., 2019. The Impact of Traffic Crashes on Urban Network Traffic Flow, *Sustainability*, [online], Disponible en <https://www.mdpi.com> › pdf, [Consultado el 16/XI/2019].

## ANEXOS A

### PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA PARADA O ESTACION DE AUTOBUS



**Figura A1. Diseño de parada de autobús propuesta**

Fuente: Elaboración propia

En el anexo ilustrado en la figura A1 se muestra el diseño elaborado para las múltiples paradas de autobús, que han sido determinadas a lo largo de las rutas en la presente propuesta de transporte. Como es posible apreciar, se ha contemplado un señalamiento que integra el logotipo de la institución con la intención de especificar el particular uso de la parada en cuestión.

## ANEXO B

### CONGESTION VEHICULAR CAPTADA DENTRO DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SONORA



**Imagen B1. Problema generado por uso excesivo vehicular**

Fuente: Elaboración propia



**Imagen B2. Evidencia sobre el uso excesivo del automóvil particular**

Fuente: Elaboración propia

Las imágenes B1 y B2 tienen por objetivo evidenciar el problema de congestión vehicular que toma lugar dentro del campus central de la Universidad de Sonora. Como se puede apreciar en la imagen B1, la falta de educación vial y el uso excesivo del automóvil particular provocan distintos tipos de problemas viales, que son particularmente manifestados en las horas pico del día, como son las 7:00 y 8:00 a.m, 12:00, 1:00 y 2:00 p.m., y por la tarde a las 7:00 y 8:00 p.m.