



# UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

*Maestría en Infraestructura del Transporte en la  
Rama de las Vías Terrestres*



## “PROPUESTA DE UNA RED DE MOVILIDAD CICLISTA PARA LA CIUDAD DE MORELIA”

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA  
RAMA DE LAS VÍAS TERRESTRES

**PRESENTA:**

ING. BISMARCK LEDEZMA NAVARRO

**DIRECTOR DE TESIS:**

DOCTOR EN INGENIERÍA CIVIL  
JORGE ALARCÓN IBARRA

**CO-DIRECTOR DE TESIS:**

DOCTOR EN INGENIERÍA CIVIL  
LUIS FERNANDO MIRANDA-MORENO

Morelia, Michoacán. Enero del 2015

# ÍNDICE

	<i>Página</i>
LISTA DE FIGURAS .....	V
LISTA DE TABLAS .....	VIII
AGRADECIMIENTOS .....	X
RESUMEN .....	XII
ABSTRACT .....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XIV
OBJETIVO .....	XVII
<b>CAPÍTULO 1</b>	
HISTORIA MODERNA DEL CICLISMO URBANO	
1.1) Introducción .....	18
1.1.1) Clasificación de la infraestructura ciclista .....	22
1.1.2) Señalamiento e intersecciones .....	26
1.1.3) El ciclista en la vialidad .....	27
1.1.4) Consideraciones en la planeación .....	29
1.2) Análisis de Infraestructura .....	34
1.3) Modelación de tránsito .....	38
<b>CAPÍTULO 2</b>	
DISEÑO DE UNA RED DE MOVILIDAD CICLISTA, CASO MORELIA	
2.1) Introducción .....	41
2.2) Metodología y resultados .....	46

**CAPÍTULO 3****RUTAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS DE LA RED CICLISTA DE LA CIUDAD DE MORELIA**

3.1) Introducción .....	56
3.2) Metodología .....	57
3.3) Resultados .....	60

**CAPÍTULO 4****EVALUACIÓN DE LA RED DE MOVILIDAD CICLISTA DEL CASO DE ESTUDIO**

4.1) Introducción .....	63
4.2) Metodología .....	64
4.2.1) Área de Influencia .....	65
4.2.2) Económico .....	69
4.2.3) Sitios de Interés Público .....	70
4.2.4) Intersecciones .....	73
4.2.5) Universidades .....	76
4.2.6) Casas del Estudiante .....	78
4.3) Análisis de información .....	79
4.3.1) Densidad de población y vivienda .....	80
4.3.2) Densidad de empleo y negocios .....	82
4.3.3) Sitios de Interés Público .....	84
4.3.4) Intersecciones .....	86
4.3.5) Universidades .....	87
4.3.6) Casas del estudiante .....	88
4.3.7) Resultado de la evaluación .....	89

**CAPÍTULO 5****EVALUACIÓN DE UN NODO EN LA CIUDAD DE MORELIA POR MEDIO DE MICRO SIMULACIÓN**

5.1) Introducción .....	92
5.2) Sitio de análisis .....	94
5.3) Recolección de datos y red vial .....	95

---

5.4) Metodología .....	97
5.5) Análisis de resultados .....	104
5.5.1) Flujo de vehículos .....	104
5.5.2) Demoras .....	106
5.5.3) Longitud de la fila .....	107
5.5.4) Consumo de combustible .....	108
5.5.5) Emisiones (monóxido de carbono) .....	110
5.5.6) Emisiones (óxido de nitrógeno) .....	111
CONCLUSIONES .....	113
ANEXO 1 .....	116
ANEXO 2 .....	118
ANEXO 3 .....	128
BIBLIOGRAFÍA .....	134

# *LISTA DE FIGURAS*

## **CAPÍTULO 1**

<b>Figura 1.1</b>	Estacionamiento para bicicletas, Ámsterdam, Holanda .....	21
<b>Figura 1.2</b>	Carriles ciclistas .....	23
<b>Figura 1.3</b>	Ciclovía en la ciudad de Montreal, Boulevard Maissonneuve .....	24
<b>Figura 1.4</b>	Ciclovía en la ciudad de Montreal, Place des arts .....	25
<b>Figura 1.5</b>	Ciclovías segregadas .....	26
<b>Figura 1.6</b>	Intervención de intersecciones .....	27
<b>Figura 1.7</b>	Jerarquía en el uso de las vialidades .....	28

## **CAPÍTULO 2**

<b>Figura 2.1</b>	Densidad de Población de Zonas Metropolitanas .....	42
<b>Figura 2.2</b>	Centro histórico Morelia, Michoacán .....	43
<b>Figura 2.3</b>	Ciclovía San Juanito Itzicuaru, Morelia .....	44
<b>Figura 2.4</b>	Iniciativas Bicivilizate A.C. ....	45
<b>Figura 2.5</b>	Red de movilidad ciclista para la ciudad de Morelia, proyecto existente; Mapa de la ciudad .....	48
<b>Figura 2.6</b>	Red de movilidad ciclista para la ciudad de Morelia, proyecto existente; Mapa del centro histórico .....	49
<b>Figura 2.7</b>	Redes propuestas en escritorio .....	50
<b>Figura 2.8</b>	Obras complementarias .....	51
<b>Figura 2.9</b>	Propuesta de red de movilidad ciclista para la ciudad de Morelia; Mapa del centro histórico .....	53

<b>Figura 2.10</b> Propuesta de red de movilidad ciclista para la ciudad de Morelia; Mapa de la ciudad .....	54
--	----

### CAPÍTULO 3

<b>Figura 3.1</b> Vías ciclistas primarias vs rutas vialidades primarias .....	60
<b>Figura 3.2</b> Vías ciclistas secundarias vs rutas viales primarias .....	61
<b>Figura 3.3</b> Vías ciclistas primarias y secundarias vs rutas viales primarias .....	62

### CAPÍTULO 4

<b>Figura 4.1</b> Opción unir y relacionar en ArcGis .....	66
<b>Figura 4.2</b> Áreas de influencia poblacional en ArGis, ID 1 y 2 .....	67
<b>Figura 4.3</b> Tablas de área de influencia poblacional en ArGis, ID 1 .....	68
<b>Figura 4.4</b> Tabla con el censo económico en ArGis .....	69
<b>Figura 4.5</b> Áreas de influencia en censo económico, ID 3 y 8 .....	70
<b>Figura 4.6</b> Sitios de Interés Público en ArcGis .....	71
<b>Figura 4.7</b> Área de influencia de los SIP, ID 1 y 2 .....	72
<b>Figura 4.8</b> Intersecciones con la red vial de la red de movilidad ciclista .....	74
<b>Figura 4.9</b> Tabla de intersecciones y proceso intersectar en ArcGis .....	75
<b>Figura 4.10</b> Proceso de filtrado en Excel .....	76
<b>Figura 4.11</b> Principales universidades .....	77

### CAPÍTULO 5

<b>Figura 5.1</b> Localización del cruce evaluado .....	94
<b>Figura 5.2</b> Ángulo de cámaras utilizados en aforos.....	95
<b>Figura 5.3</b> Aforo vehicular, nodo Huerta – Mújica (vehículos por hora) .....	96
<b>Figura 5.4</b> Nodo a evaluar en la intersección Calz. La Huerta con la avenida J. Mújica, VISSIM .....	97
<b>Figura 5.5</b> Imágenes utilizadas de fondo, VISSIM .....	99
<b>Figura 5.6</b> Ruta seguida por objetos (vehículos) en VISSIM .....	100
<b>Figura 5.7</b> Ciclos de semaforización, VISSIM.....	102
<b>Figura 5.8</b> Preferencia de pase, VISSIM .....	103

---

<b>Figura 5.9</b>	Resumen flujo de vehículos .....	105
<b>Figura 5.10</b>	Resumen demoras de vehículos .....	106
<b>Figura 5.11</b>	Resumen cola de vehículos .....	108
<b>Figura 5.12</b>	Resumen consumo de combustible .....	109
<b>Figura 5.13</b>	Resumen emisiones CO .....	110
<b>Figura 5.14</b>	Resumen emisiones NOx .....	111

## **ANEXO 1**

<b>Figura A1.1</b>	Rutas ciclistas propuestas con clave ID. Mapa de la ciudad .....	117
--------------------	--	-----

# *LISTA DE TABLAS*

## **CAPÍTULO 2**

<b>TABLA 2.1</b>	Vialidades de la red de movilidad ciclistas (4 rutas) .....	55
------------------	---	----

## **CAPÍTULO 4**

<b>TABLA 4.1</b>	Intersecciones a lo largo de la red de movilidad ciclista .....	75
<b>TABLA 4.2</b>	Rutas con dependencias universitarias en su área de influencia .....	77
<b>TABLA 4.3</b>	Rutas con casas del estudiante en su área de influencia .....	78
<b>TABLA 4.4</b>	Densidad de población y vivienda .....	81
<b>TABLA 4.5</b>	Densidad de negocios y empleados .....	83
<b>TABLA 4.6</b>	Sitios de Interés Público .....	85
<b>TABLA 4.7</b>	Evaluación de intersecciones .....	87
<b>TABLA 4.8</b>	Evaluación universidades .....	88
<b>TABLA 4.9</b>	Evaluación casas del estudiante .....	89
<b>TABLA 4.10</b>	Resultado de la evaluación .....	90

## **CAPÍTULO 5**

<b>TABLA 5.1</b>	Medidas de los carriles avenida J. Mújica .....	99
<b>TABLA 5.2</b>	Rutas de decisión en el nodo .....	101
<b>TABLA 5.3</b>	Ciclos de los semáforos .....	102

## **ANEXO 3**

<b>TABLA A2.1</b>	Vialidades de la red de movilidad ciclistas .....	119
-------------------	---	-----

**ANEXO 3**

<b>TABLA A3.1</b> Densidad de empleo y negocios .....	129
<b>TABLA A3.2</b> Densidad de población y vivienda .....	130
<b>TABLA A3.3</b> Análisis de los sitios de interés público.....	131
<b>TABLA A3.4</b> Análisis de intersecciones .....	132
<b>TABLA A3.5</b> Análisis de las diferentes evaluaciones .....	133

**A mi mamá y familia**

Agradezco a mi mamá, ya que además de darme la vida me ha sabido alentar durante la búsqueda de todas mis metas, en las cuales siempre me ha apoyado y me ha sabido orientar cada vez que ha sido necesario; con todo esto, me ha ayudado a ser la persona que ahora soy.

A mis hermanos Lizeth y Gustavo por el cariño que siempre han demostrado y ese entusiasmo que demuestran ante la vida.

A mis tíos y abuelos que me han enseñado a no rendirme nunca, y que con su ejemplo, pláticas y consejos a lo largo de mi vida, han sido parte fundamental en mi formación.

Al Doctor Carlos Chávez, por su preocupación en mi crecimiento profesional y por ser mi guía a lo largo de mi tiempo en la maestría.

A mi asesor de tesis, el Doctor Jorge Alarcón Ibarra, primero, por haberme sugerido este trabajo de investigación, así como ayudarme a alcanzar los objetivos propuestos y, segundo, por su tiempo dedicado a lo largo de este nuevo reto.

Expresar mi eterna gratitud al Doctor Luis Fernando Miranda-Moreno, por haberme dado la oportunidad de trabajar con él, y dirigirme de la mejor forma durante el desarrollo de este trabajo, pero sobre todo por su amistad.

Al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo que brinda a la investigación en nuestro país: ayuda de muchos mexicanos en su crecimiento profesional y de igual manera impulsa la generación de conocimiento en México.

Al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), por facilitarme valiosa información sin la cual parte de este trabajo no hubiera sido posible.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (U. M. S. N. H.), por abrirme sus puertas nuevamente y apoyar mis estudios de grado.

Finalmente, para evitar omisiones no deseadas, quiero agradecer a todos mis amigos, los que han estado conmigo a lo largo de los años y los que han pasado a formar recientemente parte de mi familia, con los cuales he vivido momentos y experiencias maravillosas.

## RESUMEN

El desarrollo de las ciudades así como la movilidad dentro de las mismas está teniendo un cambio de paradigma, en donde se está apostando por desarrollar la infraestructura para todos los usuarios de la vía, no solamente algunos. Es decir, dejar de pensar en diseñar y construir solamente para vehículos; es aquí donde la movilidad ciclista está retomando la importancia que llegó a tener en el desplazamiento de las personas dentro de las ciudades. Para el desarrollo de las rutas de movilidad ciclista usualmente se utilizan aforos o encuestas origen-destino, pero en muchos casos se tiene la limitación del recurso económico. Este trabajo propone una forma de trazar rutas ciclistas, siguiendo manuales nacionales e internacionales, utilizando como caso de estudio la ciudad de Morelia, Michoacán. También se muestra cómo clasificar las rutas en *primarias* y *secundarias* de acuerdo a la vialidad por la que tendrán su recorrido. Asimismo se propone una metodología para evaluar el impacto que tendrían las rutas dentro de su área de influencia (donde la mayor parte de la información se puede conseguir con facilidad, al provenir de la base de datos de INEGI), para con esto las autoridades prioricen el recurso. Además, se simuló un nodo conflictivo dentro de la red para poder observar el comportamiento del cruce con el estado actual y algunas propuestas de mejora, y así exponer también el beneficio que se tiene al utilizar herramientas computacionales para el análisis y simulación en los corredores e intersecciones.

**Palabras clave:** infraestructura ciclista, movilidad, metodología, impacto de rutas, modelación.

# ABSTRACT

Development of cities as well as mobility within the urban area is having a paradigm shift, where developing infrastructure for all road users not only some of them is retaking importance. The idea is that government and designers stop thinking in made the projects and infrastructure only for vehicles. Here is where cyclist mobility is retaking the importance that it had some decades ago with the movement of people within cities. Gauging or origin-destination surveys usually are used in the development of a cycle network, but in many circumstances there are limited economic resources. In these circumstances this paper proposes a way to draw cycle routes, following national and international manuals, using as a case of study the city of Morelia Michoacán. Also the routes are divided into primary and secondary according to the road by which they will travel, and we propose a methodology for assessing the impact that the routes would have within its area of influence (where most of the information can be obtained easily, coming from the INEGI database) and with this authorities could prioritize resource. Moreover, a conflicting node within the network was simulated to observe the behavior of the junction with the current state and proposals for improvement, with this part of the work we also expose the profit that the use computational tools have for the analysis and simulation in the corridors and intersections.

**Keywords:** cycling infrastructure, mobility, methodology, route impact, computer simulation.

# INTRODUCCIÓN

El movimiento sustentable ha tomado mayor importancia en los planes de movilidad de las ciudades, debido al crecimiento que vienen presentando las zonas urbanas, donde las políticas de algunas ciudades son densificar el terreno, para con esto, provocar menor impacto ecológico en cuanto a la deforestación o cambio de uso de suelo y a la vez tener menores distancias de recorrido de las personas.

De la misma forma, ha sido muy importante la presión que vienen generando las asociaciones civiles, exigiendo a las autoridades espacios seguros para el tránsito de ciclistas y peatones, que no estén pensados solamente en los vehículos motorizados.

Este trabajo está inspirado en la necesidad que tienen las ciudades mexicanas de desarrollar redes de movilidad ciclista, pero que en muchos casos tienen limitaciones de recursos para realizar los estudios básicos, como son los aforos ciclistas o encuestas de origen-destino. Por lo tanto, se buscó una forma para proponer y evaluar las rutas ciclistas de las ciudades para que de esta forma las autoridades pudieran ir priorizando la cantidad de recursos que tengan para este tipo de movilidad, además de mostrar la utilidad que tienen las simulaciones de tránsito en programas computacionales para poder determinar las mejores intervenciones en intersecciones.

Este documento se encuentra dividido en 5 capítulos, el primero habla brevemente sobre la historia del ciclismo urbano y como ha venido creciendo en América y Europa, además de realizar una reseña de los diferentes tipos de intervenciones ciclistas que se pueden realizar, consideraciones que se deben tener en cuenta al momento de pensar en diseñar este tipo de acciones y algunos aspectos sobre educación vial que se deberían de abordar. El segundo capítulo trata el diseño de la red de movilidad, las consideraciones que se deben tener al pensar que calles intervenir, cuando no se cuenta con información como pueden ser conteos ciclistas y encuestas origen-destino; en este capítulo se aborda como poder diseñar las rutas ciclistas con información del INEGI e incluso, que otro tipo de datos se pueden añadir al momento de hacer este proceso, aunque no se debe dejar de lado que gran parte de este proceso se hace de manera empírica, trazando rutas por donde se considera la mejor opción, pero siempre basados en experiencias de otras ciudades, así como algunas indicaciones que vengan en manuales, guías o artículos; este capítulo contiene la propuesta de rutas para la red de movilidad ciclista de Morelia, conteniendo mapas y tablas con las calles intervenidas, longitud de las mismas y el tipo de vía ciclista mínima que se recomienda.

En algunos casos el tamaño de las rutas ciclistas puede ser tal que no se puedan ejecutar en un solo periodo, por lo cuál se tenga que pensar en planes para desarrollarlo en diferentes etapas. Para eso se realizó la evaluación que se explica en el capítulo 3 y 4. En el tercero se evalúan las rutas para poder determinar si son parte de lo que será la red primaria o la red secundaria. Este proceso se realizó basándonos nuevamente en información del INEGI, correspondiente a las clasificaciones de calles que ellos manejan, en donde las rutas ciclistas que circulan por alguna vialidad que se considera primaria en la ciudad (ya sea en su totalidad o solamente parte de ella), se les asignó la etiqueta de red primaria, aunque también a estas se añadieron algunas, que a criterio de los evaluadores, se consideraron deberían pertenecer a dicha red debido a la importancia en cuanto a conectividad que tendrían. El resto de las rutas pasó a pertenecer a la red secundaria, siendo las que por lo general alimentan y no llevan a destinos importantes.

Posterior a la separación de rutas en dos grandes categorías, se deben de evaluar las rutas primarias para conocer su posible impacto dentro del área urbana de la ciudad, y que de esta forma, las autoridades puedan destinar recursos a las rutas que tendrán mayor

impacto. Esta metodología se explica en el capítulo 4, en donde principalmente con información del INEGI se realizó dicha evaluación, mediante la clasificación que tendrían las rutas en las diferentes categorías evaluadas; algunos de los datos que fueron empleados son: densidad de población, vivienda, número de empleos y de negocios; sitios de interés públicos, escuelas, intersecciones (con estas se evaluó la seguridad que llegarían a tener las rutas), casas de estudiante y universidades (estas dos últimas agregadas como información adicional). Se evaluó el impacto de cada una de las rutas dentro de una zona de influencia de 300 metros a cada lado de las rutas, es decir, las rutas se ordenaron mediante una clasificación que estuvo gobernada por la evaluación de la media de las rutas en las diferentes categorías que se evaluaron, de esta forma la ruta que tiene el valor de la media más baja es la que tendrá mayor impacto dentro de la red de movilidad.

En el capítulo 5 se simuló, en el programa VISSIM, uno de los nodos conflictivos de la ciudad de Morelia, conformado por la Avenida Francisco J. Mújica con la Calzada La Huerta, en donde se realizaron 4 diferentes propuestas que incluían tráfico ciclista para poder observar el comportamiento del cruce contra el estado actual, que también fue simulado. En las simulaciones se contemplaron 17 rutas de decisión y ciclos de semaforización de 120 segundos. Los resultados analizados fueron, vehículos (cantidad), demoras (segundos), cola (metros), consumo de combustible (litros), emisiones CO y NOx. El aforo vehicular se obtuvo mediante el programa “*Traffic Intelligence*”, al cual se le realizó una calibración manual para validar datos. Este cruce fue elegido debido a la importancia que tiene la zona al estar cerca de la Universidad Michoacana, y ser uno de los que presenta mayor distancia de cruce en la ciudad (nueve carriles en su totalidad) cuando se quiere ir de la Avenida Francisco J. Mújica hacia la calle Gaspar de Villadiego y viceversa. Finalizando el trabajo con las conclusiones e ideas para futuros trabajos.

## OBJETIVO

Debido al crecimiento que ha venido presentando el ciclismo urbano en la ciudad surge la necesidad de crear un plan de desarrollo de rutas ciclistas debido a la falta de infraestructura apropiada. Por lo tanto, este trabajo tiene como principal objetivo proponer una red de movilidad ciclista que conecte la mayoría de los puntos importantes de la ciudad con las zonas habitacionales, desarrollando metodologías acordes a las necesidades del país, pero que puedan ser adaptadas con relativa facilidad en otros lugares. Para lograr lo anterior se tienen los siguientes objetivos particulares.

- a) Analizar los proyectos existentes que comprenden algunos tramos de vías ciclistas así como los estacionamientos bici, para determinar el estado en que se encuentra la ciudad respecto a infraestructura ciclista.
- b) Proponer una red de rutas ciclistas para la ciudad, considerando las recomendaciones de diseño internacionales en este tipo de infraestructura.
- c) Desarrollar una metodología para evaluar el impacto que tendrían las diferentes rutas en la ciudad cuando no se tienen encuestas origen-destino ni conteos ciclistas.
- d) Diseñar una metodología para separar las rutas ciclistas en primarias y secundarias cuando la longitud de la red sea tal que sea complicado evaluarla en su totalidad.
- e) Analizar y simular mediante algún programa computacional una intersección que cause conflicto dentro de la red ciclista, para con esto, proponer mejoras que causen el menor impacto a todos los usuarios de la vía y con esto poder realizar análisis subsecuentes.

# CAPÍTULO

# 1

## HISTORIA MODERNA DEL CICLISMO URBANO

### **1.1) Introducción**

---

La bicicleta ha jugado un papel importante dentro de la movilidad de las personas, desde que se introdujo su diseño actual que data de finales del siglo XIX pasando por distintos modelos a los que se les fueron haciendo mejoras: la incorporación de pedales, la modificación del tamaño de las ruedas y la introducción de materiales más ligeros, la cadena de transmisión, los neumáticos y los frenos. Estos cambios conformaron, en 1885, la bicicleta de seguridad del inglés John Kemp Starley, el modelo que se considera el precursor de la forma de la bicicleta moderna.

Este medio de transporte fue ampliamente utilizado antes de la segunda guerra mundial, ya que era mucho más rápido que transportarse a pie y menos costoso que moverse a caballo como lo era en aquel entonces. Pero con la llegada de los automóviles y su construcción en serie (que abarato los costos de los mismo), la bicicleta pasó a otro término considerándose como un objeto de recreación y deportivo para la gran mayoría de las personas, en donde el uso como transporte pasó a considerarse para aquellas personas

---

que no tenía otra opción.

Después de la segunda guerra mundial se tuvo una crisis de combustibles lo que trajo consigo un alto costo en estos (principalmente en Europa), lo que llevó a muchas personas a utilizar nuevamente la bicicleta como medio de transporte dentro de la ciudad, además de que con ella se podía desplazarse con mayor libertad en unas ciudades con problemas de movilidad, debido al alto número de vehículos que circulaban por las estrechas calles de las ciudades coloniales.

Esto llevó a tener en las vialidades una mezcla de vehículos motorizados (que no estaban acostumbrados a compartir la calle) con ciclistas, lo que trajo como consecuencia accidentes y algunas fatalidades. Por lo que las personas iniciaron movimientos para tener espacios destinados que brindaran principalmente condiciones de seguridad (en las ciudades europeas principalmente), esto tomó tiempo y en muchos casos demasiado esfuerzo por parte de la ciudadanía para que se les escuchara, pero finalmente se les habilitaron zonas o rutas ciclistas por donde transitaba el mayor número de ciclistas por la ciudad, teniendo como ejemplo la ciudad de Copenhague y sus primeros carriles ciclistas en la década de los 70's.

En la actualidad diseñar adecuadamente una red de movilidad para bicicletas, es necesario tener una visión urbana metropolitana a largo plazo. Al plantear la problemática inicial que se refiere a qué vías hay que intervenir para incorporar infraestructura ciclista, surge la necesidad de una red de movilidad ciclista que garantice la conectividad de las obras y se adecúe a la demanda de ciclistas a través del tiempo. Diversos estudios han planteado que la carencia de una red de este tipo es una de las principales barreras para andar en bici, declaradas por los usuarios actuales y potenciales de la bicicleta, dada la percepción de mayor seguridad al transitar en vías ciclistas (IPCo 2011; Pucher et al. 2011).

Se debe tener en cuenta, que la implementación de un proyecto de movilidad ciclista no se logra en cuestión de meses (aquí entra fuertemente la voluntad política del gobierno de la ciudad), tomando como referencia la ciudad de Portland, Oregón en los Estados Unidos que es considerada como una de las ciudades de ese país que más se acerca a una integración bien hecha y que promueva el ciclismo urbano (Miranda-Moreno & Proulx 2013), a esta ciudad le tomó 23 años completar su primer programa de ciclismo que contemplaba 305 kilómetros de carriles de infraestructura ciclista y ahora están trabajando

en su segundo proyecto mayor que considera unos 700 kilómetros adicionales (Rick Bernardi n.d.).

Por su parte, Montreal conocida por algunos como la Meca del ciclismo urbano en América del Norte, actualmente cuenta con cerca de 600 km de carriles de infraestructura ciclista y tiene intenciones de ampliar su red en 400 kilómetros más para los siguientes años. Pero esto no siempre fue así, proviene de un movimiento donde las personas exigieron al gobierno este tipo de obras en los años 70's, para el año de 1976 los activistas pintaron los primeros carriles bici en la calles y para el año de 1985 se iniciaron las primeras vías ciclistas (Symon 2009).

Pasando al continente Europeo tenemos a Dinamarca y Holanda, ambos países con un alto índice de movimientos ciclistas urbanos por día, contando con el índice más alto de viajes desplazados por este medio del mundo donde en Copenhague cerca del 36% y Ámsterdam el 40% de los viajes se realizan diariamente en bicicleta (la Figura 1.1, muestra un estacionamiento para bicicletas en la ciudad de Ámsterdam). Además, en la actualidad, ambas ciudades cuentan con un alto número de kilómetros de infraestructura ciclista, 350 y 400 aproximadamente cada uno. Pero aquí, al igual que en otras ciudades, no siempre fue de así, ambas ciudades se vieron motivados al uso de la bicicleta por la crisis del petróleo que tuvieron por los años 60's y 70's lo que llevó a sus habitantes a retomar el uso de la bicicleta, lo cuál era sumamente común en ellos antes de la primera guerra mundial (Symon 2009; Bicycledutch 2011; Goldsman n.d.).

En América Latina tenemos dos grandes ejemplos de ciclismo urbano, uno en Curitiba, Brasil y el otro en Bogotá, Colombia. La primera está dentro de las 5 ciudades verdes a nivel mundial, la segunda considerada “la Ámsterdam Latina”, los de la ciudad brasileña, cuentan con una red de 120 km, aunque no es muy grande, está considerada entre las mejor planeadas a nivel mundial y los Colombianos cuentan en Bogotá con una red de 300 km que mueve cerca de 350 mil habitantes diariamente. En Curitiba se iniciaron las vías ciclistas en 1992 debido al plan de transporte que el gobierno lanzo, mientras que en Bogotá esta infraestructura inició en 1982 (IDRD 2012; Goldsman n.d.).

Lo anterior, es solo por mencionar algunas ciudades y que el trayecto para la implementación de un proyecto ciclista, en algunos casos, llega a tomar algo de tiempo, asimismo de ser motivados por diferentes razones cada una; donde la mayoría tienen algo

en común, *los ciudadanos le exigieron al gobierno un espacio seguro para transitar*. Como otros ejemplos de ciudades que son reconocidas por su ciclismo urbano tenemos a: Berlín, Alemania; Barcelona, España; Basilea, Suiza, Beijing, China, y Trondheim, Noruega.



**Figura 1.1** Estacionamiento para bicicletas, Ámsterdam, Holanda.

Además de entender un poco la historia del ciclismo urbano y el cómo se fue desarrollando en diferentes partes del mundo, también debemos tener claros los conceptos y diferencias que se manejan dentro de la infraestructura ciclista. Esto debido a que algunas personas tienden a confundir las diferentes vías ciclistas, como lo son *ciclocarril* o *carril ciclista* con una *ciclovía* que suele ser la primera confusión que tanto las autoridades como el pueblo tienden a tener. Después de esto tenemos el *carril compartido*, *vía compartida* y la *infraestructura de trazo independiente*, como los principales términos a diferenciar. Teniendo en cuenta que de cada una de las anteriores se pueden tener algunas variaciones que pueden ser aplicadas dependiendo las condiciones de la vialidad por la que se valla a realizar la intervención ciclista (ITDP & I-CE 2011c; NACTO 2014; Land Transport Safety 2004).

### 1.1.1) Clasificación de la infraestructura ciclista

A continuación se describirán algunos de los conceptos mencionados y que se pueden implementar en una red de movilidad ciclista:

- **Vía compartida**, se define de acuerdo al Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP por sus siglas en inglés) como “calles locales, altamente conectadas y con velocidades de operación de hasta 30 km/h, lo cual permite a los ciclistas circular de forma segura junto a los automóviles. O como lo definiría la Asociación Nacional de Funcionarios Públicos de Transporte (NACTO, por sus siglas en inglés) “es una vialidad señalizada y con marcaje en el pavimento creado para proveer los características básicas de una vialidad a un ciclista, este señalamiento indica que la vialidad es compartida de velocidad de operación baja sobre una ruta señalada”.
- **Carril compartido**, el ITDP en su manual de ciclociudades lo define como “aquel que da preferencia para las bicicletas y en el que se comparte el espacio con el tránsito automotor. Ubicados siempre en el extremo derecho del arroyo vehicular, estos carriles se pueden implementar en arterias y vías colectoras”, esto siempre y cuando las velocidades de operación no sean mayores a 50 km/h.
- **Ciclocarril o carril ciclista**, la NACTO lo define como “una porción de la calle que ha sido designada por señalización y marcas en el pavimento para la preferencia o uso exclusivo de los ciclistas”. Como lo menciona ITDP “deben ser carriles unidireccionales en la vialidad, donde las velocidades de operación rondan los 50 a 70 km/h”. Se distinguen diferentes tipos de ciclocarriles, donde la variación puede ser el sentido de circulación, el lugar en la calle de carril ciclista o el ancho de la señalización de la misma, como los son:
  - ✓ **Ciclocarril convencional**, (Figura 1.2, A) es el carril ciclista que se acota a un costado de la vialidad con pintura sobre el pavimento usualmente de unos 15 cm de ancho. El señalamiento horizontal es una línea paralela a la banqueta o acera que sirve para indicar el límite de los automóviles. El ciclocarril permite al ciclista circular a su velocidad sin interferencias debido al tráfico automotor.

- ✓ **Ciclocarril con sobre ancho en señalamiento**, (Figura 1.2, B) su principal diferencia con el ciclocarril convencional se encuentra en el señalamiento horizontal que divide a los ciclistas con los automotores, ya que el espacio va desde unos 50 cm a 100 cm de este sobre espacio que se genera entre el ciclocarril y el carril de los vehículos. Este sobre espacio permite a los usuarios sentirse con mayor seguridad en la vialidad al no tener a los vehículos tan cerca de ellos.
- ✓ **Ciclocarril en contra sentido**, (Figura 1.2, C) estos carriles, como su nombre lo indica, permiten a los ciclistas circular en sentido contrario al de los vehículos automotores. Esto convierte una calle de un solo sentido en doble sentido para los ciclistas. Un sentido para los vehículos y las bicicletas, y el otro solo para bicicletas.



**Figura 1.2** Carriles ciclistas. A) Montreal; Ca. B) Fairfax, USA; C) Chicago, USA; D) Nueva York, USA.

Fuente: A, Personal; B, C, D, NACTO

- ✓ **Ciclocarril en el lado izquierdo de la calle**, (Figura 1.2, D) este es un ciclocarril convencional colocado en el lado izquierdo de la vialidad de un solo sentido o junto a la mediana en calles de doble sentido. Este tipo de carriles ofrece la ventajas en vialidades con alto índice de tránsito que frecuentemente tienden a entrar a estacionarse en el lado derecho, con vueltas al lado derecho o que presenta mayor riesgo conducir a los ciclistas por el lado derecho que el izquierdo.
- **Ciclovía o carril segregado**, (Figura 1.3) de acuerdo con el ITDP es “una vía o sección de una vía exclusiva para la circulación ciclista físicamente separada del tránsito automotor pero dentro del arroyo vehicular” o como lo definen los de NACTO es “infraestructura ciclista que combina la experiencia del usuario de una infraestructura de trazo independiente con la infraestructura sobre la calle como lo es una ciclovía convencional.” Este tipo de infraestructura es la que resulta más atractiva para el público debido a la seguridad que proporciona el objeto que separa al vehículo con los ciclistas.



**Figura 1.3** Ciclovía en la ciudad de Montreal, Boulevard Maissonneuve

- **Ciclovía elevada**, (Figura 1.4) es una instalación ciclista que se encuentra verticalmente separada del tráfico vehicular, es decir, se separan de los automóviles

elevando el nivel o altura de la ciclovia. Estas ciclovias pueden manejar uno o los dos sentidos de circulación. Las ciclovias elevadas pueden estar al nivel de la acera o a un nivel intermedio entre los peatones y los vehículos.



**Figura 1.4** Ciclovia en la ciudad de Montreal, Place des arts

➤ **Infraestructura ciclista de trazo independiente**, esta categoría la define el ITDP como, “aquella vialidad exclusiva para la circulación ciclista, apartadas de la circulación del tránsito automotor y cuyo espacio de diseño no depende de la redistribución del arroyo vehicular. Normalmente son bidireccionales, aunque se pueden diseñar de manera unidireccional.” Este tipo de infraestructura el manual de diseño de Nueva Zelanda las define de dos tipos, que son:

- ✓ **Ruta ciclista exclusiva**, (Figura 1.5, A) este tipo de vías están diseñadas exclusivamente para los ciclistas, presentando la ventaja de que el ciclista se mueve sin retrasos por todo el trayecto.
- ✓ **Ruta compartida**, (Figura 1.5, B) este tipo de infraestructura se comparte con el peatón y en algunos otros casos con otro tipo de usuarios (como pueden ser caballos). Este tipo de vías permite maximizar el espacio y beneficios para los habitantes, pero presentando en algunas ocasiones conflictos con los peatones y ciclistas.



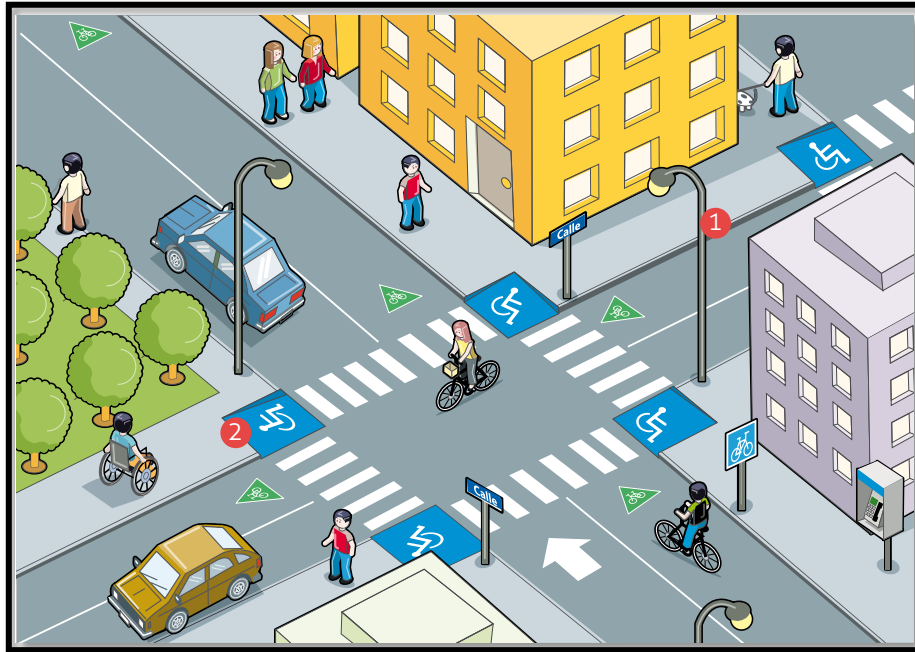
**Figura 1.5** Ciclovías segregadas  
Fuente: A, Personal; B, *smartmoveadelaide*

### 1.1.2) Señalamiento e intersecciones

Se debe de tener en cuenta que algo primordial para poder implementar infraestructura ciclista de manera exitosa se requiere de señalamiento, tanto vertical y horizontal, así como el trato de las intersecciones. Se describe brevemente a continuación cada uno de ellos, además de ilustrarse en la Figura 1.6.

- **Señalización vertical**, Instalando señalamientos informativos, indicando que existe infraestructura ciclista y señalamientos restrictivos (en el caso de la infraestructura delimitada y segregada).
- **Señalización horizontal**, Colocar marcas en el pavimento remarcando la prioridad del ciclista (en el caso de infraestructura compartida), delimitar los carriles y, en el caso de la ciclovía, colocar elementos de confinamiento con reflejante.

- **Tratamiento de intersecciones**, Se deben colocar preferentemente áreas de espera ciclista en todas las intersecciones con semáforo, permitiendo el arranque preferente de los ciclistas al encender la luz verde. Estas áreas también permiten el arranque prioritario en las intersecciones donde exista vuelta a la derecha.

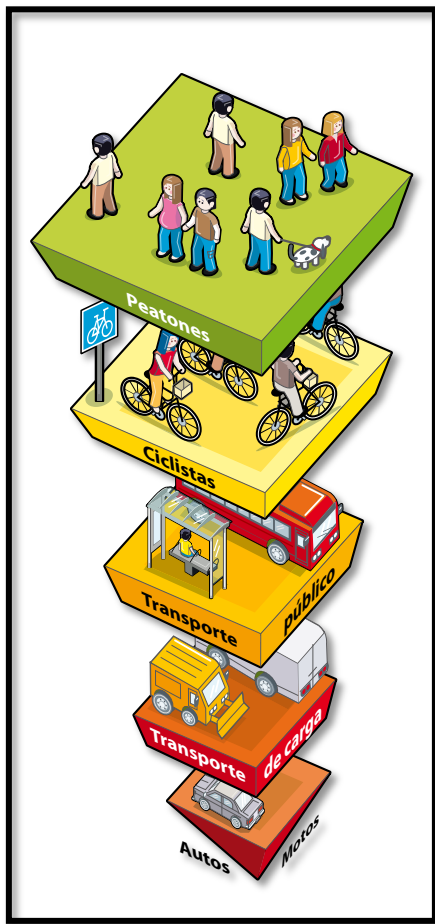


**Figura 1.6** Intervención de intersecciones

Al construir infraestructura ciclista es importante planear no sólo una ciclovía o un ciclocarril, se debe de planear toda una red ciclista. Esta red debe concebirse como un solo proyecto a construirse en un tiempo relativamente corto (de dos a cinco años). Al construir una red completa, se multiplican los destinos atendidos y se reducen los tiempos de traslado. La red tiene el efecto de aumentar rápidamente el número de viajes en bicicleta.

### 1.1.3) El ciclista en la vialidad

En México, la mayoría de los reglamentos de tránsito reconocen a la bicicleta como tal, confiriéndole derechos y obligaciones como un vehículo para circular en la vía. También se tiene un proyecto de norma oficial respecto a señalización urbana horizontal y vertical, misma que se encuentra en aprobación pero que contempla la señalización ciclista dentro de los medios de transporte (SCT & SEDESOL 2011). Aunque en la práctica un gran número de personas, así como autoridades y usuarios de la vía pública consideran a la



**Figura 1.7** Jerarquía en el uso de las vialidades

bicicleta como un objeto para la recreación o en algunos casos hacer deporte, pero esto fuera de las zonas urbanas. Hay una creencia en la mentalidad de un alto número de habitantes donde las bicicletas solo deben de estar en los parques y banquetas (invadiendo el espacio del peatón) sin respetar el espacio de estos en las vialidades como medio de transporte.

Debido a que se busca espacio para el ciclista en la vialidad, se debe de tener en cuenta que en las ciudades donde se implementa infraestructura ciclista su conducción debe seguir las mismas reglas de circulación que los vehículos motorizados, utilizar el arroyo vehicular y respetar los señalamientos viales y el sentido de circulación de la vía; exceptuando algunas vialidades donde se pueda transitar en contraflujo, para lo cual los organismos de las ciudades deben de señalarlas como tal. Los ciclistas deben observar la jerarquía de uso de la vía, siempre confirmando el derecho de paso al peatón, mientras que los automóviles deben otorgarle prioridad de paso a ellos, principalmente porque la bicicleta es un vehículo de tracción humana, de menor tamaño, no cuenta con protección externa y alcanza velocidades moderadas.

La jerarquía de transporte debe dar prioridad a los usuarios de la vía en el orden de la Figura 1.7 donde claramente se observa hacia donde se deberían de enfocar el esfuerzo en cuestión de movilidad para generar ciudades más competitivas socialmente.

Hasta ahora nuestro país refleja preferencia por el transporte motorizado, en gran medida por la influencia del vecino país del norte; por otro lado por la facilidad con la que los automóviles se pueden adquirir, esto motivado por las compañías automotrices que tienen sus ensambladoras en el país reduciendo el costo para el ciudadano mexicano. A nivel mundial el promedio ponderado por población es de 120 habitantes por automóvil.

Sin embargo, de las principales 48 economías que compiten con México, 44 tienen un promedio de 58 habitantes por vehículo. En el caso particular de nuestro país, las ciudades mexicanas muestran un promedio de 4.1 habitantes por vehículo, cifra que, comparada con otros países del mundo, refleja la preferencia nacional por el transporte individual. Sólo en el extremo superior se encuentra Estados Unidos de América, que en promedio cuenta con 1.33 habitantes por auto (ITDP & I-CE 2011a).

Además al pensar en las redes de movilidad de los ciclistas se deben tener en cuenta algunas condiciones para así determinar qué tipo de infraestructura proponer:

- Tener en mente el ancho que se requiere para la circulación de los ciclistas tanto en un sentido como en doble, ya que esto es de vital importancia para poder proponer el tipo de infraestructura adecuada.
- Garantizar que los peatones, ciclistas y automovilistas se perciban oportunamente unos a los otros con suficiente tiempo y espacio, tanto en la vialidad como en las intersecciones.
- Junto a la planeación de la red, al momento de implementarla se debe de señalar de manera clara y legible, ubicando apropiadamente de cierta forma que se faciliten las maniobras y con esto se garantice la seguridad de la circulación en la vía.

Aunque para esto también debemos tener en cuenta algo, que “ningún tipo de infraestructura ciclista se adaptará a cada ciclista y tampoco las instalaciones ciclistas pueden superar la falta de habilidad de algunos usuarios de la vía. Dentro de cualquier corredor de transporte dado, los ciclistas pueden estar dotados de más de una opción para satisfacer sus necesidades de viaje y este corredor debe de dar acceso a todos los usuarios potenciales” (AASHTO 1999).

#### **1.1.4) Consideraciones en la planeación**

Es bien sabido que los ciclistas tienden ir a donde sea, y siguiendo las rutas que les tome el menor tiempo y esfuerzo posible. Para esto se debe de tener buena información sobre cuanta gente utiliza la bicicleta, cuales son los destinos frecuentes y cuál es su propósito; para lo cual es conocido que los siguientes puntos de origen y destino son los frecuentemente buscados por los usuarios de las vías ciclistas: (ITDP & I-CE 2011c).

- Áreas residenciales.
- Zonas turísticas.
- Áreas educativas.
- Áreas con gran cantidad de empleados.
- Centros comerciales.
- Instalaciones de ocio y entretenimiento.
- Instalaciones Públicas.
- Sitios históricos y turísticos.

La planeación de las rutas se tiende a realizar utilizando algunos de los métodos mostrados a continuación, dependiendo de la zona de la ciudad en que se encuentre trabajando: (Land Transport Safety 2004).

- Información sobre la planeación de la ciudad.
- Información sobre censos.
- Tráfico ciclista escolar.
- Número de visitantes.
- Conteo de bicicletas estacionadas.
- Encuestas a viajeros.
- Rutas deseadas.
- Método de la jerarquía de calles.

Cuando no se dispone de un modelo base o encuestas origen-destino (como será nuestro caso debido al tiempo y recursos que toma elaborar dichas encuestas) para construir la red ciclista, resulta recomendable crear una red con base en un método de adaptación de la traza vial bajo la premisa de que los ciclistas se benefician lo más posible. Para llevar a cabo esto, se requiere seguir los siguientes pasos:

- Determinar los grandes orígenes y destinos de viajes.

- Se traza en un mapa las rutas de deseo “origen y destino” creando una red teórica para el conjunto de destinos elegidos.
- A partir de la red teórica sigue el trabajo de definir las redes primarias y secundarias.

Una vez que se han determinado las rutas de movilidad ciclista, se tenderá a determinar el tipo de vías ciclistas de acuerdo a las condiciones de la vía por la cual pasará. Para esto el diseño de la vialidad se basa en diversos elementos como: (ITDP & ICE 2011b).

- Ancho de la vía.
- Distribución de la vía y número de carriles.
- Ancho de los carriles.
- Geometría de las intersecciones.
- Tipo de pavimento.
- Dispositivos para controlar la velocidad.

Se puede usar la forma de la vía para influenciar su uso. Si se les dan carriles a los ciclistas, quitándoselos a los otros vehículos, se incentiva el uso de la bicicleta; o si se reduce el ancho de los carriles, se puede disminuir la velocidad de los vehículos. El ancho, el número y el uso de los carriles, la geometría de las vías y las intersecciones, y el tipo de pavimentos son elementos clave para modificar el uso que se le da a la vialidad (ITDP & ICE 2011b):

- En general, es recomendable que el esfuerzo de elaboración de la red tenga dos niveles: una red primaria y otra secundaria. La red primaria es aquella que traza itinerarios directos para viajes largos, conectando varias zonas de la ciudad a partir de los grandes corredores. La resolución adecuada para una red primaria es de 1.0 kilómetro, es decir, donde un ciclista no tenga que recorrer más de 500 metros para llegar a dicha red. En el caso de la periferia, la resolución puede ser de 2.0 kilómetros, es decir, no más de 1.0 kilómetros para llegar a la red primaria.
- Una opción acertada para construir la red primaria son las vías radiales que sirven sobre todo para los viajes al trabajo en la mañana y de regreso al hogar en la tarde y

noche. Estas son conocidas como las «cycle-super-highways»,

- La red secundaria es aquella que traza itinerarios locales para dar conectividad entre la red primaria establecida. La densidad de ésta depende de los trazos que contemplen la mayor cantidad de destinos. La red secundaria debe plantearse como un conjunto de vías colectoras y tramos de enlace de la red primaria, incluyendo segmentos para la permeabilización de barreras.
- Después de establecer las redes primaria y secundaria, la red de movilidad en bicicleta también debe contemplar polígonos de acción para establecer la zona de pacificación del tránsito y las zonas de susceptibilidad para la implementación de los estacionamientos bici y así como un sistema de bicicletas públicas. Para esto se deberá priorizar la continuidad de la red y concentrarnos en la selección de los barrios o zonas de alto uso de la bicicleta, y por lo tanto que se vaya a tener una alta probabilidad de eficacia.

Posteriormente, se tiende a diseñar la intervención ciclista que se considere pertinente de acuerdo a las características que tenga la zona que se esté cruzando, las características físicas y el uso vehicular que tenga la vialidad.

En cuanto a las paradas de transporte público, existen cuatro soluciones utilizadas alrededor del mundo para resolver el conflicto que se presenta al implementar una infraestructura ciclista delimitada o segregada que cuente con dichas paradas. Cada una es aplicable dependiendo de la disponibilidad del espacio en la vía y otorga diferentes niveles de seguridad y comodidad a los usuarios: (ITDP & I-CE 2011c).

- Parada de transporte público con desvío ciclista.
- Parada de transporte público con trayectoria ciclista dual.
- Parada de transporte público con área compartida peatón-ciclista.
- Parada de transporte público con bahía compartida bus-bicicleta.

El estacionamiento de automóviles adyacente a la infraestructura ciclista deberá analizarse con detenimiento, ya que existen conflictos potenciales entre los usuarios cuando los automóviles cruzan la vía ciclista para las maniobras de estacionamiento y debido a la apertura de portezuelas sobre la trayectoria ciclista. Algunas de las alternativas a esto

pueden ser: (ITDP & I-CE 2011c)

- Regular el estacionamiento en un solo lado de la calle.
- Reubicar los espacios de estacionamiento sobre calles aledañas.
- Construir la vía ciclista entre la acera y el carril de estacionamiento.

Una intersección es un área compleja donde diversas interacciones pueden ocurrir entre, ciclistas, vehículos automotores y peatones. Mientras el número de ciclistas continúa creciendo y disfrutando el beneficio que este medio de transporte proporciona, los ciclistas en el medio urbano siguen teniendo algunos problemas de seguridad, en particular en las intersecciones. Cuando una colisión involucra vehículos automotores y ciclistas, 100 de 1000 ciclistas requieren hospitalización y 10 de 1000 resulta en una fatalidad. Cuando los vehículos automotores no están involucrados en la colisión, 50 de 1000 ciclistas requieren hospitalización y menos de 1 de 1000 resulta en fatalidad (Strauss & Miranda-Moreno 2012).

Los elementos básicos que se deben contemplar en el diseño de intersecciones para reducir el riesgo de accidentes y aumentar la comodidad y rapidez de los itinerarios ciclistas son: (ITDP & I-CE 2011c)

- Reducción de la distancia de cruce peatonal y ciclista: a menor distancia de cruce, menor es la exposición a una colisión.
- Reducción de la velocidad de los vehículos: compatibilizar las distintas velocidades de los distintos usuarios de la vía, ya que a menor velocidad, los peatones, ciclistas y automovilistas se perciben entre ellos con tiempo suficiente para prevenir una colisión.
- Mejoramiento de las condiciones de visibilidad: mantener las intersecciones libres de obstáculos y bien iluminadas.
- Creación de trayectorias de circulación predecible: la geometría y colocación de dispositivos para control de tránsito son fundamentales; las intersecciones deben ser claramente elegibles para facilitar maniobras y evitar indecisiones o decisiones erróneas.
- Minimización de los tiempos de espera: las facilidades para movimientos

direccionales y las fases semafóricas deberán buscar favorecer a ciclistas y peatones.

Respecto a la función, forma y uso de las vialidades, el diseño de una intersección está determinado por el tipo de calles que se interceptan: mientras mayor jerarquía tiene la vía, más complejos tienden a ser los movimientos que se realizan en ella. Por ello, es indispensable la instalación de dispositivos para el control del tránsito.

A través de la colocación de áreas de espera ciclista adelantadas a la línea de alto de los vehículos motorizados (cajas ciclistas), además de semáforos con fases especiales para ciclistas, esto permite que estos usuarios comiencen su desplazamiento previo a los autos.

Los requisitos básicos con los que deben contar los dispositivos para el control del tránsito son: proporcionar seguridad, llamar la atención del usuario, transmitir un mensaje sencillo y claro, hacer que el usuario respete lo indicado, ubicarse en un sitio que permita al usuario recibir el mensaje de forma adecuada y que la distancia a la que se encuentra permita al usuario reaccionar de una forma efectiva y oportuna.

## **1.2) Análisis de Infraestructura**

Entre los factores que evalúan las autoridades inicialmente está el costo – beneficio al implementar infraestructura ciclista, ya que aunque es bien sabido que el ciclismo es el modo de transporte que utiliza de manera más eficiente la energía para desplazarse seguido muy por de cerca por el caminar. Sin embargo existe cierta incertidumbre sobre construir infraestructura ciclista, siendo un campo que no se encuentra muy estudiado. Li desarrolló una metodología para estimar este factor (Li & Faghri 2014) en donde el resultado de su caso de estudio muestra que implementar proyectos ciclistas mejora la planeación del uso de suelo, reduciendo el tráfico, congestiones, ahorrando gastos en estacionamiento, reduce riesgos de accidentes, reducción de emisiones contaminantes y mejoramiento de la salud pública.

La evaluación de rutas ciclistas se lleva a cabo principalmente con encuestas origen – destino, lo cual reduce el campo literario cuando no se cuenta con dicha información, además de que el gran número de publicaciones están enfocadas en evaluar y modificar rutas existentes lo que esto proporciona datos sobre números de ciclistas que emplean la infraestructura. Esto se puede realizar de diversas formas entre las cuales

tenemos la implementada por Larsen donde desarrollan una metodología que es implementada en cuatro pasos (Larsen et al. 2013). El primer paso es identificar los indicadores que se tomarán en cuenta para la evaluación (la información disponible) que se utilizarán para priorizar la investigación. El segundo paso es dividir en una malla la zona de estudio para la cual se cuenta con información. La tercera es transformar los indicadores dentro de la malla en índices prioritarios, estos índices al ser mayores le proporcionan prioridad a dicha celda para localizar infraestructura ciclista. Y finalmente estos índices son sobrepuestos con la red existente para así determinar donde se debe de implementar nueva infraestructura o mejorar la existente. Para lo anterior, la información con la que se cuenta en la ciudad de Montreal (ciudad donde se realizó el caso base) proviene primeramente de encuestas realizadas a 3,000 ciclistas, la segunda fuente fue la Sociedad de Aseguradoras de Quebec la cual contiene información sobre colisiones entre automóviles y ciclistas y la tercer fuente fue la base de datos de encuestas que realiza la Agencia Metropolitana de Transporte para determinar los orígenes – destinos de la población. Weber por su parte emplea una metodología para mapear las ciudades y con esto determinar en que zonas se deberían de concentrar esfuerzos (Weber et al. 2014), para lo cual empleó una encuesta elaborada por ellos enfocada en ciclistas para determinar las rutas que ellos preferían elegir de acuerdo a su destino, junto a esto se evaluó la infraestructura ciclista, el nivel de servicio de la misma y las concentraciones de ciclista por las vialidades, con esto desarrollaron los mapas para mejorar la red existente de la ciudad de Atlanta.

Para facilitar el desarrollo de rutas ciclistas sobre la infraestructura vial existente en la ciudad de Iowa, EUA, se manejó un método para determinar rutas directas que le proporcionarán al usuario rapidez y seguridad para llegar a su destino (Mefford & Griffith n.d.). Donde utilizaron el Índice Clark, una fórmula que considera diferentes variables para determinar la seguridad de los ciclistas en las calles. Esta fórmula le asigna un valor o índice de acuerdo al riesgo que tendría un ciclista al utilizar la vialidad, para lo cual se analizan todas las vialidades que se cree pueden albergar vías ciclistas. La información que se necesita para obtener el índice es: tráfico promedio diario, límite de velocidad, número de carriles, si existe o no estacionamiento paralelo a la vialidad, además, si camiones o camionetas utilizan con frecuencia la vialidad, y si existe fricción lateral. Con lo anterior obtendremos un índice que nos indicaría la probabilidad que corre un ciclista de tener algún

accidente, donde la interpretación sería, un índice mayor es igual a mayor riesgo en la vialidad para los ciclistas; entonces, después de asignarle un índice a todas las vialidades se puede determinar la seguridad de la red vial.

En San José California, emplearon una metodología para determinar las rutas basadas en la tensión que puede tener el ciclista al transitar por las vialidades (Mekuria et al. 2012), esto con la intención de atraer a un mayor segmento de la población. La idea con esta metodología es proveerle a los usuarios rutas directas pero que eviten los nodos que excedan el nivel de tolerancia de la tensión que están dispuestos a soportar y a la vez que no requiera desviarse mucho. Los criterios que proponen para clasificar las vialidades dependen de las características del tráfico, como lo pueden ser el ancho de la vialidad, velocidad de los vehículos, líneas de estacionamiento paralelas a la vialidad y si los ciclistas van mezclados con los vehículos, en carriles ciclistas o segregados con ciclovías. En donde se concluye que si los carriles, velocidad y número de vehículos aumentan, para proporcionar un nivel de tensión menor se requiere de mayor protección para los ciclistas.

En la universidad de Austin en Texas emplearon una metodología basada en encuestas para determinar la preferencia que tendría los ciclistas para determinar las rutas por las cuales circular (Sener et al. 2009). Ellos examinaron los factores que puede influir la decisión de un ciclista para tomar alguna ruta como pueden ser: las características de la bicicleta, vehículos estacionados en la vialidad, instalaciones ciclistas, condiciones, características y función de la vialidad.

En Victoria, Canadá se desarrolló una guía para la planeación de peatones y ciclistas (Litman et al. 2009), donde se trata como crear mejores lugares de manera general para los peatones y ciclistas, es decir, movilidad no motorizada. Nos describe las prácticas no motorizadas, como evaluarlas, priorizar proyectos y como implementar este tipo de programas. Donde para evaluar proyectos la sugerencia es mediante encuestas realizadas a los usuarios para saber su percepción de los problemas y donde el gobierno se debería de enfocar.

Como lo menciona Macbeth la planeación de infraestructura es un proceso hasta cierto grado subjetivo (Macbeth & Allen 2007), por lo cual y evitar un poco esa parte ellos desarrollaron una metodología utilizando herramientas GIS (Sistemas de Información Geográficos, por sus siglas en inglés)trabajando con las Autoridades de Transporte

Regional de Auckland, Nueva Zelanda para determinar las rutas y las que tienen un uso potencial en la red entera y ser comparadas. En donde evalúan rutas para conectar Auckland y Melbourne utilizando información de población, empleos y escuelas.

En la ciudad de Guelph, Ontario se utilizó la herramienta GIS para procesar información para determinación de rutas ciclistas especialmente utilitarias, además de analizar información con un programa FORTRAN, información que se obtuvo de encuestas realizadas por el ayuntamiento (Aultman-Hall et al. 1997). Este fue un proceso donde las personas recibieron las encuestas vía correo y determinaron en un mapa la ruta que utilizaban usualmente para llegar al trabajo o a la escuela, junto con una serie de preguntas, estas encuestas fueron regresadas al ayuntamiento igualmente por correo. Posteriormente se analizó la información obtenida para determinar cuales eran las rutas con mayor elección para así determinar la seguridad de las rutas (esto mediante análisis de intersecciones) y con esto generar la infraestructura necesaria.

Los empleadores y agencias gubernamentales recientemente están aceptando y promoviendo el ciclismo, así como caminar para el trabajo como medio de transporte, por lo cual están buscando mejorar y hacer sus instalaciones “amigables para los ciclistas” (Howard & Burns 2001). La investigación planteada por Howard & Burns tenía entre sus objetivos la determinación de rutas ciclistas para acceder al trabajo, donde la información primaria fue obtenida por encuestas donde el objetivo era la preferencia para rutas ciclistas de los empleados de diversos lugares de trabajo, manejando esta información con programa GIS, con el cual dentro de las rutas de preferencia se analizó el número de calles que ya contaban con infraestructura ciclista y que porcentaje de la ciudad representa. Y con esto se le planteó al gobierno como mejorar este tipo de infraestructura creando perfiles de las calles que los ciclistas comúnmente utilizaban.

Además se encuentran metodologías para definir la prioridad de los proyectos y así dedicar los recursos a este o estos que sean seleccionados, trabajando con métodos integrales de toma de decisión con diversos criterios (Shelton & Medina 2010), en donde el estudio utiliza el Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) y el método TOPSIS para ayudar en la toma de decisión cuando hay diversas opiniones sobre el proyecto prioritario. Metodologías con AHP son utilizadas ampliamente en proyectos de transporte como puede ser el caso del Sistema de Transporte de Estambul donde analizan

varias alternativas para la implementación de un nuevo sistema de trenes (Gerçek et al. 2004).

De acuerdo a la revisión de antecedentes, encontramos que el análisis de infraestructura ciclista es un campo poco estudiado, donde los estudios que se tienen se centran básicamente en encuestas origen-destino y aforos ciclistas (situación similar cuando se quieren determinar los corredores ciclistas). Para ayudarse en el proceso de la información generalmente se emplean Sistemas GIS. Con esto se determina la prioridad de la red ciclista, ya sea para la implementación de la misma en ciudades que no cuentan con infraestructura de este tipo, expansión de la red existente o verificación de la misma cuando se quiere saber la seguridad de algún corredor.

Además, cuando se requiere implementar algún proyecto o inclinarse por alguna ruta de transporte una de las opciones ampliamente usada es la decisión por metodologías multi-criterio como puede ser el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), TOPSIS (Técnicas por orden de preferencia y similitudes para una solución idea, por sus siglas en inglés), ELECTRE (eliminación y cruces expresando realidades, por sus siglas en francés), entre otros. Esto ya que son procedimientos para análisis de decisiones complejas donde el factor económico no es la única variable que se considera, estos procesos recurren a técnicas matemáticas para cuantificar la influencia relativa de los diversos factores que se analizan, para con esto poder determinar la mejor opción en cuanto a los argumentos evaluados.

### **1.3) Modelación de tránsito**

El análisis de tránsito mediante modelos computacionales es relativamente nuevo y a la vez escaso. Dentro de los estudios que se han hecho encontramos a Liu, que en el 2012 realizó un estudio donde se interesó por conocer las necesidades de los ciclistas y otros usuarios en las intersecciones, para lo cual nos dice que es vital entender el desempeño de los ciclistas. (Liu et al. 2012). Por su parte Alecsandru, trabajó en identificar el tiempo adecuado para que los usuarios no motorizados puedan cruzar los semáforos mientras se realiza un retraso con los vehículos motorizados. Como ejemplo maneja las intersecciones de vialidades que tienen que compartir el espacio con carriles ciclistas, donde dice que los ajustes al ciclo de semaforización puede hacerse para incrementar la seguridad vial, esto retrasando el paso de los vehículos. En su caso de estudio trabajo con un corredor de la ciudad de Montreal el

cual fue simulado en VISSIM (simulación de tránsito en ciudades, derivado del alemán) bajo diversos flujos de entrada (automóviles, ciclistas y peatones) (Alecsandru et al. 2010).

El tráfico ciclista presenta dispersión cuando cruzan por el área de las intersecciones, el congestionamiento de las horas pico puede influenciar el movimiento de los vehículos. Entre esto se ha investigado el efecto que tiene la dispersión de vehículos en la vuelta izquierda que realiza el tráfico ciclista en las intersecciones semaforizadas, así como el impacto que tienen los ciclistas en la capacidad de los vehículos en este tipo de vuelta. En donde el estudio realizado por Chen mostró que el comportamiento al rebasar de los ciclistas, especialmente de las bicicletas eléctricas son la mayor causa del fenómeno de dispersión en las vueltas izquierdas en las intersecciones semaforizadas (Chen et al. 2014). También Brosseau analizó conductas que llevan a accidentes debido al tiempo de espera, pero el lo hizo en los peatones. En donde confirmo algunos de los factores que se han mencionado en la literatura como son edad, sexo, tamaño del grupo de espera, señalamiento peatonal. Además de encontrar algunos otros factores como lo es el tiempo máximo de espera (fase roja del semáforo) (Brosseau et al. 2012).

Figliozi estudió la fase mínima del verde en los semáforos así como el tiempo que requiere en salir de la intersección cuando se entra a ella en la luz amarilla antes de ser golpeado por algún vehículo que venga de alguno de los otros sentidos del cruce. Así como AASHTO en su nueva guía presenta la aceleración de los ciclistas en las intersecciones cuando se encuentran parados o en movimiento, ellos presentan la ecuación para determinar esa velocidad para poder obtener la que se ajuste a las condiciones de los ciclistas locales (Figliozi et al. 2013).

También se han realizado trabajos para calibrar los programas de micro-simulación como lo es VISSIM utilizando información de videos con algoritmos automatizados (Anderson-Trocmé et al. 2012) . En donde la metodología empleada incluye la recolección de datos utilizando sistemas de video móviles, procesamiento de información y análisis de los videos basados en las trayectorias.

Durante la revisión literaria se pudo identificar que la mayor parte de trabajos realizados se enfocan en calibrar los programas computacionales, trabajos que se justifican ya que las condiciones de operación varían de acuerdo a la ciudad en que se este trabajando. Muy pocos trabajos se centran en la recolección de datos con análisis mediante

videos y mucho menos en el comportamiento de los ciclistas o como afectan estos el flujo de los vehículos y capacidad vial de las calles, que será en lo que este capítulo se centre.

# CAPÍTULO

# 2

## DISEÑO DE UNA RED DE MOVILIDAD CICLISTA, CASO MORELIA

### **2.1) Introducción**

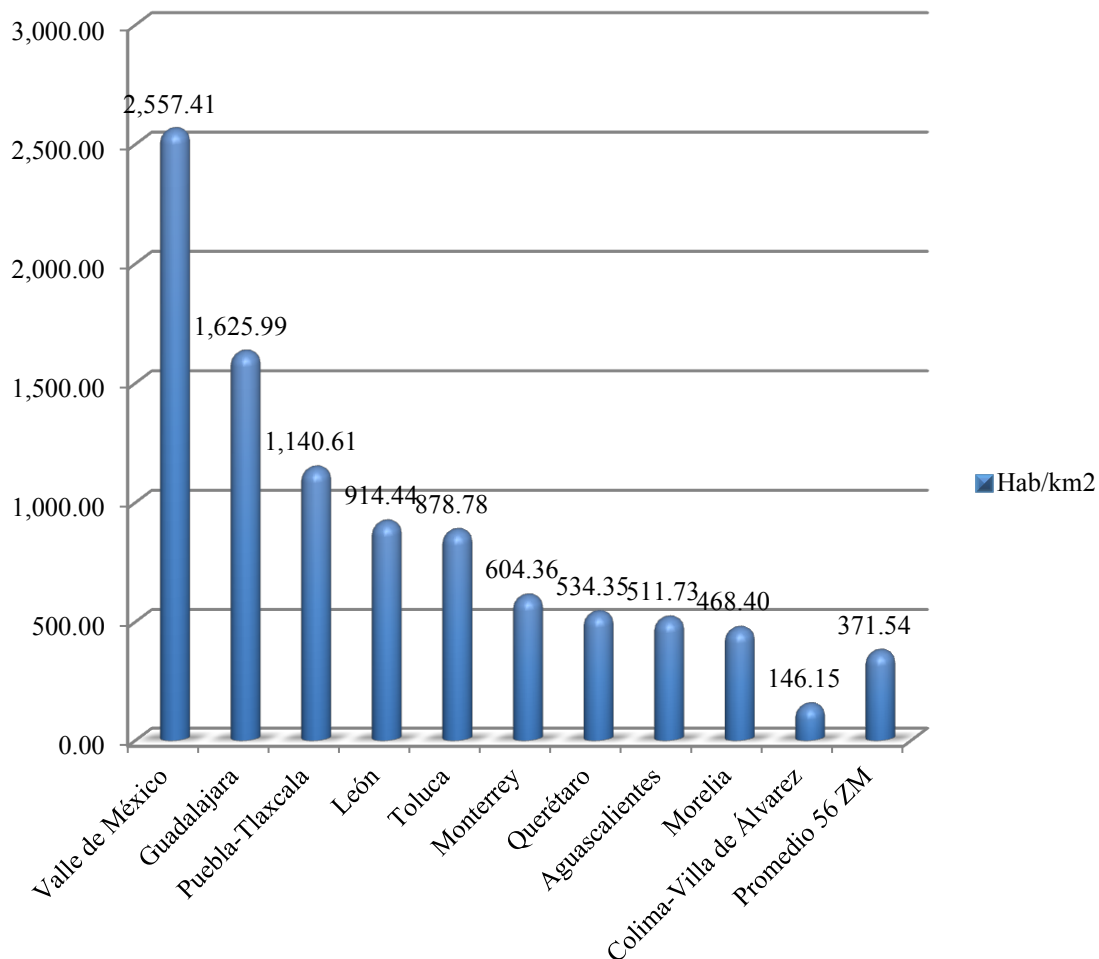
---

El problema de movilidad que se vive en las ciudades es ocasionado por un gran número de vehículos en las vialidades y el aumento de población en las ciudades, las cuales no cuentan con la capacidad para albergar todo el tránsito que circula por ellas y si lo llegan a hacer lo hacen con un nivel de servicio muy bajo, a lo cual, podemos agregar que la mayoría de las ciudades del país tienen un trazado que se realizó en la época de la colonia, donde las calles eran utilizadas para el tránsito de carretas y peatones y que por lo tanto no fueron planeadas para el tránsito automotor, teniendo calles angostas y en muchos casos con “traza de plato roto”. En nuestro caso, la ciudad de Morelia, que también data de la época virreinal, cuenta con la mayoría de calles angostas en su centro histórico y en muchos casos estas no tienen salida a alguna vialidad importante, terminando la mayoría en algún templo o iglesia.

El país presenta una población de cerca de 120 millones de habitantes para el censo del 2010, en donde 63.8 millones viven en alguna de las 59 Zonas Metropolitanas (ZM) que se han identificado dentro del territorio nacional (CONAPO 2010). La ZM de

---

Morelia se posiciona en el número 19, siendo la ciudad con mayor población del estado de Michoacán con una población de 829,625 habitantes, analizando a Morelia – Tarímbaro, y aunque su densidad en el área urbana no representa grandes números, si analizamos el área que se encuentra dentro del anillo periférico (que es donde se basará principalmente el estudio) tiene una densidad de población de 7,336.11 hab/km<sup>2</sup>. Tener ciudades densificadas, en el aspecto de movilidad, puede traer mayores beneficios comparado con ciudades con población dispersa, ya que se pueden planear mejores sistemas de transporte masivos que resulten más redituables, además de que las personas recorren menores distancias para llegar a su destino, pudiendo optar por otros medios de transporte no



**Figura 2.1** Densidad de Población de Zonas Metropolitanas

Fuente: Elaboración propia con información de *Delimitación de Zonas Metropolitanas de México 2010*, CANAPO

solamente el automóvil. La Figura 2.1 muestra un gráfico comparando 10 zonas metropolitanas y el promedio que presentan las 59 ZM del país.

La ciudad de Morelia además de contar con calles pequeñas en lo que es su centro histórico (Figura 2.2), ha tenido un crecimiento urbano desordenado, en donde las autoridades no han podido controlar y limitar este fenómeno, con lo que se han llegado a generar algunos nodos importantes que llegan a ser un caos no solo en hora pico, sino en gran parte del día, como lo son, “el monumento a Lázaro Cárdenas” y “el Pípila” por nombrar algunos. Por lo cual, para disminuir el problema de tráfico en la ciudad y la contaminación generada por los vehículos, se está planteando la necesidad de incorporar la movilidad en bicicleta como un importante eslabón dentro de la cadena para generar una ciudad sostenible, competitiva y con calidad de vida.



**Figura 2.2** Centro histórico Morelia, Michoacán

Aunque la posibilidad de lograr esta transformación hacia ciudades competitivas, saludables, equitativas y sostenibles está fuertemente vinculada a la voluntad de las autoridades, también juega un gran rol la actitud que los usuarios de la vía pública estamos tomando ante el indiscriminado uso del automóvil que se está llevando a cabo. De acuerdo

a un estudio realizado por la ONU, en México existen 29.7 millones de vehículos y durante la última década, se ha tenido un crecimiento del 9% anual. En donde el 80 por ciento de este crecimiento es transporte privado, el cual solo sirve al 20 por ciento de la población (ONU-HABITAT 2011).

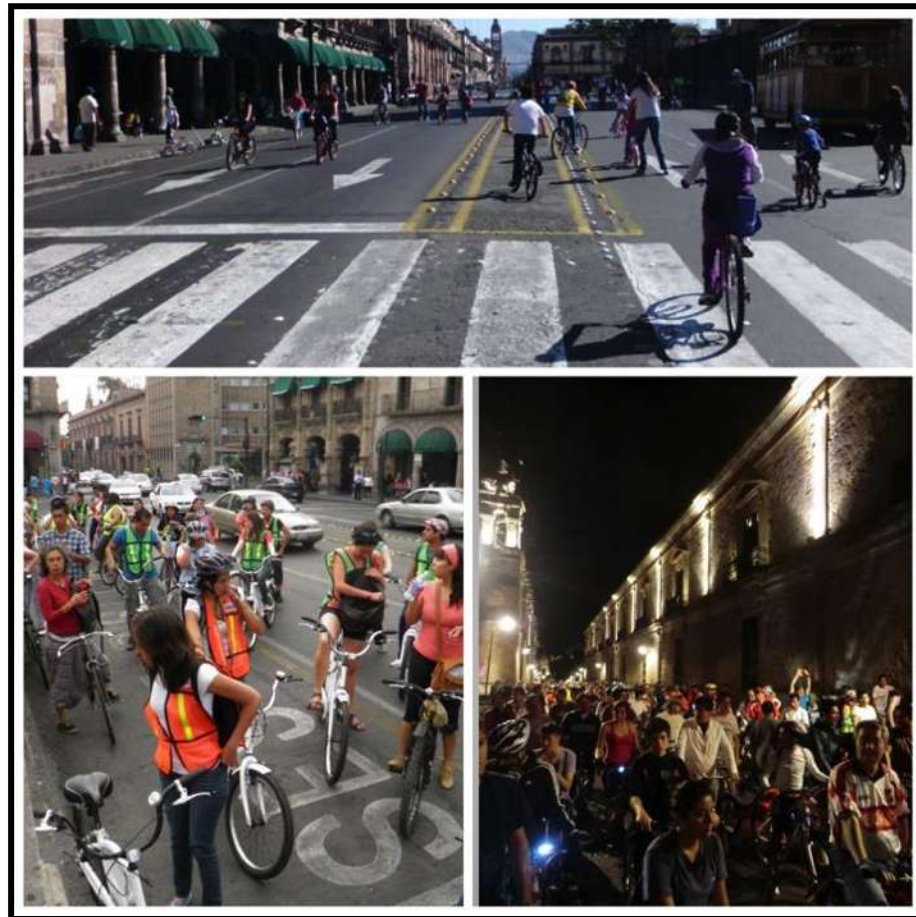


**Figura 2.3** Ciclovía San Juanito Itzicuaro, Morelia

La ciudad de Morelia tiene algún tiempo trabajando en proyectos relacionados a la movilidad ciclista, donde se han empezado a construir o habilitar algunas vías ciclistas, pero desafortunadamente estas son obras aisladas que no proporcionan conexión alguna, se encuentran descuidadas y como consecuencia, no promueve este tipo de transporte dentro de la ciudad. Las vialidades que contaban con vías ciclistas al 2013 son: Boulevard Juan Pablo II, el cuál cuenta con carriles bici en cada sentido; la avenida San Juanito Itzicuaro, donde se encuentra una ciclovía bidireccional (misma que se encuentra invadida por vehículos estacionados, mal señalizada, además de no realizar el mantenimiento adecuado, Figura 2.3); además de esto se encuentra en proceso la implementación de carriles

compartidos en una ruta Ciudad Universitaria – Bosque Cuauhtémoc.

Para poder incentivar el uso de la bicicleta dentro de la ciudad de Morelia, la sociedad civil se ha unido en organizaciones sociales para proponer proyectos de infraestructura ciclista, así como acciones que incentiven la movilidad ciclista. Dentro de las organizaciones que han prosperado y marcado mayor pauta dentro de la ciudad se encuentra Bicivilízate (Figura 2.4). Organización civil que ha venido trabajando desde el 2004, la cual promueve la movilidad en bicicleta principalmente con 4 iniciativas que son: Ciclovía Recreativa Dominical, Paseo Nocturno de los miércoles (donde se han llegado a reunir hasta 3,500 participantes), Paseo Nosotras en Bici, Paseo del último viernes del mes, Paseo a ciegas Morelia, además esta organización cuenta con préstamo de bicicletas. También se encuentra Chapultered, organización joven que promueve la movilidad con un paseo llamado “Paseo del Bule”, cuya periodicidad se define en su página de internet.



**Figura 2.4** Iniciativas Bicivilízate A.C.

*Fuente: Bicivilízate A.C.*

Por lo cual, para mejorar la movilidad dentro de las ciudades y específicamente la ciudad de Morelia, se está planteando introducir el uso de la bicicleta como medio de transporte de forma habitual, como se ha hecho ya en otros países. Entonces para facilitar el crecimiento ciclista en las ciudades se debe de introducir infraestructura ciclista (como pueden ser carriles bici o ciclovías), ya que esto llega a motivar a los usuarios a utilizar este medio de transporte, así como programas para pacificar el tránsito, de educación vial y políticas que hagan la movilidad en bicicleta segura, conveniente y atrayente para los usuarios (IPCo 2011; Pucher et al. 2011).

## **2.2) Metodología y resultados**

---

Una red ciclista debe de proporcionar rutas interconectadas que faciliten la movilidad dentro de la ciudad y que cubra las necesidades de la gran mayoría de los usuarios. Esta red debe de proporcionar a los ciclistas seguridad, comodidad y rutas directas durante la mayor parte del viaje dentro de un gran número de puntos origen - destino.

Durante el diseño de las redes de movilidad ciclista se tuvo en consideración que estas podrían llegar a cambiar de cierta manera la movilidad dentro de la ciudad, debido a que tendría un impacto en todos los usuarios de la vía. Este impacto sería de manera benéfica, como se ha observado en ciudades de otros países, mejorando la salud, tiempo de recorrido, índices de contaminación, espacio en la vía para transitar e incluso mejorar la imagen urbana de la ciudad. Aunque está claro, no a todas las personas les generaría un impacto positivo por lo cual se busca que esta red impacte lo menos posible en forma negativa y en contra parte, que esto traiga consigo el mayor beneficio posible para todos los usuarios, así como cumplir lo máximo posible con los 5 requisitos que recomienda el ITDP (ITDP & I-CE 2011). Para lo cual se procuró lo más posible, apegarse a esto y proponer rutas coherentes, directas, seguras, cómodas y atractivas para desplazarse por la ciudad de Morelia.

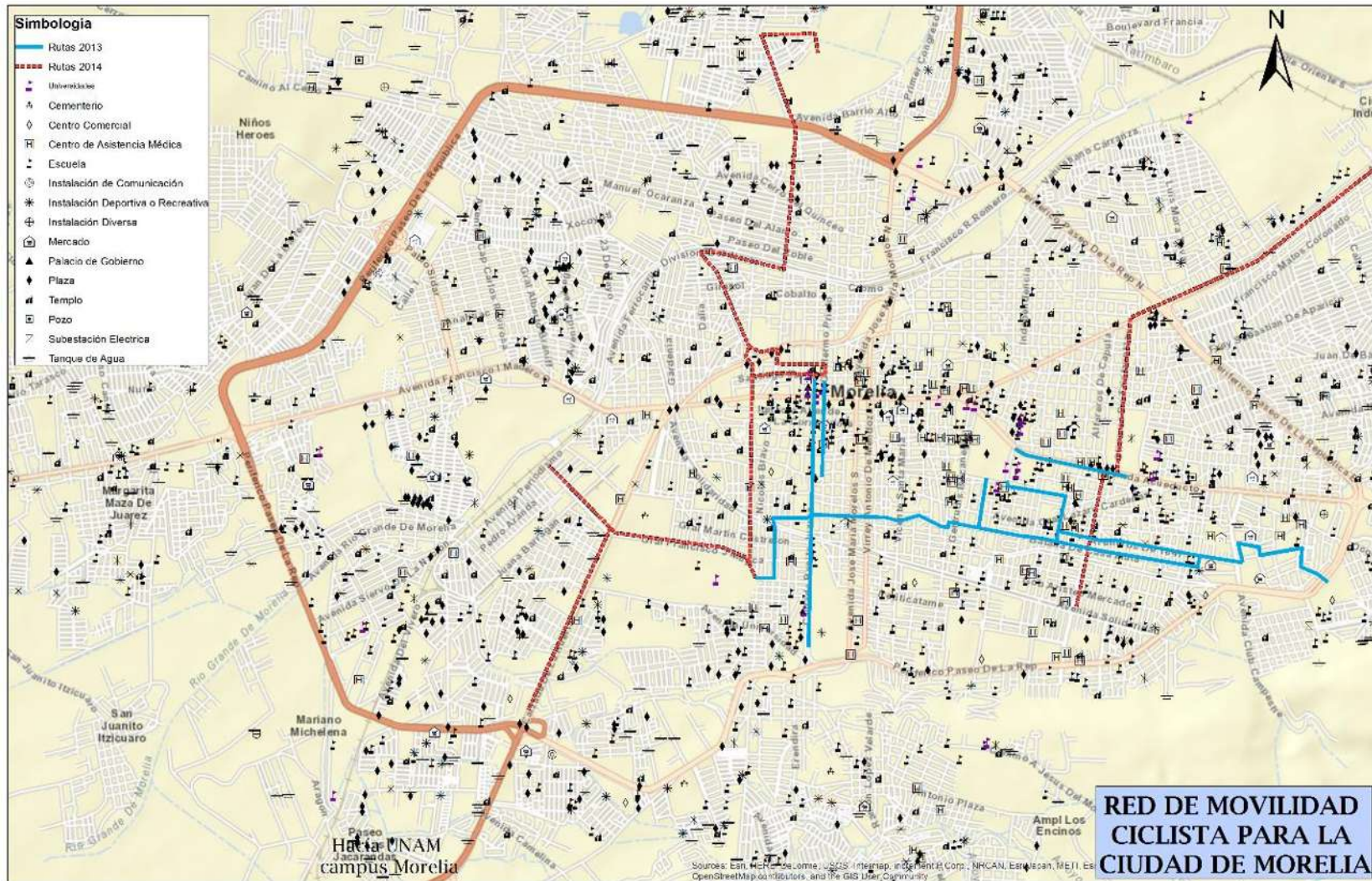
Primeramente se analizaron los proyectos sobre infraestructura ciclista existentes para la ciudad, esto comprende rutas de movilidad ciclista, así como ciclopuertos (estacionamientos ciclistas) principalmente sugeridos por las organizaciones ciclistas, y la Universidad Michoacana, a los cuales el Ayuntamiento de la ciudad les anexo algunas rutas que ellos consideran pertinentes. Esto lo dividieron en dos etapas principales, una donde se

cubrirían 10 kilómetros de infraestructura ciclista y una segunda que contempla 15 kilómetros adicionales, esta segunda etapa fue principalmente sugerida por la autoridad, lo anterior se ve reflejado en las Figuras 2.5 y 2.6, las rutas de color azul corresponde a las que fueron propuestas por la Universidad Michoacana, mientras tanto el Ayuntamiento de la ciudad añadió las rutas rojas.

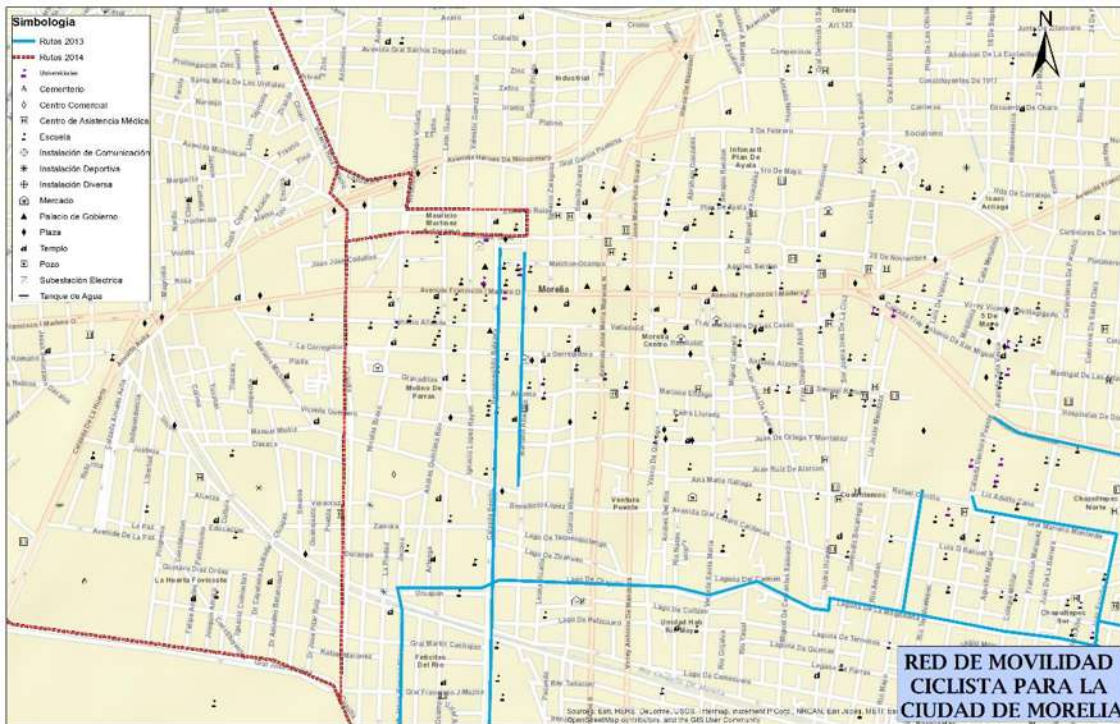
Con esta información se procedió a trazar la “red de movilidad ciclista para la ciudad de Morelia” donde se contemplaron una serie de aspectos para lograr una conexión por la mayor parte del área de la ciudad, donde las zonas habitacionales quedarán cubiertas y conectadas con las escuelas, áreas laborales, negocios, centros de entretenimiento, descanso y comerciales. Una de las principales consideraciones fue que las rutas pasaran por calles que se consideraran seguras al transitar por ellas, para lo cual en una de las etapas de la planeación algunas rutas se modificaron debido a este factor; además de que se tuvieran corredores que conectaran varias zonas de la ciudad, los que se consideraran como rutas primarias.

El proceso de desarrollo se elaboró en varias etapas, la primera llevada a cabo en escritorio con un plano de la ciudad, en el cual se realizó el trazo preliminar de las rutas ciclistas, procurando cubrir gran parte de la ciudad. Durante esta parte del proceso el principal objetivo era que las rutas no tuvieran separación considerable entre ellas, es decir no más de 500 metros entre cada una, tomando la consideración que manuales internacionales realizan donde indican que un ciclista no debe de recorrer más de 300 metros para poder llegar a la ruta ciclista, entonces sumando ambos lados tenemos el valor de 600 metros, donde nos decidimos apegar al número de acuerdo a la escala de 500 metros de separación entre estas.

Entre los puntos de destino/interés que se buscaron cubrir con mayor enfoque en esta etapa fueron escuelas, instalaciones de gobierno, empresas, unidades deportivas, plazas y parques.



**Figura 2.5** Red de movilidad ciclista para la ciudad de Morelia, proyecto existente; Mapa de la ciudad  
 Fuente: Elaboración personal con información del INEGI, UMNSH y Ayuntamiento de la ciudad de Morelia

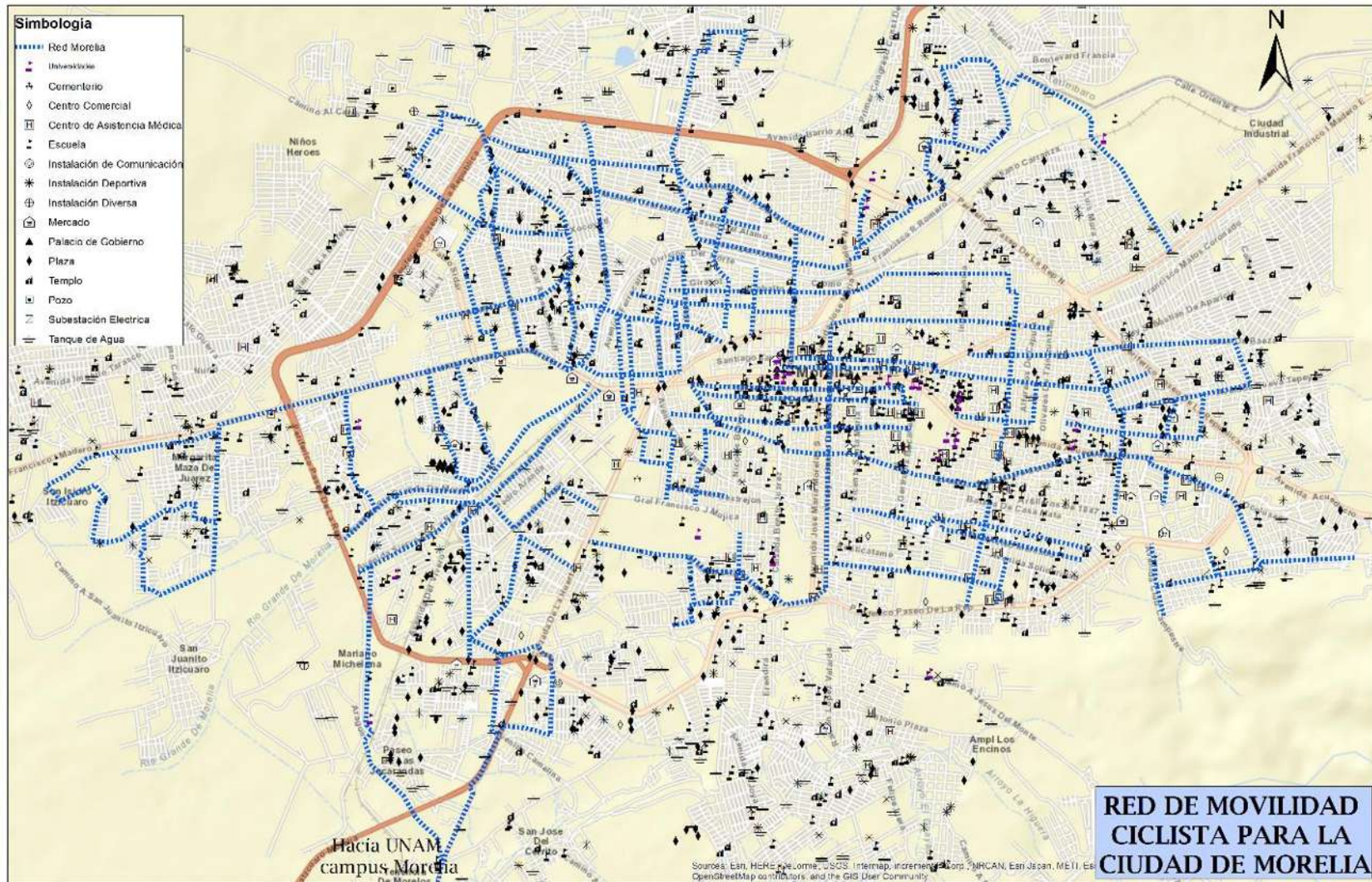


**Figura 2.6** Red de movilidad ciclista para la ciudad de Morelia, proyecto existente; Mapa del centro histórico

*Fuente: Elaboración personal con información del INEGI, UMNSH y Ayuntamiento de la ciudad de Morelia*

Una vez que se tenían identificadas las rutas deseadas nos apoyamos con un programa GIS, en donde se trazaron las rutas sobre la ciudad y se identificaron los puntos de destino/interés que se buscaron cubrir (los cuales están dispersos a lo largo de la ciudad y marcados con diferente simbología en los mapas de acuerdo a lo que representan), esta etapa se ve reflejada en la Figura 2.7 que se manejó como el borrador de las rutas, pero que no se consideran definitivas ya que por medio del papel, no se pueden percibir algunos factores como pueden ser, seguridad (aunque esto es algo más cualitativo de acuerdo al usuario), pendiente de las calles y principalmente que tuvieran algún destino, ya que algunas calles no presentaron la conexión esperada con vialidades aledañas.

Con el bosquejo de las rutas se procedió a evaluar los recorridos, realizando la inspección de las rutas físicamente evaluando su factibilidad. Si alguna de estas rutas cruzaba por alguna calle la cual se percibiera insegura, entonces se descartaba en el sitio y se procedía a buscar otra alternativa en el momento, aunque esta desviación involucrara recorrer algunos metros de más, donde en lo general resultaba un desplazamiento a la siguiente esquina. Además de eso, si la calle por la cual se trazó la ruta



**Figura 2.7** Redes propuestas en escritorio.  
 Fuente: Elaboración personal con información del INEGI, UMNSH y Ayuntamiento de la ciudad de Morelia

contaba con impedimentos físicos para seguir el recorrido (se puede ejemplificar con las calles de la colonia Las Flores hacia la avenida Nocupetaro o la calle Santa María de los Urdiales en la colonia Las Margaritas por mencionar algunas), se replantearon las rutas por esa zona, aunque algunas se dejaron como se visualizaron en papel, pero en algunos casos se deberían de realizar algunas obras complementarias, como puede ser un cruce a desnivel (algunas zonas del periférico), rampas de acceso, puentes sobre ríos. Algunas de estas obras complementarias que se podrían hacer se aprecian en la Figura 2.8.



**Figura 2.8** Obras complementarias. A) Paso peatonal y ciclista; Montreal, Ca. B) Riel de apoyo ciclista en escaleras; Ottawa, Ca. C) Alcantarilla adecuada para ciclistas; Montreal, Ca

Como se menciona en la guía de planeación de rutas ciclistas de Nueva Zelanda “La planeación de rutas ciclistas es la organización de las instalaciones y las adecuaciones más apropiadas que proporcione un camino continuo para los ciclistas, que los lleve con seguridad y comodidad durante la mayor parte de su viaje” (Land Transport Safety 2004) Para lo cual la infraestructura ciclista dependerá del entorno por el que pasará ya que no es lo mismo atravesar algunas zonas de la ciudad donde las calles cuentan con buena iluminación además de superficie de rodadura en buenas condiciones. Por lo tanto, al

momento de inspeccionar las rutas se buscó que las rutas cumplieran las siguientes condiciones:

- 1) Conexión entre las diferentes rutas de la ciudad.
- 2) Conectar las zonas habitacionales con las escuelas, áreas laborales, negocios, centros de entretenimiento, descanso y comerciales.
- 3) Seguridad de las rutas, donde se contempló iluminación, superficie de rodadura y la sensación que se percibía al circular por algunas de las calles (esto fue más en las calles secundarias de la ciudad).
- 4) Rutas con pendiente moderada en la zona que cruzaban.
- 5) Generar el menor impacto posible en las vías principales de la ciudad.

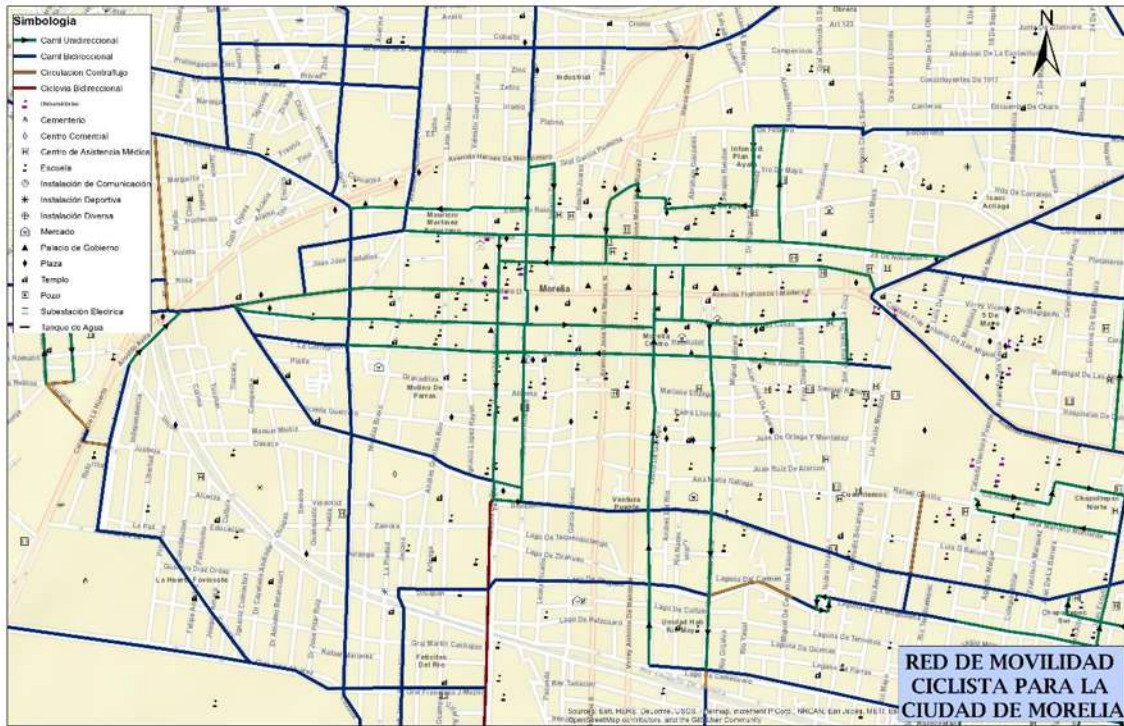
Con lo anterior se busca proporcionar a los ciclistas:

- 1) Un alto nivel de servicio que incluya, seguridad, comodidad y confort.
- 2) Proporcionar espacio operativo al ciclista y otros usuarios; minimizando el conflicto entre ellos.

El mapa de las Figuras 2.9 y 2.10 muestra el resultado de la evaluación de las rutas ciclistas donde se contemplaron las siguientes vías ciclistas y dando como resultado la siguiente longitud:

- a) Carril compartido unidireccional: 151 kilómetros
- b) Carril compartido bidireccional: 31.2 kilómetros
- c) Carril en contraflujo: 3.7 kilómetros
- d) Ciclovía bidireccional: 18.2 kilómetros

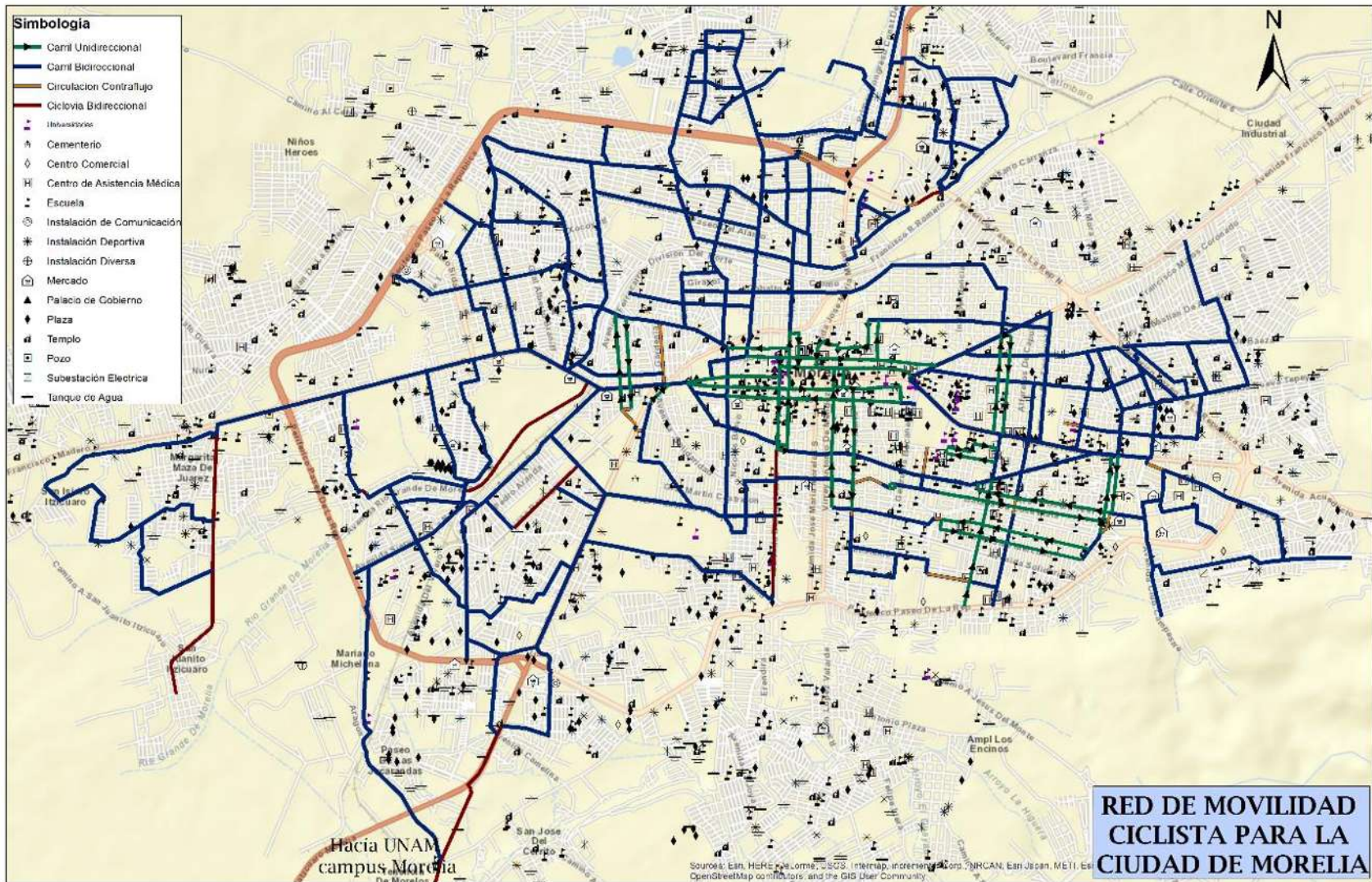
El mapa de la Figura 2.10 muestra la red de movilidad ciclista que se está proponiendo para la ciudad, donde se cubriría gran parte de la población que se encuentra actualmente dentro del área urbana de la ciudad de Morelia. La Tabla 2.1 contiene el nombre de algunas vías que forman parte de esta red que se está proponiendo, el anexo 1 contiene un mapa indicando el ID correspondiente a cada ruta, así como la tabla 2.1 completa se encuentra en el anexo 2.



**Figura 2.9** Propuesta de red de movilidad ciclista para la ciudad de Morelia.

Mapa del centro histórico

*Fuente: Elaboración personal con información del INEGI, UMNSH y Ayuntamiento de la ciudad de Morelia*



**Figura 2.10** Propuesta de red de movilidad ciclista para la ciudad de Morelia. Mapa de la ciudad Fuente: Elaboración personal con información del INEGI, UMNSH y Ayuntamiento de la ciudad de Morelia

**Tabla 2.1** Vialidades de la red de movilidad ciclistas (4 rutas)

ID	Vialidad	Longitud Vialidad (km)	Longitud Ruta (km)	Vía Ciclista
1	Antonio Álzate	0.167	13.57	Carril Bidireccional
1	Av. Acueducto	2.862		Carril Bidireccional
1	Av. Francisco I. Madero Poniente	5.341		Carril Bidireccional
1	Aquiles Serdán	1.007		Carril Unidireccional
1	El Nigromante	0.215		Carril Unidireccional
1	Allende	1.417		Carril Unidireccional
1	Av. Francisco I. Madero Poniente	1.008		Carril Unidireccional
1	Melchor Ocampo	0.405		Carril Unidireccional
1	Sor Juana Inés de la Cruz	0.170		Carril Unidireccional
1	Bartolomé de las Casas	0.732		Carril Unidireccional
1	Valladolid	0.186		Carril Unidireccional
1	Rinconada de Villalongín	0.059		Carril Unidireccional
2	Santiago Tapia	0.403	6.09	Carril Bidireccional
2	Cuatla	2.061		Carril Bidireccional
2	Av. Guadalupe Victoria	2.340		Carril Bidireccional
2	Av. Torreón Nuevo	1.284		Carril Bidireccional
3	Artilleros de 1847	0.384	8.36	Carril Bidireccional
3	Lago de Chapala	0.942		Carril Bidireccional
3	Laguna de la Magdalena	0.491		Carril Bidireccional
3	Av. Panamá	0.252		Carril Bidireccional
3	Av. Venezuela	0.465		Carril Bidireccional
3	Tlalpujahua	0.154		Carril Bidireccional
3	José Romero Flores	0.485		Carril Bidireccional
3	Jaconá	0.081		Carril Bidireccional
3	Uruapan	0.364		Carril Bidireccional
3	Canadá	0.209		Carril Bidireccional
3	Av. Brasil	0.390		Carril Bidireccional
3	Av. Paraguay	0.182		Carril Bidireccional
3	Lago de Chapala	0.046		Carril Unidireccional
3	Isidro Huarte	0.052		Carril Unidireccional
3	Laguna de la Magdalena	0.049		Carril Unidireccional
3	Sánchez de Tagle	0.052		Carril Unidireccional
3	Batalla de Casa Mata	1.873		Carril Unidireccional
3	Artilleros de 1847	1.552		Carril Unidireccional
3	Lago de Chapala	0.337	Circulación Contraflujo	
4	Francisco J. Mújica	1.883	2.76	Carril Bidireccional
4	Gaspar de Villadiego	0.872		Carril Bidireccional

# CAPÍTULO

# 3

## RUTAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS DE LA RED CICLISTA DE LA CIUDAD DE MORELIA

### **3.1) Introducción**

---

En el capítulo anterior se describió el proceso de elaboración de una red de movilidad ciclista para una ciudad cuando no se cuenta con información de encuestas de origen – destino, tomando como caso base la ciudad de Morelia. Para lo cual se siguió un proceso en donde el principal objetivo fue proporcionar rutas interconectadas que facilitarían la movilidad dentro de la ciudad y que estas cubrieran la gran mayoría de los usuarios. Se buscó en todo momento que esta red proporcionara a los ciclistas seguridad, comodidad y rutas directas durante la mayor parte de sus viajes.

Recordando que entre las consideraciones primordiales al momento de elaborar esta red fue que las rutas no tuvieran separación considerable entre ellas, es decir no más de 500 metros entre cada una, tomando lo que los manuales internacionales recomiendan. Los manuales indican que un ciclista no debe de recorrer más de 300 metros para poder llegar a la ruta ciclista, entonces sumando ambos lados tenemos el valor de 600 metros, donde se

---

decidió apegarnos a una separación de 500 metros, esto para facilitar el trabajo con las escalas en los planos.

Con lo anterior se desarrolló el mapa de rutas ciclistas mostrado en la Figura 2.10, donde las vías ciclistas pasarían por las vialidades detalladas en la Tabla 2.1. Se podría pensar que lo anterior sería suficiente, siempre y cuando se pensara desarrollar la infraestructura ciclista de la ciudad en una sola etapa, pero siendo una red con una longitud de 205.98 km, donde al momento de implementarse en su totalidad sería una de las redes ciclistas con mayor número de kilómetros en Latinoamérica. Pero llevar a cabo la implementación de la red ciclista en una sola etapa es algo que se visualiza poco probable por el costo que esto requiere, lo que llevará a los organismos municipales a implementar los proyectos en diferentes etapas.

Debido a esto, se evaluó el proyecto para determinar la prioridad de cada ruta y con esto facilitar al Ayuntamiento la toma de decisión sobre cuales serían las rutas que deberían de recibir prioridad. Con esto se procuraría iniciar con las rutas que tienen mayor impacto y cobertura tanto de población, sitios de interés y negocios, generando un impulso y mayor difusión a la movilidad no motorizada.

Pero nos encontramos en la misma disyuntiva que se tuvo al momento de proponer la red de movilidad ciclista, *la falta de información en cuanto a encuesta de origen - destino y aforos ciclistas*. Entonces, como evaluar la red ciclista propuestas, para que de esta manera los municipios puedan determinar cuales son las rutas que tendrían mayor impacto dentro de la ciudad, para de esta forma minimizar la posibilidad de que la infraestructura ciclista no tenga el impacto deseado, debido a que las rutas elegidas de inicio no sean las de mayor densidad de población, puntos de interés o negocios y que esto desencadene en la frase “el ciclismo no es para esta ciudad, la gente no utiliza las vías ciclistas”.

### **3.2) Metodología**

Hasta este punto se tienen 76 rutas ciclistas con una longitud total de 205.98 km y las diferentes clasificaciones que se han venido manejaron en este trabajo (carril unidireccional, carril bidireccional, carril en contraflujo y ciclovía bidireccional), junto con la Tabla 2.1 que contiene desglose de vialidades donde se contempla infraestructura ciclista

así como la longitud de las mismas dentro de estas vialidades.

Además de contar con las rutas ciclistas determinadas anteriormente se posee información sobre la ciudad de Morelia proveniente del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La información que se tiene, es referente a la Cartografía Urbana (INEGI 2010), información del censo de Población y Vivienda del 2010 actualizado al 2012 (INEGI 2012) y con el censo la base de datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) (INEGI 2013). Toda esta información se puede consultar para las ciudades Mexicanas libremente, exceptuando el DENUE, que tiene un costo para particulares y de libre acceso para la academia.

La base de datos de la Cartografía Urbana contiene una serie de archivos vectorizados para su uso en diferentes programas (GIS y CAD), en nuestro caso se utilizaron los shapefiles (SHP) para su uso con el programa GIS. Para nuestro caso que fue la ciudad de Morelia en el estado de Michoacán de Ocampo el paquete utilizado fue el correspondiente a la clave 16053. Los paquetes descargados del portal de INEGI contienen una serie de archivos que tienen un código numérico que corresponde al código del estado junto al de la ciudad, finalizando con una letra, esta letra indica la información que contiene el mismo y esta se describe a continuación:

- a) **L.**- Polígono de Localidad Urbana.
- b) **A.**- Área Geoestadística Básica.
- c) **CA.**- Carreteras.
- d) **E.**- Ejes viales.
- e) **M.**- Polígonos de Manzanas.
- f) **T.**- Etiquetas con los Nombres de los Ejes de Vialidad.
- g) **SIA.**- Servicios con información complementaria de tipo Área (Áreas Verdes, Panteones, Escuelas).
- h) **SIL.**- Servicios con información complementaria de tipo Línea (Ríos, Ferrocarriles).
- i) **SIP.**- Servicios con información complementaria de tipo Puntual (Palacios Municipales, Escuelas, Templos, Mercados, Parques o Jardines entre otros).

El código numérico se encuentra formado de la siguiente manera: EEMMMLLLL, dónde:

- a) **EE**, es la clave geoestadística de la entidad (01.....32).
- b) **MMM**, es la clave geoestadística del municipio.
- c) **LLLL**, es la clave geoestadística de la localidad.

Como ejemplo tenemos el archivo de las manzanas para la ciudad de Morelia:

160530001M

- a) **16**, estado
- b) **053**, municipio
- c) **0001**, ciudad

Entonces, contando con las 76 rutas definidas anteriormente y la información proveniente del INEGI, lo siguiente fue seleccionar entre rutas primarias y rutas secundarias, es decir, las rutas que formarían las arterias de la red de movilidad, las cuales tendrían un mayor impacto en la ciudad. Para esto se decidió utilizar la clasificación de vialidades del mismo INEGI que se encuentra dentro de su archivo digital con clasificación “E” que integra las vialidades para la ciudad de Morelia y del cual el campo utilizado fue el de “TIPOVIAL”, el cual contempla las siguientes nomenclaturas:

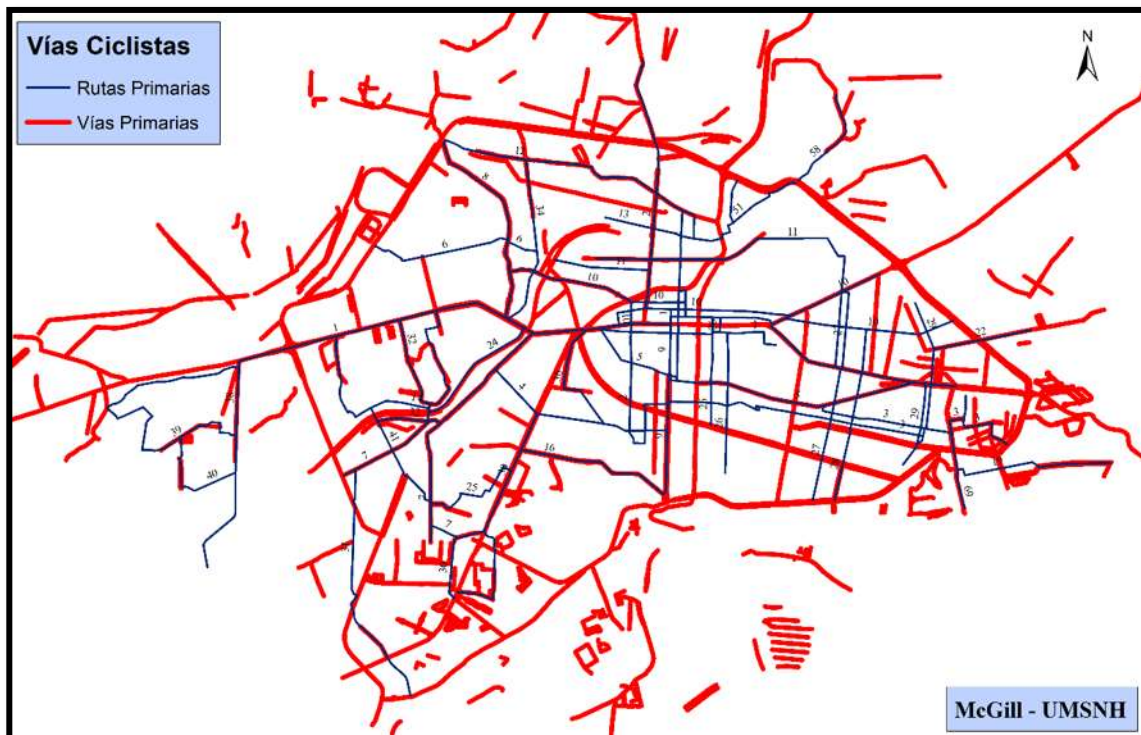
- 1) Andador
- 2) Avenida
- 3) Boulevard
- 4) Calle
- 5) Callejón
- 6) Calzada
- 7) Cerrada
- 8) Circuito
- 9) Privada
- 10) Prolongación
- 11) Retorno

Con la nomenclatura anterior se decidió dar la clasificación de “Ruta Primaria” a las que tienen parte de su recorrido por alguna “Avenida”, “Boulevard”, “Calzada” y “Circuito” además de hacer un análisis cuando se tuvieron las rutas seleccionadas para ver si alguna que no tuviera parte de su recorrido por alguna de las 4 nomenclaturas

mencionadas también tuviera importancia debido a la conectividad que generaría dentro de la red.

### 3.3) Resultados

Con el análisis anterior se obtuvieron 35 rutas a lo largo del área urbana de la ciudad con una longitud de 130.81 kilómetros lineales. Las 41 rutas restantes que no estuvieron dentro de esta clasificación se considerarán como “Rutas Secundarias”, las cuales en su mayoría alimentarán la red primaria y tendrán una longitud de 75.17 kilómetros. El resultado se muestra en las siguientes figuras, donde, la Figura 3.1 contiene las “Rutas Primarias”, la 3.2 las “Rutas Secundarias” y la 3.3 presentando la totalidad de la Red Ciclista para la Ciudad.

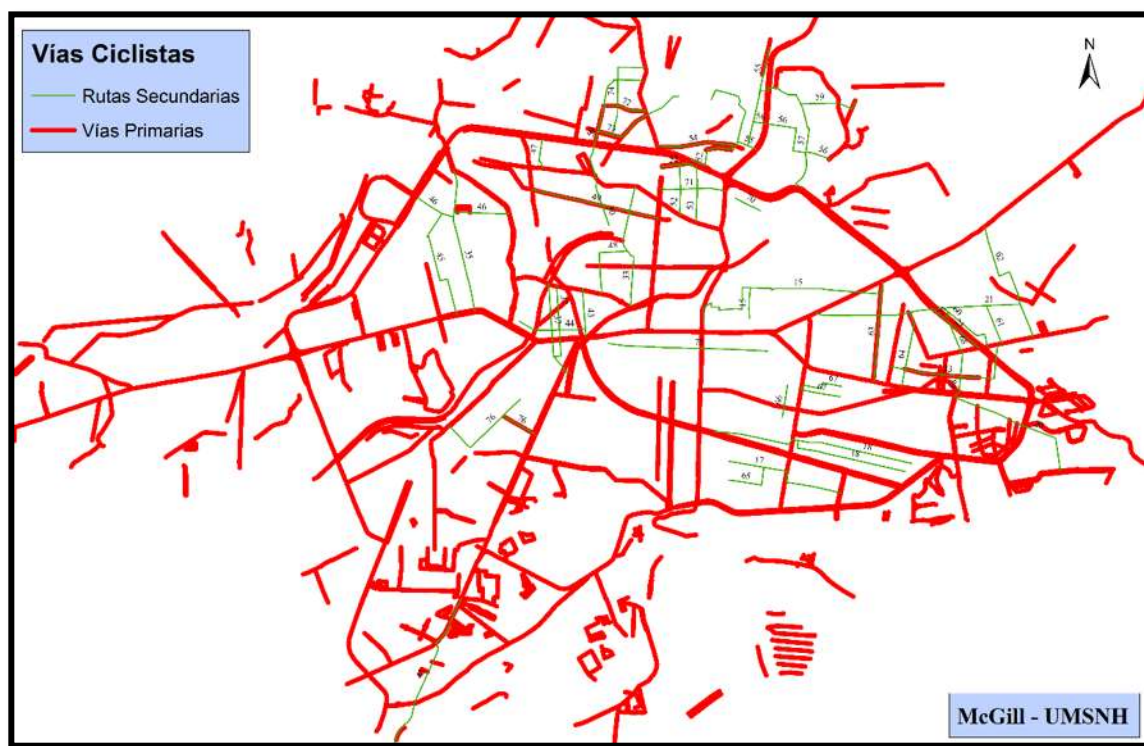


**Figura 3.1** Vías ciclistas primarias vs rutas vialidades primarias.  
*Fuente: Elaboración propia con información de INEGI*

Además con la información de INEGI de las vialidades, se determinó que la ciudad de Morelia cuenta con 2,071.48 kilómetros de vialidades, para lo cual solamente se está sugiriendo realizar medidas en 205.98 kilómetros, es decir, con realizar acciones en el 9.94% de las vialidades de la ciudad, se estarían generando condiciones de seguridad,

motivando e incrementando la movilidad sustentable dentro de la ciudad.

En la Figura 3.1 podemos ver el análisis propuesto para determinar la red primaria mediante la clasificación de INEGI, el cual nos presentó un resultado satisfactorio, donde solamente se tuvieron que adicionar algunas rutas para que cumpliera con nuestro criterio y tuviera la mayor cobertura posible. Cabe mencionar que en esta parte no se buscó el criterio que especificaba que las rutas tenían un área de influencia de 300 metros para cada lado, esto solamente se hizo en la parte anterior, donde se obtuvieron las 76 rutas. Las únicas rutas anexadas debido al criterio de conectividad, fueron las de ID 6, 25 y 26; las demás cumplieron el criterio especificado para “Rutas Primarias”.



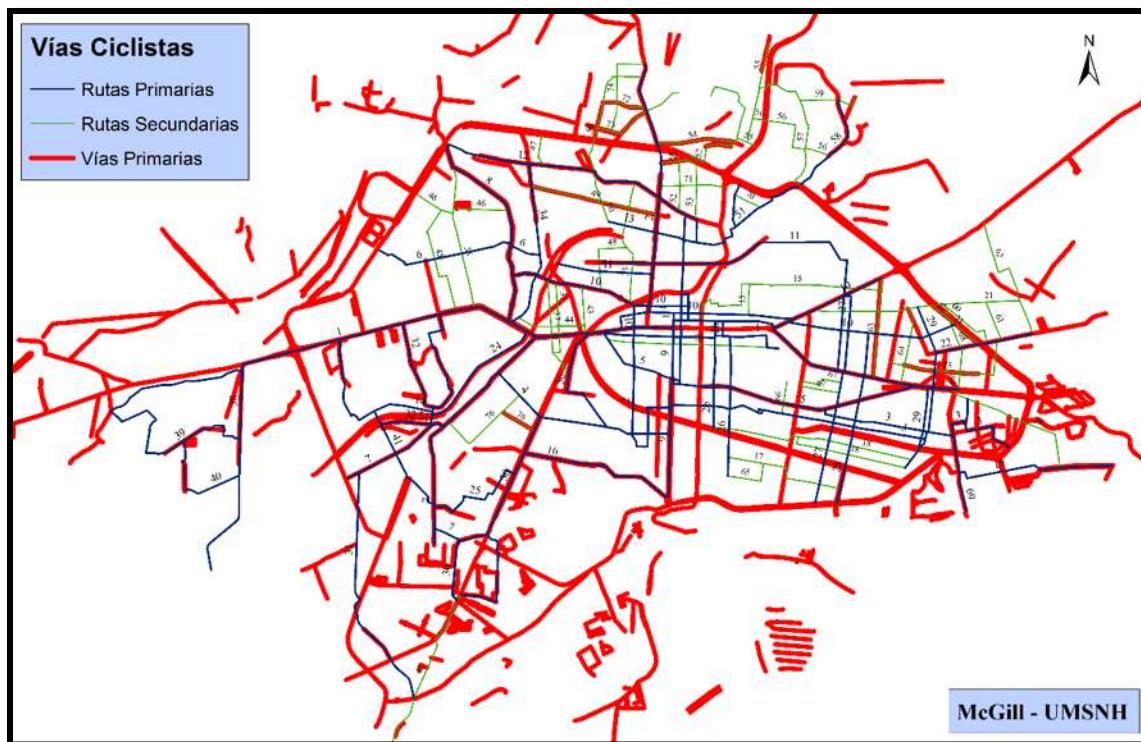
**Figura 3.2** Vías ciclistas secundarias vs rutas viales primarias.

*Fuente: Elaboración propia con información de INEGI*

La Figura 3.2 nos muestra las rutas secundarias, que serían denominadas como las *rutas alimentadoras* ya que conectarían las diferentes rutas primarias, facilitando la movilidad dentro de la red. Donde se puede observar, que por lo general, no tienen continuidad y que dentro de la ciudad tendrían un impacto limitado. Para lo cual, se necesita implementar la red primaria y las rutas de la red secundaria que se consideren convenientes dentro de la misma, para generar la conectividad adecuada. Se podría

mencionar, como ejemplo, la ruta de la calle Manuel Ocaranza (49), que une la Avenida Poliducto (34) con la Av. Guadalupe Victoria (2). Y en otros casos, sirven para presentar alternativas a los usuarios y mayor cobertura de la red, como puede ser la ruta de la calle Santos Degollado y Gob. Aristeo Mercado (18).

Además algunas de las rutas de la red secundaria ayudarían a mejorar la imagen urbana y se crearían condiciones de seguridad, mejorando la calidad de vida de los habitantes de la zona por la que cruzaría, si se implementa un proyecto completo contemplando a los peatones y ciclistas como puede ser en la calle Juan Barragán (76). Este corredor uniría en una menor distancia la zona de Ciudad Universitaria con la Avenida Periodismo y zonas aledañas.



**Figura 3.3** Vías ciclistas primarias y secundarias vs rutas viales primarias.

*Fuente: Elaboración propia con información de INEGI*

Finalmente tenemos al Figura 3.3 que es el conjunto de rutas primarias y secundarias, sobrepuestas con las vialidades que se consideraron primarias de acuerdo a la metodología seguida dentro de la ciudad de Morelia.

# CAPÍTULO

# 4

## EVALUACIÓN DE LA RED DE MOVILIDAD CICLISTA DEL CASO DE ESTUDIO

### **4.1) Introducción**

---

Lo anterior nos ha servido para delimitar las rutas que se consideran de mayor relevancia, debido a que son las que crearían esos corredores ciclistas a lo largo de la ciudad, pero aun con esto, tenemos una red primaria de 36 rutas y 130.81 kilómetros de longitud, los cuales sería arriesgado decir que se podría implementar en un año o incluso en el periodo de un alcalde, debido al costo que esto generaría. Por lo tanto, necesitamos darles importancia a las rutas (recordando que el ID no refleja la importancia de la ruta, es un código que nos ayuda en el proceso de análisis).

Para poder definir que rutas tienen un mayor impacto para la ciudad de Morelia, se tomaron en cuenta varios factores, entre ellos la población a la cual se va a impactar directamente, así como Sitios de Interés Público (SIP), seguridad de las rutas, etc. Lo que se pretende con esto es darle peso a las rutas ciclistas, es decir, saber la importancia que tendrían dentro de la movilidad de la ciudad y con esto, las autoridades se puedan auxiliar al momento de la toma de decisión sobre el orden de las rutas a la cual le podrían destinar recursos.

---

## 4.2) Metodología

Para esto, se pensó primeramente en un método multi-criterios como lo es el Proceso Analítico Jerárquico, para involucrar las variables con las que se cuenta y la decisión de la sociedad civil así como de los funcionarios de gobierno. Pero al contar con 35 rutas y las variables que se decidieran emplear del INEGI, se consideró inviable la metodología, que por lo general, es empleada cuando se tienen 5 proyectos (para nuestro caso serían las rutas) en el área de transporte, debido a que las personas que van a tomar las decisiones para priorizar primeramente las 14 variables y posteriormente lo harían para las 35 rutas.

La información empleada para la evaluación de las rutas de la ciudad de Morelia proveniente del INEGI. La información que se tiene es referente a la Cartografía Urbana (INEGI 2010), información del censo de Población y Vivienda del 2010 actualizado al 2012 (INEGI 2012) y con el censo, la base de datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) (INEGI 2013). Toda esta información se puede consultar para las ciudades Mexicanas libremente, exceptuando el DENUE, que tiene un costo para particulares y de libre acceso para la academia. Así como información recolectada con autoridades de la Universidad Michoacana para algunas variables.

Por lo anterior, se optó por generar una metodología a base de clasificación o ranking, la cual involucrara 14 variables elegidas, 11 de ellas se generaron a través de información del INEGI lo que hace esta metodología accesible a la gran mayoría de ciudades del país y adaptable fácilmente a lo que se pueda tener en otros países cuando no se cuenta con encuestas de origen-destino o aforos ciclistas. Las 14 variables son las siguientes, las cuales contemplan población, sitios de interés, negocios, seguridad de las vías ciclistas (en cuanto las intersecciones que se cruzan).

- 1) Densidad de población.
- 2) Densidad de viviendas.
- 3) Densidad de negocios.
- 4) Densidad de empleados.
- 5) Escuelas.
- 6) Unidades Deportivas.
- 7) Mercados.
- 8) Plazas públicas.

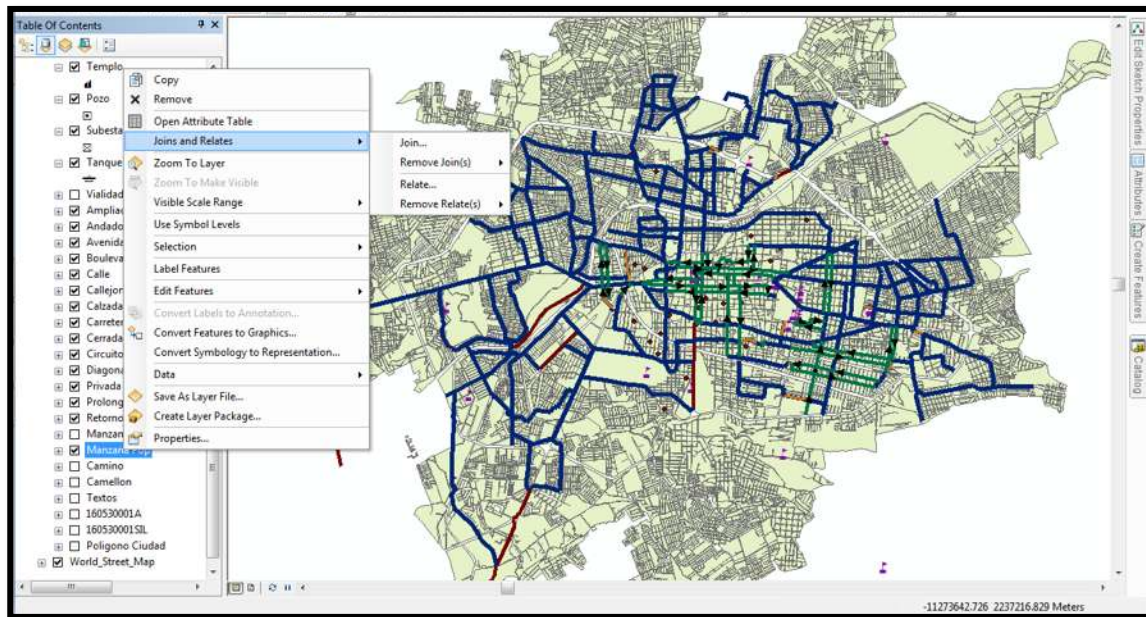
- 9) Intersecciones Primarias.
- 10) Intersecciones Secundarias.
- 11) Intersecciones Terciarias.
- 12) Casas del estudiante con menos de 100 habitantes.
- 13) Casas del estudiante con más de 100 habitantes.
- 14) Universidades.

#### 4.2.1) Área de Influencia

Teniendo la información anterior se procedió a realizar el análisis basado en clasificaciones, para lo cual se requería tener toda la información dentro de los shapefiles de ArcGis, ya que la información correspondiente a población, vivienda, negocios y empleados se encuentra en tablas y no siendo parte de los archivos vectoriales para su trabajo dentro del programa GIS. Para poder integrar la información y de esta forma facilitar su uso con la delimitación de manzanas y poder utilizar las zonas de influencia de las redes ciclistas se utilizó la herramienta “unir y relacionar” (Join and relate, Figura 4.1) del programa ArcGis, con la cual se relacionó la información del censo económico con el archivo de las manzanas.

Pero se debe tener en cuenta, que para poder unir los datos de una tabla con una capa ArcGis se necesita como tal un elemento o dato de referencia, que se encuentre en ambos archivos. En este caso utilizamos la clave CVEGEO de las manzanas, la cual representa el código de cada manzana del país, aunque esta clave no se encuentra directamente en el censo de población, para lo cual se puede generar uniendo algunos de los datos de la base de datos del censo. La Clave CVEGEO se encuentra conformada de la siguiente manera:

- 1605300010876019, la cual si la desglosamos sería
  - ✓ 16, Entidad Federal
  - ✓ 053, Municipio
  - ✓ 0001, Localidad
  - ✓ 0876, AGEB
  - ✓ 019, Manzana



**Figura 4.1** Opción unir y relacionar en ArcGis.

*Fuente: Elaboración propia con información de INEGI*

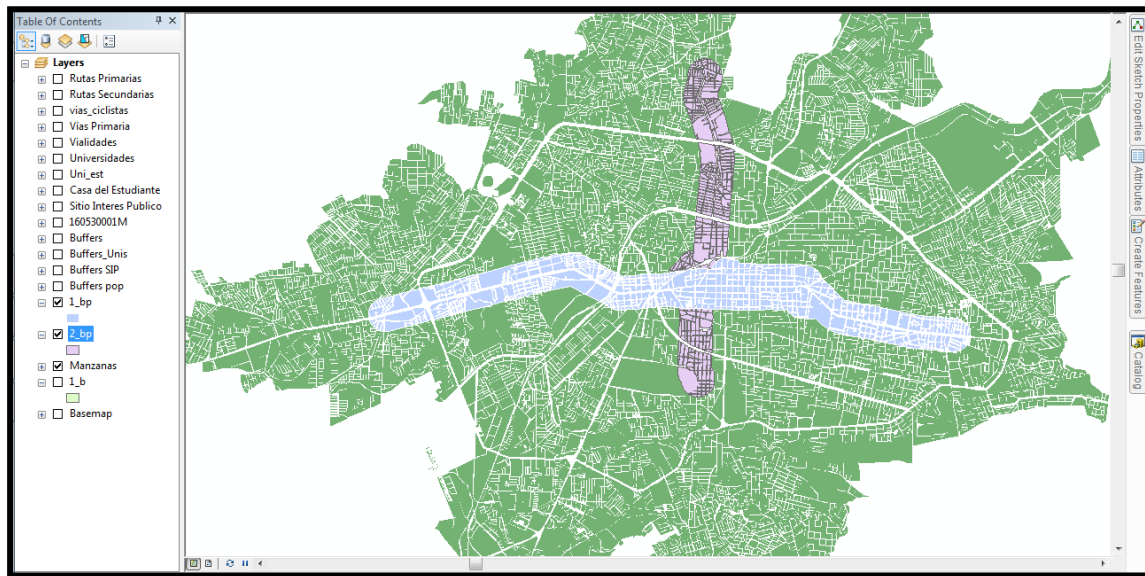
La información anterior se encuentra en el censo, por lo tanto solamente se unieron los datos para general en la base de datos la clave CVEGEO y poder unir la información a las manzanas. Además de esto se agregó información de las viviendas existentes y habitadas por manzana al censo de población antes de realizar el proceso anterior.

Con el proceso anterior se tiene la información requerida en el shapefile referente a las manzanas, con el censo de población indicando cuantos habitantes y viviendas construidas hay por manzana en la ciudad, por lo tanto se tiene toda la información requerida para analizar densidades de población y vivienda.

Para poder analizar a cuantas personas y viviendas afectaría directamente cada ruta ciclista, se procedió a unir la capa de las manzanas con los buffers (área de influencia) realizados para cada ruta, mediante la herramienta CLIP el menú Geo-procesamiento de ArcGis. Para esto, primeramente se tuvieron que unir los buffers de cada calle en una sola ruta para evitar tener datos repetidos, así como realizar cálculos en exceso y poder apoyarnos con las herramientas que ArcGis proporciona. Para lo cual, se unieron los buffers mediante la misma herramienta CLIP de cada una de las rutas mediante el ID que se les asigno a cada vialidad.

Una vez que se tuvieron todas las vialidades que se verían impactadas de alguna

forma agrupada por su respectivo ID en buffers, se realizó el cruce de datos entre las capas de las rutas con la capa de manzanas. Con esto se obtuvieron los buffers de cada ruta con las manzanas que estarían involucradas por cada una, así como la información correspondiente a población y vivienda. Como ejemplo del resultado obtenido tenemos las rutas 1 y 2 en la Figura 4.2, donde se tiene la capa de manzanas por debajo de los buffers.



**Figura 4.2** Áreas de influencia poblacional en ArGis, ID 1 y 2.

*Fuente: Elaboración propia con información de INEGI*

Posteriormente nos apoyamos del programa para obtener el área de cada manzana que quedaba dentro de los buffers de las rutas para realizar interpolación de datos, pero, como la población es un factor que no está relacionado a un aspecto geométrico, el programa no puede determinar la población involucrada por cada buffer de forma automática. Es decir, se tiene el área de cada manzana (ami), el área de las manzanas dentro de los buffers (abi), la población de las manzanas (pmi) y las viviendas dentro de las manzanas (vmi), pero para el estudio se necesita la población y viviendas dentro de los buffer de cada una de las 76 rutas. Por lo que se realizó interpolación para cada una de las manzanas dentro de las rutas, para realizar los cálculos, nos auxiliamos del programa GIS al cual se le indicó que evaluara las dos operaciones siguientes para cada manzana en una nueva celda que contendría la información requerida.

Viviendas de la manzana del buffer:

$$vb_i = \left(\frac{ab_i}{am_i}\right) * vm_i$$

Con la siguiente fórmula se obtuvieron las viviendas totales por buffer:

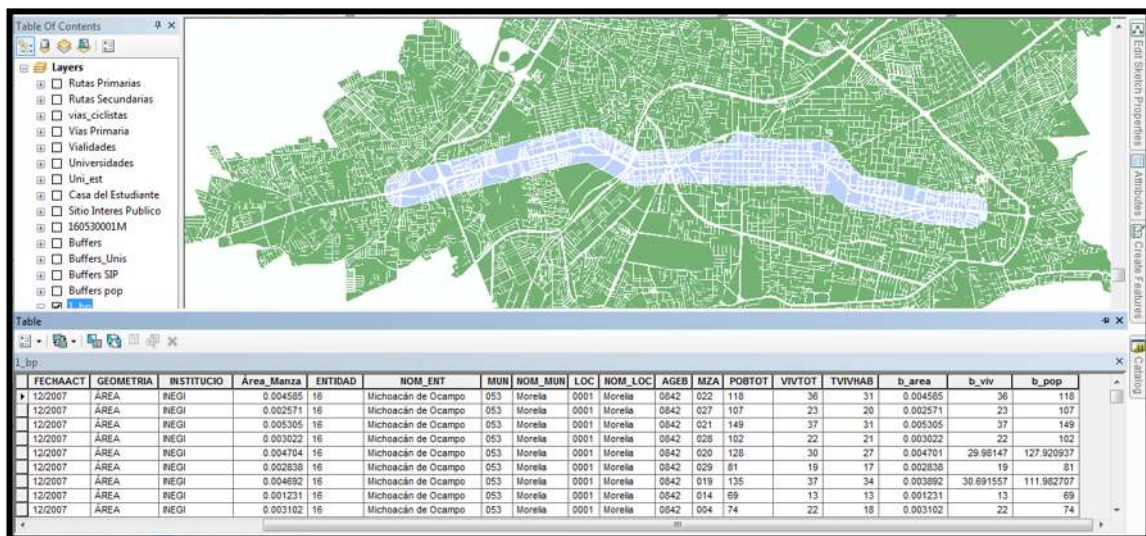
$$\sum_i^n vb_i$$

Población en la manzana del buffer:  $pb_i = \left(\frac{ab_i}{am_i}\right) * pm_i$

De igual manera la siguiente fórmula nos proporcionó la población total por buffer:

$$\sum_i^n pb_i$$

La fórmula vbi se introdujo en una columna adicional a la que se nombró b\_viv y en otra columna b\_pop se introdujo la fórmula pbi. Para posteriormente obtener la sumatoria de los valores buscados. La Figura 4.3 muestra parte de la tabla que se manejó en cada una de las rutas para obtener la población y vivienda por buffer.

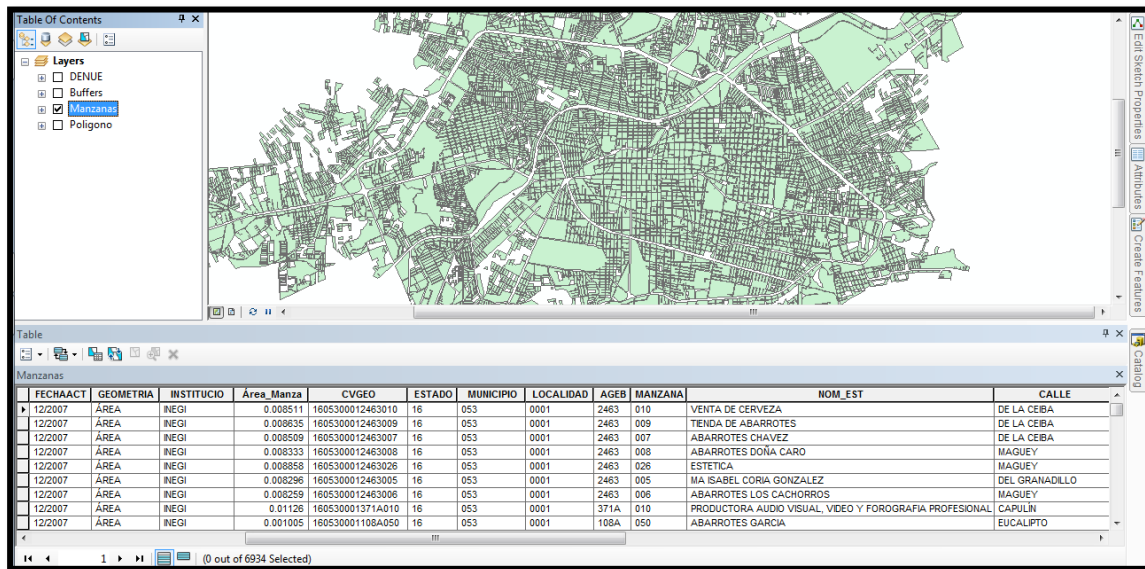


**Figura 4.3** Tablas de área de influencia poblacional en ArGis, ID 1.  
 Fuente: Elaboración propia con información de INEGI

### 4.2.2) Económico

Esta parte del estudio se llevó a cabo con la base de datos del DENUE, de la cual se utilizó información correspondiente al número de negocios que se encuentran en el área de influencia de las rutas, así como la cantidad de empleados que se encuentran laborando en dicha área. Lo anterior incentivaría el uso de las rutas dando un destino para las personas, ya sea laboral o como para la adquisición de bienes y servicios.

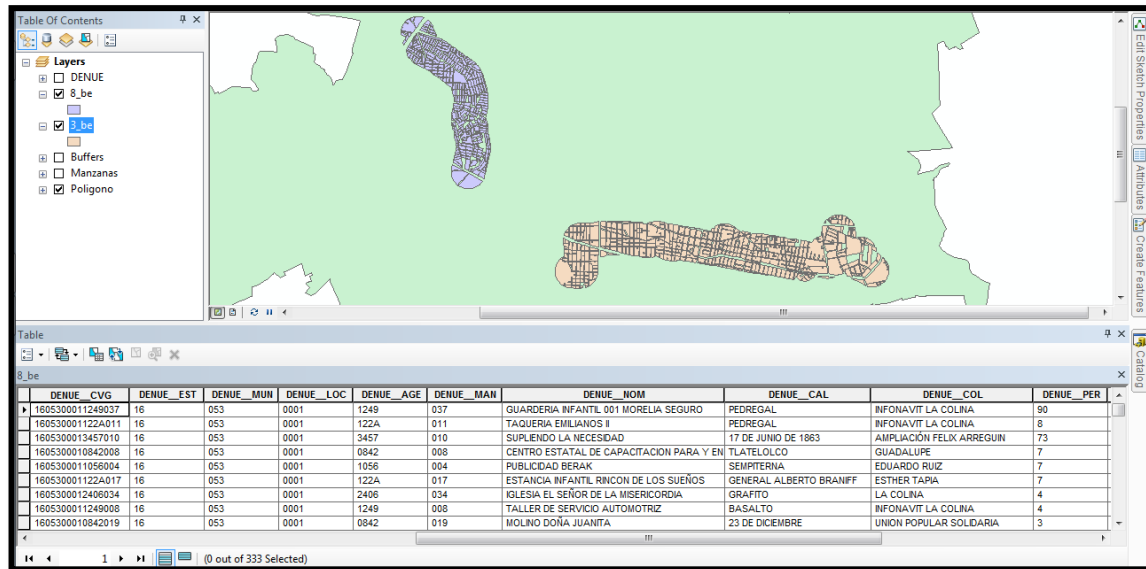
El proceso de análisis fue similar al de la población, ya que la información se obtuvo en forma de tablas, por lo que estos datos se unieron a la capa de las manzanas con la misma herramienta de “Join and Relate”, utilizando de igual manera a la población la clave CVEGEO para unir la información del censo económico a la capa de manzanas. El resultado se tiene en la Figura 4.4 donde se muestra parte de la información contenida en la base de datos, y de acuerdo a INEGI se tiene una totalidad de 6,934 negocios en el área de Morelia.



**Figura 4.4** Tabla con el censo económico en ArGIS.  
 Fuente: *Elaboración propia con información de INEGI*

El siguiente paso fue realizar el cruce de información entre la capa de manzanas con los buffers de las rutas ciclistas y de esta forma obtener el número de negocios y empleados por cada uno. El proceso fue realizado con la herramienta CLIP de ArcGIS entre la capa de manzanas y las rutas, parte del resultado se muestra en la Figura 4.5 donde se muestran las rutas con ID 3 y 8 en el filtro de las rutas. La Tabla que se muestra

corresponde a la ruta 8 que representa a la avenida Pedregal la cual tiene 333 negocios y 1,462 personas empleadas.



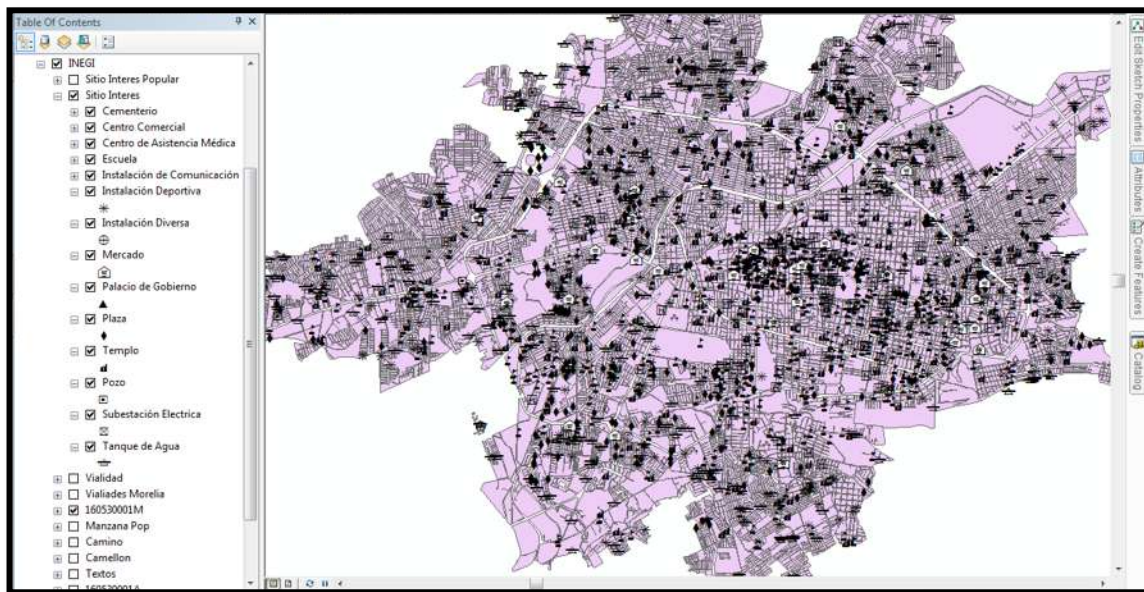
**Figura 4.5** Áreas de influencia en censo económico, ID 3 y 8.  
Fuente: Elaboración propia con información de INEGI

#### 4.2.3) Sitios de Interés Público

Los SIP del INEGI de la ciudad de Morelia se muestran en la Figura 4.6. Esta información se analizó con un proceso similar al de la población, hasta el cruce de datos entre los buffers de cada ruta y los puntos a analizar. Es decir, a los buffers del área de influencia de cada ruta ciclista se les agregaron los SIP que se encontraban por dicha zona de la misma manera que el estudio de la población. Con lo anterior se pudo contabilizar los SIP para posteriormente realizar un procesamiento adicional a la información ya que esta capa de INEGI contiene un número mayor de lugares de los que nos interesan. Los SIP se encuentran clasificados con la etiqueta de GEOGRAFICO dentro de la base de datos, de la cual para nuestra ciudad su contenido es de 1,787 SIP organizados con la siguiente nomenclatura:

- 1) Cementerio.
- 2) Centro Comercial.
- 3) Centro de Asistencia Médica.
- 4) Escuela.

- 5) Instalación de Comunicación.
- 6) Instalación Deportiva.
- 7) Instalación Diversa.
- 8) Mercado.
- 9) Palacio de Gobierno.
- 10) Plaza.
- 11) Templo.
- 12) Pozo.
- 13) Subestación Eléctrica.
- 14) Tanque de Agua.



**Figura 4.6** Sitios de Interés Público en ArcGis.

*Fuente: Elaboración propia con información de INEGI*

Como ejemplo tenemos la Figura 4.7 en donde se observan los SIP correspondientes a la zona de influencia de las rutas 1 y 2. Para la ruta 1 se tiene que en su área de influencia se encuentran directamente en 261 SIP, de los cuales se analizó el impacto específico de algunos sitios que se considera representarían un impacto mayor al movimiento ciclista, estos sitios son: Escuelas, Unidades Deportivas, Mercados y Plazas. El criterio para seleccionar estos SIP escogidos para el análisis junto a la totalidad de los mismos, fue que esos generan movimiento de habitantes varias veces al día, además de ser los que tienen una distribución uniforme a lo largo de la ciudad.

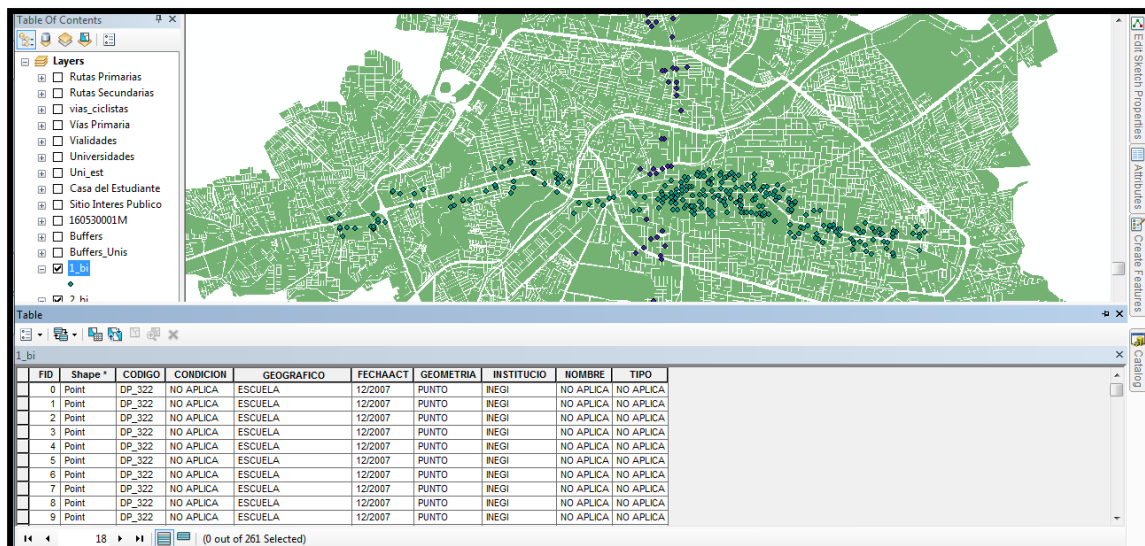
Lo siguiente fue contabilizar cada uno de los SIP elegidos en cada una de las rutas, además de los SIP no elegidos como variable para poder tener el total de cada ruta, lo cual se representa en la siguiente fórmula.

$$SIP_i = SIPE_i + SIPU_i + SIPM_i + SIPP_i + SIPR_i$$

Dónde:

- 1)  $SIP_i$  - Sitios de Interés Público por cada una de las 76 rutas
- 2)  $SIPE_i$  – Escuelas
- 3)  $SIPU_i$  – Unidades deportivas
- 4)  $SIPM_i$  – Mercados
- 5)  $SIPP_i$  – Plazas
- 6)  $SIPR_i$  – Cementerios, Centros Comerciales, Centros de Asistencia Médica, Instalaciones de Comunicación, Instalaciones Diversas, Palacio de Gobierno, Pozo, Subestación Eléctrica, Tanque de Agua.

Lo anterior se realizó ya que los SIP por categorías nos interesan para la evaluación global sobre los rankings de las rutas, proceso que se explicará más adelante.



**Figura 4.7** Área de influencia de los SIP, ID 1 y 2.

*Fuente: Elaboración propia con información de INEGI*

#### 4.2.4) Intersecciones

Las intersecciones representan un punto crítico en las vialidades ya que este punto es donde convergen los vehículos motorizados, los ciclistas y los peatones. Lo que lleva a que la gran cantidad de accidentes ocurran en estos puntos. Respecto a los ciclistas, las intersecciones son un gran punto crítico ya que aquí es inevitable que se crucen con los automotores, donde Miranda-Moreno nos explica que de cada 1,000 accidentes que ocurren entre ciclistas y automovilistas, 100 ciclistas requieren hospitalización y de ellos 10 accidentes resultan fatales; donde si el accidente no involucra a los automotores el número se reduce a 50 de 1,000 accidentados que requerirán hospitalización y menos de 1 resultara en fatalidad (Miranda-Moreno et al. 2011). En el mismo estudio, de 4,751 accidentes entre 1999 y 2003 donde un ciclista estuvo involucrado, casi el 60% fueron en intersecciones.

Lo anterior nos lleva a analizar las rutas y sus intersecciones, es decir, se contabilizó cuantas vialidades cruzaban a cada ruta por kilómetro. Para lo cual las intersecciones se dividieron en 3 categorías, mismas que estuvieron condicionadas por el tipo de vialidad a la cual la ruta cruzaría. Este proceso se realizó con información del archivo “E” de INEGI, utilizando el apartado “TIPOVIAL” de la base de datos de la Cartografía Urbana.

##### ➤ Intersecciones

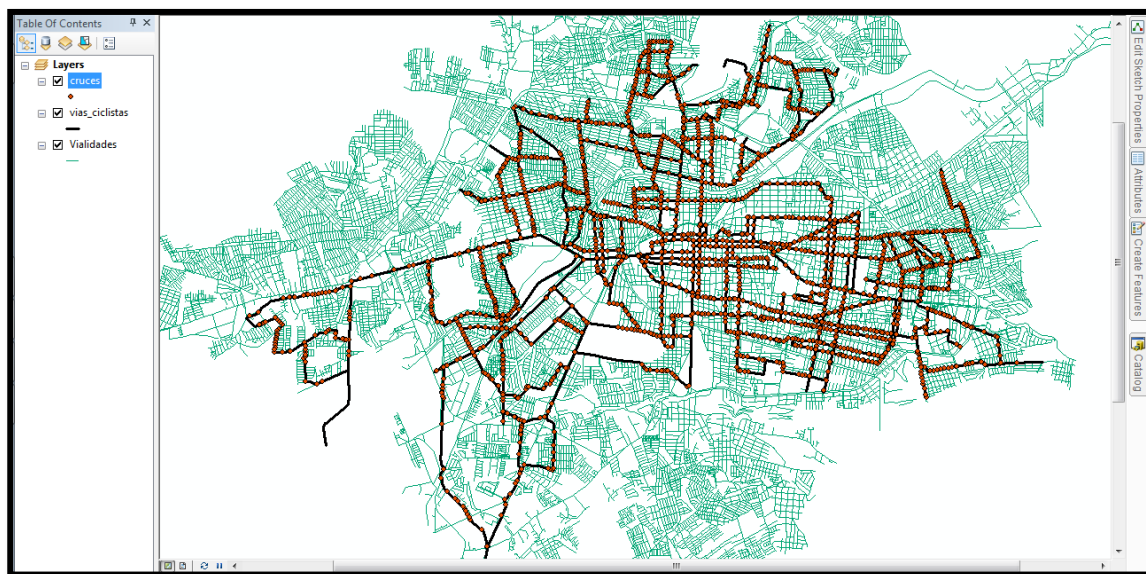
- ✓ Primarias.- Avenidas, Boulevard y Calzada.
- ✓ Secundarias.- Calle, Circuito, Prolongación.
- ✓ Terciarias.- Andador, Callejón, Cerrada, Privada, Retorno.

El criterio seguido para la clasificación anterior, estuvo basado en la capacidad que pueden llegar a tener las vialidades, así como la velocidad en la que pueden operar los vehículos por ellas. Ya que la combinación de lo anterior determinaría en parte la velocidad de reacción tanto del ciclista como del automovilista. La Figura 4.8 muestra el mapa de las vialidades de Morelia junto a las rutas ciclistas, así como los cruces originados entre vialidades y rutas ciclistas.

Para obtener la información de las intersecciones se llevó a cabo un proceso diferente a los anteriores, ya que en este caso no nos interesaba al área de influencia, aquí lo importante es el punto donde las dos vías confluyen. Para esto, se empleó la herramienta

“intersect” del menú geo-procesamiento de ArcGis, la cual intersecta las capas que le indiquemos al programa, que en este caso son las rutas ciclistas y las vialidades. Entre las indicaciones especiales a ArcGis fue que el tipo de archivo de salida fueran puntos (Figura 4.9), la cual nos generó un total de 2,230 cruces.

La capa generada que denominamos “cruces” contiene todas las intersecciones que se tienen en la red de movilidad ciclista con las vialidades, así como la información de cada una de las capas. De los campos de información que se encuentran en la capa cruces, el que se utilizó es el “TIPOVIAL”, el cuál proviene de la capa de INEGI con su respectiva nomenclatura. Lo siguiente fue filtrar la base de datos, lo que se realizó con el programa de Microsoft Excel, donde se utilizó la función CONTAR.SI.CONJUNTO (Figura 4.10) para obtener el número de intersecciones por tipo de vialidad en cada ruta en toda la base de datos.



**Figura 4.8** Intersecciones con la red vial de la red de movilidad ciclista.

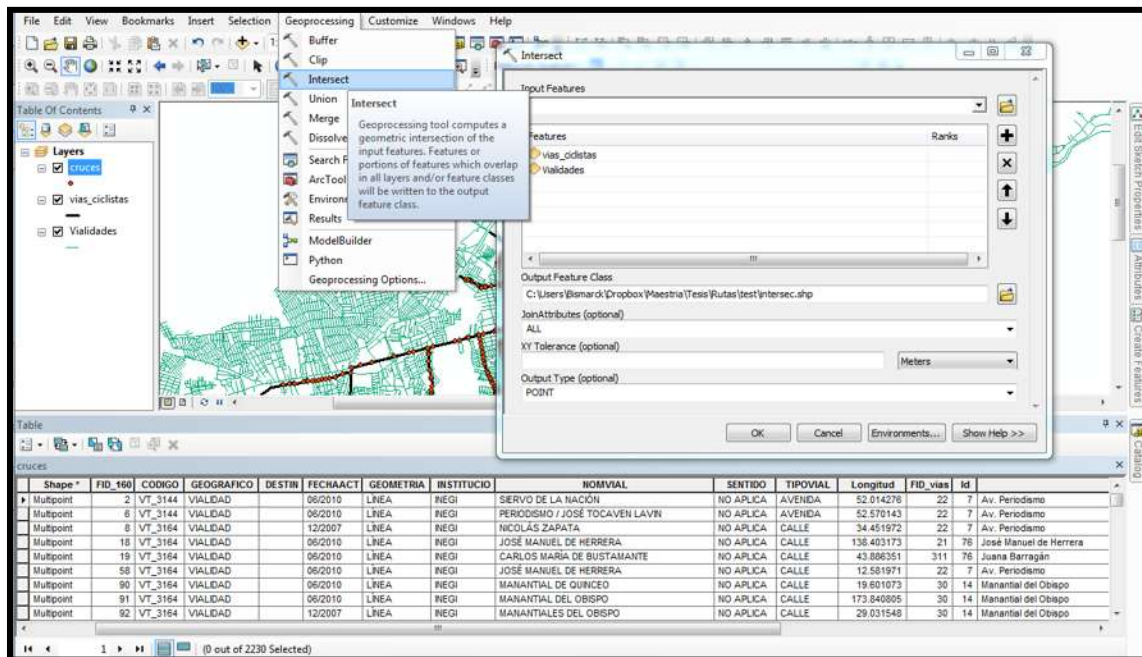
*Fuente: Elaboración propia con información de INEGI*

La Tabla 4.1 muestra una pequeña parte de los datos que se tenían, para lo cual a Excel se le programó para que analizara la columna que contiene los ID de las rutas y donde se tuviera el mismo ID se contara la variable indicada, este proceso se muestra en la Figura 4.10 que contiene parte de la información que se obtuvo. Las variables que el programa buscó para contar fueron las diferentes nomenclaturas que INEGI le dio a las

vialidades para posteriormente realizar el conteo de las intersecciones en las vialidades que se consideraron “Primarias”, “Secundarias” y “Terciarias”.

**Tabla 4.1** Intersecciones a lo largo de la red de movilidad ciclista

Id	Nombre	Vialidad	Vialidad Intersectada
1	Av. Acueducto	Avenida	Insurgentes
1	Av. Francisco I. Madero Poniente	Avenida	Francisco I. Madero poniente
1	Allende	Calle	Rayón
1	Av. Francisco I. Madero Poniente	Calle	Rayón
1	Allende	Calle	Andrés Quintana Roo
1	Av. Francisco I. Madero Poniente	Calle	León Guzmán
1	Av. Francisco I. Madero Poniente	Avenida	Francisco I. Madero poniente
1	Av. Francisco I. Madero Poniente	Avenida	La Huerta
1	Av. Francisco I. Madero Poniente	avenida	Francisco I. Madero poniente
1	Av. Francisco I. Madero Poniente	Calzada	La Huerta
1	Allende	Avenida	Francisco I. Madero poniente
1	Allende	Calle	Sin Nombre (niños héroes)
1	Av. Francisco I. Madero Poniente	Calle	Sebastián Lerdo de Tejada
1	Allende	Calle	Nicolás Bravo



**Figura 4.9** Tabla de intersecciones y proceso intersectar en ArcGis.

*Fuente: Elaboración propia con información de INEGI*

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data table:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	ID	ANDADOR	AVENIDA	BOULEVARD	CALLE	CALLEJÓN	CALZADA	CERRADA	CIRCUITO	PRIVADA	PROLONGACIÓN	RETORNO	TOTAL
2	1	0	32	0	69	0	1	0	6	1	0	0	109
3	2	1	16	0	44	0	0	0	2	1	0	0	64
4	3	0	12	0	87	0	3	1	1	12	0	0	116
5	4	0	3	0	21	0	3	0	0	0	0	0	27
6	5	0	12	0	45	0	1	0	0	1	0	0	59
7	6	1	3	0	33	0	0	0	0	0	0	0	37
8	7	3	15	0	37	0	0	0	0	1	0	1	57
9	8	0	5	0	7	0	0	0	0	0	0	0	12
10	9	0	7	0	35	0	2	0	0	0	0	0	44
11	10	4	23	0	96	2	0	0	0	2	1	0	128
12	11	0	7	0	47	0	0	1	0	2	0	0	57
13	12	2	10	0	40	0	0	0	0	0	5	0	57
14	13	0	3	0	23	0	0	0	0	0	0	0	26
15	14	0	0	0	19	0	0	5	2	1	1	0	28
16	15	0	2	0	40	0	0	1	0	1	0	0	44
17	16	0	5	0	7	0	2	0	0	0	1	0	15
18	17	0	2	0	14	0	1	1	0	1	0	0	19
19	18	1	0	0	75	0	1	0	0	2	2	0	81
20	19	0	2	1	18	0	0	0	0	0	0	0	21
21	20	0	3	1	19	0	0	0	2	0	0	0	25
22	21	2	4	0	49	0	0	1	0	2	0	0	58
23	22	3	2	0	14	0	0	0	2	0	0	0	21
24	23	0	8	0	23	0	0	0	2	0	0	0	33
25	24	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	4
26	25	0	4	0	12	0	1	0	0	1	0	0	18
27	26	0	6	0	30	0	0	0	0	2	0	0	38

**Figura 4.10** Proceso de filtrado en Excel.

*Fuente: Elaboración propia con información de INEGI*

#### 4.2.5) Universidades

Hasta la variable de las intersecciones, contábamos con 11 datos para utilizar en la metodología que se desarrollará, los cuales provienen de las bases de datos del INEGI. Aunque la información de INEGI incluye escuelas, esta no distingue entre los diferentes niveles educativos, para lo cual se agregó información adicional que incluye a la educación superior, ya que los estudiantes de estos niveles se encuentran en el rango de edad en que se tiene mayor aceptación a la movilidad en bicicleta.

Se decidió considerar a las Universidades y facultades como un punto adicional, ya que son lugares a los cuales día con día llegan a sus instalaciones un alto número de personas, como lo es el campus central de la Universidad Michoacana al cual acuden más de 30,000 estudiantes diariamente, 3,000 profesores y 1,700 empleados; o el campus del Tecnológico de Morelia el cual cuenta con más de 4,000 alumnos, además de las diferentes facultades que la Universidad Michoacana tiene fuera de CU. Estos puntos se muestran en la Figura 4.11 la cual nos muestra los 28 sitios considerados en este análisis, entre los sitios

considerados están Ciudad Universitaria de la Universidad Michoacana así como otros 15 puntos de la misma, como son las facultades y oficinas administrativas, además del Campus del Tecnológico de Morelia y las diferentes Normales educativas.

Como se aprecia en la Figura 4.11 no todas las rutas tendrán en su área de influencia a alguna dependencia de las mencionadas líneas arriba. Las 16 rutas que contienen dependencias universitarias se muestran en la Tabla 4.2.



Figura 4.11 Principales universidades de la ciudad

Tabla 4.2 Rutas con dependencias universitarias en su área de influencia

	Red Primaria		Red Secundaria	
1	10	7	64	
4	16	13	67	
5	36	15	70	
9		23	71	
		31		
<i>Total</i>	<i>7</i>	<i>Total</i>	<i>9</i>	

#### 4.2.6) Casas del Estudiante

Son albergues estudiantiles formados en 1915, de característica única ya que reciben el presupuesto para su funcionamiento de la Universidad Michoacana. Pensadas para proporcionar hospedaje a estudiantes de la misma Universidad para así cumplir con su noble misión, la cual es abrir las puertas del conocimiento a gente de bajos recursos. Actualmente se cuenta con más de 30 casas estudiantiles reconocidas por la Universidad Michoacana. Anualmente se destina alrededor de 140 millones de pesos para poder dar cobijo a cerca del diez por ciento de los estudiantes universitarios, es decir, a unos cinco mil jóvenes provenientes de distintas regiones de la república mexicana. Además de proporcionar un techo para dormir, los albergues ofrecen a sus moradores servicios gratuitos de agua, luz, comedor, sala de cómputo, internet, biblioteca, etc. (Goche 2012)

El párrafo anterior muestra la importancia de evaluar la cercanía de las Casas del Estudiante a las rutas ciclistas, ya que los habitantes de las mismas serían usuarios potenciales. Por lo tanto, esta información se analizó de forma similar a las universidades con lo que se obtuvo la Tabla 4.3 en la cual se resumen las casas del estudiante en dos categorías, las que dan albergue a menos de 100 estudiantes y las que le dan albergue a más de 100.

**Tabla 4.3** Rutas con casas del estudiante en su área de influencia

Red Primaria			Red Secundaria		
Id	Menos 100	Más de 100	Id	Menos 100	Más de 100
1	3	7	15	4	1
2	3	4	33	0	1
3	3	1	43	1	0
4	1	1	44	1	0
5	4	2	48	1	0
9	4	4	50	1	0
10	3	6			
11	2	0			
12	1	0			
16	1	0			
26	4	4			
27	1	0			
36	2	1			

### 4.3) Análisis de información

Con la información obtenida se procederá a realizar el análisis de la misma para poder determinar la prioridad que tendrían las rutas de la red primaria, la cual consta de 35 rutas a lo largo del área urbana de la ciudad con una longitud de 130.81 km lineales. Las 41 rutas restantes consideradas como rutas secundarias y una longitud de 75.17 kilómetros no se incluyeron en el análisis.

El estudio está basado en la clasificación o ranking de las rutas en las diferentes categorías, para lo cual se realizó la media aritmética de la clasificación de las rutas y aquí las rutas con la media más baja serán las que presentarían mayor impacto al implementarse. En esta evaluación, la ruta mejor posicionada fue la que corresponde a la Avenida Periodismo (ID 8) con una media de 5.55, en contraparte la que obtuvo la evaluación más alta fue la correspondiente a la Avenida Enrique Ramírez y la Avenida Campestre (ID 69) con una evaluación de 27.09.

Este proceso se realizó con la siguiente fórmula

$$Pc_i = \frac{\sum_i^n Cs_i}{n}$$

Dónde:

- Media de las Categorías ( $Pc_i$ )
- Sumatoria del resultado de las categorías ( $\sum_i^n Cs_i$ )
- Número de categorías ( $n$ )

Con la fórmula anterior se obtendría el resultado de la evaluación de las diversas categorías, pero para esto el número de categorías evaluadas no será el mismo en las diferentes rutas, ya que como se observó en el análisis de las casas del estudiante y las universidades, estas son categorías que no se encuentran en todas las rutas, para lo cual incluir un resultado elevado o principalmente, un valor que corresponda a la evaluación de las rutas alteraría su evaluación dentro del análisis.

Debido a lo anterior se decidió utilizar los valores de las categorías mencionadas como soporte o beneficio adicional para las rutas, ya que contar con dichas ubicaciones les supone cierto peso adicional, esto ayudando a mejorar la clasificación de la ruta.

Las 11 categorías que se evaluaron en todas las rutas variando su clasificación de 1

a 35 son:

- 1) Densidad de población (Dp)
- 2) Densidad de viviendas (Dv)
- 3) Densidad de negocios (Dn)
- 4) Densidad de empleados (De)
- 5) Escuelas (Es)
- 6) Unidades Deportivas (UD)
- 7) Mercados (Me)
- 8) Plazas públicas (Pp)
- 9) Intersecciones Primarias (Ip)
- 10) Intersecciones Secundarias (Is)
- 11) Intersecciones Terciarias (It)

Las 3 categorías adicionales que tuvieron clasificación baja, en donde la mayor para las Universidades fue de 5 y de 6 para las Casas del Estudiante:

- 12) Casas del estudiante con menos de 100 habitantes (Cp).
- 13) Casas del estudiante con más de 100 habitantes (Cg).
- 14) Universidades (Un).

#### **4.3.1) Densidad de población y vivienda**

La evaluación de las categorías población, vivienda, negocios y empleados se realizó en valores relativos, es decir, no se evaluó la población dentro el área de influencia de la ruta 1 con una longitud de 8.99 km (32,554 habitantes) contra la población de la ruta 6 que tiene una longitud de 2.45 (22,094 habitantes), ya que resultarían desfavorables para las rutas de longitud pequeña y en algunos casos tienen gran impacto, como se puede ver en este caso. Pero al realizar el análisis por la densidad de población en kilómetro cuadrado, estaríamos en condiciones de “evaluar” a las rutas de una forma similar donde la ruta 1 tiene una densidad de 6,480.95 habitantes por kilómetro cuadrado y en contraparte la ruta 6 presentó 19,377.88 habitantes por kilómetro cuadrado. Las intersecciones de igual manera fueron evaluadas con valores relativos, mientras los Sitios de Interés Público, Universidades y Casas del Estudiante se realizaron con valores absolutos.

**Tabla 4.4** Densidad de población y vivienda

ID	Longitud (km)	Ranking Población	Población	Densidad población	Relación Población Viviendas	Viviendas	Densidad Viviendas	Ranking vivienda
8	2.9350	1	26,484.36	20,193.58	3.64	7,284.25	5,554.03	3
6	2.4514	2	22,094.87	19,377.88	3.36	6,576.63	5,767.91	2
22	1.4015	3	13,178.43	19,261.42	3.07	4,287.44	6,266.46	1
11	4.7389	4	31,893.72	17,152.34	3.16	10,090.37	5,426.57	4
34	2.4391	5	18,113.02	16,435.27	3.49	5,195.92	4,714.64	5
12	4.1857	6	27,399.73	15,262.72	3.33	8,220.12	4,578.93	6
13	2.6943	7	15,486.17	13,256.62	3.17	4,889.52	4,185.57	11
32	4.0647	8	19,480.57	13,054.46	3.20	6,091.43	4,082.03	12
10	8.9869	9	46,325.08	13,000.20	2.93	15,825.31	4,441.06	7
2	6.0880	10	32,518.46	12,433.32	2.80	11,600.34	4,435.35	8
27	5.0745	11	22,324.16	12,232.28	2.92	7,655.41	4,194.70	10
29	3.3194	12	14,013.06	11,961.20	2.72	5,159.81	4,404.29	9
41	1.6360	13	9,937.98	11,886.70	3.01	3,301.65	3,949.06	15
14	2.4006	14	12,311.08	11,230.55	3.11	3,958.79	3,611.33	18
26	3.7270	15	15,617.69	10,933.73	2.70	5,793.58	4,056.00	13
40	1.5715	16	4,911.24	10,425.73	2.61	1,879.86	3,990.63	14
9	5.4976	17	19,995.62	9,939.67	2.85	7,024.59	3,491.87	19
3	8.3629	18	29,194.54	9,861.08	2.68	10,877.05	3,673.96	17
5	4.6929	19	21,611.45	9,770.02	2.56	8,445.95	3,818.21	16
36	1.7546	20	8,820.06	9,413.57	2.84	3,101.66	3,310.37	20
58	1.5279	21	7,066.93	9,216.72	3.38	2,088.28	2,723.54	27
7	5.6575	22	18,812.15	8,914.54	2.88	6,521.43	3,090.32	24
28	2.4901	23	10,614.71	8,882.21	2.75	3,856.37	3,226.94	23
19	2.2837	24	8,799.03	8,712.36	2.67	3,301.21	3,268.69	22
25	1.5785	25	6,621.59	8,601.06	2.61	2,535.58	3,293.57	21
51	1.1081	26	4708.05	8,175.34	2.95	1,596.04	2,771.46	26
4	2.7559	27	10,463.67	7,512.11	2.80	3,731.74	2,679.10	28
30	4.6955	28	13,676.22	7,423.69	2.56	5,334.85	2,895.85	25
1	13.5683	29	32,554.22	6,480.95	2.63	12,373.84	2,463.41	29
39	4.9722	30	12,635.66	6,419.78	2.85	4,441.27	2,256.47	31
38	3.1456	31	4,560.16	6,254.63	3.18	1,432.29	1,964.50	32
16	2.2738	32	7,378.61	6,149.39	2.72	2,713.81	2,261.71	30
24	1.8564	33	5,158.67	5,730.15	3.11	1,661.36	1,845.41	33
69	1.2704	34	3053.02	4,525.06	2.93	1,040.55	1,542.26	34
31	3.6060	35	2,214.88	1,394.44	2.52	878.39	553.02	35

En la tabla 4.4 tenemos el resultado de la evaluación sobre las densidades de población y de las viviendas que se encuentran en el área de influencia de las rutas primarias. En esta tabla se observa la diferencia que hay entre los habitantes que viven por hogar, si estos fueran los mismos para toda la ciudad, el ranking de la población tendría el

mismo valor al de las viviendas y de esta forma no se hubiera encontrado pertinente añadirlo al análisis. Al presentar diferencia en el ranking se agregó al estudio ya que tener un alto número de viviendas en una zona, las cuales en algunos casos pueden ser alquiladas puede generar incremento de la población hacia dichas zonas, logrando una densificación mayor del área urbana, lo que traería disminución en las distancias de recorrido de los habitantes hacia sus destinos habituales (trabajo, escuela, lugares de recreación). Además con las políticas públicas apropiadas, junto a programas efectivos de movilidad sustentable en los lugares donde ya existe la oferta de vivienda se puede lograr que estos lugares sean atractivos para los habitantes de la ciudad, además de que son áreas que ya cuentan con los servicios públicos.

En esta tabla observamos como la ruta que resultó ser la de mayor impacto al final del análisis, tiene el mayor impacto en cuanto a densidad de población así como estar dentro de las primeras en cuanto a vivienda; la ruta 8 de la avenida Pedregal tiene el mayor índice en cuanto a densidad de población y en vivienda presenta el número 3, con los cuales se fue posicionando para ser de las que presentara los resultados más favorables. En contra parte tenemos la ruta 1 que representa la Avenida Madero – Avenida Acueducto con un ranking de 29 en ambas categorías.

#### **4.3.2) Densidad de empleo y negocios**

Las otras categorías que se evaluaron con valores relativos de acuerdo a su densidad fue la de negocios y empleados. Lo que nos lleva a interpretar una zona con alto número de negocios como un área potencial para el número de viajes en bicicleta durante el día, generado por la atracción que estos conllevan por la compra de productos o adquisición de servicios (accesorios, ropa, comida, consultorios, etc.), aunque también pueden ser de reunión y esparcimiento (café, restaurant, bares, etc.). Mientras que la densidad de empleados nos indica el número de personas potenciales dentro del área de influencia de las rutas que generarían como mínimo 2 viajes por día (en algunos cuatro, debido al horario de la comida y descanso que se pueda tener).

En la Tabla 4.5 tenemos el resultado de esta parte del trabajo en donde se puede ver que no siempre las zonas con mayor número de negocios corresponden a las de mayor número de empleados, como es la zona de la ruta 32 que tiene de ranking 9 en cuanto a número de negocios, pero 24 en empleados, dicha ruta representa el circuito de la Colonia

**Tabla 4.5** Densidad de negocios y empleados

ID	Longitud (km)	Ranking Negocios	Negocios	Densidad de Negocios (Km2)	Empleados	Densidad de Empleados (Km2)	Ranking Empleados
22	1.401	1	178	260.16	832	1216.04	2
8	2.935	2	333	253.90	1462	1114.73	5
34	2.439	3	254	230.47	1019	924.61	7
6	2.451	4	241	211.36	827	725.30	11
12	4.186	5	360	200.53	1327	739.19	10
29	3.319	6	227	193.76	941	803.21	8
11	4.739	7	334	179.62	1242	667.94	13
10	8.987	8	597	167.54	2835	795.59	9
32	4.065	9	244	163.51	784	525.38	24
27	5.074	10	279	152.88	1834	1004.92	6
26	3.727	11	209	146.32	797	557.97	20
7	5.657	12	300	142.16	1245	589.97	16
2	6.088	13	371	141.85	1433	547.90	22
13	2.694	14	165	141.24	1416	1212.14	3
24	1.856	15	127	141.07	535	594.27	15
3	8.363	16	417	140.85	1813	612.38	14
14	2.401	17	153	139.57	496	452.47	29
5	4.693	18	300	135.62	1199	542.04	23
41	1.636	19	112	133.96	466	557.38	21
9	5.498	20	259	128.75	983	488.64	25
28	2.490	21	149	124.68	1448	1211.66	4
1	13.568	22	580	115.47	2898	576.94	17
58	1.528	23	87	113.47	358	466.91	26
38	3.146	24	81	111.10	417	571.95	19
25	1.578	25	85	110.41	443	575.43	18
19	2.284	26	109	107.93	469	464.38	27
36	1.755	27	100	106.73	411	438.66	30
51	1.108	28	60	104.19	903	1568.02	1
40	1.571	29	44	93.40	338	717.52	12
39	4.972	30	174	88.40	851	432.37	31
69	1.270	31	57	84.48	186	275.68	34
4	2.756	32	115	82.56	427	306.55	33
30	4.695	33	148	80.34	854	463.57	28
16	2.274	34	80	66.67	406	338.36	32
31	3.606	35	50	31.48	310	195.17	35

Presidente Adolfo López Mateos. En contra parte, tenemos de ejemplo la ruta 28 con un ranking en cuanto a empleados de 4, pero de número de negocios en 21, siendo esta ruta la que recorre la colonia Ejidal Ocolusen, La Floresta y Periodistas. Aquí también tenemos las

que se encuentran con ranking similar, como lo es la ruta 22 siendo la de ranking 1 en negocios y 2 en empleados, ruta que va de la colonia Insurgentes dentro del anillo periférico a la colonia Portales de Morelia que se encuentra en el lado Este del mismo.

#### 4.3.3) Sitios de Interés Públicos

Los SIP se clasificaron con valores absolutos como se muestra en la Tabla 4.6 ya que estos lugares incentivarían el uso de la ruta en todo su trayecto, donde estos lugares se encuentran en el radio de acción en que la bicicleta presenta mejor tiempo para realizar un trayecto urbano, el cual es menor a 4.2 kilómetros, (ITDP & I-CE 2011). En este estudio solamente tres rutas (considerando el uso de una única ruta primaria) sobrepasan el radio de 8 kilómetros, como son la ruta 1 con 13.56 kilómetros, la número 10 con una longitud de 8.98 y finalmente la ruta 3 con un trayecto de 8.36 kilómetros, posteriormente las siguientes 10 se encuentran con longitudes que van de 4 a 6 kilómetros de longitud, lo que hace que más del 60% de la red primaria se encuentre en un tiempo de recorrido benéfico para el ciclismo urbano.

Como algunos de los SIP no se encuentran a lo largo de todas las rutas, evaluarlos con valores relativos hubiera llevado a tomar algunos valores nulos o muy pequeños en muchas rutas o en tramos de estas, lo que llevaría a no tener un dato confiable, como es el ejemplo de la ruta 40 con una densidad de SIP total de 3.82 por kilómetro lineal en contra parte de la ruta 2 con valores de 42.87 SIP totales. Por lo tanto se decidió tomar valores absolutos en las siguientes categorías evaluadas en el análisis, en donde el valor de los SIP totales (Tt) se utilizó como criterio de desempate.

- Escuelas (Es).
- Unidades Deportivas (UD).
- Mercados (Me).
- Plazas públicas (Pp).

Con estos criterios de evaluación, tenemos a las rutas 1 y 2 siendo las que cuentan con mejores rankings en las categorías evaluadas, así como en el total, esto se podría interpretar debido a que son las que presentan mayor longitud, pero de igual manera estas presentan las densidades de SIP totales más elevadas del estudio. El posicionamiento de las dos rutas anteriores se entiende también debido a que son las que cruzan el centro de la

Tabla 4.6 Sitios de Interés Público

ID	Long (km)	Dens	Es	U D	Me	Pp	Tt	Rank Es	Rank U D	Rank Me	Rank Pp	Rank Tt
1	13.568	19.24	125	10	10	41	261	1	1	1	1	1
2	6.088	42.87	125	10	10	41	261	1	1	1	1	2
10	8.987	18.69	78	3	4	32	168	2	11	3	2	3
5	4.693	21.52	59	2	2	10	101	3	16	7	11	4
9	5.498	16.92	48	2	2	16	93	5	17	8	6	5
3	8.363	11.00	49	7	6	4	92	4	4	2	22	6
26	3.727	19.05	36	1	4	10	71	6	26	4	12	7
27	5.074	13.60	32	0	1	6	69	7	29	13	17	8
7	5.657	11.31	24	7	2	18	64	9	5	9	5	9
8	2.935	19.76	13	4	3	26	58	14	6	6	3	10
32	4.065	14.02	9	8	2	21	57	23	3	10	4	11
28	2.490	21.28	23	2	0	9	53	10	18	20	13	12
29	3.319	15.67	31	4	2	3	52	8	7	11	24	13
30	4.695	10.44	13	4	1	13	49	15	8	14	8	14
39	4.972	9.25	18	9	1	3	46	11	2	15	25	15
16	2.274	17.59	17	4	0	11	40	12	9	21	10	16
12	4.186	9.32	10	2	0	13	39	19	19	22	9	17
14	2.401	16.25	11	2	1	13	39	16	19	16	9	18
6	2.451	14.28	11	0	1	15	35	17	30	17	7	19
11	4.739	7.39	15	2	0	3	35	13	20	23	26	20
22	1.401	22.83	6	4	1	6	32	30	10	18	18	21
41	1.636	17.11	9	3	0	7	28	22	12	24	15	22
34	2.439	11.07	8	2	1	9	27	26	21	19	14	23
13	2.694	9.65	10	2	0	4	26	18	22	25	23	24
19	2.284	10.07	9	3	0	1	23	21	13	26	28	25
31	3.606	6.10	8	1	0	6	22	25	27	27	19	26
25	1.578	13.30	8	3	0	6	21	24	14	28	20	27
51	1.108	18.95	5	3	0	6	21	31	14	28	20	28
58	1.528	12.44	7	2	0	7	19	27	23	29	16	29
4	2.756	6.53	6	0	0	1	18	29	31	30	29	30
36	1.755	10.26	6	1	0	3	18	28	28	30	27	31
38	3.146	5.72	9	2	0	1	18	20	24	30	29	32
24	1.856	8.62	3	3	2	6	16	32	15	12	21	33
69	1.270	7.08	1	0	4	0	9	34	32	5	31	34
40	1.571	3.82	1	2	0	1	6	33	25	31	30	35

ciudad, una de Norte – Sur y la otra Oriente – Poniente. Las rutas 40 y 69 presentaron la evaluación más baja, ya que estas presentaron SIP Totales de 6 y 9 respectivamente, con apenas 1 SIP cada una; en esto la ruta 69 no presenta Unidades Deportivas ni Plazas en su

trayecto y la ruta 40 no tiene en su área de influencia directa Mercados.

#### 4.3.4) Intersecciones

El análisis de las intersecciones se podría decir que es el estudio de seguridad vial que tendrían las rutas, es decir, que ruta representaría mas riesgo para los usuarios. Esto se definió de forma relativa por el número de intersecciones que se encuentran por kilómetro lineal para las diferentes clasificaciones, las cuales se llevaron a cabo debido a la intersección que cruzaban, es decir, si una ruta ciclista tiene su trayecto por una calle y cruza un bulevar, esta intersección se considera primaria o si cruza otra calle se considera como Secundaria. La clasificación de las intersecciones es la siguiente:

- a) **Primarias (I).**- Avenidas, Bulevar y Calzada.
- b) **Secundarias (II).**- Calle, Circuito, Prolongación.
- c) **Terciarias (III).**- Andador, Callejón, Cerrada, Privada, Retorno.

Lo anterior se muestra en la Tabla 4.7, misma que está ordenada por el número de ID de las rutas, aquí las rutas que reciben la mejor evaluación son las que presentan menos cruces por kilómetro lineal. En esta clasificación se tuvo empates solamente con el número 1 del ranking, debido a que hay rutas que no presentan cruce alguno con algunas de las clasificaciones que se realizaron.

Con esto obtuvimos algunos datos interesantes, donde la media de intersecciones por kilómetro lineal en las rutas ciclista son las siguientes:

- a) **Primarias (I).**- 1.89
- b) **Secundarias (II).**- 7.74
- c) **Terciarias (III).**- 0.57

Lo anterior nos dice que tenemos una intersección con una vialidad secundaria casi cada 130 metros y con una primaria cada poco mas de 500 metros, lo cual es de llamar la atención, ya que en seguridad vial habrá mucho que hacer en estos puntos, especialmente con señalamiento para evitar algún hecho lamentable en un futuro próximo.

Tabla 4.7 Evaluación de intersecciones

ID	Longitud (km)	I	I km/l	Rank I	II	II Km/l	Rank II	III	III km/l	Rank III
1	13.57	33	2.43	23	75	5.53	10	1	0.07	2
2	6.09	16	2.63	26	46	7.55	16	2	0.33	5
3	8.36	15	1.79	18	88	10.53	28	13	1.56	18
4	2.76	6	2.17	20	21	7.61	18	0	0.00	1
5	4.69	13	2.77	28	45	9.59	25	1	0.21	3
6	2.45	3	1.22	8	33	13.47	33	1	0.41	6
7	5.66	15	2.65	27	37	6.54	13	5	0.88	13
8	2.93	5	1.71	17	7	2.39	3	0	0.00	1
9	5.50	9	1.64	16	35	6.36	11	0	0.00	1
10	8.99	23	2.56	25	97	10.79	30	8	0.89	14
11	4.74	7	1.48	13	47	9.92	26	3	0.63	12
12	4.19	10	2.39	21	45	10.74	29	2	0.48	7
13	2.69	3	1.12	6	23	8.55	21	0	0.00	1
14	2.40	0	0.00	1	22	9.17	24	6	2.50	22
16	2.27	7	3.08	30	8	3.52	4	0	0.00	1
19	2.28	3	1.32	10	18	7.89	19	0	0.00	1
22	1.40	2	1.43	12	16	11.43	32	3	2.14	20
24	1.86	1	0.54	3	3	1.61	1	0	0.00	1
25	1.58	5	3.16	32	12	7.59	17	1	0.63	11
26	3.73	6	1.61	15	30	8.04	20	2	0.54	9
27	5.07	8	1.58	14	37	7.30	15	5	0.99	16
28	2.49	7	2.81	29	16	6.43	12	0	0.00	1
29	3.32	8	2.41	22	22	6.63	14	6	1.81	19
30	4.70	5	1.06	5	17	3.62	5	0	0.00	1
31	3.61	5	1.39	11	14	3.88	6	1	0.28	4
32	4.06	10	2.46	24	58	14.29	34	2	0.49	8
34	2.44	5	2.05	19	35	14.34	35	0	0.00	1
36	1.75	7	4.00	33	16	9.14	22	0	0.00	1
38	3.15	1	0.32	2	7	2.22	2	0	0.00	1
39	4.97	6	1.21	7	51	10.26	27	3	0.60	10
40	1.57	2	1.27	9	7	4.46	8	2	1.27	17
41	1.64	7	4.27	34	15	9.15	23	4	2.44	21
51	1.11	0	0.00	1	6	5.41	9	1	0.90	15
58	1.53	1	0.65	4	6	3.93	7	0	0.00	1
69	1.27	4	3.15	31	14	11.02	31	0	0.00	1

### 4.3.5) Universidades

Como se mencionó anteriormente, las universidades representan puntos adicionales al momento de evaluar las redes ciclistas, siendo estas un punto de destino para un alto número de personas en un rango de edad donde las personas tienden a experimentar el

ciclismo urbano y en muchos casos deciden seguir en el. Las universidades que estuvieron en el área de influencia de la Red Primaria son las que se muestran a continuación, además de las diferentes facultades, centros de reunión y oficinas administrativas de la UMSNH

- ✓ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH)
- ✓ Tecnológico Regional José Ma. Morelos
- ✓ Escuela Normal Urbana Federal
- ✓ Instituto Michoacano de Ciencias de la Educación "José María Morelos" (IMCED)
- ✓ Universidad Latina de América
- ✓ Universidad de Morelia

Entre estas se decidió evaluar como número 1 en el ranking a las rutas que estuvieran cerca de la UMSNH, debido a que a la casa de Hidalgo acuden más de 30,000 estudiantes diariamente además de empleados y profesores. La evaluación se muestra en la Tabla 4.8 donde en la columna de Extra tenemos a las oficinas administrativas o centros de reunión de la Universidad.

**Tabla 4.8** Evaluación universidades

Id	Campus Central	Facultad	Extra	Categoría
4	1	0	0	1
16	1	1	3	1
36	1	2	0	1
1	1	0	0	2
10	2	2	4	3
9	2	7	5	4
5	1	0	0	5

#### 4.3.6) Casas del estudiante

Estos albergues estudiantiles son de gran importancia para el estudio ya que representan cerca del 10% de la población estudiantil de la UMNSH, siendo cerca de 5,000 alumnos. Estos son importantes ya que como se mencionó líneas arriba son personas dentro de un rango de edad donde se puede adoptar el ciclismo urbano para la movilidad dentro de la ciudad. Esta información que se encuentra clasificada en dos grupos, casas del estudiante con población menor a 100 habitantes o mayor a 100, como se mencionó. No se tuvo ninguna casa de estudiante en el rango de 100 – 200 al momento del estudio, sin embargo

se considera el 100 como límite para la división.

La Tabla 4.9 contiene la clasificada de acuerdo a las rutas que tengan un número mayor de casas del estudiante con mas de 100 habitantes, en donde vemos que la ruta 1 y 10 son las que se posicionan mejor en esta evaluación con 7 y 6 respectivamente, pero de igual manera en su área de influencia tienen 3 Casas con menos de 100 habitantes.

**Tabla 4.9** Evaluación casas del estudiante

ID	Menos 100 Habitantes	Más de 100 Habitantes	Ranking menos de 100	Rankin más de 100
1	3	7	2	1
10	3	6	2	2
2	3	4	2	3
9	4	4	1	3
26	4	4	1	3
5	4	2	1	4
3	3	1	2	5
4	1	1	4	5
36	2	1	3	5
11	2	0	3	6
12	1	0	4	6
16	1	0	4	6
27	1	0	4	6

#### 4.3.7) Resultado de la evaluación

El análisis realizados a lo largo del trabajo fue necesario para obtener la Tabla 4.10, la cuál contiene el orden de las rutas debido a su relevancia dentro de la red primaria. El anexo 3 contiene 5 tablas adicionales, las cuales contienen la información empleada para obtener la evaluación de las rutas. Con esta evaluación las autoridades municipales se pueden apoyar al momento de tomar decisiones sobre el orden en el cual se podría asignar el recurso. Como se puede observar en los resultados, una ruta larga no garantiza que sea la de mayor impacto dentro de una red (de acuerdo a la metodología seguida en este trabajo), teniendo la ruta ID 1 de 13.5 km en 4 lugar o la ruta ID 39 con cerca de 5 km en la posición 29.

**Tabla 4.10** Resultado de la evaluación

Prioridad	ID	Vialidad	Longitud (km)	Media
1	8	Av. Pedregal	2.93	5.55
2	2	Cuautla - Avenida Torreón Nuevo	6.09	8.38
3	10	Avenida Michoacán - Virrey Antonio de Bucareli	8.99	9.07
4	1	Madero Poniente - Av. Acueducto	13.57	10.07
5	9	Calzada Benito Juárez - Las Rosas	5.50	10.93
6	26	Vicente Santa María - San Francisco	3.73	11.92
7	27	Rubén C. Navarro - Colima	5.07	12.15
8	6	Ing. Juan Guillermo Villasana - Francisco Vaca	2.45	12.45
9	12	Av. Quinceo - Benito Juárez	4.19	12.54
10	29	Silvestre Guerrero - Mil cumbres	3.32	12.73
11	5	Mariano Michelena - Avenida Lázaro Cárdenas	4.69	12.79
12	3	Tlalpujahuá - Avenida Panamá	8.36	12.92
13	11	Sta. María de los Urdiales - Congreso de Anáhuac	4.74	13.08
14	22	Avenida Periban - Avenida Nueva Tepeyac	1.40	13.36
15	13	Paseo del Roble - Lic. Mariano de Jesús Torres	2.69	13.73
16	7	Siervo de la Nación, Periodismo, Periodista Bustamante	5.66	14.09
17	34	Puente de Coatzacoalcos - Avenida Poliducto	2.44	14.09
18	32	Junta de Jaujilla - Av. José María Lino Patiño	4.06	14.45
19	30	La Huerta - Salida Pátzcuaro	4.70	15.45
20	28	Blvd Jesús Sansón Flores - Músicos de Tirindaro	2.49	15.82
21	16	Avenida Universidad	2.27	16.14
22	24	Av. Héroes Anónimos de la Independencia	1.86	16.45
23	14	Circuito Mintzita - Paseo de la Reforma	2.40	16.82
24	51	Lic. Alberto Bremauntz Martínez - Periférico Revolución	1.11	18.09
25	58	Raza Mexica, Circuito Educadores Mexicanos	1.53	18.55
26	38	San Juanito Itzicuaró	3.15	19.45
27	36	Constituyentes - Av. Héroes de Nocupetaro	1.75	19.64
28	19	Fray Jacobo Daciano - Av. Fray Antonio de San Miguel Iglesias	2.28	19.73
29	39	Sitio de Cuautla - José Francisco Gómez	4.97	19.91
30	41	Loma del Rey - Indeco	1.64	19.91
31	40	Presidente Benito Juárez - Benemérito Insurgente	1.57	20.36
32	4	Gaspar de Villadiego, J. Mujica	2.76	20.57
33	25	Av. Insurgentes Oaxaqueños - Planetas	1.58	21.36
34	31	Calzada Lago de Zirahuen - Regimiento Infantería Provisional	3.61	23.55
35	69	Av. Enrique Ramírez - Av. Club Campestre	1.27	27.09

Aunque este estudio presenta algunas limitaciones como pueden ser, el índice de accesibilidad que no es considerado, el peso que pueden llegar a tener instalaciones en específico como pueden ser los grandes mercados o centros comerciales. Además de que el trabajo no consideró el peso de las diferentes categorías como puede ser la importancia de una plaza pública frente a las escuelas, las intersecciones primarias frente a las terciarias. Donde uno de los objetivos de este trabajo es ampliar la poca literatura existente al momento de evaluar redes completas o desarrollar infraestructura ciclista desde cero para alguna ciudad, así como proporcionar una metodología fácil de elaborar que ayude en la toma de decisiones cuando no se cuenta con información de encuestas o aforos.

# CAPÍTULO

# 5

## EVALUACIÓN DE UN NODO EN LA CIUDAD DE MORELIA POR MEDIO DE MICRO SIMULACIÓN

### 5.1) Introducción

---

Durante las últimas décadas las simulaciones vehiculares en programas computacionales han ido creciendo en la investigación y la práctica ingenieril, dentro del ámbito de la ingeniería de tránsito. Lo que nos ha llevado a tener como herramienta esencial el uso de este tipo de herramientas para la planeación y diseño de redes de transporte. Estos programas, además de simular a nivel macro, también son eficientes para micro-simulaciones, como lo puede ser algún nodo conflictivo. Sin embargo, estos programas no pueden hacer el trabajo por si solos, el usuario debe de calibrar el programa, introduciendo la mayor cantidad de datos disponibles, dependiendo esto de la certeza que se esté buscando en la simulación, a mayor número de valores introducidos, mayor certeza se tendrá.

Varios son los programas existentes para simulaciones de tráfico en el mercado, pero entre los más utilizados se tiene a VISSIM, PARAMICS (desarrollado en el Reino

---

Unido por el departamento de transporte), AMSUM, etc (programas populares en micro-simulación de tránsito). Todos estos programas tienen una cantidad de parámetros que pueden ser calibrados de acuerdo a las condiciones de tráfico. Algunos de los parámetros que pueden ser calibrados son aceleración, distribución de velocidades, parámetros referentes al cambio de líneas, comportamiento del conductor, etc.

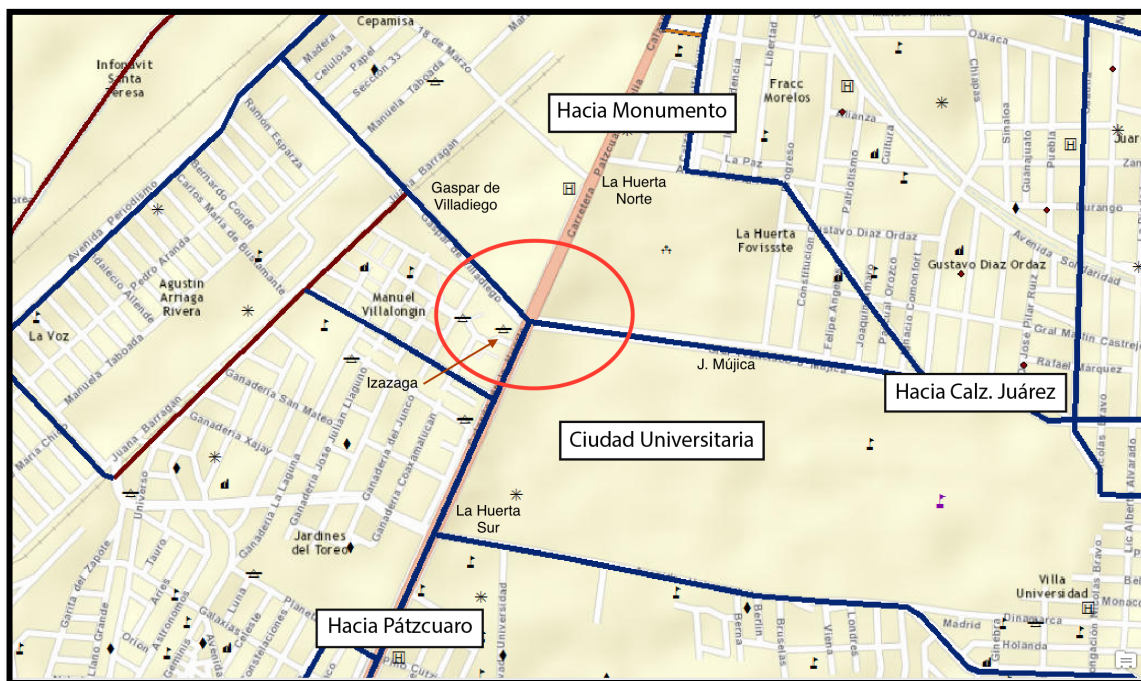
Dentro de los programas mencionados VISSIM es uno de los más utilizados para las simulaciones de tráfico con diferentes aplicaciones. Entre sus aplicaciones más populares se tienen el modelado y análisis de tráfico urbano, así como el interurbano, aunque también es capaz de modelar otros medios de transporte (transporte público, peatones, etc.). El extenso uso que se ha tenido con VISSIM ha llevado a tener grandes avances al momento de desarrollar otros programas, así como la complejidad del programa ha ido avanzando cada vez más.

La ciudad de Morelia recientemente está empezando a implementar carriles ciclistas por algunas vialidades de la ciudad. Algunos de estos carriles corren a lo largo de vialidades de baja velocidad, pero algunos que coinciden con calles de 50 km/h o más, de acuerdo a los límites establecidos por el Ayuntamiento. Sin dejar de lado que llegan a cruzar por intersecciones de alto riesgo, debido al ancho que tienen estas (número de carriles que tienen que cruzar para llegar al otro lado) sumando la velocidad de operación de estas. Para lo cual se deberían de analizar estos cruces que ponen en riesgo no solo la integridad de los ciclistas, sino que a la fecha se encuentra comprometida también la de los peatones y con esto, riesgo para los conductores de los automóviles.

El objetivo principal de este capítulo es la evaluación de la intersección que se forma por las vialidades Calzada La Huerta con Avenida J. Mújica por medio de una micro-simulación en VISSIM. La simulación se realizó para evaluar el comportamiento del nodo en cinco diferentes escenarios, el primero es como se encuentra en el estado actual, dos considerando a los ciclistas en carril compartido en extrema derecha de las vialidades y las dos últimas considerando la reducción de un carril en la avenida J. Mújica para que en ese espacio se coloque un ciclocarril con sobre ancho de seguridad. Para con esto ilustrar además las ventajas de las simulaciones computacionales dentro de la infraestructura ciclista.

## 5.2) Sitio de análisis

El sitio de análisis de este trabajo es el cruce de la Avenida J. Mújica con la calzada La Huerta (Figura 5.1 encerrado en círculo rojo), fue elegido por diversos factores, entre ellos la importancia de movilidad que tiene dentro de la ciudad. La Calzada La Huerta, al ser la vialidad que conecta la ciudad con la salida a Pátzcuaro (salida que lleva hacia el puerto Lázaro Cárdenas, Uruapan o la región de Tierra Caliente del estado), genera conexión directa entre el libramiento y la Avenida Madero teniendo en su recorrido el Panteón Municipal, la empresa Coca-Cola, el centro comercial La Huerta y el campus central de la Universidad Michoacana por mencionar algunos sitios de interés. Por su parte la avenida Francisco J. Mújica conecta dos de las principales arterias de la ciudad, la avenida Periodismo con la calzada Juárez; además de que en su recorrido cruza la calzada La Huerta.



**Figura 5.1** Localización del cruce evaluado

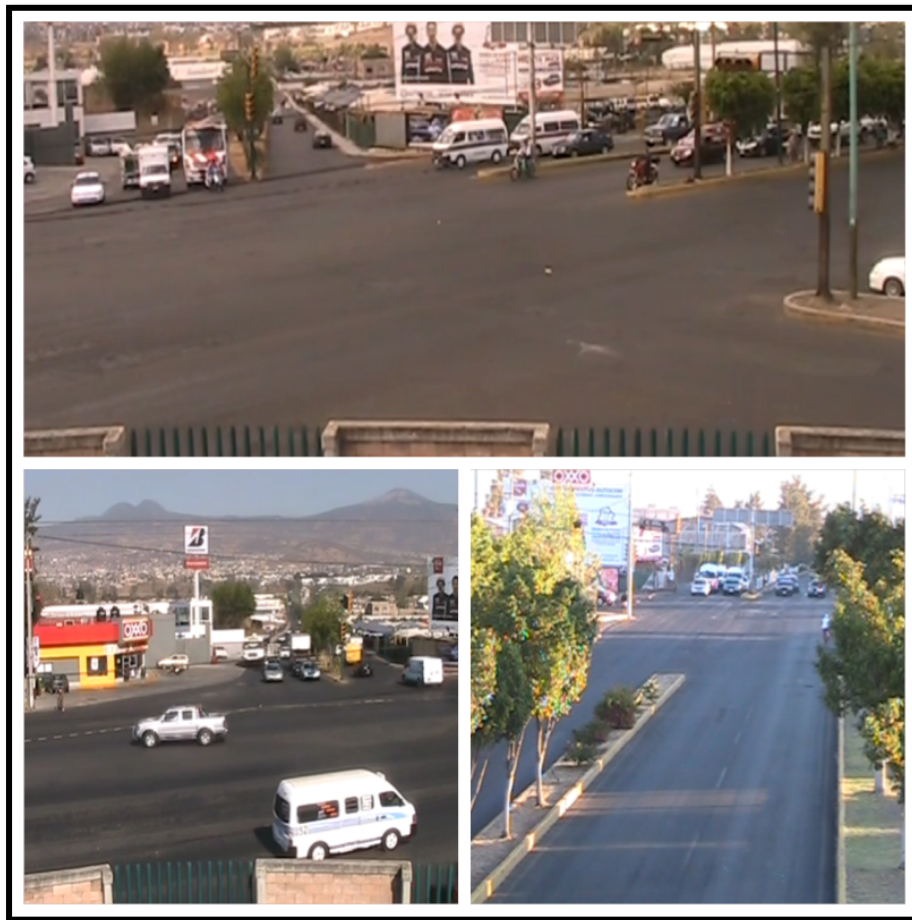
La importancia de este cruce viene también por la alta cercanía a Ciudad Universitaria, lo que lleva a tener un alto potencial para el uso del ciclismo como medio de transporte urbano, lo que llevaría a tener una fuerte combinación de ciclistas con vehículos motorizados. Además de que es una de las intersecciones con mayor distancia de cruce que

se encuentran en la ciudad, ya que por un lado se tienen que librar 5 carriles centrales, 2 carriles por cada una de las dos laterales y 3 camellones en la calzada La Huerta (38 metros aproximadamente) y por el otro se tiene que cruzar 3 carriles por sentido en Francisco J. Mújica.

Adicionalmente, este cruce presenta un tránsito en todos sus sentidos de 4,500 vehículos aproximadamente por hora, en donde la avenida J. Mújica aporta aproximadamente 900 vehículos por hora.

### 5.3) Recolección de datos y red vial

La recolección de datos se realizó por medio de grabaciones de video (Figura 5.2), 6 horas de video para el cruce, tomadas en tres días en el intervalo de 8 am a 1 pm. Estos videos se analizaron por medio del programa Traffic Intelligence (Saunier 2012; Anderson-Trocmé et al. 2012). Este es un proyecto de código abierto que se ha venido desarrollando en los

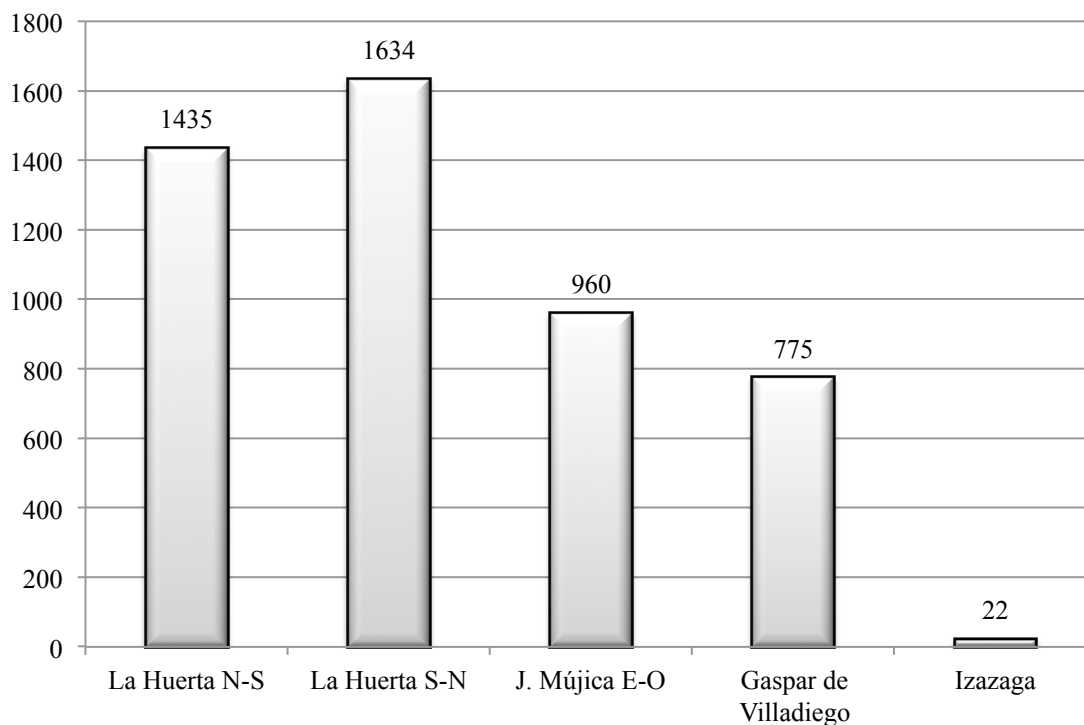


*Figura 5.2* Ángulo de cámaras utilizados en el aforo

últimos años en la ciudad de Montreal por Nicolas Saunier y colaboradores. El programa consiste en una serie de herramientas para análisis de video, interpretación de datos y trayectorias de objetos. Un algoritmo es el encargado de rastrear las características de los objetos en movimiento en las imágenes capturadas con anterioridad con cámaras de video.

El primer paso para el análisis de video y rastreo de características, es extraer y agrupar las trayectorias de los objetos en movimiento de cada uno de los vehículos. El algoritmo captura y distingue distintos puntos en movimiento llamados *características*, las cuales después son agrupadas de acuerdo a su cercanía. Entre los inconvenientes que está teniendo este programa es la sobre segmentación (diversas trayectorias para el mismo objeto) y el sobre agrupamiento (una trayectoria para diversos objetos). Con el propósito de minimizar el error, se prueban diferentes parámetros por medio de prueba y error analizando cual nos arroja un mejor resultado. Adicionalmente se realizó un conteo manual de una hora para cada uno de los tres ángulos de las cámaras que se tuvieron para minimizar el error y obtener un factor de seguridad.

Con la información anterior se obtuvo la Figura 5.3 la cual refleja el aforo por hora en el nodo estudiado. En este gráfico podemos observar que la calzada La Huerta presenta

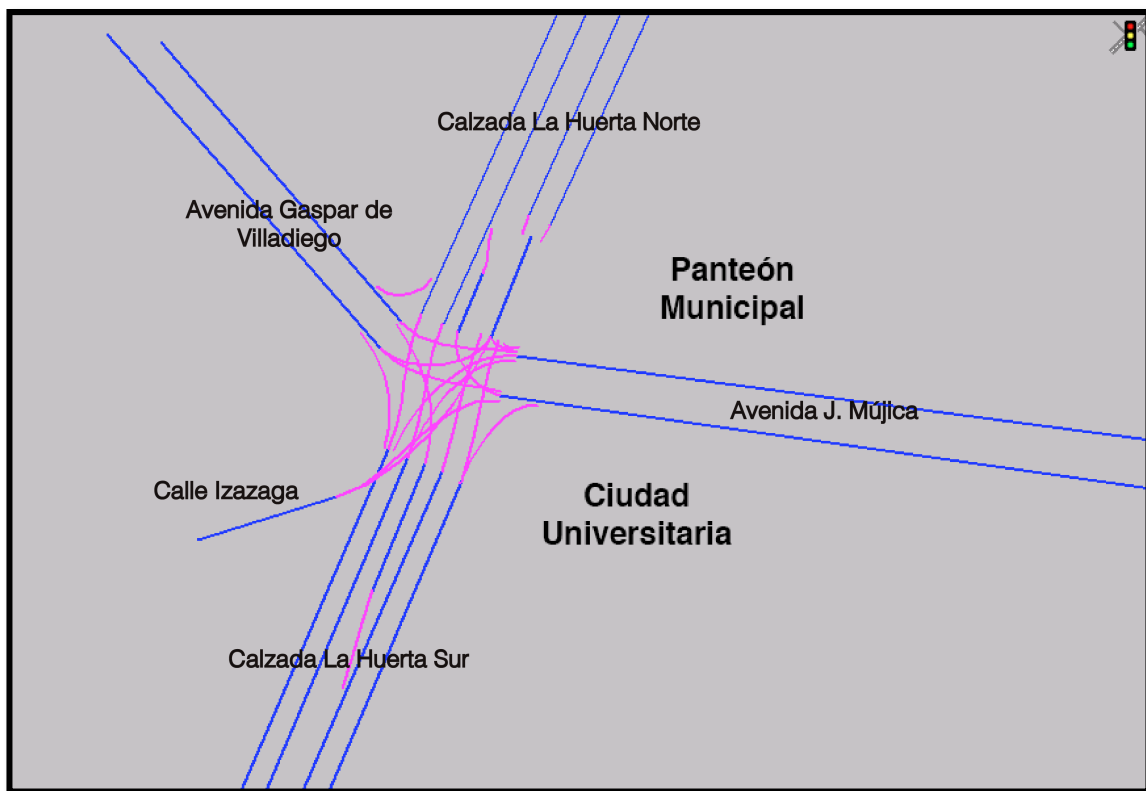


**Figura 5.3** Aforo vehicular, nodo Huerta – Mújica (vehículos por hora)

mayor tráfico hacia la avenida Madero (S – N), así como la avenida Mújica en su dirección calzada Juárez hacia Periodismo (E – O).

Aunque se encuentre en fase de desarrollo, este software representa una importante herramienta para el conteo de objetos, arrojando resultados confiables, requiriendo solamente en algunas ocasiones un ligero ajuste de resultados.

En VISSIM se construyó una red que ejemplifica el nodo analizado (Figura 5.4), donde se estudió a nivel micro esta zona de la ciudad. Para lo cual se utilizó la información del aforo realizado por medio del programa Traffic Intelligence.



**Figura 5.4** Nodo a evaluar en la intersección Calz. La Huerta con la avenida J. Mújica, VISSIM

#### 5.4) Metodología

Para esta parte del trabajo se realizaron 5 diferentes simulaciones en el nodo de estudio, una de ellas es el estado actual para de esta manera obtener un parámetro con el cuál comparar las diferentes simulaciones realizadas. Dos de los casos de estudio están pensados en brindar seguridad al ciclista e impactar lo menos posible el funcionamiento del cruce y los otros dos casos de estudio contemplan incluir un carril ciclista con una franja de seguridad

en la avenida Francisco J. Mújica, con esto se busca brindar seguridad, confort y rapidez al ciclista, además de evitar conflictos con los vehículos. Estos casos de estudio contemplan al ciclista en el carril de extrema derecha, por lo tanto en el cruce los ciclistas tendrán que realizar vuelta indirecta a la izquierda para evitar accidentes y conflictos por la diferencia de velocidad con los demás vehículos a lo largo del cruce.

La vuelta indirecta a la izquierda sugiere que el ciclista cruce en línea recta hasta el carril de menor velocidad de la vialidad inmediata a su derecha (puede ser incorporarse en alguna de las laterales o en el carril de la derecha), una vez incorporado en este sitio esperará el pase del semáforo que le corresponde debido a la vía en la que haya quedado. Esto se ejemplifica de la siguiente manera, si un ciclista circula por la avenida Francisco J. Mújica y tiene como rumbo la calzada La Huerta en su dirección sur, esperará el pase para cruzar en línea recta colocándose en la lateral de la calzada La Huerta donde esperará su pase con dirección norte – sur.

Los diferentes casos de estudio realizados en las simulaciones se encuentran descritos con mayor detalle en los siguientes incisos:

- 1) **Estado actual.**- Aforo, carriles y tiempo de semáforo actuales
- 2) **Carriles compartidos 1.**- Aforo actual incluyendo un 10% de ciclistas circulando a extrema derecha en las vialidades, se conservan los carriles actuales, así como el tiempo de semáforo.
- 3) **Carril compartido 2.**- La configuración vehicular del inciso 2, con los mismos carriles, pero se eliminó un semáforo (calle Izazaga) distribuyendo este tiempo en las otras cuatro fases.
- 4) **Carril ciclista 1.**- Se contempló la misma configuración del inciso 2, pero en la avenida J. Mújica se redujeron de tres a dos carriles la circulación dejando un carril exclusivo para los ciclistas.
- 5) **Carril ciclista 2.**- Es la mezcla del inciso 3 y 4, es decir, se redujo un carril en la avenida J. Mújica y se eliminó el semáforo de la calle Izazaga distribuyendo el tiempo en las otras cuatro fases.

Definida la zona donde se realizaría la micro simulación y las diferentes variaciones, se realizó el trazo en VISSIM, para lo cual se utilizaron una serie de imágenes

satelitales obtenidas de los mapas de Bing (base de datos de imágenes satelitales, de la cuál Microsoft es propietario) como fondo (Figura 5.5). En esta parte se definieron los link (representan la vialidad que mueve el flujo vehicular) y se unieron con los conectores que llega a tener cada link (un conector es el sentido o dirección que puede tomar un objeto para ir desplazarse de un link origen a un link destino). Esta parte se complementa con en ancho de carril, en nuestro caso se utilizó un ancho de carril para todos los link de 3.1 metro, exceptuando los link pertenecientes a la avenida J. Mújica, en este link se introdujeron los datos de la Tabla 5.1 ya que estas representan las medidas reales a cada centro de línea en el pavimentos.

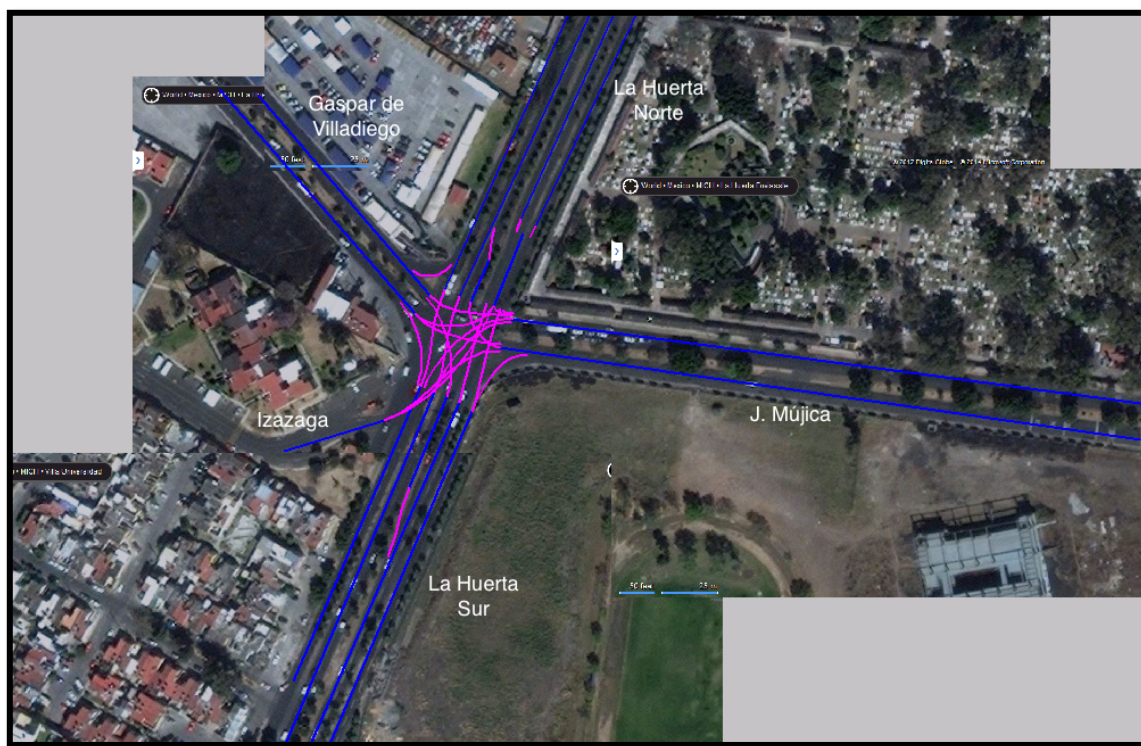
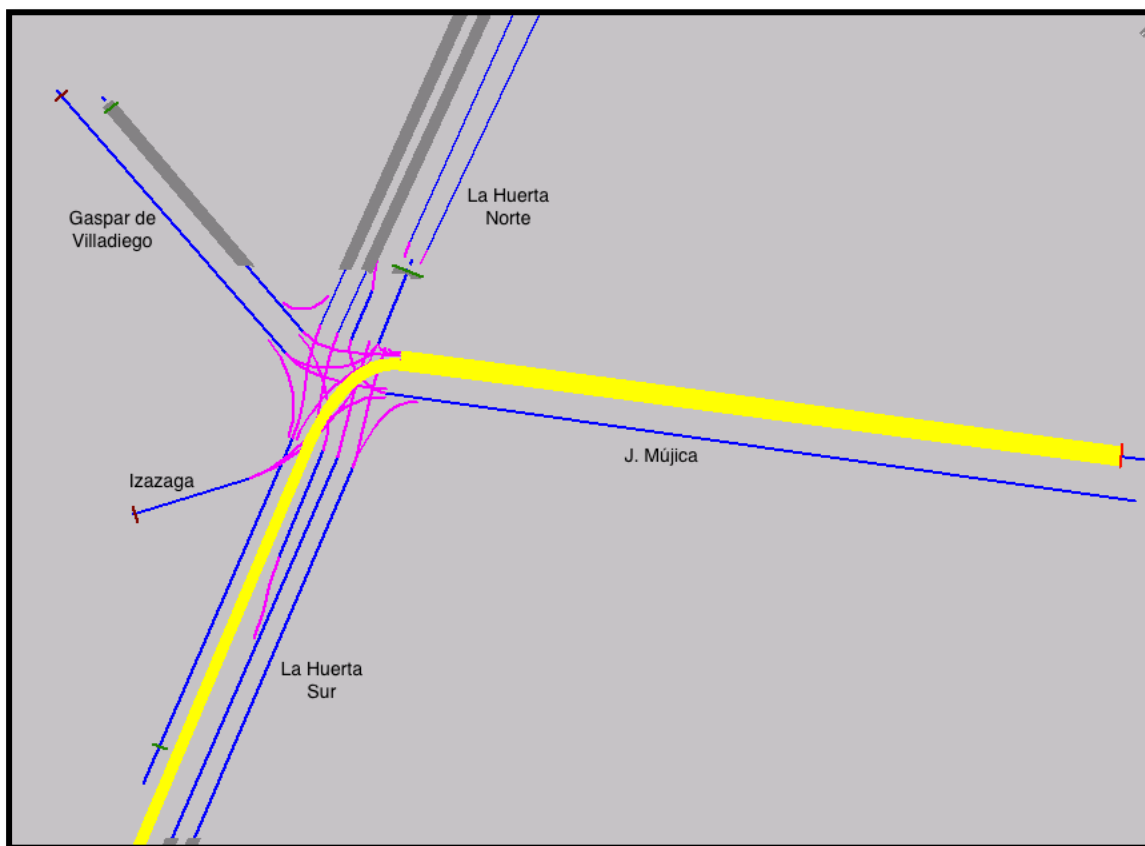


Figura 5.5 Imágenes utilizadas de fondo, VISSIM

Tabla 5.1 Medidas de los carriles avenida J. Mújica

Carril	Mújica E – O (m)	Mújica O – E (m)
1	3.00	2.80
2	3.10	3.20
3	2.90	3.00

Con los conectores definidos, lo siguiente es indicar a VISSIM las rutas que pueden seguir los vehículos. Estas rutas representan el destino que pueden seguir los vehículos que se encuentran circulando en cierto sentido, como ejemplo tenemos la Figura 5.6 en donde la ruta está marcada por una franja en color amarillo y llevará a los vehículos que se encuentran circulando por la avenida J. Mújica en dirección Este – Oeste hacia la calzada La Huerta dirección Norte – Sur incorporándose en el carril central de la misma. Este proceso se tiene que realizar para cada una de las diferentes rutas que se tienen en el nodo. En nuestro caso, el nodo presenta 7 rutas estáticas las cuales representan las vialidades que incorporan vehículos a la red y 17 rutas de decisión, que son las vialidades a las cuales los vehículos se pueden dirigir. Esta parte se puede apreciar en la Tabla 5.2



**Figura 5.6** Ruta seguida por objetos (vehículos) en VISSIM

Además de indicar las rutas que pueden seguir los vehículos, en esta parte se indica el porcentaje de vehículos que tomarán dicho destino en base a 100%, es decir, si en el carril central de la calzada La Huerta transitan 803 vehículos por hora, cuantos de esos darán vuelta hacia la izquierda rumbo a la avenida J. Mújica y cuantos seguirán su rumbo

por dicha vialidad, lo cual se especifica como 34% y 66% respectivamente.

**Tabla 5.2** Rutas de decisión en el nodo

Vialidad alimentadora	Conexión	Aforo parcial (porcentaje)	Aforo Total (vehículos)
La Huerta N – S (central)	La Huerta N – S (central)	66	803
	J. Mújica O – E	34	
La Huerta N – S (Lateral)	La Huerta N – S (Lateral)	35	525
	Gaspar de Villadiego ( E – O)	65	
J. Mújica E – O	La Huerta S – N (Lateral)	10	863
	Gaspar de Villadiego ( E – O)	31	
	La Huerta N – S (central)	35	
	La Huerta N – S (Lateral)	24	
La Huerta S – N (Lateral)	La Huerta S – N (Lateral)	44	717
	J. Mújica O – E	56	
La Huerta S – N (central)	La Huerta S – N (central)	67	926
	Gaspar de Villadiego ( E – O)	33	
Izazaga	J. Mújica O – E	40	18
	La Huerta S – N (central)	60	
Gaspar de Villadiego (O – E)	J. Mújica O – E	40	780
	La Huerta S – N (central)	20	
	La Huerta N – S (Lateral)	40	

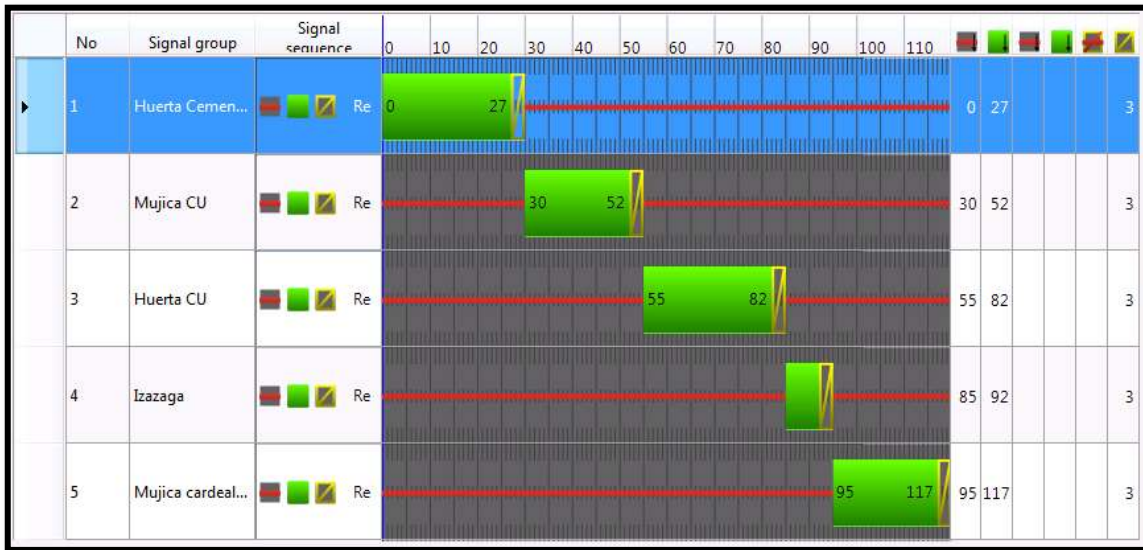
Para las variaciones donde solamente se consideraron 4 fases de semáforo en lugar de 5, la conexión de la calle Izazaga se realizó directamente hacia la lateral de la calzada La Huerta N –S, suprimiendo las conexiones hacia La Huerta S – N y J. Mújica O –E, con preferencia para los vehículos que circulan sobre la lateral.

El siguiente paso en este trabajo fue introducir el número de vehículos que transitarían por cada uno de los links que se indicaron al inicio de este capítulo cuando se trazo la red vial. En esta parte se introduce la composición vehicular que se tiene, el tipo de vehículos que transitan por la vialidad (es donde se introducen los ciclistas que circularán en nuestro caso), así como las velocidades de operación de los mismos. Aquí también se pueden introducir diferentes clasificaciones para cada vialidad, es decir, el tipo de vehículos que pueden transitar por el link en cuestión.

En este estudio, se consideraron tres tipos de vehículos motorizados en la composición vehicular, vehículos ligeros, camionetas de 3.5 toneladas y autobuses de pasajeros. Además de introducir a los ciclistas para su análisis en las simulaciones que así se requirió. El programa también permite configurar el porcentaje de cada uno de los diferentes vehículos, la velocidad de operación e incluso si así se requiriera el tamaño de

cada uno de ellos.

Lo siguiente fue configurar el número de semáforos, así como el tiempo de cada una de las fases que tendrían (en VISSIM la ventana con las 5 etapas tiene el aspecto de la Figura 5.7). En esta parte se configuraron tres de las cinco simulaciones con los tiempos actuales, los cuales corresponden a ciclos de 120 segundos divididos en 5 etapas y las otras dos se dividieron en dos etapas; los tiempos se muestran en la Tabla 5.3.



**Figura 5.7** Ciclos de semaforización, VISSIM

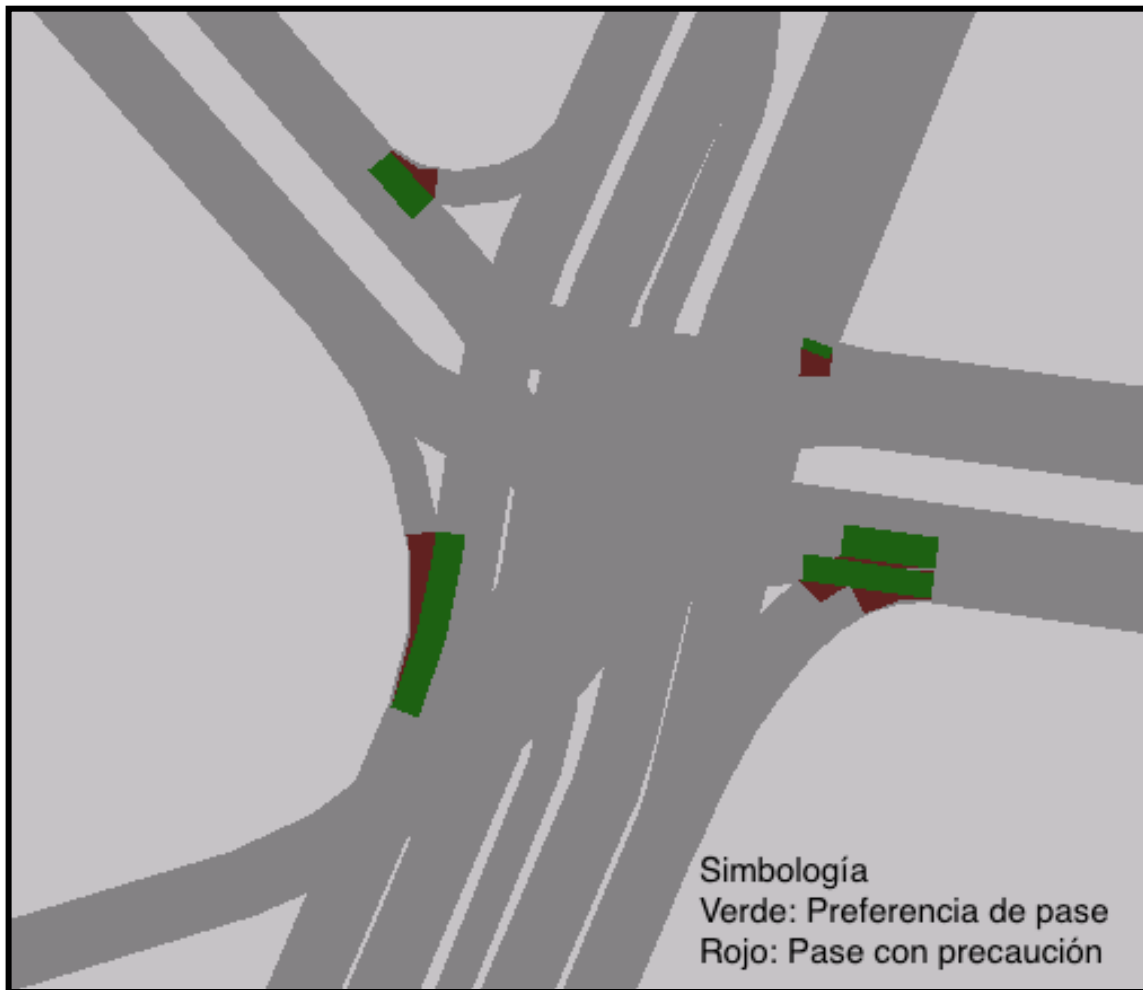
**Tabla 5.3** Ciclos de los semáforos

Vialidad	Tiempo 5 etapas (segundos)	Tiempo 4 etapas (segundos)
La Huerta N – S	30	33
J. Mújica E – O	25	28
La Huerta S – N	30	33
Izazaga	10	suprimido
Gaspar de Villadiego O – E	25	26

Como consideración adicional, se definieron zonas de conflicto, las cuales indican la preferencia de pase que tienen los vehículos al circular. Un ejemplo es la vuelta a la derecha que es permitida “con precaución” cuando el semáforo se encuentra en rojo. Lo que indica que la preferencia de paso la tienen los vehículos que salen de una zona con semáforo en verde o la vialidad principal. En estas zonas de conflicto le proporcionan la

prioridad de paso a estos vehículos ya que así lo indicamos (bien podría ser al contrario, pero no es la regla al circular). La Figura 5.8 muestra en verde las conexiones que tienen preferencia de circulación (preferencia de pase), como ejemplo, los vehículos que entren a la avenida J. Mújica O – E tienen preferencia sobre los que se incorporan a dicha vialidad viniendo por la lateral de La Huerta S – N.

Con las consideraciones anteriores se procedió a realizar las cinco diferentes simulaciones deseadas.



**Figura 5.8** Preferencia de pase, VISSIM

## 5.5) Análisis de resultados

La información se encuentra analizada en dos partes, de manera global la cuál involucra todas las vías del cruce que introducen vehículos al sistema (las 5 o 4 que interfieren con el nodo, dependiendo de cuál sea el caso que se este analizando), la otra es realizar un enfoque particular en la avenida Francisco J. Mújica en cada uno de los diferentes casos que se analizaron (los cuales se describieron en la metodología). Esta última avenida se analizó de manera particular debido a que es la que vialidad que se conecta con la entrada principal de Ciudad Universitaria, donde se esta proponiendo implementar una vía ciclista (ya sea carril compartido o ciclocarril, dependiendo la configuración que se llegue a realizar con la semaforización).

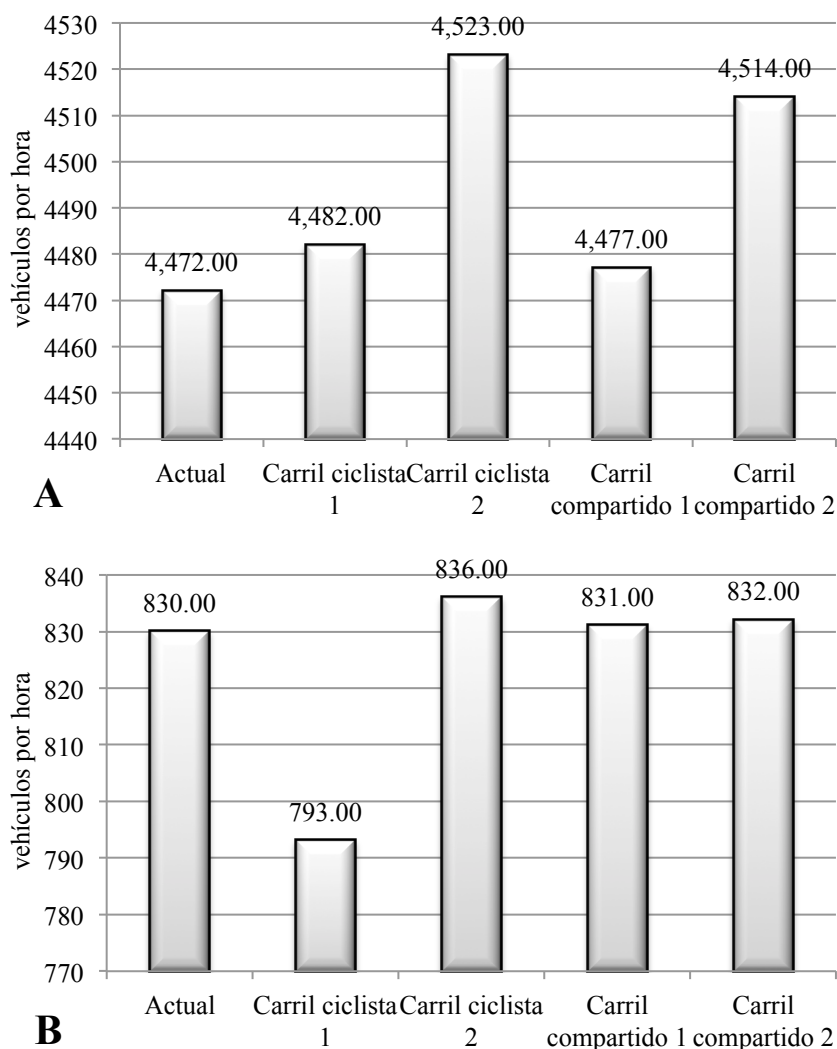
Para realizar el análisis en VISSIM se tiene la flexibilidad de obtener una serie de resultados muy amplia, en este estudio se tomaron en cuenta solamente 6 de ellos: vehículos, demoras (segundos), cola (metros), consumo de combustible (litros), emisiones CO y NOx. Estos resultados son presentados en una serie de graficas de barras que describen de forma particular cada una de los 6 diferentes resultados. En donde para cada gráfico la figura A será la correspondiente al análisis global del cruce y la figura B representara los datos de la avenida Francisco J. Mújica.

### 5.5.1) Flujo de vehículos

Primeramente se revisaron los vehículos, siempre tomando como base el estado actual para así poder comparar en que caso el nodo y la avenida J. Mújica tendrían mayor capacidad de flujo vehicular o si las modificaciones lo reducirían. En cuanto al nodo en general, se debe recordar que el aforo promedio horario es de 4,632 vehículos y 863 para la avenida J. Mújica; VISSIM en el estado actual presenta un flujo horario de 4,472 vehículos por hora para el nodo y 830 para J. Mújica. En ambos casos presentando aforo vehicular menor al contado en sitio, lo cual se puede interpretar como el promedio del día ya que el resultado es para cualquier hora del día y nosotros lo tomamos en hora pico.

En la Figura 5.9 se presentan los diferentes resultados de las simulaciones el nodo, donde se puede observar que se presenta mayor flujo en la simulación correspondiente al carril ciclista 2, que corresponde a un ciclocarril y reducir de 5 a 4 fases el semáforo. El

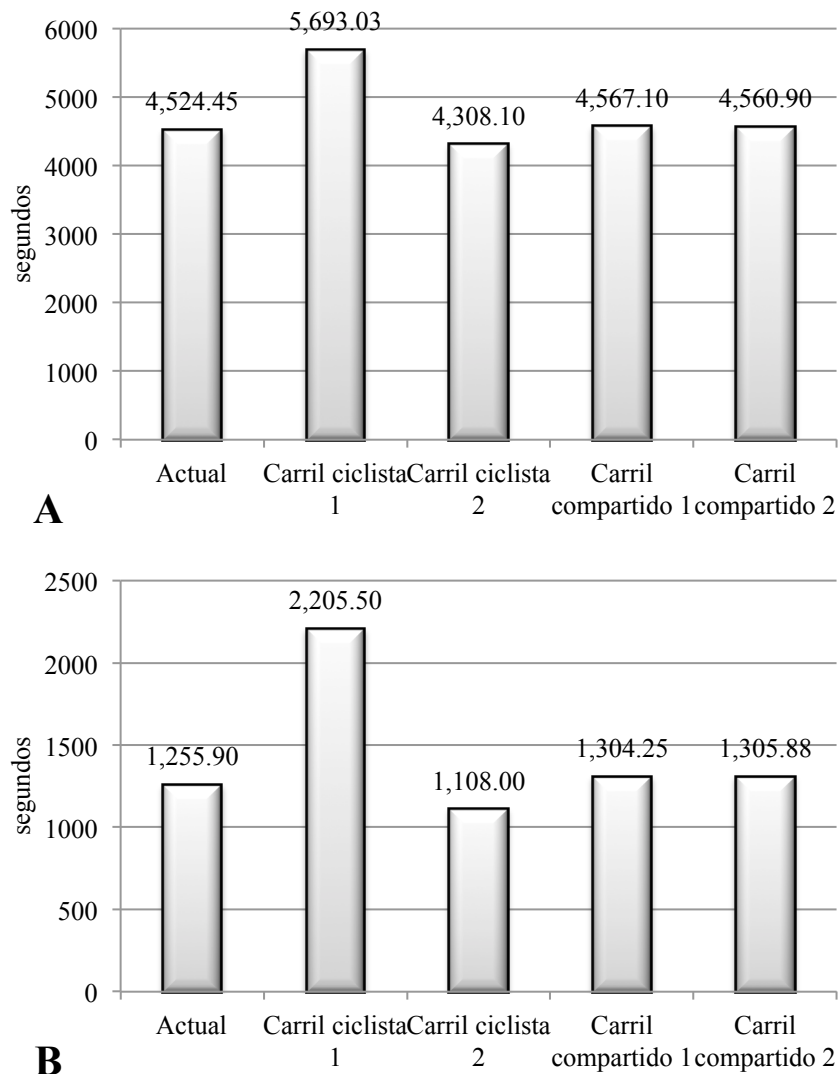
aumento en cuanto a los vehículos no representa el 2% del aforo horario siendo apenas de 51 vehículos más en la simulación más satisfactoria. Como se observa en la gráfica, el nodo presenta comportamiento satisfactorio, sin embargo para la avenida J. Mújica, el caso donde tenemos un carril ciclista y reducimos de tres a dos carriles (carril ciclista 2), presenta una disminución de capacidad vehicular de 37 vehículos, en los demás casos se podría considerar el mismo comportamiento variando de 1 a 6 vehículos mas por hora, en donde la simulación carril ciclista 2 fue la que presento mejores resultados.



**Figura 5.9** Resumen flujo de vehículos.  
**A**, Global; **B**, Mújica E – O

### 5.5.2) Demoras

En cuanto al apartado de demoras, podemos observar que la opción donde tenemos la combinación de ciclistas con los vehículos y que se mantiene el mismo tiempo de los semáforos, es la que nos presenta unos valores mayores siendo estos de 25% más al estado actual. Esto es un resultado lógico ya que estamos reduciendo los carriles de 3 a 2 sin modificar el tiempo de semaforización, lo que lleva a tener demoras considerablemente mayores en el nodo. Pero para el caso donde se le añade tiempo al semáforo y reducimos de 5 a 4 fases (carril ciclista 2) observamos que nos presenta demoras 5% menores a las



**Figura 5.10** Resumen demoras de vehículos.  
**A**, Global; **B**, Mújica E – O

actuales, con todo y que se toma un carril para uso exclusivo de los ciclistas; siendo este último el que nos presenta la modelación con mejor comportamiento ya que las otras donde se tiene el carril compartido con vehículos y ciclistas presenta un tiempo de demoras muy similar en ambas simulaciones. El comportamiento de esto lo podemos observar graficado en la Figura 5.10, la demora está expresada en segundos, es decir la suma de todo lo que cada vehículo espera en el cruce se ve reflejada en las gráficas de cada caso de estudio.

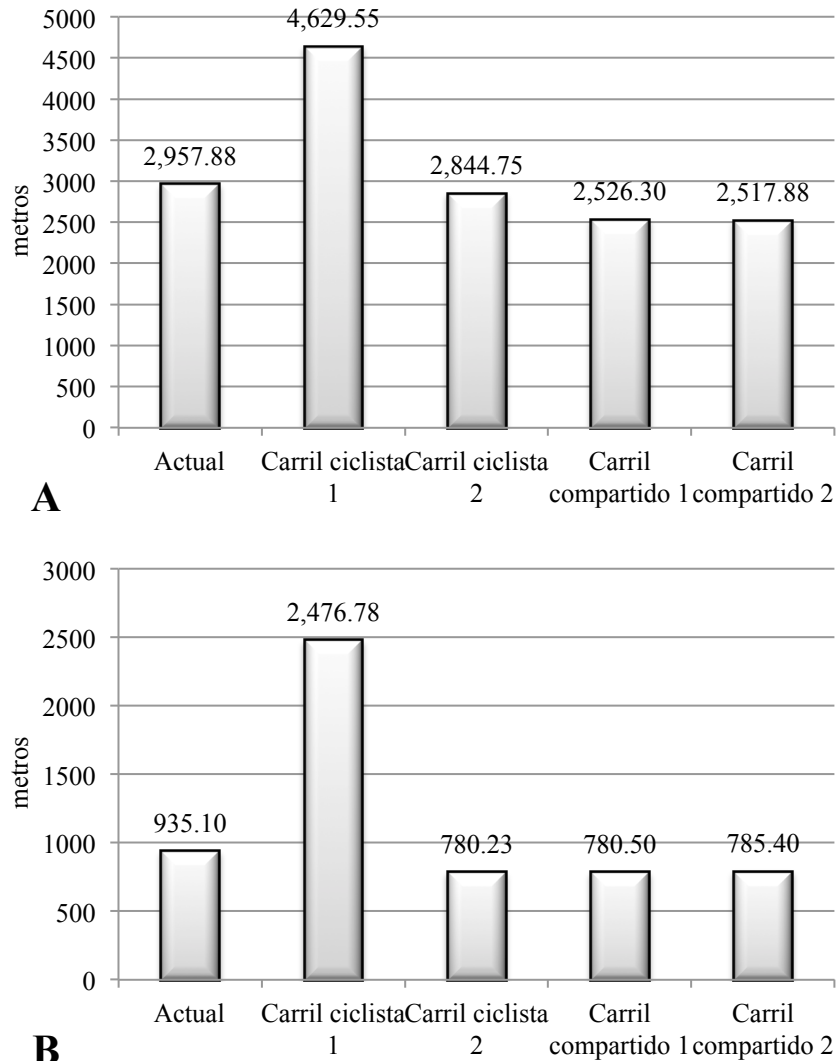
El caso particular de la avenida J. Mújica siguió un comportamiento similar al del nodo en su totalidad, siendo la simulación mas desfavorable el carril ciclista 1 con un 75% tiempo mas en demoras, siendo de igual manera el carril ciclista 2 el que tiene mejor comportamiento con 11% menos tiempo en demoras comparado con el estado actual. Las simulaciones de carriles compartidos presentaron demoras ligeramente mayores a la simulación actual siendo estas de casi 4%.

### 5.5.3) Longitud de la fila

El apartado de cola, se refiere a la longitud de la fila (medida en metros) que llegan a alcanzar los vehículos detenidos o en espera que se llega a formar en cada una de las esquinas con semáforo. VISSIM toma este factor sumando todas las longitudes del nodo, para el caso del estado actual (Figura 5.11) se tiene una longitud de 2,957.88 metros de cola si llegáramos a colocar todos los vehículos que llegaron a esperar turno de pase en los 60 minutos simulados. Nuevamente la simulación que presentó resultados más desfavorables fue el caso donde reducimos un carril en la avenida J. Mújica y se mantuvieron los tiempos de semaforización actuales, siendo 56% mayor la longitud acumulada de vehículos esperando el turno de paso. Por el otro lado las otras tres simulaciones presentaron mejor resultado comparando al del estado actual, siendo los carriles compartidos las que presentar un comportamiento superior rondando un 15% menos longitud de cola.

La avenida J. Mújica sigue el mismo patrón para la simulación que presenta resultados más desfavorables el carril ciclista 1 siendo en esta ocasión 164% mayor la longitud pasando de 935 metros a 2,476 en un lapso de 60 minutos, lo que hace completamente inviable pensar en esta opción para este resulta, incluso desde el análisis de la totalidad del nodo, donde ya era por demás superior la distancia de la cola formada por los vehículos. Pero contrario al nodo completo, en este caso el carril ciclista 2 nos muestra

el mejor comportamiento (seguido casi por nada por el carril compartido 1), siendo la longitud de cola 17% menor al estado actual, lo que representa 155 metros menos en la cola que se llegaría a formar.

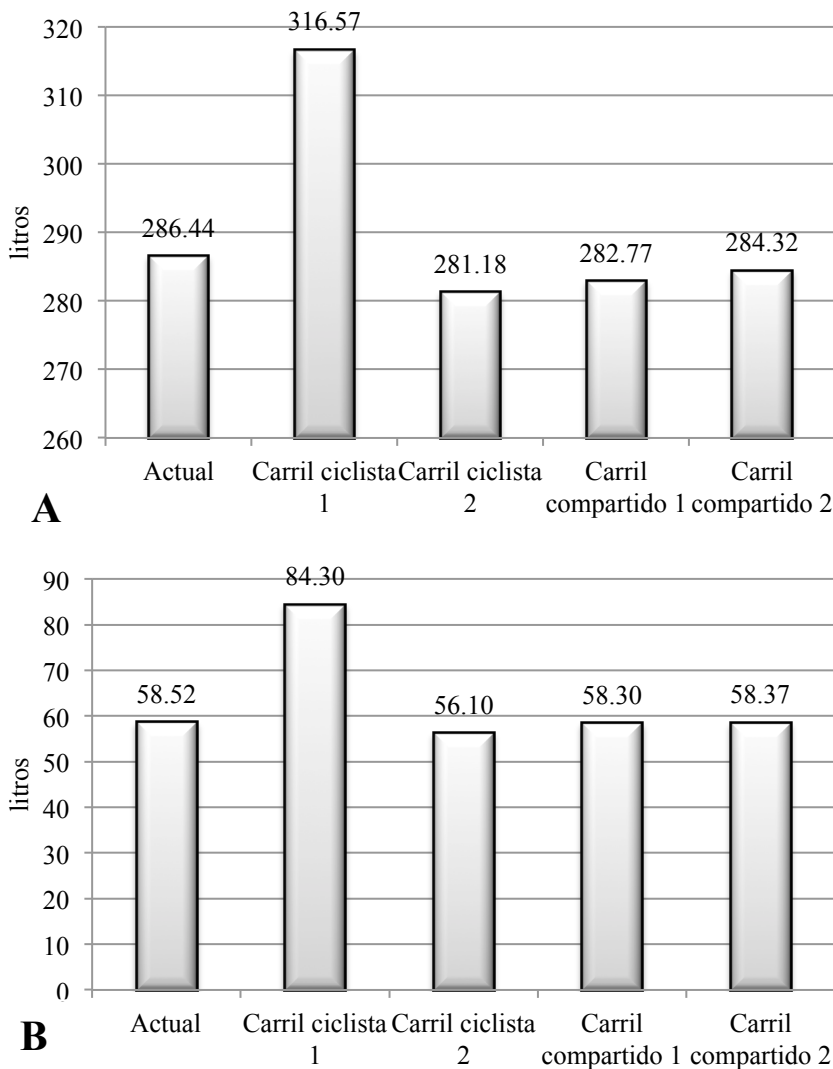


**Figura 5.11** Resumen cola de vehículos.  
A, Global; B, Mújica E – O

#### 5.5.4) Consumo de combustible

Una de las variables que VISSIM analiza y que resulta de gran interés por su impacto, tanto al medio ambiente como a la economía de los conductores de vehículos motorizados, es el del consumo de combustible debido a las demoras que se pueda tener en el nodo. Nuevamente se sigue el comportamiento en las simulaciones, donde el carril ciclista 1 es el que presenta resultados más desfavorables, donde los vehículos consumirían

cerca de un 11% más combustible debido a las demoras que se puedan generar en el cruce. Para esta simulación el carril ciclista presento un consumo de combustible ligeramente menor, con 2% menos sobre el consumo de combustible actual. Los carriles compartidos tienen un consumo de combustible menor al actual entre el 1 y 2 por ciento, esto se puede observar gráficamente en la Figura 5.12



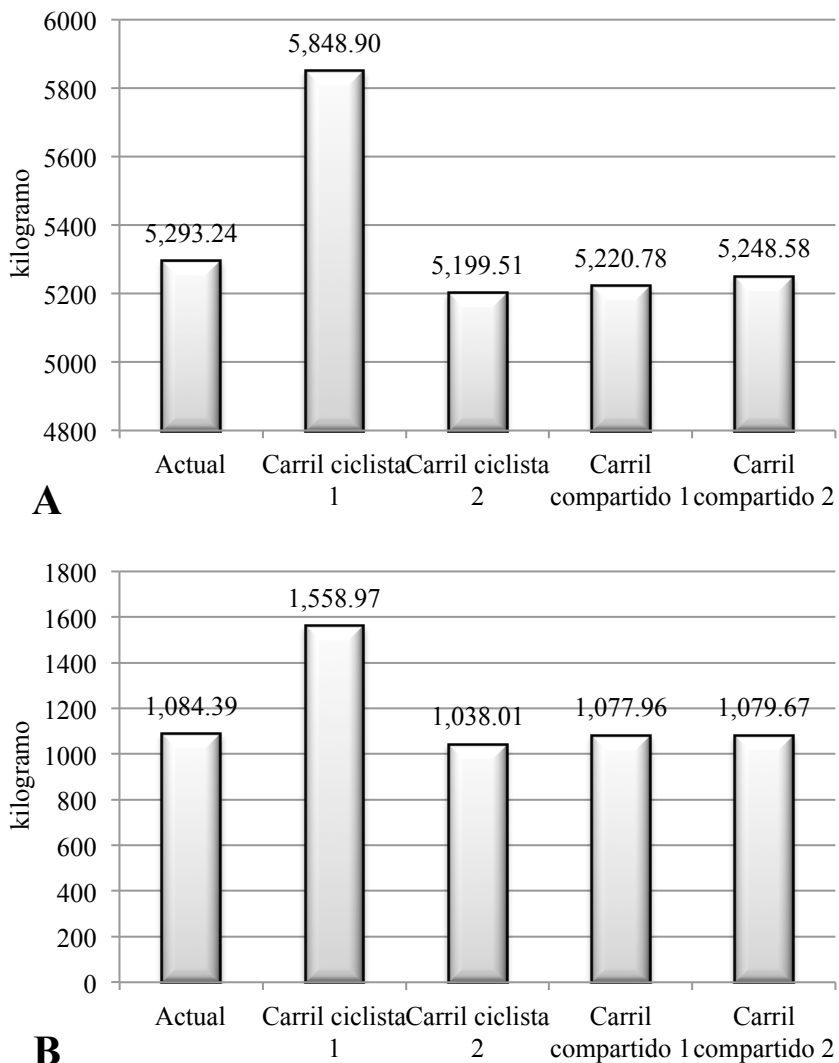
**Figura 5.12** Resumen consumo de combustible.  
**A**, Global; **B**, Mújica E – O

El caso de la avenida J. Mújica nos presenta resultados con la misma tendencia que el nodo en general, pero en donde la simulación del carril ciclista 1 nos arroja un consumo de combustible mayor en 44 %, lo cual es un consumo de combustible mucho mayor al actual que no se debería de tolerar. El carril ciclista 2 tiene un consumo de combustible menor de casi 5 por ciento, siendo el de mejor resultado ya que nuevamente el

consumo de combustible de los carriles compartidos ronda el 1 y 2 por ciento.

### 5.5.5 Emisiones (monóxido de carbono)

El monóxido de carbono está ligado al consumo de combustible, por lo cual es de esperar que se tengan resultados similares a las simulaciones con mejor comportamiento y en las que presentaron resultados más desfavorables. Nuevamente el carril ciclista 1 es el que tiene resultados negativos tanto en el nodo global como en la avenida J. Mújica (figura 5.13), emitiendo 10 y 44 por ciento más CO respectivamente. Así mismo, los resultados de



**Figura 5.13** Resumen emisiones CO.

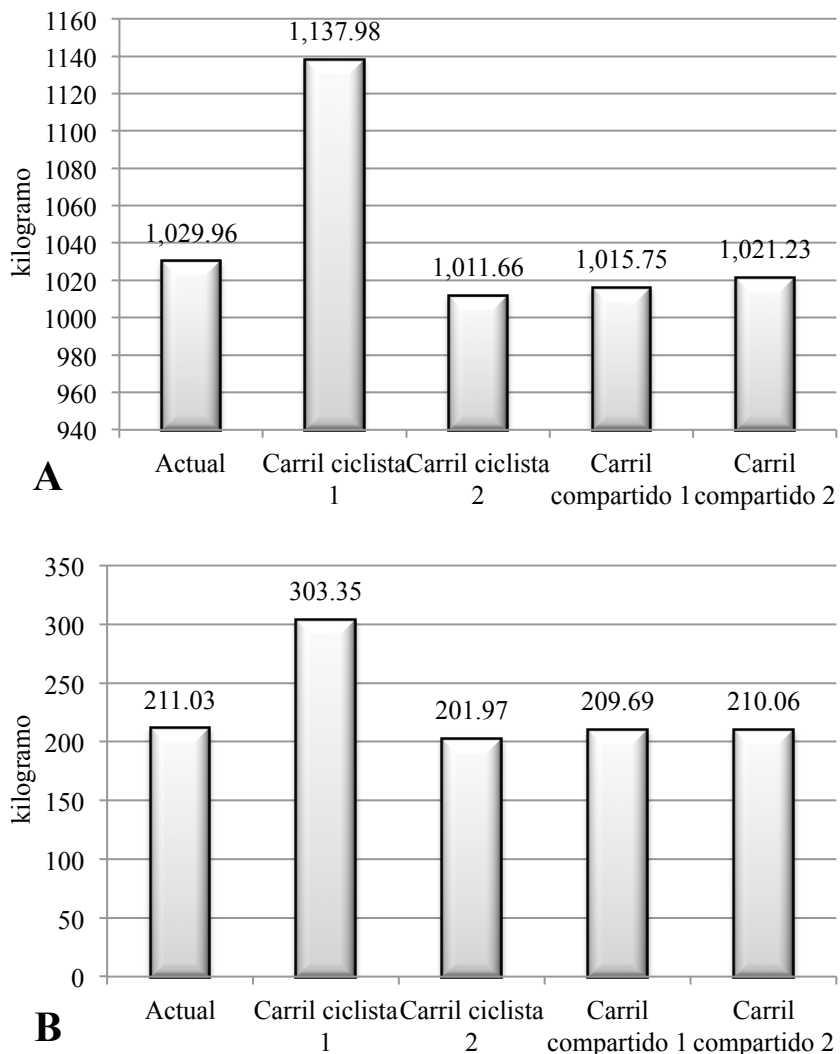
**A**, Global; **B**, Mújica E – O

la simulación del carril ciclista 2 fueron los que arrojaron menor cantidad de CO a la

atmosfera con 2 y poco mas de 4 porciento respectivamente comparando con el análisis actual. Las simulaciones de los carriles compartidos al igual que el consumo de combustible tiene resultados menores al estado actual.

### 5.5.6) Emisiones (oxido de nitrógeno)

El óxido de nitrógeno (NOx) al ser una partícula que es desprendida por la combustión de combustible al igual que el monóxido de carbono (Figura 5.14), presentó tendencias similares a este así como al consumo de combustible. Por lo tanto el carril ciclista 1 es el que tiene los resultados negativos de las 4 simulaciones adicionales



**Figura 5.14** Resumen emisiones NOx.  
**A**, Global; **B**, Mújica E – O

comparadas con el estado actual, siendo de 10 y 44 % para el nodo completo y la avenida J.

Mújica. Por otro lado el carril ciclista 2 presenta menores emisiones de NOx entre 2 y 4 % respectivamente. De la misma manera que en el CO y el combustible, los carriles compartidos tuvieron menores emisiones variando entre 1 y 2 por ciento en las simulaciones.

En el desarrollo de este capítulo se puede apreciar la importancia que tienen las nuevas tecnologías para los estudios de ingeniería de tránsito, tanto en la parte de los aforos, donde se están teniendo grandes avances en la captura de información por medio de videos. Además de la facilidad que nos brindan las simulaciones para realizar el análisis de información. Con el análisis realizado al nodo se tiene que incluir un carril ciclista, sería factible en la avenida Francisco J. Mújica y no afectaría la circulación actual de los vehículos motorizados, siempre y cuando se elimine el semáforo de la calle Izazaga (misma que presenta un aforo de máximo 20 vehículos por hora hacia el cruce); distribuyendo el tiempo entre las demás fases del semáforo. En su defecto señalar el corredor para que los ciclistas compartan el carril de extrema derecha en cada una de las vías o de las laterales y señalar para que las vueltas izquierdas se realicen de forma indirecta.

## CONCLUSIONES

El ciclismo urbano ha venido ganando cada vez más la atención de los habitantes de las ciudades debido a que estos se están volviendo más conscientes del impacto generado por los vehículos, y que los viajes dentro de las ciudades se están volviendo cada vez más lentos. Desafortunadamente, las personas que eligen este tipo de movilidad tienden a encontrarse algunos obstáculos si quieren desplazarse por las calles de las ciudades debido a la falta de espacios o señalamiento apropiado, junto al pobre o nulo respeto vial hacia ellos. Por lo cual, tener infraestructura ciclista ayuda a incrementar la movilidad dentro de la ciudad, aumentando también la seguridad en áreas de cruces y mejorando la imagen urbana. De esta forma, cada vez más ayuntamientos están reconociendo las iniciativas ciclistas como un camino para mejorar la movilidad urbana, por esta razón están implementando este tipo de infraestructura en las ciudades. Aunque en algunos casos, el desarrollo de esta infraestructura se puede llegar a dificultar debido a la falta de información pertinente como lo pueden ser encuestas origen-destino y conteos ciclistas.

Los lineamientos para desarrollar la red de movilidad ciclista que se han propuesto en este trabajo consisten en 4 categorías: 1) carril compartido unidireccional, 2) carril compartido bidireccional, 3) carril en contra flujo, y 4) ciclovía bidireccional. Con esta red se cubre casi toda el área urbana de la ciudad de Morelia con zonas de influencia de 300 metros hacia cada lado de las rutas ciclistas, enfocándonos en la conectividad de las rutas con la misma red, así como en la seguridad de los usuarios en el transcurso de las rutas.

En esta parte del trabajo se desarrolló una red de 205.98 kilómetros, lo que representa el 9.94% de la red vial de la ciudad comprendida de 2,071.48 kilómetros. Es decir, con menos del 10% de vialidades intervenidas se generarían condiciones de

seguridad para los ciclistas, así como para los conductores de vehículos. Adicionalmente a las 4 categorías, la infraestructura se dividió en 35 rutas primarias y 34 secundarias con una longitud total de 130.81 y 75.17 kilómetros respectivamente. Una vez que esta red este completa, la ciudad de Morelia podrá llegar a ser una de las ciudades con mayor número de kilómetros de infraestructura ciclista en Latinoamérica.

La metodología desarrollada para la evaluación de infraestructura ciclista mostro resultados satisfactorios al momento de valorar las rutas, para poder determinar el impacto que tendrían dentro de la ciudad, basado en 14 diferentes parámetros como son: densidad de población y empleo, sitios de interés público, seguridad vial, entre otros. Estos parámetros proviene principalmente de INEGI (11 para ser exactos), en donde nosotros agregamos 3 parámetros adicionales para complementar el estudio. Como fue observado en el desarrollo del trabajo, no es recomendable evaluar una red de movilidad solamente por su densidad de población o por un solo parámetro, ya que esto no proveerá un resultado apegado al impacto que realmente generará la red dentro de la ciudad. Por lo cual, si se puede tener más información que impacte o inflencie la movilidad ciclista, deberá ser incorporada.

Además de la importancia de contar con el mayor número de datos para la evaluación, se comprueba el valor que tiene emplear sistemas de información geográficos en el análisis de información, con los cuales se facilita y disminuye el tiempo de proceso y análisis de grandes cantidades de datos, como fue nuestro caso. Durante el análisis de información se obtuvo que solamente 8% de las rutas primarias se encuentran fuera del radio de acción donde el ciclismo presenta mayores beneficios que los vehículos durante las horas pico, esto si los usuarios utilizaran una sola ruta.

Esta metodología de evaluación presentó resultados favorables para ayudar a la toma de decisiones de las autoridades, para así poder apoyarse y poder destinar recursos a las rutas que tendrán un mayor impacto y de esta forma estos proyectos no resulten en fracaso. Además como se puede observar en los resultados, una ruta larga no garantiza que sea la de mayor impacto dentro de una red (de acuerdo a la metodología seguida), teniendo la ruta ID 1 de 13.5 km en 4° lugar o la ruta ID 39 con cerca de 5 km en la posición 29.

También se comprendió la importancia que tienen los programas computacionales para el análisis de información, se pudo percibir el valor que tienen las simulaciones dentro

de la ingeniería de transporte al simular un nodo dentro de la infraestructura ciclista. De igual manera, el uso de nuevas tecnologías para realizar los aforos (*traffic intelligence*), como pueden ser videos y conteos con algoritmos resultan de bastante utilidad, aunque se encuentran en fase de desarrollo estos pueden ser empleados incluyendo un factor de seguridad calibrado para cada caso en específico.

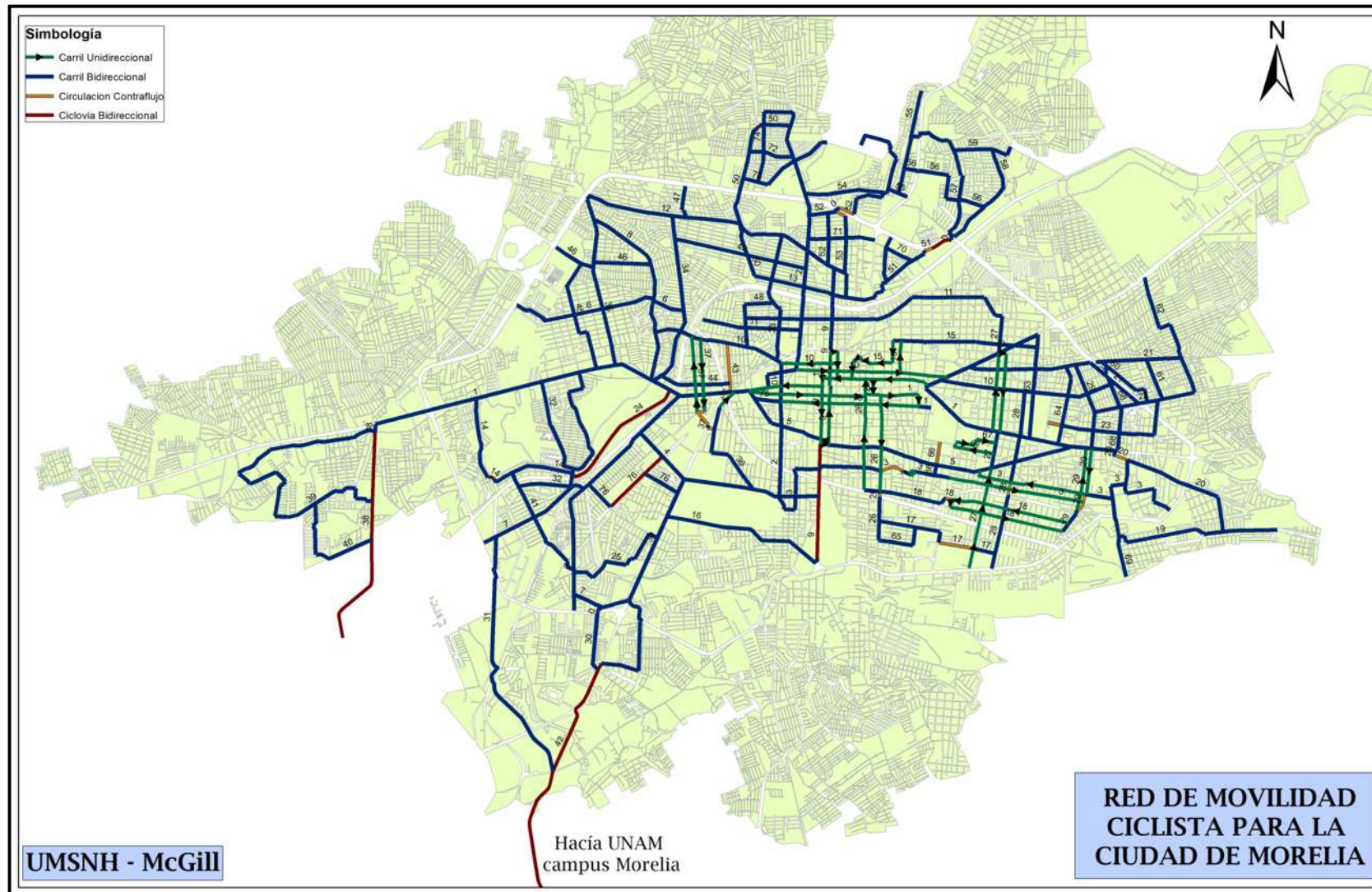
Con la información insertada a VISSIM podemos darnos una idea de cómo se comportará el nodo con las diferentes variaciones que se propusieron, en donde incluir a los ciclistas en el carril de extrema derecha compartiendo el espacio con los vehículos presentó resultados favorables, siendo muy similares a los que se encuentran en la actualidad ya que el tráfico actualmente circula a bajas velocidades por las zonas que se compartirían (y que en la actualidad ya lo llegan a hacer). Aunque presentó mejores resultados la simulación que contempla reducir a dos carriles la avenida Francisco J. Mújica y eliminar una de las fases del semáforo para pasar de cinco a cuatro en el ciclo de 120 segundos (además de proporcionar mayor seguridad a los ciclistas); lo que haría viable destinar un carril con zona de seguridad en dicha avenida, con lo que se proveería de mayor seguridad a los ciclistas.

Como parte de trabajos futuros, la infraestructura que se implemente dentro de la ciudad deberá ser estudiada para evaluar su impacto, a través de metodologías integrales, como la presente propuesta. Evaluando el impacto que tiene el peso y relación de los diferentes parámetros dentro del ranking que se busca.

De lo anterior se llegó a la conclusión que la red propuesta resuelto ser viable para las condiciones de la ciudad, en donde con poco menos del 10% de vialidades intervenidas se proporcionaría seguridad y comodidad a los usuarios de este medio de transporte incitando a un mayor uso, con lo que se reduciría el tráfico, mejoraría en muchos casos el tiempo de traslado, además de mejorar la salud de los habitantes de la ciudad de Morelia. Además de exponer la factibilidad de evaluar las redes ciclistas para con esto definir su impacto y así generar planes de desarrollo de las mismas. Cerrando con la importancia de incluir nuevas tecnologías en el desarrollo de este tipo de trabajos, tanto en conteos viales como la simulación del flujo de usuarios en la vía pública.

# *ANEXO 1*

Mapa complemento del trabajo realizado en el capítulo 2, en el cuál se indica el número de referencia (ID) que tuvieron cada una de las rutas durante la propuesta de las mismas. Este número no indica prioridad, solamente sirvió para facilitar el análisis realizado en los capítulos subsiguientes.



**Figura A1.1** Rutas ciclistas propuestas con clave ID. Mapa de la ciudad

Fuente: Elaboración personal con información del INEGI, UMSNH y Ayuntamiento de la ciudad de Morelia

## *ANEXO 2*

Tabla complemento a la número 2.1 en donde se tienen las vías que se considerará brindan seguridad al ciclista, así como las que presetan rutas directas para los diferentes puntos de interes en la ciudad. Esta tabla contiene todas rutas ciclistas y su longitud, así como las vias que tendrían alguna intervencion y la longitud que tendria está.

**Tabla A2.1** Vialidades de la red de movilidad ciclistas

ID	Vialidad	Longitud Vialidad (km)	Longitud Ruta (km)	Vía Ciclista
1	Antonio Álzate	0.167	13.57	Carril Bidireccional
1	Av. Acueducto	2.862		Carril Bidireccional
1	Av. Francisco I. Madero Poniente	5.341		Carril Bidireccional
1	Aquiles Serdán	1.007		Carril Unidireccional
1	El Nigromante	0.215		Carril Unidireccional
1	Allende	1.417		Carril Unidireccional
1	Av. Francisco I. Madero Poniente	1.008		Carril Unidireccional
1	Melchor Ocampo	0.405		Carril Unidireccional
1	Sor Juana Inés de la Cruz	0.170		Carril Unidireccional
1	Bartolomé de las Casas	0.732		Carril Unidireccional
1	Valladolid	0.186		Carril Unidireccional
1	Rinconada de Villalongín	0.059		Carril Unidireccional
2	Santiago Tapia	0.403	6.09	Carril Bidireccional
2	Cuautla	2.061		Carril Bidireccional
2	Av. Guadalupe Victoria	2.340		Carril Bidireccional
2	Av. Torreón Nuevo	1.284		Carril Bidireccional
3	Artilleros de 1847	0.384	8.36	Carril Bidireccional
3	Lago de Chapala	0.942		Carril Bidireccional
3	Laguna de la Magdalena	0.491		Carril Bidireccional
3	Av. Panamá	0.252		Carril Bidireccional
3	Av. Venezuela	0.465		Carril Bidireccional
3	Tlalpujahua	0.154		Carril Bidireccional
3	José Romero Flores	0.485		Carril Bidireccional
3	Jaconá	0.081		Carril Bidireccional
3	Uruapan	0.364		Carril Bidireccional
3	Canadá	0.209		Carril Bidireccional
3	Av. Brasil	0.390		Carril Bidireccional
3	Av. Paraguay	0.182		Carril Bidireccional
3	Lago de Chapala	0.046		Carril Unidireccional
3	Isidro Huarte	0.052		Carril Unidireccional
3	Laguna de la Magdalena	0.049		Carril Unidireccional
3	Sánchez de Tagle	0.052		Carril Unidireccional
3	Batalla de Casa Mata	1.873		Carril Unidireccional
3	Artilleros de 1847	1.552	Carril Unidireccional	
3	Lago de Chapala	0.337	Circulación Contraflujo	
4	Francisco J. Mújica	1.883	2.76	Carril Bidireccional
4	Gaspar de Villadiego	0.872		Carril Bidireccional

**Tabla A2.1** Vialidades de la red de movilidad ciclistas (Continuación)

ID	Vialidad	Longitud Vialidad (km)	Longitud Ruta (km)	Vía Ciclista
5	Manuel Muñiz	0.721	4.69	Carril Bidireccional
5	Av. Lázaro Cárdenas	3.137		Carril Bidireccional
5	Mariano Michelena	0.542		Carril Bidireccional
5	Benedicto López	0.292		Carril Bidireccional
6	Ing. Juan Guillermo Villasana	2.008	2.45	Carril Bidireccional
6	Francisco Vaca	0.443		Carril Bidireccional
7	Av. Periodismo	3.607	5.66	Carril Bidireccional
7	Av. Sirevo de la Nación	1.624		Carril Bidireccional
7	Periodista Bustamante	0.427		Carril Bidireccional
8	Av. Pedregal	2.935	2.93	Carril Bidireccional
9	Guillermo Prieto	1.118	5.50	Carril Bidireccional
9	Benedicto López	0.106		Carril Unidireccional
9	Mariano Abasolo	0.765		Carril Unidireccional
9	Hermenegildo Galeana	0.723		Carril Unidireccional
9	Ignacio Zaragoza	0.377		Carril Unidireccional
9	Calz. Benito Juárez	0.070		Carril Unidireccional
9	Mariano Abasolo	0.054		Carril Unidireccional
9	Manuel Muñiz	0.109		Carril Unidireccional
9	García Pueblita	0.098		Carril Unidireccional
9	Guillermo Prieto	0.463		Carril Unidireccional
9	Calz. Benito Juárez	1.576		Ciclovía Bidireccional
9	Guillermo Prieto	0.038		Circulación Contraflujo
10	Michoacán	1.789		8.99
10	Virrey Antonio de Bucareli	2.437	Carril Bidireccional	
10	Av. Francisco I. Madero Oriente	1.722	Carril Bidireccional	
10	Francisco Zarco	0.180	Carril Bidireccional	
10	20 de Noviembre	1.311	Carril Unidireccional	
10	Eduardo Ruiz	0.778	Carril Unidireccional	
10	Santiago Tapia	0.770	Carril Unidireccional	
11	Santa María de los Urdiales	1.359	4.74	Carril Bidireccional
11	Santos Degollado	1.671		Carril Bidireccional
11	Manuel Buendía	0.718		Carril Bidireccional
11	Primo Tapia	0.650		Carril Bidireccional
11	Congreso de Anáhuac	0.341		Carril Bidireccional
12	Av. Quinceo	3.858	4.19	Carril Bidireccional
12	Benito Juárez	0.328		Carril Bidireccional

**Tabla A2.1** Vialidades de la red de movilidad ciclistas (Continuación)

ID	Vialidad	Longitud Vialidad (km)	Longitud Ruta (km)	Vía Ciclista
13	Maestro Juan Delgado	1.011	2.69	Carril Bidireccional
13	Lic. Mariano de Jesús Torres	0.632		Carril Bidireccional
13	Paseo del Roble	0.696		Carril Bidireccional
13	Lic. Salvador Pineda	0.120		Carril Bidireccional
13	Av. Morelos Norte	0.051		Carril Bidireccional
13	Lic. Gregorio Torres Fraga	0.102		Carril Bidireccional
13	Lic. Alberto Bremauntz Martínez	0.082		Carril Bidireccional
14	Paseo de la Reforma	1.120	2.40	Carril Bidireccional
14	Manantial del Obispo	0.556		Carril Bidireccional
14	Circuito Mintzita	0.568		Carril Bidireccional
14	Manantial del Parian	0.034		Carril Bidireccional
14	Paseo del Pedregal	0.058		Carril Bidireccional
14	Arroyo Manantiales	0.066		Ciclovia Bidireccional
15	Socialismo	0.728	3.67	Carril Bidireccional
15	5 de Febrero	0.438		Carril Bidireccional
15	Sombreros de Jarácuaro	0.312		Carril Bidireccional
15	Nuevo León	0.536		Carril Bidireccional
15	Amando Nervo	0.441		Carril Unidireccional
15	Plan de Ayala	0.332		Carril Unidireccional
15	Del Trabajo	0.121		Carril Unidireccional
15	Av. José María Morelos Norte	0.246		Carril Unidireccional
15	Dr. Miguel Silva González	0.307		Carril Unidireccional
15	Héroes de Nacozari	0.041		Carril Unidireccional
15	Agrarismo	0.109		Carril Unidireccional
15	José María Pino Suarez	0.054		Carril Unidireccional
16	Av. Universidad	2.274	2.27	Carril Bidireccional
17	Manuel Pérez Coronado	0.304	1.80	Carril Bidireccional
17	Iretitcateme	0.851		Carril Bidireccional
17	Calzada Ventura Puente	0.153		Carril Bidireccional
17	Alejandro Volta	0.487		Circulación Contraflujo
18	Lago de Camecuaro	1.072	4.60	Carril Bidireccional
18	Colegio San Miguel	0.099		Carril Bidireccional
18	Santos Degollado	1.490		Carril Unidireccional
18	Gobernador Aristeo Mercado	1.586		Carril Unidireccional
18	General Epitacio Huerta	0.166		Carril Unidireccional
18	Gobernador Gildardo Magaña	0.109		Carril Unidireccional
18	General Epitacio Huerta	0.074		Circulación Contraflujo

**Tabla A2.1** Vialidades de la red de movilidad ciclistas (Continuación)

ID	Vialidad	Longitud Vialidad (km)	Longitud Ruta (km)	Vía Ciclista
19	Av. Fray Antonio de San Miguel Iglesias	1.016	2.28	Carril Bidireccional
19	Acamapichtli	0.531		Carril Bidireccional
19	Fray Jacobo Daciano	0.073		Carril Bidireccional
19	Fray Marcos Ramírez de Prada	0.095		Carril Bidireccional
19	Catedráticos de Salamanca	0.445		Carril Bidireccional
19	Revilla de Camargo	0.123		Carril Bidireccional
20	Fresno	0.484	2.09	Carril Bidireccional
20	Miguel Arreola Hidalgo	0.427		Carril Bidireccional
20	Av. Enrique Ramírez Miguel	0.071		Carril Bidireccional
20	Ocolusen	0.918		Carril Bidireccional
20	Miguel Arreola Hidalgo	0.184		Circulación Contraflujo
21	Curtidores de Teremendo	1.669	3.91	Carril Bidireccional
21	Periférico Paseo de la Republica	0.871		Carril Bidireccional
21	Cerrada Fray Bernardino de Sahagún	0.056		Carril Bidireccional
21	Periférico Paseo de la Republica	0.041		Carril Bidireccional
21	Juan de Baeza	1.174		Carril Bidireccional
21	Fray Bernardino de Sahagún	0.102		Carril Bidireccional
22	Av. Periban	0.607	1.40	Carril Bidireccional
22	Periférico Nueva España	0.077		Carril Bidireccional
22	Av. Nueva Tepeyac	0.717		Carril Bidireccional
23	Av. del Maestro	1.075	1.97	Carril Bidireccional
23	Periférico Nueva España	0.065		Carril Bidireccional
23	Bolivia	0.183		Carril Bidireccional
23	Sierra de Veracruz	0.206		Carril Bidireccional
23	Jacinto Canek	0.238		Carril Bidireccional
23	Calle A	0.203		Circulación Contraflujo
24	Av. Héroes Anónimos de la Independencia de México	1.856	1.86	Ciclovia Bidireccional
25	Eclipses	0.401	1.58	Carril Bidireccional
25	Insurgentes Oaxaqueños	0.287		Carril Bidireccional
25	Periodista Jacobo Villanueva	0.165		Carril Bidireccional
25	Universo	0.120		Carril Bidireccional
25	Estrella	0.307		Carril Bidireccional
25	Meteoros	0.107		Carril Bidireccional
25	Cometas	0.062		Carril Bidireccional
25	Planetas	0.130		Carril Bidireccional

**Tabla A2.1** Vialidades de la red de movilidad ciclistas (Continuación)

ID	Vialidad	Longitud Vialidad (km)	Longitud Ruta (km)	Vía Ciclista
26	Vicente Santa María	0.601	3.73	Carril Bidireccional
26	Belisario Domínguez	0.111		Carril Unidireccional
26	Vasco de Quiroga	1.415		Carril Unidireccional
26	Vicente Santa María	1.319		Carril Unidireccional
26	Álvaro Obregón	0.109		Carril Unidireccional
26	Fray Juan de San Miguel	0.098		Carril Unidireccional
26	Vicente Santa María	0.074		Circulación Contraflujo
27	Colima	0.512	5.07	Carril Bidireccional
27	Juan Escutia	0.503		Carril Bidireccional
27	Priv. Colima	0.097		Carril Bidireccional
27	José Sixto Verduzco	0.291		Carril Bidireccional
27	Tejedores de Aranza	1.071		Carril Unidireccional
27	Obreros de Nurio	1.085		Carril Unidireccional
27	Tuleros de Purenchécuaro	0.102		Carril Unidireccional
27	Rubén C. Navarro	0.611		Carril Unidireccional
27	Gobernador José Rentería Luviano	0.468		Carril Unidireccional
27	Juan Escutia	0.334		Carril Unidireccional
28	Músicos de Tirindaro	0.622	2.49	Carril Bidireccional
28	Batalla de la Angostura	0.654		Carril Bidireccional
28	Blvd Jesús Sansón Flores	0.532		Carril Bidireccional
28	Blvd Arriaga Rivera	0.509		Carril Bidireccional
28	Batalla de la Angostura	0.174		Circulación Contraflujo
29	Mil cumbres	0.704	3.32	Carril Bidireccional
29	30 de Julio de 1811	0.501		Carril Bidireccional
29	Silvestre Guerrero	0.311		Carril Bidireccional
29	Blvd García de León	0.041		Carril Bidireccional
29	Corl. Amado Camacho	0.854		Carril Unidireccional
29	Gral. Manuel Albontín	0.636		Carril Unidireccional
29	Priv. José Ma. Iglesias	0.182		Circulación Contraflujo
29	José Ma. Iglesias	0.090		Circulación Contraflujo
30	Calz. La Huerta	1.833	4.70	Carril Bidireccional
30	José María López Rayón	0.801		Carril Bidireccional
30	Oaxanoti	0.429		Carril Bidireccional
30	Incorporación Calz. La Huerta	0.387		Carril Bidireccional
30	Av. Encuentro de Maravatio	0.470		Carril Bidireccional
30	Uacusecha	0.526		Carril Bidireccional
30	Mandarina	0.250		Carril Bidireccional

**Tabla A2.1** Vialidades de la red de movilidad ciclistas (Continuación)

ID	Vialidad	Longitud Vialidad (km)	Longitud Ruta (km)	Vía Ciclista
31	Av. Agricultura	2.442	3.61	Carril Bidireccional
31	Calzada Lago de Zirahuen	0.650		Carril Bidireccional
31	Regimiento Infantería Provisional	0.514		Carril Bidireccional
32	Junta de Jaujilla	0.738	4.06	Carril Bidireccional
32	Circuito Adolfo López Mateos	2.637		Carril Bidireccional
32	Isidro Fabela	0.252		Carril Bidireccional
32	Juan Nepomuseno Marroquín	0.208		Carril Bidireccional
32	Av. José María Lino Patiño	0.229		Carril Bidireccional
33	Paseo de las Jacarandas	0.782	1.81	Carril Bidireccional
33	Antimonio	0.704		Carril Bidireccional
33	Azucena	0.320		Carril Bidireccional
34	Av. Poliducto	0.813	2.44	Carril Bidireccional
34	Puente de Coatzacoalcos	0.827		Carril Bidireccional
34	23 de Mayo	0.798		Carril Bidireccional
35	Cap. Carlos Rovirosa	2.047	2.05	Carril Bidireccional
36	Calz. Arnulfo Ávila	0.643	1.75	Carril Bidireccional
36	Constituyentes	0.587		Carril Bidireccional
36	Av. de la Paz	0.239		Carril Bidireccional
36	Av. Héroes de Nocupetaro	0.286		Carril Unidireccional
37	Calz. La Huerta	0.051	2.53	Carril Bidireccional
37	María Rodríguez del Toro de Lazarin	0.761		Carril Unidireccional
37	Pedro de Fuentes	0.236		Carril Unidireccional
37	Jesús Solorzano Dávalos	0.236		Carril Unidireccional
37	Manuela Medina	0.808		Carril Unidireccional
37	Jesús Solorzano Dávalos	0.342		Circulación Contraflujo
37	Justicia	0.101		Circulación Contraflujo
38	Avenida San Juanito Itzicuario	0.102	3.15	Carril Bidireccional
38	Avenida San Juanito Itzicuario	3.044		Ciclovia Bidireccional
39	Anastasio Nájera	1.055	4.97	Carril Bidireccional
39	Sitio de Cuautla	1.061		Carril Bidireccional
39	Puerto de Manzanillo	0.427		Carril Bidireccional
39	Jose María Ponce de León	0.553		Carril Bidireccional
39	Lorenzo González	0.208		Carril Bidireccional
39	Mariano Tercero	0.399		Carril Bidireccional
39	Antonio Hurtado de Mendoza	0.186		Carril Bidireccional
39	Bernardo Gutierrez de Lara	0.518		Carril Bidireccional
39	Francisco Parra	0.177		Carril Bidireccional
39	Juan Bautista	0.141		Carril Bidireccional
39	José Francisco Gómez	0.248		Carril Bidireccional

**Tabla A2.1** Vialidades de la red de movilidad ciclistas (Continuación)

ID	Vialidad	Longitud Vialidad (km)	Longitud Ruta (km)	Vía Ciclista
40	Presidente Benito Juárez	0.838	1.57	Carril Bidireccional
40	Retorno Hacienda de los Naranjos	0.405		Carril Bidireccional
40	Benemérito Insurgente	0.329		Carril Bidireccional
41	Loma del Rey	1.074	1.64	Carril Bidireccional
41	Av. Manuel Ávila Camacho	0.392		Carril Bidireccional
41	Terracería	0.170		Carril Bidireccional
42	Antigua carretera a Pátzcuaro	9.708	10.45	Ciclovía Bidireccional
42	Carretera Morelia - Pátzcuaro	0.743		Ciclovía Bidireccional
43	Magnolia	0.673	0.67	Circulación Contraflujo
44	Rita Pérez de Moreno	0.620	0.98	Carril Bidireccional
44	Rosa	0.089		Carril Bidireccional
44	Puente Internacional	0.267		Carril Bidireccional
45	Gral. Eduardo Aldaroso Suarez (Octava)	0.520	1.69	Carril Bidireccional
45	Cap. Emilio Carranza (Novena)	0.672		Carril Bidireccional
45	Anáhuac	0.111		Carril Bidireccional
45	Juan Antonio A. Gutiérrez	0.389		Carril Bidireccional
46	Manuel Fernando Soto	0.784	1.37	Carril Bidireccional
46	José del Río	0.589		Carril Bidireccional
47	Carapuato	0.332	0.46	Carril Bidireccional
47	Matangaran	0.024		Carril Bidireccional
47	Oropeo	0.105		Carril Bidireccional
48	Azalea	0.404	0.99	Carril Bidireccional
48	Dalia	0.588		Carril Bidireccional
49	Manuel Ocaranza	1.021	1.84	Carril Bidireccional
49	Blvd Las Primavera	0.821		Carril Bidireccional
50	Av. Huaniqueo	1.026	2.60	Carril Bidireccional
50	Joaquín García Granados	0.429		Carril Bidireccional
50	Paseo del Fresno	0.736		Carril Bidireccional
50	Agustín Jáuregui	0.365		Carril Bidireccional
50	Agustín Jáuregui	0.042		Ciclovía Bidireccional
51	Lic. Alberto Bremauntz Martínez	0.647	1.11	Carril Bidireccional
51	Lic. Manuel Cazares Ramírez	0.048		Carril Bidireccional
51	Periférico Revolución	0.295		Ciclovía Bidireccional
51	Periférico Revolución	0.118		Circulación Contraflujo

**Tabla A2.1** Vialidades de la red de movilidad ciclistas (Continuación)

ID	Vialidad	Longitud Vialidad (km)	Longitud Ruta (km)	Vía Ciclista
52	Cerro de Villachuato	0.719	1.97	Carril Bidireccional
52	Mil Cumbres	0.382		Carril Bidireccional
52	Plan Sexenal	0.360		Carril Bidireccional
52	Constituyente de Querétaro	0.226		Carril Bidireccional
52	1er Congreso Constituyente de 1824	0.069		Carril Bidireccional
52	Periférico Paseo de la Republica	0.216		Circulación Contraflujo
53	Pico de Tzirate	0.784	0.95	Carril Bidireccional
53	Sierra Leona	0.032		Carril Bidireccional
53	Sierra Leona	0.137		Circulación Contraflujo
54	Ejidal Unidad Deportiva	0.601	2.39	Carril Bidireccional
54	Ing. Antonio del Castillo	0.506		Carril Bidireccional
54	Corl. Florentino Mercado	0.147		Carril Bidireccional
54	Barrió Alto	1.139		Carril Bidireccional
55	Pablo José Peguero	0.286	1.73	Carril Bidireccional
55	Isaac Calderón	0.751		Carril Bidireccional
55	Av. Oscar Chávez	0.693		Carril Bidireccional
56	Trabajadores de Telecomunicaciones	0.354	1.46	Carril Bidireccional
56	Trabajadores de la Educación	0.190		Carril Bidireccional
56	Manuel de Iriarte	0.180		Carril Bidireccional
56	Trabajadores de Agricultura	0.417		Carril Bidireccional
56	Trabajadores de Obras Públicas	0.134		Carril Bidireccional
56	Yaquis	0.185		Carril Bidireccional
57	Raza Tarasca	0.468	2.11	Carril Bidireccional
57	Chava Flores	0.155		Carril Bidireccional
57	Av. Morelos Norte	0.076		Carril Bidireccional
57	Apóstol de La Raza Maya	0.400		Carril Bidireccional
57	Mártir de Mérida	0.510		Carril Bidireccional
57	Prof. Hilario de Jesús Fajardo	0.025		Carril Bidireccional
57	Otomíes	0.377		Carril Bidireccional
57	Raza Maya	0.100		Carril Bidireccional
58	Circuito Educadores Mexicanos	0.929		1.53
58	Raza Mexica	0.599	Carril Bidireccional	
59	Benemérito de Yucatán	0.548	0.88	Carril Bidireccional
59	Hamburgo	0.201		Carril Bidireccional
59	Av. México	0.127		Carril Bidireccional
60	Fray Bernardino de Sahagún	0.517	0.82	Carril Bidireccional
60	Hospital de Huetamo	0.119		Carril Bidireccional
60	Hospital de Etucuaró	0.186		Carril Bidireccional

**Tabla A2.1** Vialidades de la red de movilidad ciclistas (Continuación)

ID	Vialidad	Longitud Vialidad (km)	Longitud Ruta (km)	Vía Ciclista
61	Benito Muñoz	0.592	0.59	Carril Bidireccional
62	Marcos Moriano y Zafrilla	0.734	1.90	Carril Bidireccional
62	Garambullo	0.508		Carril Bidireccional
62	Alonso Díaz	0.493		Carril Bidireccional
62	Fray Sebastián de Aparicio	0.160		Carril Bidireccional
63	Olivares de Tzintzuntzan	1.431	1.43	Carril Bidireccional
64	Tzintzuntzan	0.921	1.10	Carril Bidireccional
64	Av. Quinceo	0.178		Carril Bidireccional
65	Rey Tanganxoan	0.479	0.73	Carril Bidireccional
65	Pirindas	0.253		Carril Bidireccional
66	Dr. Salvador González Herrejón	0.144	0.47	Carril Bidireccional
66	Dr. Salvador González Herrejón	0.321		Circulación Contraflujo
67	Lic. Adolfo Cano	0.270	1.23	Carril Unidireccional
67	Gral. Mariano Monterde	0.596		Carril Unidireccional
67	Fernando Montes de Oca	0.273		Carril Unidireccional
67	Francisco Márquez	0.089		Carril Unidireccional
68	Acatita de Bajan	0.595	1.04	Carril Bidireccional
68	Comachuen	0.441		Carril Bidireccional
69	Av. Club Campestre	0.865	1.27	Carril Bidireccional
69	Av. Enrique Ramírez	0.405		Carril Bidireccional
70	Gral. Francisco Villa	0.404	0.40	Carril Bidireccional
71	Sierra de Pichataro	0.923	0.92	Carril Bidireccional
72	Av. Melchor Ocampo Manzo	0.610	0.61	Carril Bidireccional
73	Real de Minas	0.453	1.39	Carril Bidireccional
73	Lanceros de la Libertad	0.360		Carril Bidireccional
73	Gral. José Ma. Arteaga	0.492		Carril Bidireccional
73	Real del Oro	0.082		Carril Bidireccional
74	Manuel Romero de Terrero	0.686	1.37	Carril Bidireccional
74	Corl. Rafael Garnica	0.292		Carril Bidireccional
74	Rafael González Páez	0.394		Carril Bidireccional
75	La Corregidora	0.362	2.27	Carril Bidireccional
75	La Corregidora	0.967		Carril Unidireccional
75	Antonio Álzate	0.937		Carril Unidireccional
76	Manuel Villalóngin	0.525	1.95	Carril Bidireccional
76	José Manuel de Herrera	0.433		Carril Bidireccional
76	Juana Barragán	0.987		Ciclovía Bidireccional

## *ANEXO 3*

Tablas que contienen la información utilizada durante el desarrollo del capítulo 4. Con esta información se obtuvo la tabla 4.10, la cuál es el resumen de todo el trabajo realizado en el análisis contenido en las tablas impresas en este anexo. Estas tablas contienen el análisis de densidades (población, vivienda, empleo, y negocios), el análisis de los sitios de interés público, de intersecciones y la tabla resultado de esto.

**Tabla A3.1** Densidad de empleo y negocios.

ID	Longitud (km)	Ranking negocios	Negocios	Densidad de negocios (km <sup>2</sup> )	Empleados	Densidad de empleados (km <sup>2</sup> )	Ranking empleados	Área de influencia (km <sup>2</sup> )
22	1.401	1	178	260.16	832	1216.04	2	0.6842
8	2.935	2	333	253.90	1462	1114.73	5	1.3115
34	2.439	3	254	230.47	1019	924.61	7	1.1021
6	2.451	4	241	211.36	827	725.30	11	1.1402
12	4.186	5	360	200.53	1327	739.19	10	1.7952
29	3.319	6	227	193.76	941	803.21	8	1.1715
11	4.739	7	334	179.62	1242	667.94	13	1.8594
10	8.987	8	597	167.54	2835	795.59	9	3.5634
32	4.065	9	244	163.51	784	525.38	24	1.4923
27	5.074	10	279	152.88	1834	1004.92	6	1.8250
26	3.727	11	209	146.32	797	557.97	20	1.4284
7	5.657	12	300	142.16	1245	589.97	16	2.1103
2	6.088	13	371	141.85	1433	547.90	22	2.6154
13	2.694	14	165	141.24	1416	1212.14	3	1.1682
24	1.856	15	127	141.07	535	594.27	15	0.9003
3	8.363	16	417	140.85	1813	612.38	14	2.9606
14	2.401	17	153	139.57	496	452.47	29	1.0962
5	4.693	18	300	135.62	1199	542.04	23	2.2120
41	1.636	19	112	133.96	466	557.38	21	0.8361
9	5.498	20	259	128.75	983	488.64	25	2.0117
28	2.490	21	149	124.68	1448	1211.66	4	1.1951
1	13.568	22	580	115.47	2898	576.94	17	5.0231
58	1.528	23	87	113.47	358	466.91	26	0.7668
38	3.146	24	81	111.10	417	571.95	19	0.7291
25	1.578	25	85	110.41	443	575.43	18	0.7699
19	2.284	26	109	107.93	469	464.38	27	1.0099
36	1.755	27	100	106.73	411	438.66	30	0.9370
51	1.108	28	60	104.19	903	1568.02	1	0.5759
40	1.571	29	44	93.40	338	717.52	12	0.4711
39	4.972	30	174	88.40	851	432.37	31	1.9682
69	1.270	31	57	84.48	186	275.68	34	0.6747
4	2.756	32	115	82.56	427	306.55	33	1.3929
30	4.695	33	148	80.34	854	463.57	28	1.8422
16	2.274	34	80	66.67	406	338.36	32	1.1999
31	3.606	35	50	31.48	310	195.17	35	1.5884

Tabla A3.2 Densidad de población y vivienda.

ID	Longitud (km)	Ranking Población	Población	Densidad población	Relación Población Viviendas	Viviendas	Densidad Viviendas	Ranking vivienda	Área de Influencia (km2)	Población km	Clasificación Población Km
8	2.9350	1	26,484.36	20,193.58	3.64	7,284.25	5,554.03	3	1.3115	9,023.69	1
6	2.4514	2	22,094.87	19,377.88	3.36	6,576.63	5,767.91	2	1.1402	9,013.05	4
22	1.4015	3	13,178.43	19,261.42	3.07	4,287.44	6,266.46	1	0.6842	9,403.17	12
11	4.7389	4	31,893.72	17,152.34	3.16	10,090.37	5,426.57	4	1.8594	6,730.16	9
34	2.4391	5	18,113.02	16,435.27	3.49	5,195.92	4,714.64	5	1.1021	7,426.02	2
12	4.1857	6	27,399.73	15,262.72	3.33	8,220.12	4,578.93	6	1.7952	6,546.01	5
13	2.6943	7	15,486.17	13,256.62	3.17	4,889.52	4,185.57	11	1.1682	5,747.76	8
32	4.0647	8	19,480.57	13,054.46	3.20	6,091.43	4,082.03	12	1.4923	4,792.58	6
10	8.9869	9	46,325.08	13,000.20	2.93	15,825.31	4,441.06	7	3.5634	5,154.75	16
2	6.0880	10	32,518.46	12,433.32	2.80	11,600.34	4,435.35	8	2.6154	5,341.43	23
27	5.0745	11	22,324.16	12,232.28	2.92	7,655.41	4,194.70	10	1.8250	4,399.29	17
29	3.3194	12	14,013.06	11,961.20	2.72	5,159.81	4,404.29	9	1.1715	4,221.54	26
41	1.6360	13	9,937.98	11,886.70	3.01	3,301.65	3,949.06	15	0.8361	6,074.55	13
14	2.4006	14	12,311.08	11,230.55	3.11	3,958.79	3,611.33	18	1.0962	5,128.36	10
26	3.7270	15	15,617.69	10,933.73	2.70	5,793.58	4,056.00	13	1.4284	4,190.39	27
40	1.5715	16	4,911.24	10,425.70	2.61	1,879.86	3,990.63	14	0.4711	3,125.20	31
9	5.4976	17	19,995.62	9,939.67	2.85	7,024.59	3,491.87	19	2.0117	3,637.17	19
3	8.3629	18	29,194.54	9,861.08	2.68	10,877.05	3,673.96	17	2.9606	3,490.95	28
5	4.6929	19	21,611.45	9,770.02	2.56	8,445.95	3,818.21	16	2.2120	4,605.17	34
36	1.7546	20	8,820.06	9,413.57	2.84	3,101.66	3,310.37	20	0.9370	5,026.92	21
58	1.5279	21	7066.93	9,216.72	3.38	2,088.28	2,723.54	27	0.7668	4,625.12	3
7	5.6575	22	18,812.15	8,914.54	2.88	6,521.43	3,090.32	24	2.1103	3,325.18	18
28	2.4901	23	10,614.71	8,882.21	2.75	3,856.37	3,226.94	23	1.1951	4,262.74	24
19	2.2837	24	8,799.03	8,712.36	2.67	3,301.21	3,268.69	22	1.0099	3,852.90	29
25	1.5785	25	6,621.59	8,601.06	2.61	2,535.58	3,293.57	21	0.7699	4,194.93	32
51	1.1081	26	4708.05	8,175.34	2.95	1,596.04	2,771.46	26	0.5759	4,248.66	14
4	2.7559	27	10,463.67	7,512.11	2.80	3,731.74	2,679.10	28	1.3929	3,796.82	22
30	4.6955	28	13,676.22	7,423.69	2.56	5,334.85	2,895.85	25	1.8422	2,912.63	33
1	13.5683	29	32,554.22	6,480.95	2.63	12,373.84	2,463.41	29	5.0231	2,399.29	30
39	4.9722	30	12,635.66	6,419.78	2.85	4,441.27	2,256.47	31	1.9682	2,541.25	20
38	3.1456	31	4,560.16	6,254.63	3.18	1,432.29	1,964.50	32	0.7291	1,449.67	7
16	2.2738	32	7,378.61	6,149.39	2.72	2,713.81	2,261.71	30	1.1999	3,245.10	25
24	1.8564	33	5,158.67	5,730.15	3.11	1,661.36	1,845.41	33	0.9003	2,778.91	11
69	1.2704	34	3053.02	4,525.06	2.93	1,040.55	1,542.26	34	0.6747	2,403.24	15
31	3.6060	35	2,214.88	1,394.44	2.52	878.39	553.02	35	1.5884	614.22	35

**Tabla A3.3** Análisis de los sitios de interés público

ID	Long (km)	Área (km2)	ESCUELA	U DEP	MERC	PLAZA	C COM	CLINICA	POZO	T AGUA	CEM	P GOB	TEMPLO	I COMUN	S ELEC	OTROS	TOTAL	CLAS ESCUELA	CLAS U DEPOR	CLAS MERC	CLAS PLAZA	CLAS TOTAL	Densidad
1	13.568	5.0231	125	10	10	41	0	29	2	8	0	5	31	0	0	75	261	1	1	1	1	1	19.24
2	6.088	2.6154	125	10	10	41	0	29	2	8	0	5	31	0	0	75	261	1	1	1	1	2	42.87
10	8.987	3.5634	78	3	4	32	17	0	0	1	0	4	29	0	0	51	168	2	11	3	2	3	18.69
5	4.693	2.2120	59	2	2	10	1	13	0	2	0	0	12	0	0	28	101	3	16	7	11	4	21.52
9	5.498	2.0117	48	2	2	16	0	8	0	1	0	3	13	0	0	25	93	5	17	8	6	5	16.92
3	8.363	2.9606	49	7	6	4	3	12	1	1	0	0	9	0	0	26	92	4	4	2	22	6	11.00
26	3.727	1.4284	36	1	4	10	1	6	0	0	0	3	10	0	0	20	71	6	26	4	12	7	19.05
27	5.074	1.8250	32	0	1	6	0	19	2	3	0	0	6	0	0	30	69	7	29	13	17	8	13.60
7	5.657	2.1103	24	7	2	18	1	2	0	5	0	0	5	0	0	13	64	9	5	9	5	9	11.31
8	2.935	1.3115	13	4	3	26	0	1	0	7	0	0	4	0	0	12	58	14	6	6	3	10	19.76
32	4.065	1.4923	9	8	2	21	0	3	0	7	0	0	7	0	0	17	57	23	3	10	4	11	14.02
28	2.490	1.1951	23	2	0	9	0	12	1	1	0	0	5	0	0	19	53	10	18	20	13	12	21.28
29	3.319	1.1715	31	4	2	3	1	3	1	2	0	0	5	0	0	12	52	8	7	11	24	13	15.67
30	4.695	1.8422	13	4	1	13	1	1	0	10	0	0	4	2	0	18	49	15	8	14	8	14	10.44
39	4.972	1.9682	18	9	1	3	0	0	0	8	0	0	7	0	0	15	46	11	2	15	25	15	9.25
16	2.274	1.1999	17	4	0	11	0	3	0	4	0	0	1	0	0	8	40	12	9	21	10	16	17.59
12	4.186	1.7952	10	2	0	13	0	0	0	6	0	0	8	0	0	14	39	19	19	22	9	17	9.32
14	2.401	1.0962	11	2	1	13	0	2	0	6	0	0	4	0	0	12	39	16	19	16	9	18	16.25
11	4.739	1.8594	15	2	0	3	0	1	1	4	0	0	9	0	0	15	35	13	20	23	26	20	7.39
6	2.451	1.1402	11	0	1	15	0	2	1	1	0	0	3	1	0	8	35	17	30	17	7	19	14.28
22	1.401	0.6842	6	4	1	6	0	3	0	7	0	0	5	0	0	15	32	30	10	18	18	21	22.83
41	1.636	0.8361	9	3	0	7	0	1	0	5	0	0	3	0	0	9	28	22	12	24	15	22	17.11
34	2.439	1.1021	8	2	1	9	0	0	0	4	0	0	3	0	0	7	27	26	21	19	14	23	11.07
13	2.694	1.1682	10	2	0	4	0	3	0	1	0	0	6	0	0	10	26	18	22	25	23	24	9.65
19	2.284	1.0099	9	3	0	1	1	0	0	6	0	0	2	0	1	10	23	21	13	26	28	25	10.07
31	3.606	1.5884	8	1	0	6	0	1	0	6	0	0	0	0	0	7	22	25	27	27	19	26	6.10
25	1.578	0.7699	8	3	0	6	0	1	0	2	0	0	1	0	0	4	21	24	14	28	20	27	13.30
51	1.108	0.5759	5	3	0	6	0	2	0	2	0	0	3	0	0	7	21	31	14	28	20	28	18.95
58	1.528	0.7668	7	2	0	7	0	0	0	2	0	0	1	0	0	3	19	27	23	29	16	29	12.44
38	3.146	0.7291	9	2	0	1	0	0	0	3	0	0	3	0	0	6	18	20	24	30	29	32	5.72
4	2.756	1.3929	6	0	0	1	0	2	0	4	1	0	4	0	0	11	18	29	31	30	29	30	6.53
36	1.755	0.9370	6	1	0	3	0	3	0	0	1	0	4	0	0	8	18	28	28	30	27	31	10.26
24	1.856	0.9003	3	3	2	6	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	16	32	15	12	21	33	8.62
69	1.270	0.6747	1	0	4	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	9	34	32	5	31	34	7.08
40	1.571	0.4711	1	2	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	6	33	25	31	30	35	3.82

Tabla A3.4 Análisis de intersecciones

ID	Longitud (km)	Primarias			Secundarias			Terciarias			Total
		Cantidad	Ranking	km/l	Cantidad	km/l	Ranking	Cantidad	km/l	Ranking	
24	1.86	1	3	0.54	3	1.61	1	0	0.00	1	2.15
38	3.15	1	2	0.32	7	2.22	2	0	0.00	1	2.54
8	2.93	5	17	1.71	7	2.39	3	0	0.00	1	4.10
58	1.53	1	4	0.65	6	3.93	7	0	0.00	1	4.58
30	4.70	5	5	1.06	17	3.62	5	0	0.00	1	4.68
31	3.61	5	11	1.39	14	3.88	6	1	0.28	4	5.54
51	1.11	0	1	0.00	6	5.41	9	1	0.90	15	6.32
16	2.27	7	30	3.08	8	3.52	4	0	0.00	1	6.61
40	1.57	2	9	1.27	7	4.46	8	2	1.27	17	7.01
9	5.50	9	16	1.64	35	6.36	11	0	0.00	1	8.00
1	13.57	33	23	2.43	75	5.53	10	1	0.07	2	8.03
19	2.28	3	10	1.32	18	7.89	19	0	0.00	1	9.21
28	2.49	7	29	2.81	16	6.43	12	0	0.00	1	9.24
13	2.69	3	6	1.12	23	8.55	21	0	0.00	1	9.67
4	2.76	6	20	2.17	21	7.61	18	0	0.00	1	9.78
27	5.07	8	14	1.58	37	7.30	15	5	0.99	16	9.86
7	5.66	15	27	2.65	37	6.54	13	5	0.88	13	10.07
26	3.73	6	15	1.61	30	8.04	20	2	0.54	9	10.19
2	6.09	16	26	2.63	46	7.55	16	2	0.33	5	10.51
29	3.32	8	22	2.41	22	6.63	14	6	1.81	19	10.84
25	1.58	5	32	3.16	12	7.59	17	1	0.63	11	11.39
14	2.40	0	1	0.00	22	9.17	24	6	2.50	22	11.67
11	4.74	7	13	1.48	47	9.92	26	3	0.63	12	12.03
39	4.97	6	7	1.21	51	10.26	27	3	0.60	10	12.07
5	4.69	13	28	2.77	45	9.59	25	1	0.21	3	12.58
36	1.75	7	33	4.00	16	9.14	22	0	0.00	1	13.14
12	4.19	10	21	2.39	45	10.74	29	2	0.48	7	13.60
3	8.36	15	18	1.79	88	10.53	28	13	1.56	18	13.88
69	1.27	4	31	3.15	14	11.02	31	0	0.00	1	14.17
10	8.99	23	25	2.56	97	10.79	30	8	0.89	14	14.24
22	1.40	2	12	1.43	16	11.43	32	3	2.14	20	15.00
6	2.45	3	8	1.22	33	13.47	33	1	0.41	6	15.10
41	1.64	7	34	4.27	15	9.15	23	4	2.44	21	15.85
34	2.44	5	19	2.05	35	14.34	35	0	0.00	1	16.39
32	4.06	10	24	2.46	58	14.29	34	2	0.49	8	17.24

Tabla A3.5 Análisis de las diferentes evaluaciones

Prioridad	ID	Longitud (km)	Densidad		Densidad		Sitios de Interés Público				Intersecciones			Casa del Estudiante		Dependencia Universitaria	Media
			Población	Vivienda	Negocios	Empleados	Escuela	U. Dep.	Mercado	Plaza	Primarias	Secundarias	Terciarias	<100 Hab	>200 Hab		
1	8	2.93	1	3	2	5	14	6	6	3	17	3	1	0	0	0	5.55
2	2	6.09	10	8	13	22	1	1	1	1	26	16	5	2	3	0	8.38
3	10	8.99	9	7	8	9	2	11	3	2	25	30	14	2	2	3	9.07
4	1	13.57	29	29	22	17	1	1	1	1	23	10	2	2	1	2	10.07
5	9	5.50	17	19	20	25	5	17	8	6	16	11	1	1	3	4	10.93
6	26	3.73	15	13	11	20	6	26	4	12	15	20	9	1	3	0	11.92
7	27	5.07	11	10	10	6	7	29	13	17	14	15	16	4	6	0	12.15
8	6	2.45	2	2	4	11	17	30	17	7	8	33	6	0	0	0	12.45
9	12	4.19	6	6	5	10	19	19	22	9	21	29	7	4	6	0	12.54
10	29	3.32	12	9	6	8	8	7	11	24	22	14	19	0	0	0	12.73
11	5	4.69	19	16	18	23	3	16	7	11	28	25	3	1	4	5	12.79
12	3	8.36	18	17	16	14	4	4	2	22	18	28	18	2	5	0	12.92
13	11	4.74	4	4	7	13	13	20	23	26	13	26	12	3	6	0	13.08
14	22	1.40	3	1	1	2	30	10	18	18	12	32	20	0	0	0	13.36
15	13	2.69	7	11	14	3	18	22	25	23	6	21	1	0	0	0	13.73
16	7	5.66	22	24	12	16	9	5	9	5	27	13	13	0	0	0	14.09
17	34	2.44	5	5	3	7	26	21	19	14	19	35	1	0	0	0	14.09
18	32	4.06	8	12	9	24	23	3	10	4	24	34	8	0	0	0	14.45
19	30	4.70	28	25	33	28	15	8	14	8	5	5	1	0	0	0	15.45
20	28	2.49	23	23	21	4	10	18	20	13	29	12	1	0	0	0	15.82
21	16	2.27	32	30	34	32	12	9	21	10	30	4	1	4	6	1	16.14
22	24	1.86	33	33	15	15	32	15	12	21	3	1	1	0	0	0	16.45
23	14	2.40	14	18	17	29	16	19	16	9	1	24	22	0	0	0	16.82
24	51	1.1081	26	26	28	1	31	14	28	20	1	9	15	0	0	0	18.09
25	58	1.5279	21	27	23	26	27	23	29	16	4	7	1	0	0	0	18.55
26	38	3.15	31	32	24	19	20	24	30	29	2	2	1	0	0	0	19.45
27	36	1.75	20	20	27	30	28	28	30	27	33	22	1	3	5	1	19.64
28	19	2.28	24	22	26	27	21	13	26	28	10	19	1	0	0	0	19.73
29	39	4.97	30	31	30	31	11	2	15	25	7	27	10	0	0	0	19.91
30	41	1.64	13	15	19	21	22	12	24	15	34	23	21	0	0	0	19.91
31	40	1.57	16	14	29	12	33	25	31	30	9	8	17	0	0	0	20.36
32	4	2.76	27	28	32	33	29	31	30	29	20	18	1	4	5	1	20.57
33	25	1.58	25	21	25	18	24	14	28	20	32	17	11	0	0	0	21.36
34	31	3.61	35	35	35	35	25	27	27	19	11	6	4	0	0	0	23.55
35	69	1.2704	34	34	31	34	34	32	5	31	31	31	1	0	0	0	27.09

## BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO, 1999. *Guide for the development of bicycle facilities* A. A. of S. H. and T. Officials, ed., Washington D.C.
- Alecsandru, C., Rouhieh, B. & Huang, T.K.C., 2010. Traffic Safety and Operations on Shared-Access Facilities: An Urban Arterial Case Study. *Journal of Transportation Safety & Security*, 2(4), pp.336–351. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19439962.2010.522301> [Accessed September 1, 2014].
- Anderson-Trocmé, P., Miranda-Moreno, L.F. & Saunier, N., 2012. Microsimulation calibration using automated video-based motor vehicle and bus trajectories. *TRB*.
- Aultman-Hall, L. et al., 1997. Analysis of Bicycle Commuter Routes Using Geographic Information Systems: Implications for Bicycle Planning. *Transportation Research Record*, 1578(1), pp.102–110. Available at: <http://trb.metapress.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.3141/1578-13> [Accessed May 29, 2014].
- Bicycledutch, 2011. How the Dutch got their cycling infrastructure | BICYCLE DUTCH on WordPress.com. Available at: <http://bicycledutch.wordpress.com/2011/10/20/how-the-dutch-got-their-cycling-infrastructure/> [Accessed May 7, 2014].
- Brosseau, M. et al., 2012. The Impact of Traffic Lights on Dangerous Pedestrian Crossings and Violations : a Case Study in Montreal. *TRB Annual Meeting*.
- Chen, J. et al., 2014. Dispersion Effect in Left-turn Mixed Bicycle Traffic and Its Influence on Capacity of Left-turn Vehicles at Signalized Intersections. , 142, pp.1–16.
- CONAPO, 2010. Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010 |. Available at: [http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Zonas\\_metropolitanas\\_2010](http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Zonas_metropolitanas_2010) [Accessed July 21, 2014].

- Figliozi, M., Wheeler, N. & Monsere, C.M., 2013. Methodology for Estimating Bicyclist Acceleration and Speed Distributions at Intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2387(-1), pp.66–75. Available at: <http://trb.metapress.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.3141/2387-08> [Accessed May 8, 2014].
- Gerçek, H., Karpak, B. & Kiliñaslan, T., 2004. A multiple criteria approach for the evaluation of the rail. , (May 1991), pp.203–228.
- Goche, F., 2012. Casas del estudiante en Michoacán. Available at: <http://contralinea.info/archivo-revista/index.php/2012/06/08/casas-del-estudiante-en-michoacan-cobijo-de-pobres-pesar-de-gobernantes/> [Accessed July 16, 2014].
- Goldsman, F., Bicicletas: conocé las ciudades más amigables para pedalear. Available at: <http://www.conexionbrando.com/1339604> [Accessed May 7, 2014].
- Howard, C. & Burns, E., 2001. Cycling to Work in Phoenix: Route Choice, Travel Behavior, and Commuter Characteristics. *Transportation Research Record*, 1773(1), pp.39–46. Available at: <http://trb.metapress.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.3141/1773-05> [Accessed May 29, 2014].
- IDRD, 2012. Bogota (Colombia): Información sobre la ciudad Bogota. Available at: <http://www.inbogota.com/transporte/ciclovía/historia.htm> [Accessed May 7, 2014].
- INEGI, 2010. Cartografía Geoestadística Urbana. Available at: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&upc=0&s=est&tg=3594&f=2&cl=0&pf=prod&ef=0&ct=201100000&pg=2#testframe> [Accessed July 10, 2014].
- INEGI, 2012. Censos y conteos de población. Available at: [http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta\\_resultados/ageb\\_urb2010.aspx?c=28111&s=est](http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/ageb_urb2010.aspx?c=28111&s=est) [Accessed July 10, 2014].
- INEGI, 2013. Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Available at: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue/default.aspx> [Accessed July 10, 2014].
- IPCo, 2011. *Ciclovías en el Centro Histórico de Colima*, Colima, Colima.
- ITDP & I-CE, 2011a. *Manual integral de movilidad ciclista para ciudades mexicanas Tomo I. La Movilidad en Bicicleta como Política Pública* M. J. Pérez Herrera, ed., México D.F.: arre.
- ITDP & I-CE, 2011b. *Manual integral de movilidad ciclista para ciudades mexicanas Tomo III. Red de Movilidad en Bicicleta* M. J. Pérez Herrera, ed., México D.F.: arre.

- ITDP & I-CE, 2011c. *Manual integral de movilidad ciclista para ciudades mexicanas Tomo IV. Infraestructura* M. J. Pérez Herrera, ed., México D.F.: arre.
- Land Transport Safety, N.Z., 2004. *Cycle network and route planning guide*, New Zealand.
- Larsen, J., Patterson, Z. & El-Geneidy, A., 2013. Build It. But Where? The Use of Geographic Information Systems in Identifying Locations for New Cycling Infrastructure. *International Journal of Sustainable Transportation*, 7(4), pp.299–317. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15568318.2011.631098>.
- Li, M. & Faghri, A., 2014. Cost – Benefit Analysis of Added Cycling Facilities. *3rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, pp.1–16. Available at: <http://docs.trb.org/prp/14-3486.pdf>.
- Litman, T. et al., 2009. *Pedestrian and Bicycle Planning Guide to Best Practices by*, Victoria, BC.
- Liu, P. et al., 2012. Development of a VISSIM Simulation Model for U-Turns at Unsignalized Intersections. *JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING © ASCE*, (November), pp.1333–1339.
- Macbeth, A.G. & Allen, T., 2007. Cycle Route Network Planning Using GIS Abstract. *NZ Cycling Conference*, (November).
- Mefford, C. & Griffith, T., To Design On-Street Bicycle Routes Informafion Systems Using Geographic. Available at: [http://www.bikewalktwincities.org/sites/default/files/Using\\_GIS\\_to\\_Design\\_On-street\\_Bicycle\\_Routes.pdf](http://www.bikewalktwincities.org/sites/default/files/Using_GIS_to_Design_On-street_Bicycle_Routes.pdf).
- Mekuria, M.C., Furth, P.G. & Nixon, H., 2012. *Low-Stress Bicycling and Network Connectivity*, San José, CA.
- Miranda-Moreno, L.F. & Proulx, F., 2013. Classification of bicycle traffic patterns in five North American Cities. , 500(January), pp.1–29.
- Miranda-Moreno, L.F., Strauss, J. & Morency, P., 2011. Disaggregate Exposure Measures and Injury Frequency Models of Cyclist Safety at Signalized Intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2236(-1), pp.74–82. Available at: <http://trb.metapress.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.3141/2236-09> [Accessed May 6, 2014].
- NACTO, 2014. Urban Bikeway Design Guide. Available at: <http://nacto.org/cities-for-cycling/design-guide/> [Accessed May 7, 2014].

- ONU-HABITAT, P. de las N.U. para los A.H., 2011. *Estado de las Ciudades de México 2011*, México D.F.: ST Gráficos. Available at: [http://www.onuhabitat.org/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_details&gid=583&Itemid=330](http://www.onuhabitat.org/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=583&Itemid=330).
- Pucher, J., Buehler, R. & Seinen, M., 2011. Bicycling renaissance in North America? An update and re-appraisal of cycling trends and policies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(6), pp.451–475. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0965856411000474> [Accessed May 6, 2014].
- Rick Bernardi, J., Road Rights- Your City Versus My City. Available at: <http://www.bicyclelaw.com/road-rights/a.cfm/road-rights-your-city-versus-my-city> [Accessed May 7, 2014].
- Saunier, N., 2012. Nicolas / TrafficIntelligence / wiki / Home. Available at: <https://bitbucket.org/Nicolas/trafficintelligence/wiki/Home> [Accessed April 22, 2014].
- SCT & SEDESOL, 2011. *PROY-NOM-034-SCT2-2010, “Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas,”* México.
- Sener, I.N., Eluru, N. & Bhat, C.R., 2009. An analysis of bicycle route choice preferences in Texas, US. *Transportation*, 36(5), pp.511–539. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11116-009-9201-4> [Accessed June 10, 2014].
- Shelton, J. & Medina, M., 2010. Integrated Multiple-Criteria Decision-Making Method to Prioritize Transportation Projects. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2174(-1), pp.51–57. Available at: <http://trb.metapress.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.3141/2174-08> [Accessed May 12, 2014].
- Strauss, J. & Miranda-Moreno, L.F., 2012. A Bayesian Modeling Approach for Cyclist Injury Risk Analysis at Intersections and Corridors. *TRB Annual Meeting*, (5).
- Symon, J., 2009. Tracking the history of Montreal bike activism - Uphill climb - Hour Community. Available at: <http://hour.ca/2009/05/07/uphill-climb/> [Accessed May 7, 2014].
- Weber, J. et al., 2014. Constructing Improved Bicycle Maps: User Preferences and Comparative Analysis. *TRB Annual Meeting*, 10(206).