

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA**  
**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



**"MODELO DE REDUCCIÓN DE EMISIONES A TRAVÉS DE LA ADECUACIÓN VIAL  
PARA EL TRANSPORTE EN BICICLETA EN LA CIUDAD DE MEXICALI, B. C."**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERIA**

**PRESENTA:  
NANCY EVELIN ROMERO CANETT**

**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. MOISES GALINDO DUARTE**

**Mexicali, B.C.**

**Marzo de 2017**

---

## *AGRADECIMIENTOS*

---

A CONACyT por la confianza de aceptarme para ser parte del grupo de estudiantes investigadores, además de la beca otorgada, la cual fue un gran apoyo para poder realizar esta etapa en mi vida.

Al Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Mexicali (IMIP) por su gran colaboración, accesibilidad y amabilidad en la aportación de cualquier dato que se ocupara.

A mis compañeros y amigos por su apoyo en esos días de estudio y stress, asesorías y consejos otorgados a lo largo de estos años.

A mis profesores por su paciencia y conocimientos compartidos, sin los cuales no hubiera podido perfeccionar mi tesis.

A mi director de tesis el Dr. Moisés Galindo por ser mi guía a lo largo de todo este tiempo y por el asesoramiento para que lograra la culminación de esta maestría con la presente tesis.

---

## *DEDICATORIA*

---

A mis padres y hermanos por su apoyo, consejos y paciencia incondicional durante toda mi vida, en especial esta etapa tan importante, sin ustedes esto no hubiera podido ser posible, los amo.

Y también a todas aquellas personas que desinteresadamente me ayudaron de alguna u otra manera a la culminación de esta investigación.

*A todos, ¡GRACIAS!*

*“Cuando el espíritu está bajo, cuando el día aparece oscuro, cuando el trabajo se pone monótono, cuando la esperanza apenas está presente, sólo monte una bicicleta y salga a dar una vuelta por la carretera, todas sus preocupaciones desaparecerán”.*

-S. Colmes

---

## RESUMEN

---

La Ciudad de Mexicali, B.C. en 2015 contaba con una población de 790,479 habitantes y con 474,741 vehículos en operación en la ciudad, con un índice de motorización de 0.601 veh/hab y una longitud promedio de viaje de 6.967 Km/año, ubicándose así en escala nacional como uno de los centros urbanos con mayor índice de vehículos por habitante.

Por este motivo este trabajo trata sobre la elaboración, validación y operación de un modelo de reducción de emisiones, que busca proyectar una baja de emisiones dañinas al ambiente provocadas por acciones que favorezcan el uso de la bicicleta como medio de transporte mediante la sustitución del automóvil en las principales vías de la zona urbana de la ciudad de Mexicali, B.C. del periodo del 2015 al 2035. Se realizaron aforos manuales ciclistas en 17 puntos distribuidos de la red vial de la ciudad, con estos resultados, se procedió a la obtención del flujo diario de bicicletas basándonos en un estudio de flujos de tránsito vehicular, el cual consiste en la clasificación de los puntos dependiendo de la dirección del flujo y estos datos fueron ingresados al modelo propuesto en este estudio.

Este modelo se encuentra conformado por 27 variables, de las cuales 12 son dependientes y 15 independientes con lo que se llega al resultado del total de emisiones producidas o reducidas. Para poder tener una comparación, se propusieron 3 escenarios, el escenario base (0) con la situación actual sin modificaciones, el escenario con modificaciones tomando en cuenta una adecuación vial (1) y el escenario tomando en cuenta una adecuación vial y una concientización en la población y las empresas (2) todos en el periodo del año 2015-2035.

Finalmente se obtuvieron resultados en los diferentes escenarios propuestos, en el escenario 0, la tendencia es incremental en cualquiera de los sentidos, en el escenario 1 se obtuvo una reducción de proporcional en los diferentes medios de transporte, consiguiendo una reducción de emisiones de hasta 538 mil toneladas en promedio en

el lapso estudiado y en el escenario 2 se obtuvo una disminución de casi un millón de toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por año de diferencia total comparando con el escenario base. Es decir, en relación a las emisiones en el escenario base, se obtuvo que disminuirían un 9.8% con la aplicación de las acciones del escenario de la adecuación vial y un 19.6% con respecto a las propuestas en el escenario de concientización social.

Con esto se comprobó que en este modelo se pudo verificar que el impulso del uso de la bicicleta aunado a una red adecuada de ciclistas, conllevará a un mayor uso de este modo de tránsito no motorizado y a la reducción de emisiones de GEI, lograr baja de enfermedades, una mejora física y psicológica y se conseguiría un apoyo a la economía de los usuarios.

---

## *ABSTRACT*

---

The City of Mexicali, B.C. in 2015 had a population of 790.479 inhabitants and 474.741 vehicles in operation in the city, with a motorization rate of 0.601 veh/hab and an average trip length of 6,967 km per year and becoming nationally as one of the urban centers with the highest rate of vehicles per capita.

For this reason this work deals with the development, validation and operation of a emission reduction model, which seeks to project low emissions on benefit of the environment caused by actions that promote the use of bicycles as transportation by replacing the car on the main roads of the urban area of the city of Mexicali, BC in the 2015 to 2035 period. Cyclists Manual Traffic counts were performed in 17 points distributed along the road network of the city, with these results, we proceeded to obtain the daily flow of bicycles based a study of flows of vehicular traffic, which ranking points depended on the flow direction and these data were entered into the model proposed in this study.

This model is made up of 27 variables, of which 12 are dependent and 15 independent which after being analyzed are obtained the total emissions produced or reduced. In order to have a comparison, 3 scenarios were proposed, a) the one base on the current situation or unchanged scenario (0), b) the scenario with modifications taking into account a vial adequation (1) and c) the scenario taking into account a road suitability and awareness of all sectors of society (2) during the 2015-2035 period.

Finally, results were obtained in the different scenarios proposed: in stage 0, the trend is incremental in either direction, on stage 1 a reduction proportionately in the different types of transport was obtained, achieving a reduction in emissions of 538 thousand tons of CO<sub>2</sub> on average in the studied period and on stage 2 a decrease of almost one million tons of CO<sub>2</sub> equivalent per year total as compared to the baseline scenario was obtained. That is, relative to emissions in the baseline scenario, it was found that 9.8%

decrease with the implementation of the actions of the scenario of road adequacy and 19.6% with respect to the proposals on the stage of social awareness.

With the previous results it was found that this model showed that the momentum of cycling coupled with an adequate network of bicycle paths, will lead to greater use of this mode of non-motorized transportation and reducing GHG emissions, health affectation of population, and altogether, physical and psychological improvement and support for the economy of the cyclist.

---

## CONTENIDO

---

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. Antecedentes.....</b>	<b>11</b>
1.1.1. Evolución de los medios de transporte .....	11
1.1.2. Antecedentes de la bicicleta .....	13
<b>1.2. Estado del arte .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3. Objetivos.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4. Hipótesis .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5. Justificación .....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1. Introducción a la modelación.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2. Emisiones .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3. Teoría del cambio climático .....</b>	<b>23</b>
2.3.1. Gases Efecto Invernadero .....	26
2.3.2. Fuentes de los gases efecto invernadero .....	29
2.3.3. Parámetros para medición de gases efecto invernadero.....	30
2.3.4. Afectaciones a la salud y al ambiente .....	31
<b>2.4. La bicicleta como medio de transporte.....</b>	<b>36</b>
<b>2.5. Adecuación vial para bicicletas .....</b>	<b>38</b>
2.5.1. Infraestructura vial para bicicletas.....	38
2.5.2. Vías de tránsito para ciclistas .....	40
2.5.3. Ciclovías .....	41
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1. Área de estudio .....</b>	<b>46</b>
<b>3.2. Aforos .....</b>	<b>48</b>
<b>3.3. Resultados preliminares.....</b>	<b>52</b>

<b>3.4. Modelo de reducción de emisiones a través de la adecuación vial para el transporte en bicicleta en la ciudad de Mexicali, B.C.</b> .....	<b>53</b>
3.4.1. Esquema de funcionamiento .....	54
3.4.2. Variables para modelación .....	54
3.4.3. Elaboración de escenarios .....	59
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS</b> .....	<b>61</b>
4.1. Escenario 0. Situación actual.....	61
4.2. Escenario 1. Situación mediante una adecuación vial .....	63
4.3. Escenario 2. Situación aplicando concientización .....	67
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>71</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>73</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>74</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>78</b>
<b>Anexo 1.</b> Plano de localización de puntos de aforo ciclista a lo largo de la ciudad de Mexicali, B.C. ....	78
<b>Anexo 2.</b> Formato aforo ciclista aplicado en censo ciclista .....	79
<b>Anexo 4.</b> Plano de afluencia ciclista en la Ciudad de Mexicali, Baja California (vol/día) (Elaboración propia con plano base de GoogleEarth) .....	81

---

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1 Infraestructura y/o programas de préstamo en diferentes ciudades del mundo. ....	16
Tabla 2 Contribución al cambio climático por tipo de fuente.....	25
Tabla 3 Principales GEI por su origen. ....	27
Tabla 4 Principales GEI originados por actividades humanas y la procedencia de estos. ....	28
Tabla 5 Principales contaminantes ambientales: su origen y los efectos a la salud que provoca a la población expuesta. ....	33
Tabla 6 Puntos de aforo ciclista en la ciudad de Mexicali, B.C. ....	48
Tabla 7 Principales indicadores usados en Escenario 0 (base) y su tasa de crecimiento anual.62	
Tabla 8 Principales indicadores usados en el Modelo actual (Escenario 1) y su tasa de crecimiento anual.....	65
Tabla 9 Principales indicadores usados en el Modelo actual (Escenario 2) y su tasa de crecimiento anual.....	68

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1 Línea del tiempo de la invención de los principales medios de transporte. Basado en Hogar Proyecto Salón, (n.d.); Time Rime, (2015).....	12
Figura 2 Diferentes esquemas de segregación del ciclista según velocidades de circulación para vías compartidas y ciclovías.....	41
Figura 3 Esquema referencial para aplicación se segregación según volumen de vehículos motorizados y velocidad.....	44
Figura 4 Mapa de localización y principales vialidades en la ciudad de Mexicali, B.C. (Obtenido de Google Maps, <a href="http://www.luventicus.org/mapasmx/mexico/bajacalifornia.html">http://www.luventicus.org/mapasmx/mexico/bajacalifornia.html</a> ) .....	46
Figura 5 Esquema del modelo de reducción de emisiones dañinas al ambiente provocadas por acciones de mitigación para el uso de la bicicleta.....	55
Figura 6 Pronóstico del total de viajes por persona del año 2015 al año 2035 en Escenario 0 (viajes por persona/año).....	61
Figura 7 Pronóstico del total de emisiones de GEI en Escenario 0 del año actual al año 2035 en la ciudad de Mexicali, B.C. (ton/año) .....	63
Figura 8 Plano de rutas ciclistas propuestas para la ciudad de Mexicali, B.C. basadas en estudio realizado por IMIP2014).....	64
Figura 9 Pronóstico del total de viajes por persona del año 2015 al año 2035 en Escenario 1 (viajes por persona/año).....	66
Figura 10 Comparativo de los pronósticos del total de emisiones de GEI del Escenario 0 y 1 del año actual al año 2035 en la ciudad de Mexicali, B.C. (ton/año) .....	67
Figura 11 Pronóstico del total de viajes persona del año 2015 al año 2035 en Escenario 2 (viajes persona/año).....	69
Figura 12 Comparativo de los pronósticos del total de emisiones de GEI del Escenario 0, 1 y 2 del año actual al año 2035 en la ciudad de Mexicali, B.C. (ton/año).....	70

---

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES**

---

Con el paso del tiempo, se han logrado cambios significativos en la estructura y composición del automóvil o en los diferentes procesos, desgraciadamente poco ha sido el enfoque de los efectos que estos pueden causar al medio ambiente, ya que está comprobado que producen un impacto ambiental, ya sea contaminación acústica, emisiones o contaminantes ambientales que son los que afectan la salud de los ciudadanos (Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, 2008).

El aumento vehicular e industrial es difícil de reducir ya que está ligado al avance económico y el crecimiento de población en las ciudades en desarrollo por lo que cualquier medida considerada para transporte e industria debe ser cuidadosamente analizada para no afectar el crecimiento y la estabilidad económica o social de los países (Samaniego, Jordán y Ruiz-tagle, 2013)

### **1.1. Antecedentes**

Durante el paso del tiempo, todo cambia, evoluciona, y los medios de transporte y vías de tránsito no son la excepción, a continuación se relata un poco de estos acontecimientos y sucesos relacionados.

#### **1.1.1. Evolución de los medios de transporte**

Primero que nada, el concepto transporte se puede definir como el instrumento que se utiliza para llevar o trasladar de un lugar a otro bienes o personas, puede ser público o privado; intermodal, que incluye más de un modo de transportación, por ejemplo conducir hasta un sitio y cambiar a autobús; y/o multimodal, por ejemplo, montar la bicicleta hasta la estación de tren, trasladarse a otro sitio con bicicleta y volver a montarla para llegar al destino final (Sandoval, 2012).

En épocas pasadas y durante bastante tiempo, los transportes con más auge eran los marítimos y fluviales, ya que la construcción de caminos para vehículos de tracción animal resultaba extremadamente difícil para los antiguos dadas las precarias condiciones predominantes de la época, mientras que las embarcaciones, con el viento como medio de locomoción, les facilitaba enormemente su tarea. Quizás ello haya sido una de las causas por las cuales muchas ciudades antiguas llegaron a florecer a orillas de ríos, lagos y mares. Pero esta situación fue cambiando poco a poco, ya que con la invención de los diferentes medios de transporte (Figura 1) y una mejor organización de estos a través del tiempo, dio como resultado que se mejoraran también los caminos los cuales fueron desempeñando un papel cada vez más importante.

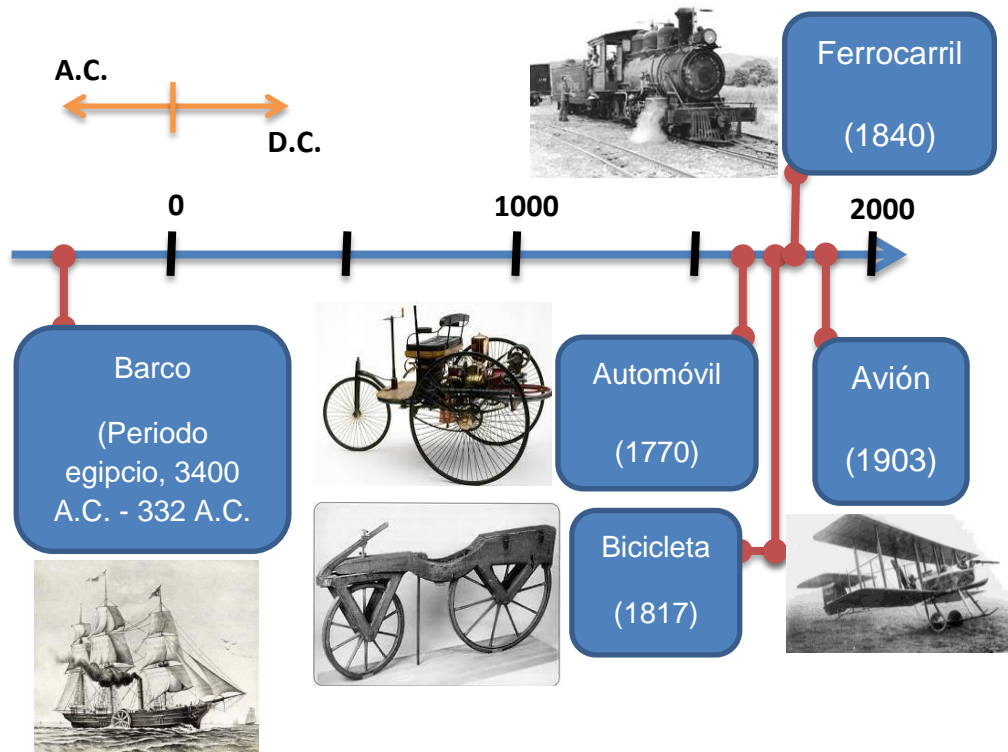


Figura 1. Línea del tiempo de la invención de los principales medios de transporte basado en Hogar Proyecto Salón, (n.d.); Time Rime, (2015)

El perfeccionamiento de los motores de combustión ejerció de inmediato una influencia extraordinaria en la estructura y función de los caminos, implantándose una nueva

técnica en la construcción y conservación de los mismos con el uso de los asfaltos. Estos giros con el paso del tiempo, dieron paso a el lugar que hoy en día tienen los automóviles en el mundo, sin duda el medio de transporte más utilizado (Crespo, 1980).

Este mejoramiento y las condiciones económicas de aquel entonces, dieron inicio a la invención de la bicicleta, en un principio diseñada como un vehículo tosco de dos ruedas propulsada por los pies en el año de 1817, teniendo constantes modificaciones hasta llegar a como las conocemos hoy en día (Solís, 2008).

Con el paso del tiempo mucho nos hemos preocupado por estos medios y gracias a esto hemos logrado una significativa diferencia a comparación de los primeros transportes y vías de comunicación, pero poco ha sido el enfoque de los efectos que estos pueden causar al medio ambiente, ya que está comprobado que todos los medios de transporte producen un impacto ambiental, ya sea contaminación acústica, emisiones o contaminantes ambientales que son los que afectan la salud de los ciudadanos (Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, 2008).

### **1.1.2. Antecedentes de la bicicleta**

La bicicleta es un vehículo que consta de dos ruedas alineadas fijas a un cuadro, se dirige mediante un manillar y es impulsada por una combinación de pedales y engranajes movidos por los pies. El nombre del vehículo moderno data de 1869. Varios antecedentes de esta máquina se conocieron como velocípedos, a partir de un nombre francés que data del siglo XVIII (José Solís, 2008).

En 1817 el alemán Karl Drais diseñó el primer vehículo en dos ruedas con dispositivo de dirección, esta máquina denominada "draisiana", tenía un manillar sobre el cuadro el cual permitía el giro de la rueda delantera, la "draisiana" consistía en un pesado marco de madera con dos toscas ruedas y se impulsaba apoyando los pies en el suelo (Solís, 2008).

En Inglaterra, para 1818 se conocieron los balancines, eran más ligeros que la draisiana y tenían un asiento ajustable y un apoyo para el codo. En 1839 el escocés Kirkpatrick Macmillan añadió palancas de conducción y los pedales a una máquina del tipo de la draisiana, estas innovaciones permitieron al ciclista impulsar la máquina con los pies sin tocar el suelo. Esta fue la primera bicicleta propiamente dicha, tenía dos ruedas, de las cuales la posterior era algo mayor y un sillín en el medio. En 1846 un modelo mejorado de esta máquina, diseñada por un escocés adquirió el nombre de dälzell, muy utilizada en Inglaterra (Solís, 2008).

El precursor de la bicicleta moderna, fue un modelo francés para 1855, el cuadro y las ruedas se fabricaban en madera, los neumáticos eran de hierro y los pedales estaban colocados en el cubo de la rueda de atrás. En 1869 en Inglaterra, se introdujeron neumáticos de goma maciza montados en el acero (Solís, 2008).

En 1873 el inglés James Starley produjo la primera máquina con casi todas las características de la bicicleta moderna, solo que la rueda delantera era tres veces más grande que la de atrás. Hacia 1880 apareció la más conocida máquina segura o baja, la cual consistía en ruedas de casi el mismo tamaño y los pedales unidos a una rueda dentada a través de engranajes y una cadena de transmisión movían la rueda de atrás. Todo este desarrollo llevó a una evolución del aparato y una formulación a como la conocemos desde el siglo XX (Solís, 2008).

## **1.2. Estado del arte**

Ciertos estudios como La movilidad en bicicleta como política pública (A.C. ITDP México & I-CE Interface for Cycling Expertise, 2011) y Cities, mobility and climate change (Banister, 2011), por decir algunos, mencionan que el transporte motorizado muestra gran auge y preferencia por medio de los usuarios en México y el mundo, es por ello que ha llamado la atención en buscar nuevas alternativas de transporte y así poder examinar una solución a las crisis ambientales que se viven en varias ciudades.

Aunque el automóvil da una gran ventaja en la movilidad y más en áreas urbanas, ésta suele causar un ambiente ruidoso, excluyente y en algunas ocasiones poco atractivo. La dependencia al automóvil genera el uso excesivo de los combustibles fósiles y por consecuencia la contaminación ambiental por causa de los contaminantes que estos generan. Estos contaminantes pueden causar enfermedades respiratorias y en algunos casos enfermedades letales como cáncer, sobre todo en los sectores más vulnerables como los niños y ancianos, así como las personas que tengan periodos extensos a exposiciones altas (Gobierno del Estado de Baja California & SEMARNAT, 2011). Muchos estudios como Cities, mobility and climate change (Banister, 2011), hablan sobre las consecuencias en la salud que los contaminantes producidos por los medios de transporte pueden tener y en caso contrario a esto, en Washington se comprobó que hombres y mujeres de 18 a 56 años que efectúan al menos cuatro días por semana un desplazamiento en bicicleta en distancias de 16 Km (ida y vuelta) o más, tienen una salud física y psíquica mejor que los que no lo practican (Eltit Neumann, 2011).

Con todo esto, se han buscado alternativas de combustibles, aditamentos que ayuden a aminorar los daños, automóviles más eficientes, y por supuesto otros medios de transporte y con el paso del tiempo se ha visto la eficacia del fomento de los transportes alternos y en la aplicación de medidas y leyes que beneficien el cambio a estas. Por ejemplo, en el año 2003, en Santiago de Chile se implementaron 10 Km de ciclovías, resultando en una reducción de entre 684 y 999 toneladas por año de emisiones, otro caso es Sudáfrica, donde la población gastaba el 25% de su ingreso en transporte público y se comprobó que después del costo inicial de adquisición de una bicicleta, los hogares redujeron el gasto de transporte a sólo el 5% del ingreso al cabo de tres meses (A.C. ITDP México & I-CE Interface for Cycling Expertise, 2011).

Este sistema (uso de la bicicleta) ha dado buenos resultados implementándolo como medio de transporte y no sólo como pasatiempo y más sumado a sistemas de préstamo de bicicletas o programas por parte del gobierno o empresas. Específicamente, estos sistemas de préstamo de bicicletas, han sido principalmente impuestos e ideados en ciudades europeas como se muestra en la Tabla 1, que junto

con infraestructura y apoyo de la comunidad se ha visto un gran resultado, además de tomar en cuenta que estas cifras son solamente las del programa faltaría sumar bicicletas de uso personal.

Tabla 1. Infraestructura y/o programas de préstamo en diferentes ciudades del mundo (IMECA, 2006; Johan de Hartog, Boogaard, Nijland, & Hoek, 2010; Melo & Chalkho, 2012; Sandoval, 2012)

Ciudad	Infraestructura y/o programas de préstamo
Helsinki, Finlandia	Con programa de préstamo desde 2000, cuenta con 150 bicicletas.
Múnich, Alemania	Con programa de préstamo desde 2006, cuenta con 4200 bicicletas.
Barcelona, España	Con programa de préstamo desde 2007, cuenta con 401 estaciones y 6000 bicicletas.
Paris, Francia	Con programa de préstamo desde 2007, cuenta con 750 estaciones y 20000 bicicletas.
Ciudad de México, México	Con programa de préstamo desde 2010, cuenta con 275 estaciones y 3600 bicicletas.
Copenhague, Dinamarca	350 Kilómetros de carriles bici y más de 40 Kilómetros de rutas ciclistas verdes que atraviesan la ciudad. Con programa de préstamo desde 1995, cuenta con 400 estaciones y 6000 bicicletas.
Bogotá, Colombia	300 km de ciclorutas en el área urbana y adicionalmente con 120 Km que se utilizan solamente el fin de semana.
Curitiba, Brasil	150 Kilómetros de ciclovías
Santiago, Chile	640 Kilómetros de Ciclovías, 500 de los cuales están dentro del Gran Santiago y los 140 restantes en áreas rurales de la Región Metropolitana
Buenos Aires, Argentina	100 Kilómetros de ciclovías
Mexicali, México	9 Kilómetros de ciclovías

### 1.3. Objetivos

Los objetivos que se persiguen son los siguientes:

#### Objetivo general:

Elaborar, validar y operar un modelo de pronóstico de reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) provocadas por acciones que favorezcan el uso de la bicicleta como medio de transporte en la ciudad de Mexicali, B.C., además de evaluar los diferentes beneficios de dichas acciones.

### **Objetivos específicos:**

- Analizar propuestas foráneas y locales de esquema de adecuación vial para impulsar la circulación de bicicletas.
- Validación del modelo de pronóstico de GEI.
- Operación de modelo para resultados a corto, mediano y largo plazo mediante la descripción de escenarios.
- Determinar la reducción de GEI provocada por la adecuación vial.
- Comparación de beneficios adicionales a la reducción de emisiones que pudiera tener el impulso al uso de la bicicleta, basados en estudios realizados anteriormente en otras partes del mundo, tales como la mejoría del acondicionamiento físico, aspectos recreativos, económicos y alternativas de transporte.

### **1.4. Hipótesis**

El impulso del uso de la bicicleta aunado a una red adecuada de ciclistas, una concientización social y programas de incentivación en los lugares de trabajo, lleva a resultados positivos como un mayor uso de este modo de tránsito no motorizado y a la reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI), disminuyendo el efecto dañino al ambiente.

### **1.5. Justificación**

Dado los 514,652 vehículos proyectados para 2015 se puede observar que los últimos años la ciudad se ha visto afectada por el aumento de automóviles incrementando así la contaminación, ya que solo en el año 2012, se contaban con 474,741 automóviles, esto representa un incremento del 8.4% en un periodo de 3 años (Galindo, Santos, & Benites, 2013). Estos incrementos van íntimamente ligados con efectos colaterales como la generación de stress, sobrepeso y falta de actividad física a los ciudadanos. Por ello, en cualquier región, ciudad o país, es importante buscar

medios alternativos al automóvil que sean más amigable con el medio ambiente y económico. Por estas razones, se cree que la bicicleta representa un estilo de vida que rompe la visión de las sociedades que se ha caracterizado siempre por la dependencia del vehículo automotor (García López, 2013).

La utilización de la bicicleta sobre todo en ciudades con mayor tráfico ayuda a disminuir la congestión de las calles, a tener una mejor calidad de vida a través del ejercicio y a reducir la contaminación acústica y ambiental ya que no emite ningún tipo de gas contaminante, hecho que ayuda a frenar el cambio climático, puesto que no emite GEI (García López, 2013).

Es por eso que con la evaluación de acciones a través del modelo planteado, se espera obtener una baja de emisiones mediante la sustitución del automóvil por medio del uso y la promoción de la bicicleta como medio de transporte, acondicionando un espacio en las principales vialidades de la ciudad de Mexicali, B.C., ya que aunque la ciudad cuenta con 9 kilómetros de ciclovías, éstas no son suficientes además de que su calidad y adecuaciones no son suficientes para brindar seguridad y confianza al usuario.

Este modelo también serviría de antecedente en cuanto a la reducción de emisiones que se dejarían de emitir por el cambio de automóvil a bicicleta como medio de transporte, ya que actualmente no se posee nada parecido en la ciudad.

Con la información recabada a lo largo de la investigación se obtendrá una visión a corto, mediano y largo plazo de los beneficios que se obtendrían con la aplicación del programa de adecuación vial para bicicletas, beneficiando así a toda la población, ya que se obtendría un cambio en las alternativas del transporte, así como una baja de los contaminantes en la ciudad teniendo un beneficio directo de mejor calidad de aire y vida para la población.

## **1.6. Alcance**

El alcance de este trabajo se limita a la realización de un modelo de reducciones de emisiones dañinas al ambiente provocadas por una serie de acciones tales como la adecuación vial para bicicletas y concientización social para el uso de la bicicleta en la ciudad de Mexicali, B.C. para ser iniciado por medio de datos disponibles hasta el año 2015 y con esto realizar proyecciones correspondientes para la obtención de los resultados deseados del periodo 2015-2035.

### **2.1. Introducción a la modelación**

Uno de los objetivos del estudio de las ciencias es desarrollar estructuras conceptuales que permitan comprender los fenómenos que ocurren en la naturaleza para poder predecir los efectos que de ellos se deriven. De la experiencia científica, se deduce que para poder estudiar un fenómeno es necesaria su imitación o reproducción en una cantidad suficiente, a fin de que su investigación sea lo más precisa posible. Esta necesidad es lo que da origen a los modelos (Gutiérrez & Vladimirovna, 2014).

Un modelo es utilizado para representar los sistemas sociales. Todo el mundo instintivamente emplea modelos cuando toma decisiones. Al tomar una decisión se elige entre varias alternativas posibles, en función del efecto que vaya a producir cada una de las acciones. La relación que liga a las posibles acciones con sus efectos es el modelo del sistema (Aracil, 1983).

Toda toma de decisión implica una predicción que se hace con ayuda de un modelo. El acierto de una decisión depende, prescindiendo de factores aleatorios involucrados, de la bondad del modelo que se emplee para realizar la predicción.

En el proceso del desarrollo de un modelo se hallan envueltas tres fases principales:

1. **Conceptualización:**

Consiste en la obtención de una perspectiva incluyendo la revisión de la literatura al respecto para definir los aspectos del problema que se requiere resolver y describirlos en forma precisa para lograr un máximo de claridad y precisión sobre el tema y finalmente poder establecer los límites del sistema.

2. **Formulación del modelo:**

Trata de la representación de los elementos mediante el lenguaje formal preciso. Esto consiste en el establecimiento del diagrama de relaciones entre las

variables a partir del cual se escriben las ecuaciones del modelo, que pueden representarse en cualquier lenguaje que permita pasarlas por un computador. Después se procede a asignar valores a los parámetros que intervienen en el modelo. Esta fase concluye cuando se dispone de un modelo del sistema bajo estudio en forma de ecuaciones programadas.

### 3. Evaluación del modelo:

Una vez construido el modelo se procede a ensayar, por medio de convenientes simulaciones, la hipótesis sobre las que se han construido el modelo, así como la consistencia entre las mismas. Un punto importante a considerar es el análisis de sensibilidad del modelo en virtud del cual se estudia la dependencia de las conclusiones que se extraen del modelo con relación a posibles variaciones que sufran los valores de los parámetros que aparecen en el mismo. Una vez considerados satisfactorios los análisis, se procede a estudiar el comportamiento del modelo ante distintas políticas alternativas para poder elaborar recomendaciones respecto a la actuación futura (Aracil, 1983).

## 2.2. Emisiones

La contaminación ambiental se define como la presencia de sustancias, energía u organismos extraños en un ambiente determinado en cantidades, tiempos y condiciones tales que causen desequilibrio ecológico (Díaz, 2002).

En concreto, la contaminación del aire proviene de una mezcla de miles de fuentes de emisión que van desde chimeneas industriales y vehículos automotores hasta el uso de productos de limpieza y pinturas domésticos. Incluso la vida animal y vegetal puede desempeñar un papel importante en la contaminación del aire (INE, SEMARNAT, & Western Governor's Association, 2005).

Se entiende por emisión a las sustancias en cualquier estado físico liberada de forma directa o indirecta al aire, agua, suelo y subsuelo. Con el propósito de facilitar el estudio

de los parámetros para medir la contaminación del aire, estos contaminantes se han clasificado por su origen, por su composición química y por su agregación molecular.

- Por su origen:

Se clasifican en contaminantes primarios y secundarios: los contaminantes primarios son aquellos que son emitidos directamente de la fuente a la atmósfera y que se miden y encuentran en la forma que fueron emitidos, por ejemplo, los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) e hidrocarburos (HC); los contaminantes secundarios son los que forman en la atmósfera por reacciones fotoquímicas o por hidrólisis u oxidación, por ejemplo, el ozono ( $\text{O}_3$ ) y el peroxiacetil nitrato (PAN).

También son clasificados en antropogénicos, geogénicos y biogénicos, los antropogénicos son los generados por el hombre como la contaminación por gases industriales, los geogénicos son los que tienen su origen en fenómenos del subsuelo como los gases de los volcanes y los biogénicos son los que tienen su origen en organismos vivos como la materia fecal en polvo.

- Por su composición química:

Los contaminantes ya sean primarios o secundarios, por su composición química se clasifican en orgánicos e inorgánicos. Los contaminantes orgánicos son los que contienen elementos como el carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre, por ejemplo los hidrocarburos, aldehídos, cetonas, etc.

Los compuestos inorgánicos son los óxidos de carbono ( $\text{CO}_x$ ), los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y algunos compuestos que contienen halógenos como el fluoruro de hidrógeno y el cloruro de hidrógeno.

- Por su estado de agregación molecular:

Existen dos categorías en esta clasificación, partículas y gases. Las partículas pueden ser sólidas o líquidas como polvo, humo, nebrina y ceniza. Los contaminantes gaseosos son los que en condiciones normales de presión y

temperatura no son ni líquidos ni sólidos como los óxidos de nitrógeno, carbono y azufre, así como los hidrocarburos (Arellano & Guzmán, 2011).

### **2.3. Teoría del cambio climático**

El cambio climático (CC) se refiere a una elevación de la temperatura media de la superficie terrestre, debido a incrementos en las concentraciones atmosféricas de los GEI, estos gases absorben las radiaciones de onda larga y trastocan el balance de energía de la tierra, lo que a su vez modifica el sistema climático. Las concentraciones de estos gases han aumentado desde 1750, debido principalmente a actividades humanas relacionadas con la utilización de combustibles fósiles (Quintero et al., 2013).

La naturaleza está preparada para asumir la propia contaminación que genera, por lo tanto el problema es el aumento de contaminación de origen humano ya que no es asumido en su totalidad por los elementos estabilizadores de la propia naturaleza, que se desborda para equilibrar la contaminación que nosotros emitimos, por lo que deberemos de reducirla o el desequilibrio se volverá irreversible (González, 2010).

El CC es uno de los problemas ambientales globales más importantes de resolver en este siglo XXI. Actualmente no es solo un problema del medio ambiente, sino que ha superado esa barrera para convertirse en un problema económico, político, social, de equidad e incluso de seguridad estratégica nacional. Los ciudadanos urbanos más pobres son los más vulnerables a las consecuencias del cambio climático, como a las ondas de calor y las inundaciones (Quintero et al., 2013).

El cambio climático influye en otros procesos de índole ambiental, como (Gutiérrez Pérez & Gutiérrez Cánovas, 2009; SEMARNAT, 2012):

- Aumento de la temperatura media de la tierra.
- Retroceso de los glaciares.
- Incremento del nivel del mar.
- Aumento de los fenómenos meteorológicos extremos.
- Modificación de los ecosistemas.

- Consecuencias sociales y económicas.
- Migraciones humanas.
- Acidificación de los océanos.
- Aumento de la concentración de gases efecto invernadero en la atmósfera.
- Pérdida de biodiversidad.
- Cambio en la disponibilidad, calidad y cantidad suficiente de agua.
- Degradación de suelos y desertificación.
- Disminución de los servicios ambientales que proveen los ecosistemas.

El conjunto de estas transformaciones afecta a los sistemas de soporte de vida en el planeta, impacta el bienestar físico y económico de las personas y compromete, a todos los niveles, las perspectivas del desarrollo humano sustentable (SEMARNAT, 2012).

Específicamente hablando de México, se ha experimentado un calentamiento generalizado desde 1960; aunque también destacan un incremento en las temperaturas invernales en las últimas cuatro décadas. En este mismo tiempo, se han reducido las precipitaciones en el extremo sureste del país (SEMARNAT, 2012).

Con esto, está comprobado que las ciudades contribuyen al cambio climático siendo generadoras de tres tipos de emisiones dependiendo su procedencia (Tabla 2), el impacto que se genera hacia la tierra es diverso y complicado, pero todo se genera principalmente al tratar de cubrir las necesidades humanas, como son las actividades para producción y uso de electricidad, calefacción y refrigeración, industria y los sistemas de energía de combustible fósil (OECD, 2010).

Tabla 2. Contribución al cambio climático por tipo de fuente  
(OECD, 2010)

	Procedencia	Gases generados
Emisiones GEI directas	Emisiones generadas por la conversión de energía	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
		Metano (CH <sub>4</sub> )
		Óxido de nitrógeno (N <sub>2</sub> O)
	Emisiones procedentes de la descomposición en los vertederos de residuos sólidos urbanos	Metano (CH <sub>4</sub> )
	Emisiones generadas por la descomposición anaeróbica y nitrificación-desnitrificación de nitrógeno durante el tratamiento de aguas residuales	Metano (CH <sub>4</sub> )
		Óxido de nitrógeno (N <sub>2</sub> O)
	Emisiones por quema de basura	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
	Emisiones por refrigerantes, manufactura de semiconductores y aisladores	Fluorocarbono (HFC, PFC)
		Hexafluoruro de azufre (SF <sub>6</sub> )
Emisiones por cambio de suelo rural-urbano.	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	
	Óxido de nitrógeno (N <sub>2</sub> O)	
Emisiones GEI incorporadas	Se incluyen todas las emisiones GEI involucradas en la energía requerida para producir el concreto, acero, vidrio y otros materiales usados en construcción.	
	Emisiones provocadas por el transporte de comida consumida por la comunidad.	Metano (CH <sub>4</sub> )
		Óxido de nitrógeno (N <sub>2</sub> O)
	Emisiones por centrales eléctricas y refinerías que generan energía para el consumo urbano	Metano (CH <sub>4</sub> )
		Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
Óxido de nitrógeno (N <sub>2</sub> O)		
Cambios en la química atmosférica y el albedo de la superficie	Se incluyen todas las emisiones GEI que se encuentran directa e indirectamente involucradas en los cambios de la composición atmosférica y la reflectividad de la superficie	Ozono (O <sub>3</sub> ) Monóxido de carbono (CO)

### **2.3.1. Gases Efecto Invernadero**

El efecto invernadero se define como el fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera terrestre, retienen parte de la energía que la superficie por haber sido calentada por la radiación solar. Este fenómeno evita que la energía recibida constantemente vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN, n.d.).

El clima de la tierra depende de muchos factores, como la concentración atmosférica de aerosoles y GEI, la cantidad de energía proveniente del sol o de las propiedades de la superficie terrestre, cuando estos factores varían, ya sea a través de procesos naturales o humanos, producen un calentamiento o enfriamiento del planeta porque alteran la proporción de energía solar que se absorbe y se devuelve al espacio (González, 2010).

Los GEI, son producto del uso creciente del petróleo y carbón, lo cual provoca que los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera aumenten, rebasándose la capacidad de asimilación del CO<sub>2</sub> del planeta por medio de la fotosíntesis o por disolución en el océano (Jiménez Cisneros, 2002).

Los GEI que existen en el mundo pueden ser generados naturalmente, los cuales se mantienen en equilibrio gracias a los ciclos biogeoquímicos del agua, carbono, oxígeno, nitrógeno y azufre principalmente; o producidos por las actividades humanas (Tabla 3), provocando un desequilibrio con el aumento de la concentración de los GEI en la atmósfera conllevando a un calentamiento adicional causado por la acumulación, lo cual es probablemente la causa de la mayor parte del calentamiento global observado en los últimos 50 años. Estos gases una vez emitidos a la atmósfera permanecen desde décadas hasta siglos (Quintero et al., 2013).

Tabla 3. Principales GEI por su origen  
(Quintero et al., 2013)

<b>GEI en la naturaleza</b>	<b>GEI producidos por actividades humanas</b>
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Metano (CH <sub>4</sub> )
Metano (CH <sub>4</sub> )	Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)
Ozono (O <sub>3</sub> )	Perfluorometano (CF <sub>4</sub> )
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	Perfluoroetano (C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> )
	Hidrofluorocarbonos (HFC's)
	Hexafluoruro de azufre (SF <sub>6</sub> )

Se estima que las ciudades en su conjunto generan un 80% de los GEI, y consumen un 75% de energía. Estas concentraciones excesivas, evitan la regeneración del ambiente de manera natural, ya que superan la velocidad a la que los procesos naturales los pueden eliminar de la atmósfera (Quintero et al., 2013).

Las actividades humanas generadoras de diferentes servicios que el hombre utiliza para la fabricación de productos o generación de servicios básicos producen gases los cuales contribuyen a los diferentes problemas atmosféricos (Tabla 4).

Tabla 4. Principales GEI originados por actividades humanas y la procedencia de estos (Quintero, 2013)

GAS	ORIGEN
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtención, transporte, transformación y quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural y sus derivados).</li> <li>• Deforestación por la descomposición de la materia orgánica y de la quema de biomasa vegetal.</li> </ul>
Metano (CH <sub>4</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agricultura.</li> <li>• Ganadería.</li> <li>• Uso del gas natural.</li> <li>• Descomposición de residuos.</li> <li>• Transformación y distribución de combustibles fósiles.</li> <li>• Tratamiento biológico de aguas negras.</li> <li>• Emisiones naturales, principalmente en zonas húmedas.</li> </ul>
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acción microbiana en los procesos biológicos del suelo y el agua.</li> <li>• Origen industrial.               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Síntesis de ácido nítrico y adípico.</li> <li>○ Producción de fertilizantes y su uso en la agricultura.</li> <li>○ Estiércol animal.</li> <li>○ Tratamiento de aguas residuales.</li> <li>○ Incineración de residuos.</li> <li>○ Quema de combustibles en el sector transporte.</li> </ul> </li> </ul>
Perfluorocarbonos (PFC's)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de aluminio.</li> </ul>
Hidrofluorocarbonos (HFC's)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuentes móviles (transporte).</li> <li>• Gas refrigerante en equipos refrigeradores y de aire acondicionado.</li> <li>• Propelentes en artículos como espumas o latas de aerosol.</li> </ul>
Hexafluoruro de azufre (SF <sub>6</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desgasificación del aluminio.</li> <li>• Fusión del magnesio y las aleaciones.</li> <li>• Procesos de plasma en la industria electrónica.</li> <li>• Se emplea como dieléctrico en circuitos eléctricos.</li> <li>• Como solvente en algunas industrias.</li> </ul>

Después de todo esto, se debe aclarar que los GEI, no son el problema, no se debe hablar de ellos como si fuese la peste u otra pandemia atroz que se fuese a terminar con el mundo por sí sola, lo cierto es que gracias al efecto invernadero existe una vida que hoy en día conocemos en nuestro planeta puesto que si no fuese por él, las temperaturas serían mucho más extremas; el problema son las producciones excesivas de estos gases los que afectan los procesos naturales de asimilación (González, 2010).

### **2.3.2. Fuentes de los gases efecto invernadero**

En los diferentes continentes y sus ciudades se presentan problemas de contaminación, aunque claro está en diferente escala, esto se debe a factores culturales, clima, infraestructura, crecimiento poblacional, etc.

Como ya se ha mencionado, las emisiones pueden ser producidas principalmente por dos áreas, las naturales y las producidas por el hombre. Las naturales son causadas principalmente por erupciones volcánicas e incendios y las provocadas por el hombre son causadas principalmente por el sector transporte (barcos, automóviles, aviones) y el sector industrial.

En Baja California, según el estudio “Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California (PEACC-BC)” las emisiones son producidas por diversos sectores, de acuerdo a los principales sectores productores de emisiones en el estado de Baja California, son el sector energético con el 76% de las emisiones, seguido de los procesos industriales que aportan el 15%, agricultura con 6%, desechos el 2% y cambio de uso de suelo el 1%. Concentrándonos en el sector con más contribución, el energético, se divide a su vez en transporte con 59%, generación de electricidad con 29%, sector residencial con 6% y el restante está dividido en el uso de combustibles en el sector industrial, el agrícola y el comercial y servicios (Gobierno del Estado de Baja California, 2012).

Debido a que el transporte juega un papel central en el desarrollo económico y social de los países y por lo tanto, se prioriza la necesidad de alcanzar gestiones más rápidas

en las relaciones comerciales, principalmente en las grandes ciudades, lo que ocasiona que la motorización se vuelva un eje clave (Fondo Nacional del Ambiente-Peru FONAM, 2015).

Como lo mencionan Grabow et al., (2012), Sue Edwards y Magarey (2007), el principal problema en la contaminación causada por los vehículos, es el estado inicial donde los motores no han logrado el calentamiento de motor correcto provocando que el combustible se queme con menos eficiencia y genere una mayor cantidad de emisiones, es por ello que se están tratando de evitar viajes donde las distancias a recorrer sean cortas.

El sector transporte en Baja California es uno de los mayores productores emisiones, sin embargo, mundialmente, se estima que alrededor de 900 millones de vehículos (excluyendo vehículos en dos ruedas) son causantes de más del 26% de las emisiones GEI (Nesamani, 2010). De las cuales México representa aproximadamente el 1.7% de las emisiones globales de GEI (Juan Solís & Sheinbaum, 2013).

### **2.3.3. Parámetros para medición de gases efecto invernadero**

Existen diversos métodos de medición de niveles de los gases efecto invernadero y estos dependen de los procesos realizados, ya sea explotación, producción, transformación, distribución y consumo de energía.

Por ejemplo, el sector energético comprende la explotación de fuentes primarias de energía, producción y transformación de fuentes primarias en fuentes secundarias, distribución y consumo final energético. Estas actividades generan emisión GEI derivadas principalmente de la combustión así como emisiones fugitivas en procesos sin combustión.

En general las emisiones de gases efecto invernadero por la combustión de energéticos se calculan multiplicando el consumo de combustible por el factor de emisión correspondiente para cada combustible.

La cuantificación de emisiones se lleva a cabo para los principales gases efecto invernadero emitidos durante la combustión. En este proceso, el carbono se emite inmediatamente como CO<sub>2</sub>. Adicionalmente se emite carbono en formas como monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>), óxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O), y otros compuestos orgánicos volátiles (COV).

Con el fin de homologar el efecto invernadero de estos gases, las emisiones de gases no-CO<sub>2</sub> pueden expresarse en términos de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e).

En general las emisiones de CO<sub>2</sub> por combustión dependen del contenido de carbono del combustible considerado y son independientes de la tecnología de combustión empleada. En el caso de las emisiones de gases no-CO<sub>2</sub> son altamente dependientes de la tecnología de combustión empleada y del estado de mantenimiento de estas tecnologías, entre otros. En el caso de no tener información detallada de las tecnologías utilizadas se emplean factores de emisión de gases de efecto invernadero estándar (CONUEE & SENER, 2009).

#### **2.3.4. Afectaciones a la salud y al ambiente**

Las emisiones expulsadas por las diferentes fuentes de contaminación, pueden afectar de varias maneras, por ejemplo, perjudicando la salud de los seres humanos (Tabla 5), la fotosíntesis de las plantas por el daño de las hojas afectando adversamente el rendimiento de algunos cultivos, además de contribuir al efecto invernadero y al calentamiento global (Secara, Nan, Dandea, & Popescu, 2013; Sue Edwards & Magarey, 2007).

Estos contaminantes son capaces de producir diferentes efectos en la salud y dependen principalmente de dos factores: la magnitud de la exposición lo cual se refiere a la concentración del contaminante en la atmósfera, duración de la exposición y frecuencia y la vulnerabilidad de las personas expuestas (Vázquez, 2012).

Los seres vivos deben regular sus actividades de acuerdo con el mundo que los rodea, muchos animales, al ser móviles, pueden, en cierta medida cambiar sus circunstancias

(buscando comida, cortejando a una pareja o buscando e incluso construyendo un refugio en épocas de mal tiempo); una planta, en cambio, queda inmobilizada una vez que ha echado su primera raíz. Sin embargo, las plantas tienen la capacidad de responder y de adaptarse a una gran cantidad de cambios que se producen en su ambiente, pero esta capacidad se inhibe al momento de encontrarse en un ambiente contaminado en donde no obtiene lo necesario, lo cual se manifiesta principalmente en afectaciones en su crecimiento y el tamaño de sus frutos (H. Raven, F. Evert, & E. Eichhorn, 1992).

Tabla 5. Principales contaminantes ambientales: su origen y los efectos a la salud que provoca a la población expuesta (Gobierno del Estado de Baja California & SEMARNAT, 2011)

CONTAMINANTE		ORIGEN	POBLACIÓN EXPUESTA Y GRUPOS DE RIESGO	EFFECTO A LA SALUD
Ozono	O <sub>3</sub>	Autos, industria.	Síntomas generales o a largo plazo.	En algunos caso puede causar irritación en el sistema respiratorio, agravar problemas cardiacos, asfixia, bronquitis y enfisema, irritación de ojos, etc.
			Adultos y niños sanos.	Disminución de la función pulmonar.
				Incremento de la reactividad aérea.
				Inflamación pulmonar.
			Atletas, trabajadores al aire libre.	Incrementos de los síntomas respiratorios (efectos que se incrementan con el ejercicio). Incremento en el número de hospitalizaciones.
Asmáticos y personas con otras enfermedades respiratorias.	Disminución de la capacidad para realizar ejercicio.			
Monóxido de carbono	CO	Autos y fábricas.	Síntomas generales o a largo plazo.	Afecta el crecimiento del feto y compromete el desarrollo de los órganos y músculos en los niños. Sensación de asfixia, trastornos sensoriales y respiratorios.
			Adultos sanos.	Disminución de la capacidad para realizar ejercicio.
			Pacientes con enfermedad isquémica.	Disminución de la capacidad para realizar ejercicio (se incrementan los efectos con anemia o enfermedad pulmonar crónica). Angina de pecho.

Dióxido de Nitrógeno	NO <sub>2</sub>	Autos, fábricas, centrales energéticas.	Síntomas generales o a largo plazo.	Aumenta la posibilidad de contraer infecciones virales: irritación de los pulmones, bronquitis y neumonía.
			Adultos sanos.	Incremento de la reactividad aérea.
			Niños sanos.	Disminución de la función pulmonar. Incremento en el número de infecciones respiratorias (efectos encontrados en las casas con uso de fuentes de combustión).
Dióxido de Azufre	SO <sub>2</sub>	Autos, fábricas, calefacción.	Síntomas generales o a largo plazo.	Provoca tos y afecta pulmones, espasmos bronquiales, irritación.
			Adultos y pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica.	Incremento de síntomas respiratorios (gas altamente soluble con poca penetración aérea a distancia). Incremento de mortalidad y hospitalización por enfermedades respiratorias. Disminución de la función respiratoria (poca exposición).
Partículas suspendidas totales, Material particulado	PST, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub>	Autos, fábricas, compuestos orgánicos volátiles.	Síntomas generales o a largo plazo.	Irritación, alergia bronquial, cancerígeno.
			Niños.	Incremento de enfermedades respiratorias. Disminución de la función pulmonar (efectos vistos en combinación con SO <sub>2</sub> ).
			Efectos crónicos.	Exceso de mortalidad.
			Asmáticos.	Incremento de la exacerbación del asma.
Aerosoles ácidos		SOx + NOx óxidos de azufre + óxidos nítricos.	Adultos sanos.	Alteración mucosilar.
			Niños.	Incremento de enfermedades respiratorias (en combinación con ozono y partículas).
			Asmáticos y otros.	Disminución de la función pulmonar (incremento de hospitalizaciones).
Plomo	Pb	Autos y fábricas.	Síntomas generales o a largo plazo.	Diarrea, vómito, cólico, convulsiones y dolor de cabeza, afecta los sistemas circulatorio, reproductivo, nervioso y renal, causa hiperactividad en niños

				provocando bajo aprendizaje.
			Niños.	Desordenes en su comportamiento social y un desarrollo mental restringido con efectos neuroconductuales irreversibles.

## **2.4. La bicicleta como medio de transporte**

Debido a la forma tan desmedida del uso del automóvil en la ciudad, lo cual es ya una costumbre y una dependencia, ya sea por comodidad, rapidez u otros motivos, se puede llegar a pensar que el disminuir el uso del mismo sea imposible.

Una propuesta de mitigación ambientalmente amigable a los problemas de contaminación es el transporte no motorizado, ya que es una alternativa de movilidad sobre todo en viajes cortos que da prioridad a los peatones y ciclistas (Melero, Quintero, & Galindo, 2013).

Se calcula que aproximadamente el 50% de todos los viajes en coche son menores de 7.5 Kilómetros, que es lo suficientemente corto como para hacer el viaje en bicicleta una alternativa factible (Johan de Hartog et al., 2010).

Otra ventaja importante del uso de este tipo de sistemas, alternativas y complementos del transporte es que propicia una mejora en el ambiente debido al decremento de los GEI, los principales beneficiados, empezando con el propio usuario de la bicicleta en aspectos tales como economía, pero también en general en aspectos de salud, y que con una adecuada implementación vial la mejora sería también en la movilidad dentro de la ciudad (Melo & Chalkho, 2012). Todo esto debe ir bien relacionado con programas de implementación y concientización e instalaciones funcionales para lograr una confianza de la comunidad con el programa y así lograr la meta de reducción de los índices de contaminación en las ciudades.

Algunas ventajas del uso de la bicicleta son (Gobierno del Distrito Federal, n.d.; Gutiérrez Pérez & Gutiérrez Cánovas, 2009):

- Es barato.
- Es eficaz energéticamente.
- No produce emisiones de contaminantes.
- Es rápido.
- Es accesible.
- Se estaciona con facilidad.

- Actúa como eficaz complemento al transporte público.
- Contribuye a un desarrollo sustentable de las ciudades.
- Procura un nuevo estilo de vida en el que se promueve una cultura de ética, respeto, ecología y bienestar física y mental.
- Es saludable ya que:
  - Reduce en un 50% riesgos de infarto ya que aumenta el ritmo cardiaco, reduce la presión arterial y el nivel de colesterol.
  - Fortalece los músculos de la espalda previniendo hernias discales.
  - Protege articulaciones y cartílagos y previene la artritis.
  - El pedaleo activa las defensas, mejora el estado de ánimo y produce sensación de bienestar.
  - Mantiene en buena forma física y mental y previene la aparición de enfermedades.

Algunas ciudades como Paris (2007), Barcelona (2007), Alemania (2006), Copenhague (1995) y Distrito Federal (2010), han implementado sistemas usando bicicletas. Estos sistemas denominados “BikeShare” que consisten en facilitar al usuario de forma gratuita o a bajo coste una bicicleta para moverse por la ciudad y estimular los trayectos cortos, pudiendo devolverla en la estación más cercana a su destino final, las cuales se encuentran distribuidas en puntos estratégicos de la ciudad (Gobierno del Distrito Federal, n.d.). Estos sistemas iniciaron en las ciudades europeas ya que la bicicleta es utilizada como medio de transporte, más que como medio recreativo (Sandoval, 2012), aunque también se ha implementado en varias ciudades del mundo como se ha mencionado.

Existen diversos factores que se deben tomar en cuenta para la implementación y planeación de programas e infraestructura ciclista, aunque está comprobado que no son del todo determinantes para que un programa tenga éxito. A continuación se mencionan algunos de estos factores:

- Entorno natural
- Topografía y paisaje

- Las estaciones y el clima
- Tiempo
- Factores psicológicos y culturales
- Estructura urbana e infraestructura
- Factores socioeconómicos

Además de estos factores, el éxito de la bicicleta es atribuido a la implementación de políticas de transporte (Vázquez, 2012). Un ejemplo claro de los beneficios que ofrece la bicicleta en contra de la contaminación es que según un estudio de la Unión Europea, el uso habitual de la bicicleta puede reducir en más de 500 Kg las emisiones de CO<sub>2</sub>, por persona y año, a la vez que proporciona un ahorro de tiempo en trayectos urbanos de hasta el 60% (Gutiérrez Pérez & Gutiérrez Cánovas, 2009).

## **2.5. Adecuación vial para bicicletas**

Un estudio confirma que ciudades con una infraestructura adecuada de carriles y andadores para bicicletas tienen mayores niveles de usuarios aun cuando las condiciones como clima, topografía, factores socioeconómicos, seguridad y geografía entre otros no sean de todo favorables (Pucher & Buehler, 2011) .

### **2.5.1. Infraestructura vial para bicicletas**

La infraestructura es uno de los cuatro componentes necesarios para llevar adelante una política ciclo-inclusiva, los que requieren estar coordinados y ser trabajados como un sistema. Las mejoras al diseño de la infraestructura requieren respaldo normativo, responder y apoyar los acuerdos y decisiones operacionales orientadas al acceso y movilidad urbana de las personas, sin comprometer su seguridad ni la habitabilidad de las ciudades (Gobierno de Chile, 2015).

Las vialidades para tránsito de vehículos, ciclistas y peatones, se clasifican dependiendo su ancho de sección en diferentes tipos (Periódico Oficial del Estado de B.C., 2013):

- Primarias: Son las que tienen una sección mayor a treinta metros, por lo que cuentan con tres carriles de circulación, uno de estacionamiento en ambos sentidos y camellón central.
- Secundarias: Son las que tienen secciones en un rango de veintitrés a veintinueve metros, por lo que cuentan con dos carriles de circulación, uno de estacionamiento en ambos sentidos, con o sin camellón central.
- Colectoras: Son las que tienen secciones variables de dieciséis a veinte metros, por lo que cuentan con un carril de circulación y otro de estacionamiento en ambos sentidos, y que tienen importancia para una determinada zona.
- Locales: Son las que tienen una sección común de doce metros, y dan acceso directo a los predios.
- Carreteras: Son las vialidades ubicadas fuera de las zonas urbanas, que unen a dos o más poblaciones.

Esta infraestructura vial posee una jerarquía de uso, la cual enfatiza como principal a los peatones, seguidos de ciclistas, usuarios prestadores del servicio de transporte de pasajeros masivo (colectivo o individual), usuarios de transporte particular automotor y por último los usuarios y prestadores del servicio de transporte de carga.

La infraestructura que puede ser utilizada por los ciclistas, como podemos ver, ocupa una de las principales posiciones de preferencia, se clasifica en dos tipos, la de uso exclusivo y la compartida con otros vehículos (Periódico Oficial del Estado de B.C., 2013).

### **2.5.2. Vías de tránsito para ciclistas**

Por definición, un ciclista es un conductor de un vehículo de tracción humana a pedales. Como ya se mencionó, la infraestructura ciclista se cataloga en dos grupos (Treviño, Martínez, & Carreón, 2011):

- La exclusiva de ciclistas: Son carriles exclusivos los que están destinados únicamente a la circulación de bicicletas. Pueden estar separadas del resto de vehículos únicamente por marcas en el pavimento (ciclocarriles), o bien valiéndose de algún tipo de confinamiento físico que evita que los automóviles los invadan (ciclovías).
- La compartida con vehículos: Cuando se ubiquen en avenidas y calles, deben localizarse en el extremo derecho, ser unidireccionales e ir en el mismo sentido de circulación que todos los vehículos. Sólo cuando se ubican en camellones con escasas intersecciones, áreas verdes, derechos de vía, cauces o zonas federales puede ser correcto que sean bidireccionales.

Los ciclocarriles se ubican en general al extremo derecho de la calle. Al no tener confinamiento físico, suelen ser utilizados por otros vehículos legalmente para hacer maniobras de estacionamiento o para entrar o salir de una cochera o ilegalmente, es decir, para circular, pararse o estacionarse (Treviño et al., 2011).

Los carriles o vías preferentes para la circulación ciclista son aquellos carriles vehiculares donde se hace explícito, mediante señalización y marcas en el pavimento, la preferencia del ciclista a circular en ellos. Generalmente se trata de carriles más anchos de lo común, de manera que un automóvil o autobús y en cómoda posición secundaria una bicicleta pueda ser rebasada con mínimo una distancia de un metro de separación entre ambos y pueda circular uno al lado del otro en el mismo carril sin comprometer la seguridad de nadie (Treviño et al., 2011).

### 2.5.3. Ciclovías

El término ciclovía se puede definir como una vía o sección de una vía, exclusiva para la circulación ciclista físicamente confinada del tránsito automotor, el cual es un ciclocarril, que consiste en un carril ubicado en la extrema derecha (preferentemente) del área de circulación vehicular, para uso compartido entre ciclistas y vehículos de transporte público y otros vehículos (Periódico Oficial del Estado de B.C., 2013)

Existen tres tipos de esquemas de circulación para ciclistas, la compartida, la segregada y verde o independiente las cuales se explican a continuación (Gobierno de Chile, 2015):

#### 1. Compartida

Se relaciona con la vialidad, donde el espacio de circulación vehicular es de uso común para todos los modos de transporte, motorizados y físicamente activos (Figura 2). Deben ser aplicadas medidas de gestión e infraestructura para que la velocidad de circulación no supere los 30 Km/hr y los niveles de flujo vehicular motorizado sean inferiores a 2,000 veh/día.

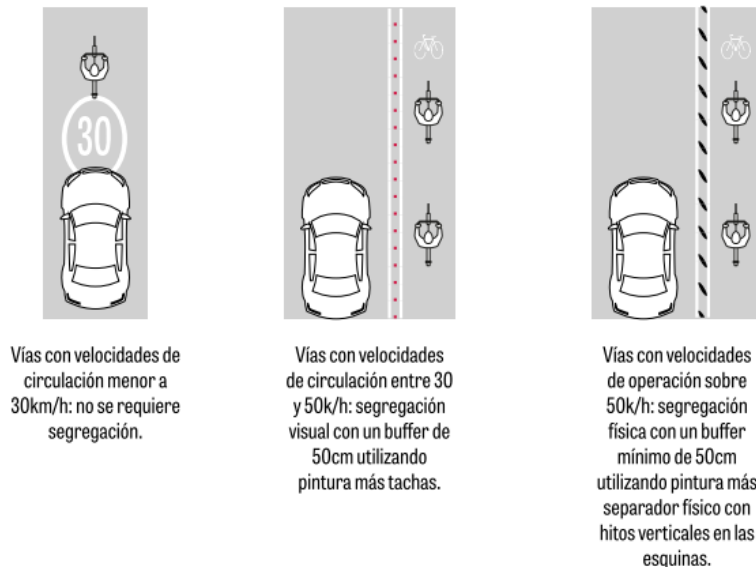


Figura 2. Diferentes esquemas de segregación del ciclista según velocidades de circulación para vías compartidas y ciclovías (Gobierno de Chile, 2015)

Si el cruce a nivel tiene semáforo y se permite la vuelta derecha, inmediatamente antes de la raya de alto de la ciclovía, su pavimento se debe pintar de verde reflejante, en una longitud de 4 m, para formar una “área de espera ciclista”, al centro de la cual conviene colocar una marca para identificar ciclovías (Treviño et al., 2011).

Para circulación ciclista en una vía compartida, la velocidad automovilista debe ser de 30 Km/hr (Figura 2) y garantizar la seguridad del usuario (IMIP, 2014).

## 2. Segregada o Ciclovía

Parte de la calzada destinada al uso exclusivo de bicicletas protege del tráfico motorizado y, al mismo tiempo, se entrega una vía despejada libre de congestión. Se debe segregar cuando las condiciones de velocidad y volumen de tráfico motorizado lo requieran (Figura 2).

Estas condiciones de velocidad se aplican a partir de los 30 Km/hr y/o cuando el flujo de vehículos motorizados está sobre 2000 veh/día. Para velocidades entre 31 y 50 Km/hr, se puede segregar únicamente con pintura. Con velocidades mayores a 50 Km/hr, se deben utilizar segregadores físicos. En ambos casos la separación será de 50 cm mínimo (Gobierno de Chile, 2015).

El ancho de los carriles de circulación debe permitir hacer maniobras, la sensación de seguridad se relaciona directamente con la velocidad del ciclista y otros vehículos. En el espacio individual de circulación se deben tomar en cuenta los movimientos laterales para pedalear, posibles obstáculos de follaje o guarniciones inferiores o mayores a 5 cm. la relación con los objetos fijos (señalización, luminarias, postes, etc.) y la relación respecto a bardas. Para circulación de un ciclista se requiere de un espacio de 1.50 m. con una velocidad de hasta 48 Km/hr y 2.00 m. para velocidades de hasta 64 Km/hr (IMIP, 2014).

La implementación de ciclovías en la calzada, como simples fajas segregadas para separar modos, son rápidas de realizar, son baratas, son cómodas, directas y

coherentes. Si se resuelven bien sus cruces, son más seguras, debido a que los movimientos de los ciclistas son más predecibles y visibles.

Se recomienda su emplazamiento al costado derecho del sentido de la vía y operando de modo unidireccional debido a que, naturalmente, la bicicleta se integra en los acuerdos básicos del tránsito, generando menos conflictos en los cruces, en las maniobras de viraje y en las conexiones con otras rutas, de no ser así, es decir, sean bidireccionales, se deben resolver los siguientes aspectos: la visibilidad apropiada a las brechas de paso y/o al contraflujo, los giros de bicicletas, los giros de otros vehículos y la transición desde el esquema de circulación sin segregación a la infraestructura segregada que se proyecte (Treviño et al., 2011).

### 3. Verde o independiente

Vía cuyo trazado sirve exclusivamente a las necesidades de usuarios de la bicicleta o caminata. No contempla la circulación de vehículos motorizados. Son vías que siguen corredores verdes, parques lineales, riberas de ríos, lagos, bordes marítimos y/o brindan conexión interurbana o rural. Sus bordes tienen nulo o bajo nivel de actividad, a diferencia del centro de la ciudad. Presentan una cantidad reducida de cruces en su trazado.

La conexión de una vía verde o separada debe cumplir con ser (Treviño et al., 2011):

- Conexa. Establecer conexiones formales entre los distintos esquemas de circulación.
- Coherente. Establecer conexiones reconocibles por el usuario, fáciles de entender por todos los actores.
- Directa. Establecer radios de giro para viraje a una velocidad adecuada; minimizar la probabilidad de detención para el ciclista; evitar recovecos o vueltas innecesarias. En caso contrario, los usuarios optarán por conexiones informales. De ser necesario, debido a un alto contraste de velocidades (por ejemplo al cruzar una vía expresa), se debe preferir cruces a distintos niveles.

- Segura. Minimizar las diferencias de velocidad; disminuir los puntos de encuentro con vehículos motorizados que cruzan y/o van en dirección contraria. De ser necesario, por la complejidad del cruce, se debe implementar fases especiales de semáforo para la conexión ciclista.
- Cómoda. Mantener la superficie lisa y en buenas condiciones, eliminando obstáculos en la vía que demanden atención excesiva al usuario, que disminuyan su atención a otros vehículos.
- Atractiva. Debe existir buena iluminación, con un entorno visible y espacio público en buen estado.

Los diferentes esquemas de segregación se establecen en primera instancia acorde a la velocidad de operación, considerando que a mayor velocidad, mayor nivel de separación, ver Figura 2 y Figura 3 (Gobierno de Chile, 2015).

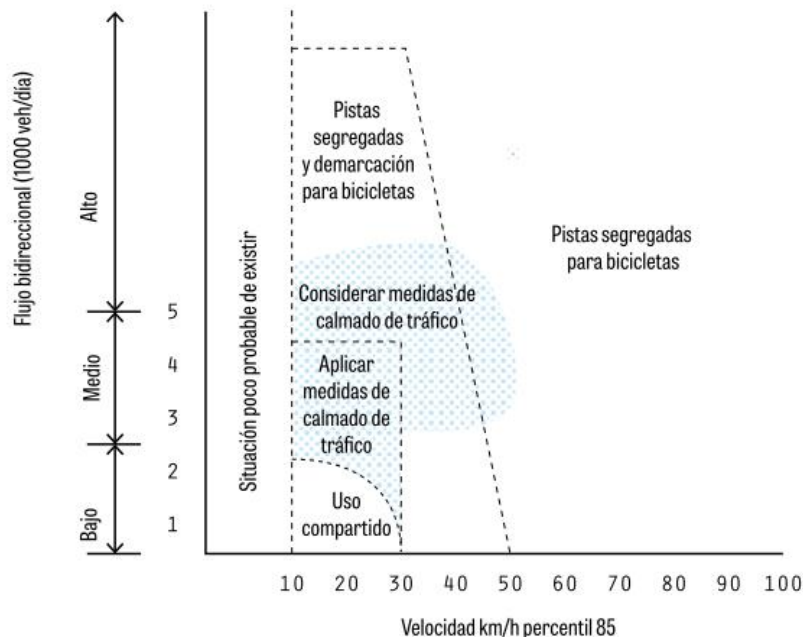


Figura 3. Esquema referencial para aplicación de segregación según volumen de vehículos motorizados y velocidad (Gobierno de Chile, 2015)

Para la proyección de cualquier esquema de circulación ciclista es necesario considerar aspectos para brindar al usuario seguridad, confianza y permitir un desplazamiento fluido del usuario en cualquier horario al momento de transitar en ellos y así se logrará el apoyo a la decisión de usar la bicicleta para los actuales y potenciales usuarios.

Para toda intersección ciclo-inclusiva se deben tomar en cuenta los siguientes requisitos: ser lo más rectas posible y a nivel de calzada, para las antiguas ciclovías en acera se debe bajar el cruce a nivel de calzada, separar flujos peatonales y ciclistas (evitar zonas mixtas de circulación) y el cruce debe contar con pintura de color azul o verde, sin intervenir el cruce peatonal (Treviño et al., 2011).

En cuanto a diseño de deben tomar aspectos como lo es la geometría, los emplazamientos y secciones, las intersecciones, la señalización y demarcación, los sistemas de monitoreo o contadores de flujos, la iluminación y los biciestacionamientos (Gobierno de Chile, 2015).

---

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

---

A lo largo de este estudio se obtuvo información propia por medio de aforos manuales ciclistas y en dependencias públicas para obtener los datos requeridos para ingresar en el modelo y obtener resultados y así poder llegar a la conclusión final, las cuales se mencionan a continuación:

### 3.1. Área de estudio

Mexicali, capital del estado de Baja California, es una ciudad joven fundada el 14 de marzo de 1903, cuyo origen estuvo en el desarrollo de la agricultura, técnica y comercialmente avanzada para su momento. Posee una extensión territorial de 13,700 Km<sup>2</sup>, el cual equivale a un 19.5% del total del territorio estatal el cual es de 70,113 Km<sup>2</sup>. La capital colinda con los municipios de Ensenada y Tecate (Figura 4).

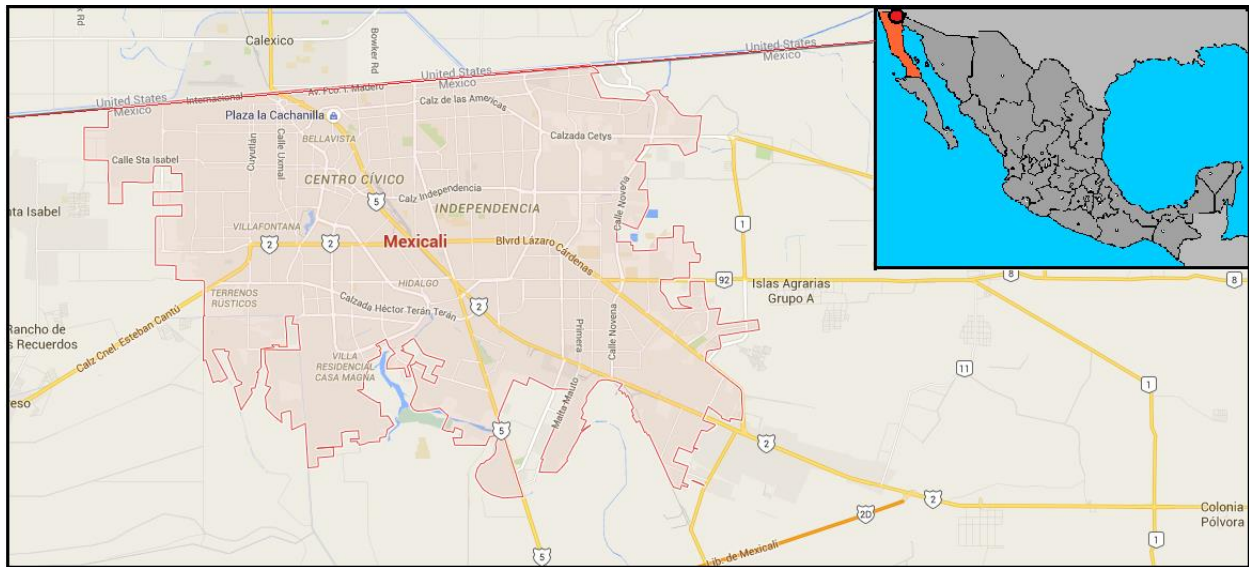


Figura 4. Mapa de localización y principales vialidades en la ciudad de Mexicali, B.C (Obtenido de Google Maps y <http://www.luventicus.org/mapasmx/mexico/bajacalifornia.html>)

Cuenta con una población urbana aproximadamente de 790,479 habitantes para el año 2015 (CONAPO, n.d.) (CONAPO, n.d.), un clima con temperaturas superiores a 41°C en verano y temperaturas medias de 11°C a 14°C en invierno. Aunque se han llegado a registrar temperaturas máximas extremas de hasta 54.3°C en verano y mínimas de -7.0°C en invierno (Gobierno del Estado de Baja California & SEMARNAT, 2011), con lluvias muy escasas, las menores en todo el país con un promedio de 50 mm de precipitación total anual (INEGI, n.d.).

Siendo la capital del estado, se encuentra en la escala nacional como uno de los centros urbanos con mayor índice de vehículos por habitante (Melero et al., 2013) con un total de 514,652 vehículos en operación (2015), un índice de motorización de 0.601 veh./hab. y una longitud promedio de viaje de 6.967 Km (Galindo et al., 2013).

Esta gran cantidad de vehículos que circulan por la ciudad representan un gran problema en cuanto a contaminación se refiere, aunado a la situación que se tiene como frontera, ya que se tiene mayor acceso a los vehículos provenientes de Estados Unidos de América que no son regularizados y comúnmente son modelos anteriores a 10 años. Este problema es generalizado en las zonas urbanizadas, ya que estas representan más del 50% del total de la población mundial (Banister, 2011; Monteiro Machado, Nascimento Costa, & de Rezende Barros, 2013).

La ciudad posee una cobertura de pavimentación de 2,608 Km, lo cual corresponde a un 73.3% del total de vialidades de la ciudad, las cuales suman un total de 3,530 Km (IMIP, 2014).

Es importante mencionar que actualmente en la Ciudad de Mexicali, B.C. aunque no cuenta con sistemas de renta de bicicletas, posee 9 Km de ciclovías, las cuales se adecuaron en el año 2014 (dato obtenido de la nota “Ciclovía en Mexicali como alternativa de transporte no motorizado” en el periódico local “LA VOZ” el día 9 de Octubre del año 2014) y se estiman para un futuro adecuaciones por 270 Km más distribuidas por toda la ciudad (IMIP).

### 3.2. Aforos

Con el fin de conseguir la recopilación de información concerniente a los usuarios ciclistas, se procedió a la realización de aforos ciclistas, es decir, conteo de bicicletas en circulación, para lo cual se realizó la elección de puntos de aforo en diferentes vialidades de la ciudad (Tabla 6), el criterio de selección se basó en la distribución de la red vial de la ciudad para poder tener una mayor cobertura y credibilidad de los datos obtenidos así como en lugares en donde ya existen rutas ciclistas para observar el auge que representan en estos momentos. En total se eligieron 17 puntos de aforo (mapa se muestra en ANEXO 1), los cuales se mencionan a continuación:

Tabla 6. Puntos de aforo ciclista en la ciudad de Mexicali, B.C

Punto de aforo	Ubicación
1	Blvd. Justo Sierra y Calz. Cuauhtémoc
2	Calle Río Culiacán y Av. República de Panamá
3	Blvd. Benito Juárez entre Calle López Rayón y Calle de la Normal (frente a Vicerrectoría UABC)
4	Calzada Independencia y Calle Río Mocorito
5	Calle Río Quelite y Calle Víctor Rosales
6	Blvd. Lázaro Cárdenas y Calle Suecia y/o Bordo Wisteria (Frente a mercado Ley)
7	Blvd. Lázaro Cárdenas y casi esquina con calle Niños Héroes (Frente a Escuela Secundaria Estatal 56)
8	Calz. Anáhuac y Calz. Héctor Terán Terán (Frente a Comandancia de Policía)
9	Av. Montes de León y Calz. De Los Monarcas
10	Calz. Independencia y Calz. De los Presidentes
11	Calle H. Colegio Militar esquina con Calle Ing. Luis Alcerrega (Frente a Ley)
12	Av. Álvaro Obregón y Calle Pedro F. Pérez y Ramírez
13	Blvd. Lázaro Cárdenas y Blvd. Venustiano Carranza
14	Calz. Manuel Gómez Morín y Calle Río Santacruz
15	San Luis Río Colorado y Calle Cuarta
16	Calle Río Bravo y Calle Octava
17	Calle Novena (Frente a CESP)

En cuanto a los aforos manuales (formato de aforo en ANEXO 2), se diseñó un formato para recabar información referente al sentido de circulación del ciclista, horario, día,

genero, edad, ocupación y si contaba con la portación de elementos de seguridad, como lo son casco, luces y chaleco reflejante.

De esto resulta importante recalcar que los aforos se realizaron de forma manual en cada punto 2 veces en diferentes días de la semana (lunes a viernes), en diferentes horarios (mañana de 6:00 AM - 12:00 PM, tarde de 12:00 PM - 5:00 PM o noche de 5:00 PM - 10:00 PM), cubriendo horarios matutino, vespertino o nocturno durante un total de 15 minutos cada uno de ellos.

Teniendo estos parámetros ya establecidos se prosiguió con la realización de los aforos en los puntos correspondientes y en los horarios y días fijados (mayormente dependiendo de la disponibilidad de horario y recursos de las personas que realizaban los aforos). Es importante resaltar que la variable de edad registrada fue por apreciación visual de la persona que realizaba el aforo en ese momento.

Ya contando con la información total anotada en los 36 formatos de aforo realizados en los 17 puntos aforados, se comenzó con el procesamiento de la información.

Para la obtención del flujo diario de bicicletas, se recurrió a la base de datos utilizada en el estudio "Flujos de tránsito vehicular en puntos representativos de la ciudad de Mexicali, B.C." realizado en el Instituto de Ingeniería de la UABC con la dirección del Dr. Moisés Galindo en el año 2002, el cual consiste en la clasificación de los puntos dependiendo de la dirección del flujo en 8 tipos de distribución (ANEXO 3), los cuales se mencionan a continuación:

1. Tipo 1: Tránsito en el centro geográfico.
2. Tipo 2: Tránsito en el centro histórico, porción del norte central de la ciudad.
3. Tipo 3: Tránsito hacia el norte central de la ciudad, de parte central a centro histórico.
4. Tipo 4: Tránsito desde el norte central de la ciudad, de centro histórico a la parte central.
5. Tipo 5: Tránsito hacia la periferia.
6. Tipo 6: Tránsito desde la periferia.

7. Tipo 7: Tránsito transversal a la periferia.
8. Tipo 8: Tránsito en dirección a centro histórico, a parte central de la ciudad o viceversa.

Teniendo estas observaciones y utilizando el modelo que se mencionó, donde se asume que el comportamiento de flujo ciclista corresponde igualmente a los flujos vehiculares dependiendo de horarios y días de la semana, se ingresaron en este modelo los resultados obtenidos en los aforos ciclistas realizados obteniendo el flujo ciclista diario (ANEXO 4).

Concerniente a los principales datos utilizados para la realización del modelo base, (Escenario 0), en el cual no se toman en cuenta modificaciones a las condiciones actuales, se tomaron de 4 diferentes fuentes de información, las cuales son:

1. Plan Maestro de Vialidad y Transporte (PMVT), 2011.
2. Programa Estatal de Acción Ante El Cambio Climático de Baja California (PEACC-CONACYT), 2012, del cual nos basamos principalmente para la decisión de variables y estructura.
3. Tesis de Maestría, “Modelo para minimizar emisiones producto del transporte de personal de la industria maquiladora de Mexicali”, 2013.
4. Red de Movilidad en bicicleta de Mexicali (IMIP), 2014.

A continuación se explican brevemente las variables en las que se utilizó información de las fuentes antes mencionadas y también se complementa esta información en el apartado “3.4.2 Variables para modelación”.

Población (P), se tomó como dato base la población de la zona urbana de Mexicali del año 2015 que consta de 839,151 habitantes, hasta el año 2035 con una población de 1,244,809 habitantes (siendo estos datos una proyección de datos pasados) (Gobierno del Estado de Baja California, 2012).

Factores de viajes (FV), se tomaron en cuenta los diferentes medios de transporte, para los datos del automóvil, tomando en cuenta el factor de crecimiento del año 2015 con 3,479 y en 2035 con 3,244 viajes persona por año; el transporte público (Gobierno del Estado de Baja California, 2012), se tomó como constante durante el periodo con 105 viajes/persona por año (IMIP, SEDESOL, USTRAN, & LOGIT, 2011); y por último, el transporte en bicicleta y a pie se tomaron constantes conforme al dato actual (2015) con un valor de 177 y 261 viajes/persona por año respectivamente durante el periodo 2015-2035 (IMIP, 2014).

Conforme a los factores en medio de transporte, solamente se dividió el total de viajes por persona por año de cada medio de transporte entre el total de viajes correspondientes a cada año, obteniendo el factor con unidad porcentual, lo cual es simplemente la cantidad de viajes que corresponde a cada medio conforme al total.

Factores de ocupación, se tomó en cuenta la cantidad de pasajeros a bordo en la unidad correspondiente ya sea automóvil o transporte público, como el auto y el transporte público tomando en cuenta los dos transportes en conjunto, por lo cual se separó tomando en cuenta la proporción de total de viajes en cada uno (3,479 contra 105 respectivamente), dando los como resultado 1.426 personas/auto en automóvil y 6.232 personas/unidad en transporte público para el año 2015 y 1.356 y 5.928 personas/auto o unidad respectivamente para el año 2035; en cuanto al factor de ocupación en bicicleta se obtuvo mediante los aforos realizados y tomado como constante para el periodo del año 2015 al 2035 con 1.01 personas/bicicleta (Gobierno del Estado de Baja California, 2012).

Para los factores de longitud de viaje solamente se tomaron en cuenta las unidades que producen emisiones, es decir, los datos pertenecientes al auto con valores de 7.05 Km para 2015 y 7.63 Km para 2035 (Gobierno del Estado de Baja California, 2012); para el transporte público, se tomaron los datos de taxi y autobús, se sumó y obtuvo promedio el cual fue el que se utilizó y realizando un pronóstico para los años faltantes 2034 y 2035, resulto de 7.51 Km para el año 2015 y 8.12 Km para el año 2035. El mismo procedimiento se aplicó para los factores de rendimiento, en este caso el

automóvil con valores de 6.50 Km/lt para el año 2015 y 7.63 Km/lt para el año 2035 y para el transporte público 7.51 Km/lt para el año 2015 y 8.12 Km/lt para el año 2035 (Gobierno del Estado de Baja California, 2012; Ibañez & Galindo, 2014).

Y por último, el factor de emisiones el cual es la sumatoria de los gases CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> representadas en toneladas por litro; en factor de auto se tiene 0.0024 ton/lt para el año 2015 y 0.002 ton/lt para el año 2035; el transporte público se conforma de taxi y camión, en lo que se tomó en cuenta el doble de factor en camión y el valor para taxi sencillo, la suma de los valores dividido entre 3, nos dio el valor del transporte público, dando datos de 0.0032 para el año 2015 ton/lt y 0.0026 ton/lt para el año 2035 (Gobierno del Estado de Baja California, 2012; Ibañez & Galindo, 2014).

### **3.3. Resultados preliminares**

De los 36 aforos realizados, se obtuvieron resultados preliminares o extras, los cuales no se utilizaron directamente en la realización del modelo pero igualmente se incluyen como resultados generales.

Se observaron 210 ocupantes en 207 bicicletas, dando un índice de ocupación de 1.01 ocupantes/bicicleta, se observó una mayor cantidad de usuarios de sexo masculino en el uso de la bicicleta, ya que de estos 210 ocupantes, 202 correspondían a hombres (96.2%) de una edad entre los 30-39 años y solo 8 mujeres (3.8%) de una edad igualmente entre 30-39 años.

En cuanto a medidas y aditamentos de seguridad, se obtuvo que solo el 4.8% utilizaban casco, el 1.4% utilizaban luces, el 6.2% utilizaban chaleco y el 17.6% circulaban en sentido contrario.

Todo esto nos dio una idea de cómo se encuentra la situación actual de la ciudad, en lo que respecta al uso de la bicicleta como medio de transporte, dejando mucho que desear y confirmando que hace falta una mayor cultura ciclista en cuanto al transporte y a la seguridad.

De las vialidades aforadas, se pudo notar que las que cuentan con más flujo ciclista son las que se encuentran en las periferias de la ciudad y en el horario de la tarde-noche, estos puntos resultaron ser los número 6, 8, 10, 13, 14, 15 y 17 (Véase Tabla 6). Por lo que se puede asumir que el uso de la bicicleta está relacionado con el nivel socioeconómico de la persona que la utiliza ya que estas ubicaciones se encuentran en colonias de interés social.

En cuanto al punto de aforo No.10 ubicado en el cruce de Calzada Independencia y Calzada de los Presidentes que ya cuenta con un sistema de ciclovía se vio una mayor afluencia por la Calzada Independencia en sentido oeste-este por la tarde, que es cuando las personas regresan de sus trabajos y optan por elegir esa vía, y por la Calzada de los Presidentes, que es donde ya se cuenta con un avance mínimo en adaptación para ciclistas, realmente no se vio mucha afluencia ciclista en ninguno de los sentidos.

Por último los puntos que contaron con menos flujo o nulo, son zonas comerciales con un nivel económico mayor a los de la periferia y con un uso de suelo más comercial que laboral, por lo que probablemente esa sea la razón por la que no se da la afluencia esperada.

#### **3.4. Modelo de reducción de emisiones a través de la adecuación vial para el transporte en bicicleta en la ciudad de Mexicali, B.C.**

El modelo cuenta con diferentes variables las cuales nos permiten evaluar diferentes escenarios y poder realizar los cálculos para la intención perseguida a lo largo del estudio la cual trata calcular el total de emisiones y así conocer la reducción generada por el uso de la bicicleta en la ciudad.

### 3.4.1. Esquema de funcionamiento

Se realizó el modelo referente a la estimación de emisiones en la ciudad por medio de los diferentes factores y variables involucradas en las acciones de reducción de contaminantes propuestas en los escenarios como la adecuación vial para el transporte en bicicleta (Figura 5).

### 3.4.2. Variables para modelación

A continuación se realiza un listado de las variables utilizadas en el modelo y se hace referencia a la manera de obtención de la información así como los cálculos realizados en cada una de ellas.

Cabe aclarar que cada una de las variables se encuentra constituida por la recolección de datos individuales iniciando en el año 2015 y finalizando en el año 2035.

**Población (P):** Indica el total de la población en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos del estudio PEACC-CONACYT (2012) basados en INEGI, los cuales son una interpolación de los datos de la población del año 1980 al 2012. Unidades: Habitantes.

**Factor de Viajes (FV):** Indica la relación de viajes por persona realizados en la ciudad de Mexicali, B.C.. Es la sumatoria de todos los viajes en los diferentes tipos de transporte. Unidades: Viajes/persona por año.

Este está integrado por los siguientes factores:

- **Viajes en Auto:** Se refiere a la relación de viajes realizados anualmente en auto por persona en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos del estudio PEACC-CONACYT (2012). Unidades: Viajes/persona por año.
- **Viajes en Transporte Público:** Relación de viajes realizados al año en transporte público por persona en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos del estudio Plan Maestro de Vialidad y Transporte (PMVT, 2011). Unidades: Viajes/persona por año.

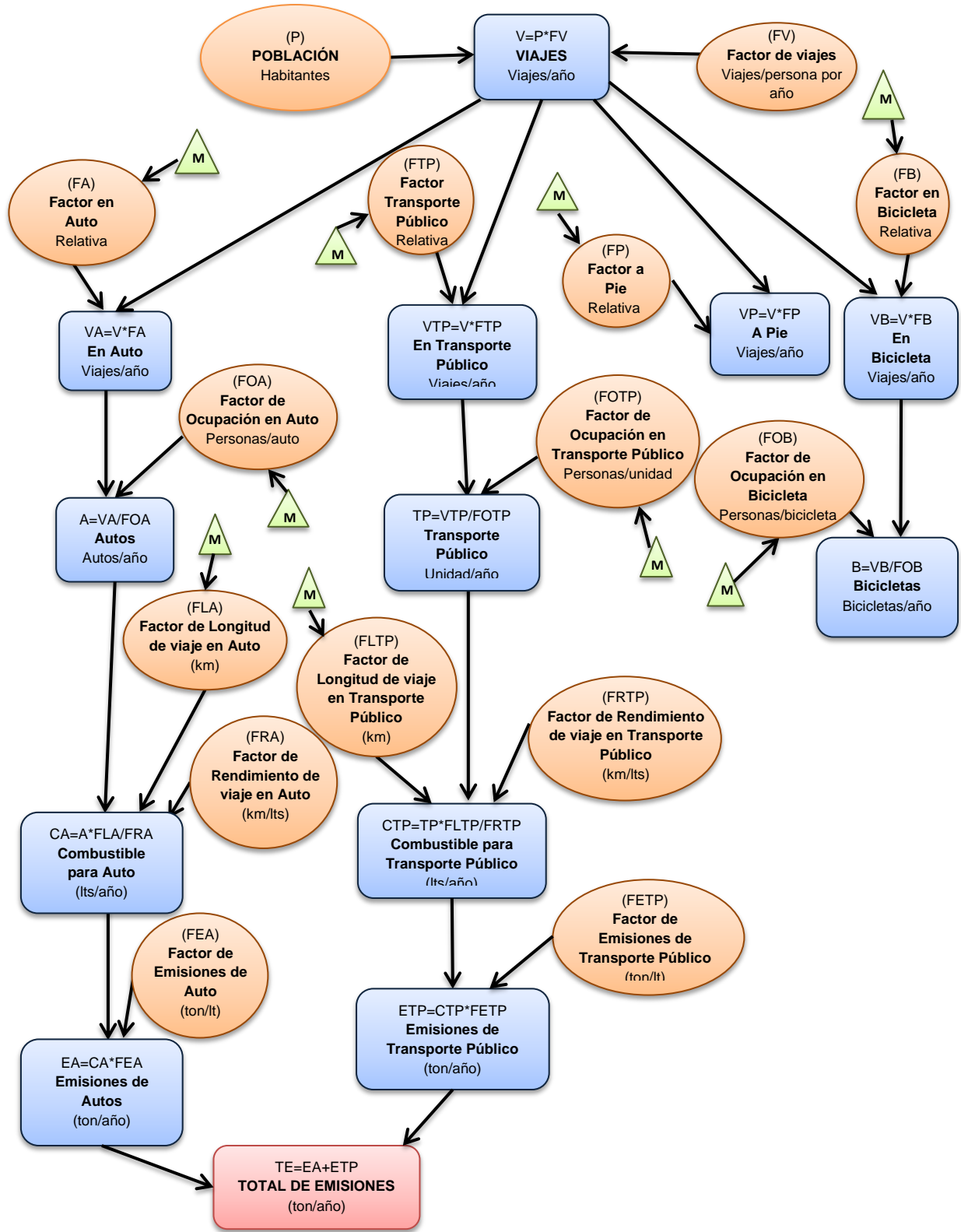


Figura 5. Esquema del modelo de reducción de emisiones dañinas al ambiente provocadas por acciones de mitigación para el uso de la bicicleta

- **Viajes a Pie:** Relación de viajes realizados a pie por persona cada año en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos del estudio de Red de Movilidad en Bicicleta de Mexicali (IMIP, 2014). Unidades: Viajes/persona por año.
- **Viajes en Bicicleta:** Relación de viajes realizados anualmente en bicicleta por persona en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos del estudio de Red de Movilidad en Bicicleta de Mexicali (IMIP, 2014). Unidades: Viajes/persona por año.

**Viajes (V):** Total de viajes que se realizan en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos de la multiplicación del Factor de Viajes (FV) por la Población (P). Unidades: viajes/año.

**Factor de Auto (FA):** Relación de viajes realizados en auto por persona en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos del estudio de PEACC-CONACYT (2012). Unidades: Relativas (%).

**Factor de Transporte Público (FTP):** Relación de viajes realizados en transporte público por persona en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos del estudio Plan Maestro de Vialidad y Transporte (PMVT, 2011). Unidades: Relativas (%).

**Factor a Pie (FP):** Relación de viajes realizados a pie por persona en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos del estudio de Red de Movilidad en Bicicleta de Mexicali (IMIP, 2014). Unidades: Relativas (%).

**Factor Bicicleta (FB):** Relación de viajes realizados en bicicleta por persona en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos del estudio de Red de Movilidad en Bicicleta de Mexicali (IMIP, 2014). Unidades: Relativas (%).

**Viajes en Auto (VA):** Total de viajes realizados en auto por la población en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos por la multiplicación de los Factores de Viajes en auto (FA) por el total de Viajes (V) realizados. Unidades: viajes/año.

**Viajes en Transporte Público (VTP):** Total de viajes realizados en transporte público por la población en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos por la multiplicación de los Factores de Viajes en Transporte Público (FTP) por el total de Viajes (V) realizados. Unidades: viajes/año.

**Viajes a Pie (VP):** Total de viajes realizados a pie por la población en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos por la multiplicación de los Factores de Viajes a Pie (FP) por el total de Viajes (V) realizados. Unidades: viajes/año.

**Viajes en Bicicleta (VB):** Total de viajes realizados en bicicleta por la población en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos por la multiplicación de los Factores de Viajes en Bicicleta (FB) por el total de Viajes (V) realizados. Unidades: viajes/año.

**Factor de Ocupación en Auto (FOA):** Relación de ocupantes por auto en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos del estudio PEACC-CONACYT (2012) mediante una interpolación. Unidades: personas/auto.

**Factor de Ocupación en Transporte Público (FOTP):** Relación de personas en transporte público en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos del estudio PEACC-CONACYT (2012) mediante una interpolación y una proporción entre viajes en transporte público contra viajes en auto. Unidades: personas/unidad.

**Factor de Ocupación en Bicicleta (FOB):** Relación de personas en bicicleta en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos de los aforos manuales realizados. Unidades: personas/unidad.

**Autos (A):** Total de viajes que se realizan en auto en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos de la relación entre el Total de Viajes por persona por año en Auto (VA) y el Factor de Ocupación de Autos (FOA). Unidades: Autos/ año.

**Transporte Público (TP):** Total de viajes que se realizan en transporte público en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos de la relación entre el Total de Viajes por persona por año en Transporte Público (VTP) y el Factor de Ocupación de Transporte Publico (FOTP). Unidades: Unidad/ año.

**Bicicletas (B):** Total de viajes que se realizan en bicicleta en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos de la relación entre el Total de Viajes por persona por año en bicicleta (VB) y el Factor de Ocupación en Bicicleta (FOB). Unidades: Bicycletas/ año.

**Factor de Longitud de Viaje en Auto (FLA):** Longitud promedio de viajes en auto en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos del estudio realizado por PEACC-CONACYT (2012). Unidades: Km.

**Factor de Longitud de viaje en Transporte Público (FLTP):** Longitud promedio de viajes en transporte público en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos de la Tesis de Maestría, "Modelo para minimizar emisiones producto del transporte de personal de la industria maquiladora de Mexicali" (2013) y mediante un pronóstico de los años faltantes 2034 y 2035. Unidades: Km.

**Factor de Rendimiento de viaje en auto (FRA):** Consumo de combustible en autos en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos del estudio realizado por el PEACC-CONACYT (2012). Unidades: Km/lts.

**Factor de Rendimiento de viaje en Transporte Público (FRTP):** Consumo de combustible en transporte público o en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos de la Tesis de Maestría, “Modelo para minimizar emisiones producto del transporte de personal de la industria maquiladora de Mexicali” (2013), pronosticando los años faltantes 2034 y 2035. Unidades: km/lts.

**Combustible para auto (CA):** Combustible consumido en el uso del auto en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenido mediante la multiplicación del total Autos (A) por los Factores de Longitud de Viaje en Auto (FLA). Unidades: Lts.

**Combustible para Transporte Público (CTP):** Combustible consumido en el uso del transporte público en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenido mediante la multiplicación del total de unidades de Transporte Público (TP) por los Factores de Longitud de Viaje en Transporte Público (FLTP). Unidades: Lts.

**Factor de Emisiones en Auto (FEA):** Emisiones generadas por autos en la ciudad de Mexicali, B.C. con un pronóstico de los años faltantes 2034 y 2035. Unidades: ton/lts.

**Factor de Emisiones de Transporte Público (FETP):** Emisiones generadas por el transporte público en la ciudad de Mexicali, B.C. con un pronóstico de los años 2034 y 2035. Unidades: ton/lts.

**Emisiones de Auto (EA):** Emisiones producidas por el uso del auto en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos mediante la multiplicación del total de Combustibles para Auto (CA) por el Factor de Emisiones para Auto (FEA). Unidades: ton/año.

**Emisiones de Transporte Público (ETP):** Emisiones producidas por el uso del transporte público en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos mediante la multiplicación del total de Combustibles para Transporte público (CTP) por el Factor de Emisiones para Transporte Público (FETP). Unidades: ton/año.

**Total de Emisiones (TE):** Total de emisiones producidas en la ciudad de Mexicali, B.C. obtenidos de la suma del total de Emisiones de Auto (EA) y las Emisiones de Transporte público (ETP). Unidades: ton/año.

### **3.4.3. Elaboración de escenarios**

A continuación se presenta más a detalle en que consiste cada uno de los escenarios con los que se trabajaran en el modelo además del método de obtención de información o fuente que se utilizara para la conformación del mismo.

#### **Escenario 0. Situación actual**

Escenario base o tendencial elaborado con las condiciones actuales sin modificación alguna, suponiendo que no se tomarán acciones dentro del periodo determinado del año 2015 al 2035.

A partir de éste se realizaran los comparativos en los siguientes escenarios que ya contarán con propuestas de acción con las que se pretenden obtener la baja de emisiones.

#### **Escenario 1. Situación mediante una adecuación vial**

La meta de este escenario consiste en incrementar al doble la cantidad de usuarios en bicicleta al momento de que se les ofrezcan adecuaciones viales seguras y confiables para los usuarios tomando en cuenta iluminación, infraestructura independiente al flujo vehicular, o en carril pero con segregación a los vehículos con separadores físicos, además de estacionamientos ciclistas en los principales puntos, estas acciones en el periodo del año 2015 al 2035 basándonos en encuestas realizadas en el proyecto Plan Maestro de Vialidad y Transporte (IMIP et al., 2011) además de políticas que los protejan y limiten a los usuarios.

De todas las variables antes mencionadas en el apartado 3.4.2 Variables para modelación y utilizadas en el modelo correspondiente al Escenario 0, en este caso, solo se aplicaron cambios a las correspondientes a los factores de viajes.

Todo esto para propiciar la baja en los niveles de emisiones esperadas por la aplicación de acciones en el escenario.

## **Escenario 2. Situación aplicando concientización**

Situación aplicando concientización a la población por medio de campañas, programas y capacitación sobre el uso e integración de la bicicleta al menos una vez al mes donde se realice un evento en la ciudad con talleres donde se expliquen todo lo relacionado con los temas de interés de la bicicleta, también aplicando programas de incentivo en negocios y escuelas a las personas que usen la bicicleta como medio de transporte, es decir, vales, preferencia en estacionamiento, préstamo de bicicletas, etc. Además de esto, se considera la existencia de adecuaciones viales mencionadas en el escenario 1, todo para el periodo del 2015 al año 2035.

Las variables modificadas del modelo original para este escenario, continúan siendo factores de viaje (viajes persona/año), las cuales son el punto clave de afectación del resultado final en el modelo.

La meta de este escenario corresponde a la concientización de la comunidad aunado a la adecuación vial segura y confiable para los usuarios (Escenario 1), lo cual significa que además del beneficio proporcionado por la concientización, se agrega el beneficio de la adecuación vial, la cual se toma por triplicado la cantidad de usuarios que utilizarían la bicicleta como medio de transporte a comparación del Escenario 1 que se toma por duplicado los usuarios.

Todo esto para incrementar los viajes en bicicleta y bajar los niveles de emisiones esperadas por la aplicación de acciones mencionadas en este escenario.

---

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

---

A continuación se presentan los resultados de la evaluación de los escenarios planteados mostrando el comportamiento en la generación de emisiones al modificar las variables que representan factores clave en la mitigación de contaminantes.

### 4.1. Escenario 0. Situación actual

Escenario base donde se presentan datos actuales sin cambio alguno en las variables, donde se puede observar que naturalmente, en la manera en la que se vive, la tendencia es incremental en cualquiera de los sentidos en el que se vea, desde la cantidad de viajes realizados principalmente en automóvil (Figura 6), el total de emisiones (Figura 7) y población (Tabla 7).

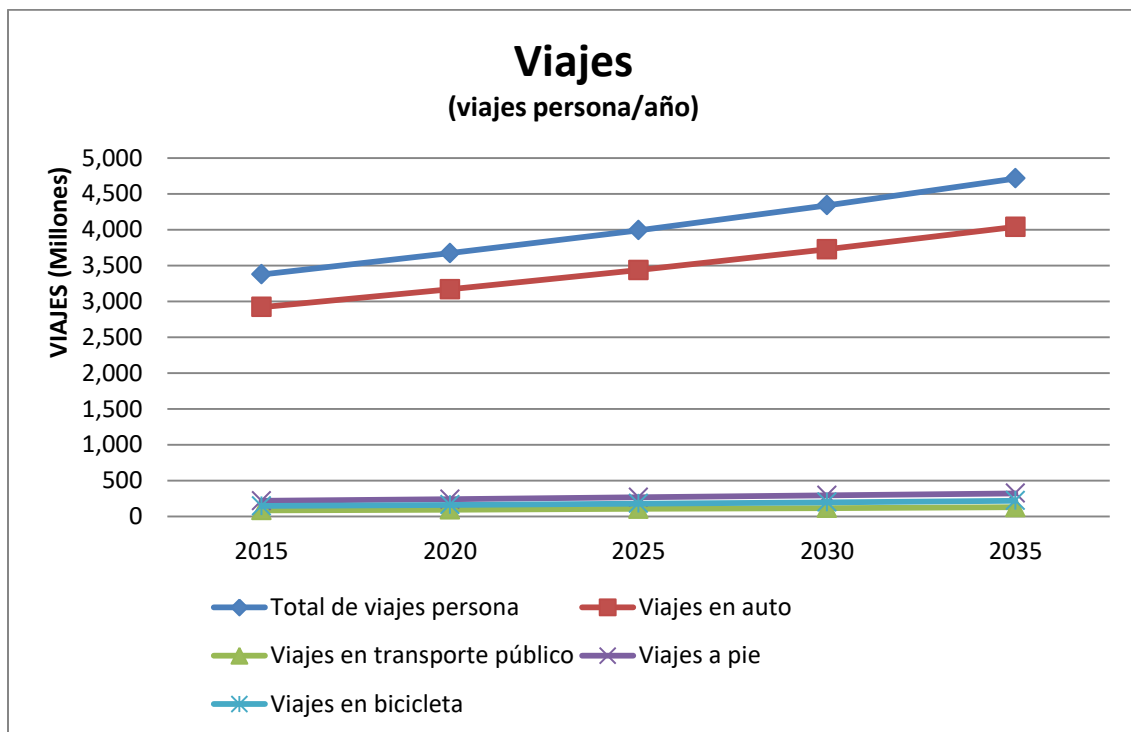


Figura 6. Pronóstico del total de viajes por persona del año 2015 al año 2035 en Escenario 0 (viajes por persona/año)

Tabla 7. Principales indicadores usados en Escenario 0 (base) y su tasa de crecimiento anual

Indicador	Unidad	Situación Actual	Pronóstico sin aplicar acciones			
		2015	2020	2025	2030	2035
<b>Población</b>	Habitantes	839,151	926,680	1,022,892	1,128,628	1,244,809
<b>Incremento anual</b>			2.00%	2.00%	1.99%	1.98%
<b>Total de viajes por persona</b>	Viajes persona/año	3,375,064,915	3,671,122,105	3,991,549,577	4,338,316,040	4,713,548,932
<b>Incremento anual</b>			1.70%	1.69%	1.68%	1.67%
<b>Viajes en auto</b>	Viajes persona/año	2,919,405,977	3,167,934,803	3,436,119,125	3,725,470,971	4,037,617,392
<b>Incremento anual</b>			1.65%	1.64%	1.63%	1.62%
<b>Viajes en transporte público</b>	Viajes persona/año	88,110,844	97,301,412	107,403,679	118,505,952	130,704,994
<b>Incremento anual</b>			2.00%	2.00%	1.99%	1.98%
<b>Viajes a pie</b>	Viajes persona/año	219,018,385	241,863,510	266,974,858	294,571,939	324,895,271
<b>Incremento anual</b>			2.00%	2.00%	1.99%	1.98%
<b>Viajes en bicicleta</b>	Viajes por persona/año	148,529,709	164,022,380	181,051,915	199,767,177	220,331,275
<b>Incremento anual</b>			2.00%	2.00%	1.99%	1.98%
<b>Emisiones GEI (CO<sub>2</sub> eq.)</b>	ton/año	5,343,110	5,483,438	5,639,342	5,811,058	5,998,474
<b>Incremento anual</b>			0.52%	0.56%	0.60%	0.64%

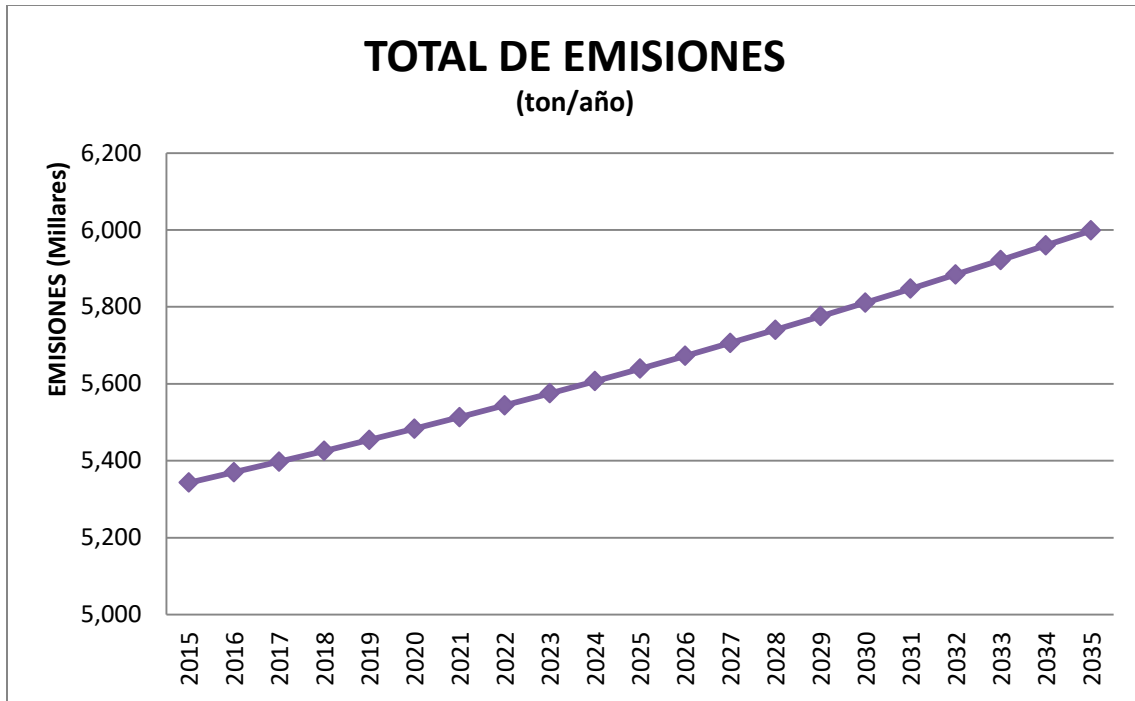


Figura 7. Pronóstico del total de emisiones de GEI en Escenario 0 del año actual al año 2035 en la ciudad de Mexicali, B.C. (ton/año)

#### 4.2. Escenario 1. Situación mediante una adecuación vial

Se presentan resultados mediante la meta propuesta de suponer una adecuación vial segura y confiable para el usuario el cual consistiría en ciclovías independiente del tránsito o carriles compartidos debidamente señalizados con velocidad reducida e iluminación que contempla la normatividad, las rutas que se proponen se encuentran en Figura 8 o en ANEXO 5 para mayor claridad y detalle. Esto corresponde a duplicar el número de viajes por persona por año en bicicleta por medio del cambio de modo de viaje.

## Rutas ciclistas propuestas para la ciudad de Mexicali, B.C.

Longitud total de 141.88 kms

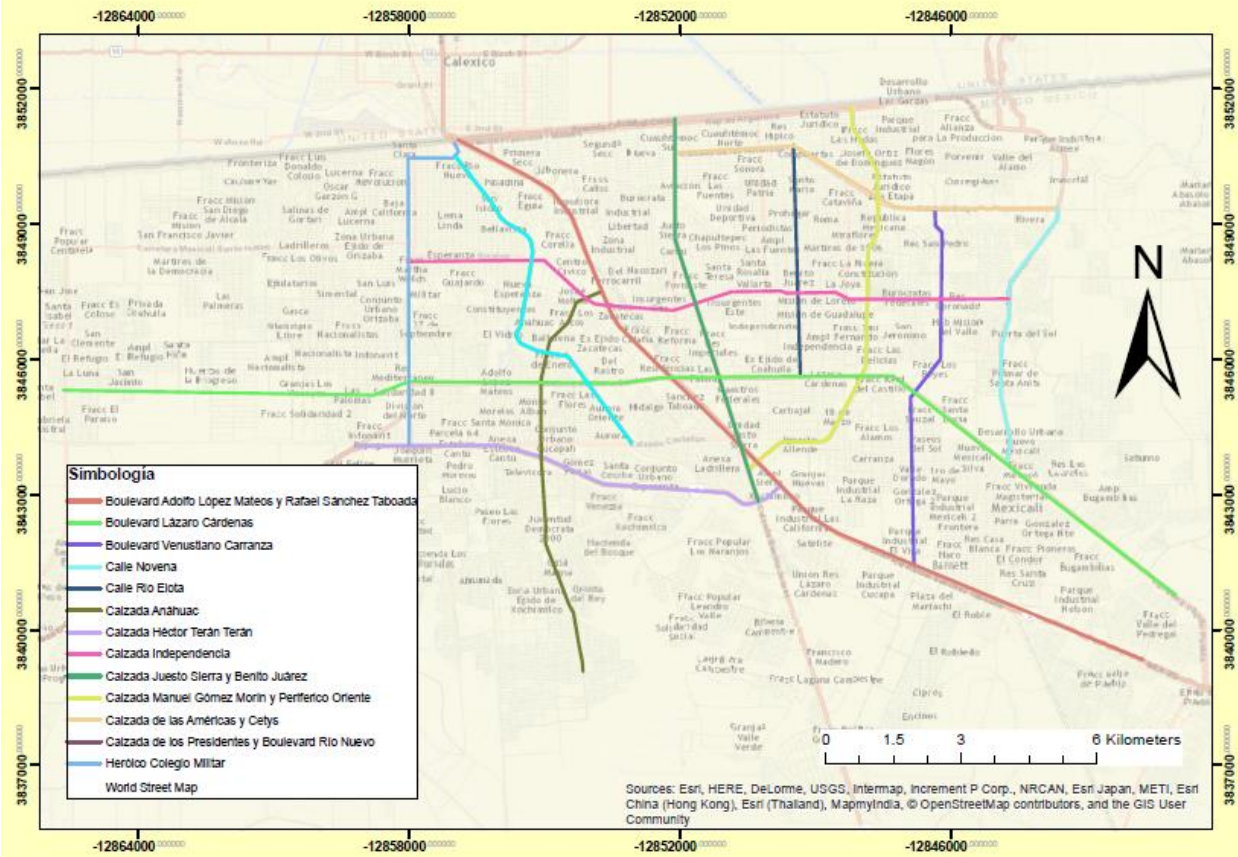


Figura 8. Plano de rutas ciclistas propuestas para la ciudad de Mexicali, B.C. basadas en estudio realizado por IMIP2014)

Con esto en mente se propuso y se evaluó mediante el modelo de reducción de emisiones un incremento al triple de viajes en bicicleta y una baja proporcional de usuarios basados en el cambio de modo en los otros medios de transporte (transporte público, auto y a pie) y se obtuvo como consecuencia una reducción proporcional en los diferentes medios de transporte, obteniendo una reducción de emisiones de hasta 538 mil toneladas en promedio en el lapso estudiado (2015-2035) como se puede observar en las siguientes gráficas y tablas:

En la Tabla 8 se puede observar el incremento anual que se tuvo de los principales indicadores que se cuentan en el modelo y de cómo sus variaciones aumentan

significativamente con el paso del tiempo que es lo que se trata de frenar un poco con las medidas propuestas.

Tabla 8. Principales indicadores usados en el Modelo actual (Escenario 1) y su tasa de crecimiento anual

Indicador	Unidad	Situación Actual	Pronóstico sin aplicar acciones				
		2015	2020	2025	2030	2035	
<b>Población</b>	Habitantes	839,151	926,680	1,022,892	1,128,628	1,244,809	
<b>Incremento anual</b>			2.00%	2.00%	1.99%	1.98%	
<b>Total de viajes persona</b>	Viajes persona/año	3,375,064,915	3,671,122,105	3,991,549,577	4,338,316,040	4,713,548,932	
<b>Incremento anual</b>			1.70%	1.69%	1.68%	1.67%	
<b>Viajes en auto</b>	Viajes persona/año	2,650,623,216	2,871,614,625	3,109,591,724	3,365,815,042	3,641,636,847	
<b>Incremento anual</b>			1.61%	1.61%	1.60%	1.59%	
<b>Viajes en transporte público</b>	Viajes persona/año	79,998,689	88,200,097	97,197,326	107,065,421	117,886,386	
<b>Incremento anual</b>			1.97%	1.96%	1.95%	1.94%	
<b>Viajes a pie</b>	Viajes persona/año	198,853,883	219,240,242	241,604,781	266,134,046	293,031,873	
<b>Incremento anual</b>			1.97%	1.96%	1.95%	1.94%	
<b>Viajes en bicicleta</b>	Viajes persona/año	445,589,127	492,067,141	543,155,746	599,301,531	660,993,826	
<b>Incremento anual</b>			2.00%	2.00%	1.99%	1.98%	
<b>Emisiones GEI (CO<sub>2</sub> eq.)</b>	ton/año	4,851,182	4,970,532	5,103,447	5,250,060	5,410,187	
<b>Incremento anual</b>			0.49%	0.53%	0.57%	0.60%	

En la Figura 9 se puede notar como comparado con los datos del escenario 0 y por medio del incremento propuesto en viajes de bicicleta que van de 148,529,709 a 445,589,127 viajes persona por año se tienen que el decremento en los viajes en auto

de 2,919,405,977 a 2,650,623,216 viajes persona/año y con esto finalmente un decremento en emisiones significativo de 5,343,110 a 4,851,182 ton/año.

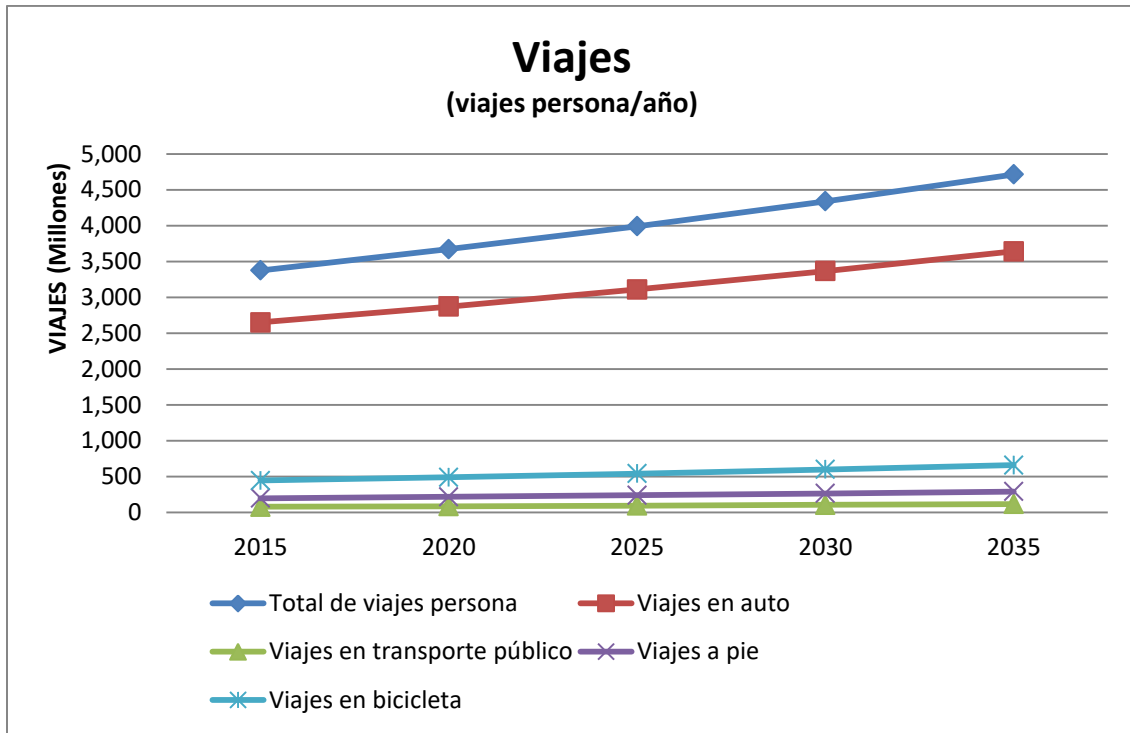


Figura 9. Pronóstico del total de viajes por persona del año 2015 al año 2035 en Escenario 1 (viajes por persona/año)

En la Figura 10 se puede ver como el decremento fue de aproximadamente 500 mil toneladas por año de emisiones resultado de la comparación entre el escenario 0 y 1, esta mejora se debe a las medidas propuestas en este escenario.

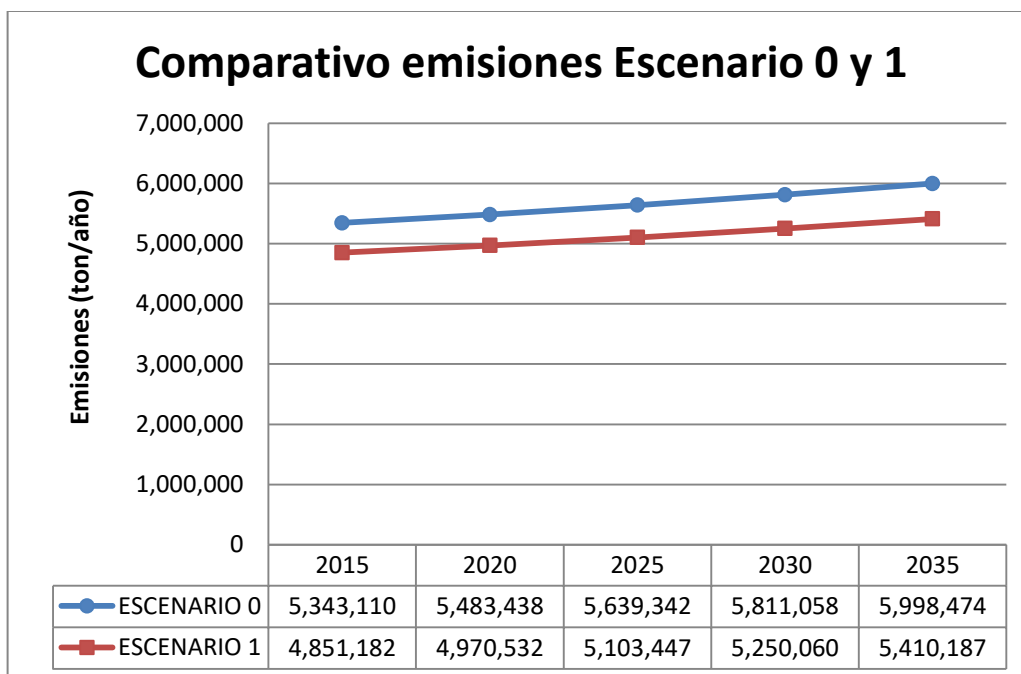


Figura 10. Comparativo de los pronósticos del total de emisiones de GEI del Escenario 0 y 1 del año actual al año 2035 en la ciudad de Mexicali, B.C. (ton/año)

### 4.3. Escenario 2. Situación aplicando concientización

Se presentan resultados de escenario 2, tomando en cuenta programas de concientización a la comunidad y empresas aunado a los beneficios de una adecuación segura y confiable para el usuario referentes al escenario 1 como se mencionó en el apartado 3.4.3 Elaboración de escenarios. Tomando en cuenta esto, se plantea una duplicidad conforme al escenario uno, es decir 5 veces más con respecto al escenario base.

En la Tabla 9 se muestran los incrementos cada cinco años aplicando las medidas antes dichas, se puede percibir claramente que las emisiones se reducen en un 0.1% así como los totales de viajes en auto principalmente a comparación del escenario original 0.

Tabla 9. Principales indicadores usados en el Modelo actual (Escenario 2) y su tasa de crecimiento anual

Indicador	Unidad	Situación Actual	Pronostico sin aplicar acciones				
		2015	2020	2025	2030	2035	
<b>Población</b>	Habitantes	839,151	926,680	1,022,892	1,128,628	1,244,809	
<b>Incremento anual</b>			2.00%	2.00%	1.99%	1.98%	
<b>Total de viajes persona</b>	Viajes persona/año	3,375,064,915	3,671,122,105	3,991,549,577	4,338,316,040	4,713,548,932	
<b>Incremento anual</b>			1.70%	1.69%	1.68%	1.67%	
<b>Viajes en auto</b>	Viajes persona/año	2,381,840,455	2,575,294,448	2,783,064,323	3,006,159,112	3,245,656,301	
<b>Incremento anual</b>			1.57%	1.56%	1.55%	1.54%	
<b>Viajes en transporte público</b>	Viajes persona/año	71,886,533	79,098,783	86,990,973	95,624,889	105,067,778	
<b>Incremento anual</b>			1.93%	1.92%	1.91%	1.90%	
<b>Viajes a pie</b>	Viajes persona/año	178,689,382	196,616,974	216,234,704	237,696,153	261,168,476	
<b>Incremento anual</b>			1.93%	1.92%	1.91%	1.90%	
<b>Viajes en bicicleta</b>	Viajes persona/año	742,648,545	820,111,901	905,259,577	998,835,885	1,101,656,377	
<b>Incremento anual</b>			2.00%	2.00%	1.99%	1.98%	
<b>Emisiones GEI (CO<sub>2</sub> eq.)</b>	ton/año	4,359,255	4,457,626	4,567,552	4,689,062	4,821,900	
<b>Incremento anual</b>			0.45%	0.49%	0.53%	0.56%	

En la Figura 11 se puede observar como los viajes en automóvil disminuyen y los viajes en bicicleta aumentan como se esperaban en la propuesta, esto se plantea como una preferencia hacia los medios no generadores de emisiones y logrando principalmente una reducción de emisiones.

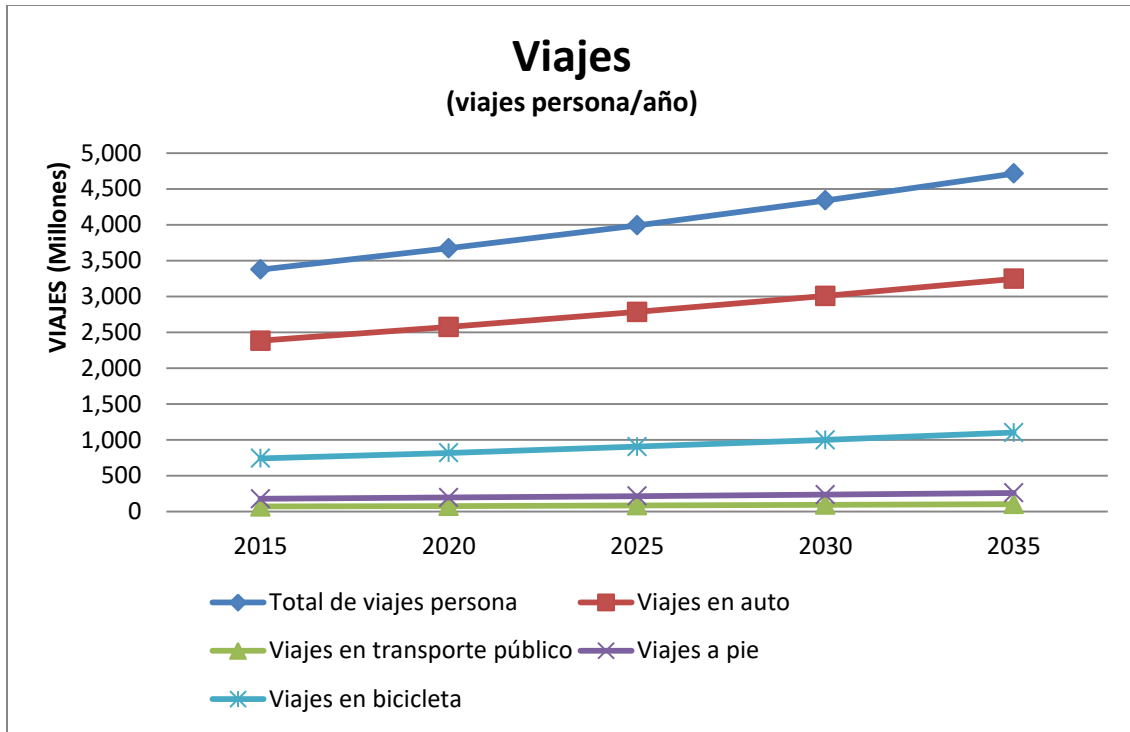


Figura 11. Pronóstico del total de viajes persona del año 2015 al año 2035 en Escenario 2 (viajes persona/año)

En la Figura 12 se puede observar la disminución de casi un millón de toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por año de diferencia total entre el escenario 0 y 2, y de aproximadamente 500 mil toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por año en promedio de diferencia entre el escenario 0 y 1.

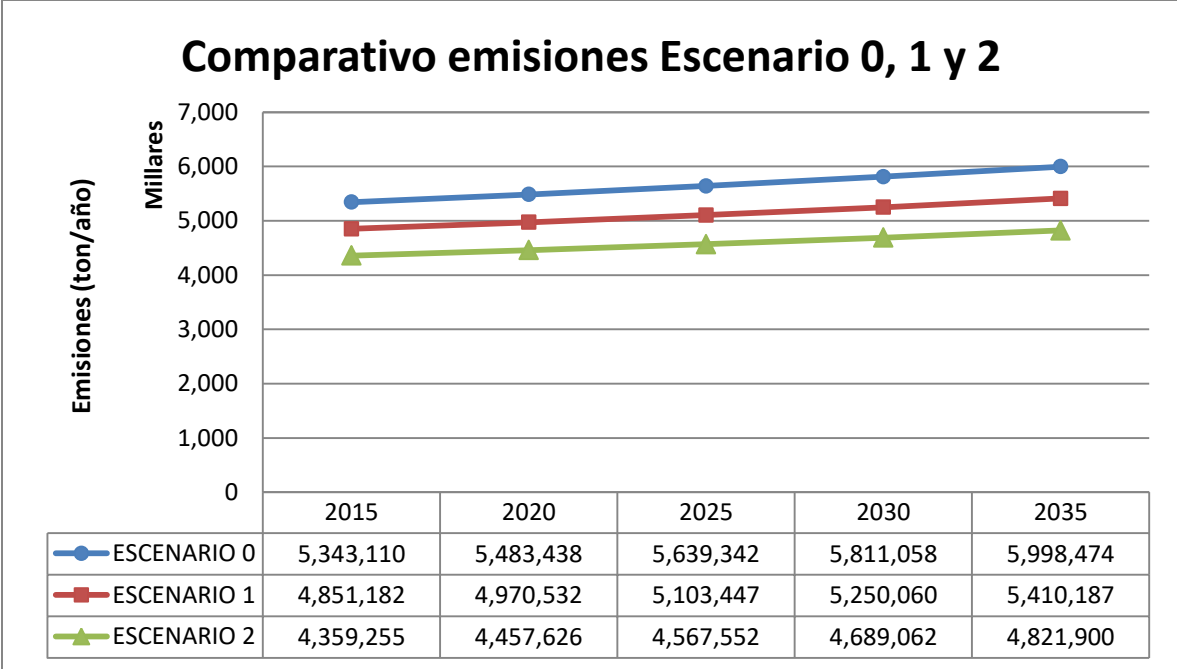


Figura 12. Comparativo de los pronósticos del total de emisiones de GEI del Escenario 0, 1 y 2 del año actual al año 2035 en la ciudad de Mexicali, B.C. (ton/año)

---

## **CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES**

---

En el presente estudio, se elaboró, validó y operó un modelo base de pronóstico de reducción de emisiones de GEI provocadas por acciones de mitigación para el uso de la bicicleta en la ciudad. Con el cual posteriormente se crearon modificaciones a algunas variables del mismo para obtener los resultados de cada una de las propuestas que se realizaron (Escenario 1 y Escenario 2) y así poder tener una idea más certera al momento de analizar la información, poder comparar los beneficios pertinentes en cada una de las variables especialmente la baja de emisiones al ambiente así como los beneficios adicionales que esto conlleva.

En cuanto a los resultados, fueron favorecedores, ya que en los diferentes escenarios: escenario 0, situación actual, no aplicando acciones del periodo 2015 al 2035, escenario 1, situación mediante una adecuación vial segura y confiable para los usuarios del periodo 2015 al 2035, y escenario 2, situación aplicando un impulso en concientización de la comunidad así como programas de incentivos en negocios y escuelas del periodo 2015 al 2035, se obtuvieron los resultados que se esperaban en la baja de emisiones dependiendo de los escenarios propuestos, siendo el escenario 2 con el mejor resultado (menor nivel de emisiones) esto por la combinación de metas de los escenarios 1 (adecuación vial) y 2 (concientización de la población y programas en industrias).

Con esto se comprobó que en este modelo se pudo verificar que el impulso del uso de la bicicleta aunado a una red adecuada de ciclistas, conllevará a un mayor uso de este modo de tránsito no motorizado y a la reducción de emisiones de GEI, disminuyendo el efecto dañino al ambiente, tal y como se planteó en la hipótesis.

En relación a las emisiones en el escenario base, se obtuvo que disminuirían un 9.8% con la aplicación de las acciones del escenario 1, y un 19.6% con respecto a las propuestas en el escenario 2.

De acuerdo con el total de emisiones en el año 2015 en la ciudad que es de 5.3 millones de toneladas por año de CO<sub>2</sub> eq. y comparado con otras ciudades del mundo, por ejemplo, de acuerdo con el inventario de GEI del periodo 2010-2015 de la ciudad de Buenos Aires, Argentina donde el sector transporte generó 4.2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> eq. o Madrid, España que de acuerdo al inventario de emisiones de gases efecto invernadero del municipio en el año 2012 generó 3.3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> eq. donde se puede notar claramente que estamos muy por encima de ellas y solo en el sector transporte.

Es por esto que esta investigación ayuda a prevenir los efectos de la contaminación y tener un ambiente más limpio y lo cual da pie a una baja de enfermedades como las que se han mencionado en diferentes estudios (Tabla 5), además representaría una mejora física y psicológica en los usuarios (tal como se menciona en el punto 2.4 “La bicicleta como medio de transporte”), además de todo esto, se conseguiría un beneficio más que es el apoyo a la economía de los usuarios ya que eliminarían o disminuirían el gasto en combustible o cuotas de transporte público ya sea al usar la bicicleta como medio de transporte complementario o al tener una combinación de los diferentes medios ofrecidos.

Pero para que todo esto sea una realidad debe de estar acompañado de una serie de acciones en conjunto, las cuales para que los diferentes escenarios que se proyectaron se cumplan, se deben observar algunos requerimientos. Por ejemplo, básicamente, la presentación del estudio, la promoción del programa de concientización, la correcta adecuación vial con todos los elementos aquí mencionados, como son iluminación, señalamientos verticales y horizontales, etc. Seguido de un reforzamiento del programa de monitoreo sobre la efectividad del programa y la baja de emisiones y seguir con la adecuación integral de ciclovías. Y por último, es importante considerar el mantenimiento en la infraestructura y continuidad en el monitoreo continuo del programa. Si se llega a una constancia en conjunto con la comunidad los programas serían altamente factibles y favorables para todos.

---

## RECOMENDACIONES

---

Para que esta investigación tenga total aplicación, tomamos en cuenta diferentes acciones posteriores que se pueden realizar para poder lograr el impulso a la bicicleta como medio de transporte en la ciudad. Estas acciones se subdividieron en tiempos de corto, mediano y largo plazo para poder progresivamente lograr resultados satisfactorios como los obtenidos en la presente tesis, las cuales se definen a continuación:

- Propuestas de acciones a corto plazo (de 0 a 2 años)
  - Diseño y presentación del estudio.
  - Promoción del programa.
  - Adecuación inicial de vías para tránsito de ciclistas en etapas y tiempos convenientes.
  - Implantar un programa de monitoreo sobre la efectividad del modelo de reducciones de emisiones dañinas al ambiente provocadas por una adecuación vial en pro del uso de la bicicleta en la ciudad de Mexicali, B.C.
- Propuestas de acciones a mediano plazo (de 2 a 6 años)
  - Adecuación integral de vías para tránsito de ciclistas en etapas y tiempos convenientes.
  - Reforzamiento del programa de monitoreo sobre la efectividad del modelo de reducciones de emisiones dañinas al ambiente provocadas por una adecuación vial en pro del uso de la bicicleta en la ciudad de Mexicali, B.C.
- Propuestas de acciones a largo plazo (de 6 a 20 años)
  - Mantenimiento continuo de infraestructura para tránsito de bicicletas.
  - Monitoreo continuo del programa.

---

## REFERENCIAS

---

- A.C. ITDP México, & I-CE Interface for Cycling Expertise. (2011). *La movilidad en bicicleta como política pública*. (H. M. González Nieves, Ed.). Distrito Federal. Retrieved from <http://www.ciclociudades.mx/pdf/tomo1.pdf>
- Aracil, J. (1983). *Introducción a la dinámica de sistemas*. (Alianza, Ed.) (Primera). Madrid, España: Alianza Universidad Textos.
- Arellano, J., & Guzmán, J. (2011). *Ingeniería ambiental* (Primera). Mexico, D.F.: Alfaomega.
- Banister, D. (2011). Cities, mobility and climate change. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1538–1546. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.03.009>
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN). (n.d.). Efecto invernadero. Retrieved from <http://www.ciifen.org/>
- CONAPO. (n.d.). Estimaciones y proyecciones de la población por entidad federativa. Retrieved April 15, 2015, from [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones\\_Datos](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos)
- CONUEE, & SENER. (2009). Metodologías para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero y de consumos energéticos evitados por el aprovechamiento sustentable de la energía. *Comisión Nacional Para El Uso Eficiente de La Energía*. Retrieved from [http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod\\_gei\\_cons\\_evit.pdf](http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf)
- Crespo, C. (1980). *Vías de comunicación: Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos*. (Limusa, Ed.).
- Díaz, J. (2002). *Introducción a la ingeniería ambiental* (Primera). México, D.F.: Alfaomega grupo editor, S.A. de C.V. Retrieved from <http://es.slideshare.net/rumiway/introduccion-ingenieria-ambiental>
- Eltit Neumann, V. X. (2011). Transporte Urbano No Motorizado : El Potencial de la nococleta en la ciudad de Temuco. *INVI*, 26(August), 153–184.
- Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI. (2008). *“El Ingeniero del ICAI y el Desarrollo Sostenible.”* Retrieved from <http://libro.sostenibilidad.icaui.upcomillas.es/documentos/IMPACTO AMBIENTAL DEL TRANSPORTE.pdf>
- Fondo Nacional del Ambiente-Peru FONAM. (2015). Transporte No Motorizado. Retrieved from <http://www.fonamperu.org/general/transp/nomoto.php>
- Galindo, M., Santos, M. de los A., & Benites, J. L. (2013). *Proyecto para desarrollar el Programa de Cambio Climático en el Estado de Baja California, Sector Transporte*. Mexicali, B.C.

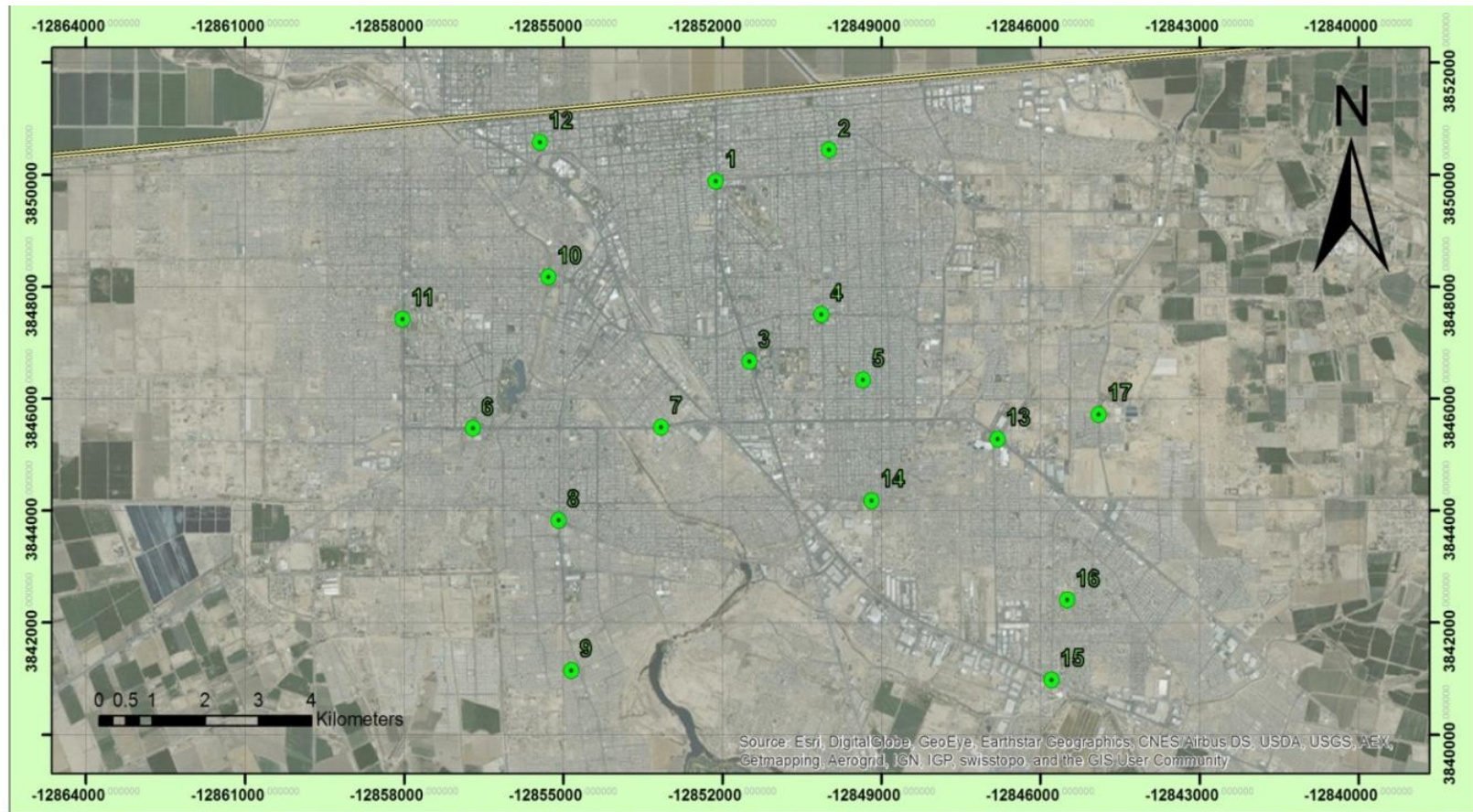
- García López, E. (2013). La bici y el Medio Ambiente. Retrieved from [http://labiciengranada.blogspot.mx/p/blog-page\\_11.html](http://labiciengranada.blogspot.mx/p/blog-page_11.html).
- Gobierno de Chile. (2015). Vialidad ciclo inclusiva: Recomendaciones de diseño. In *Espacios públicos urbanos* (1st ed.). Santiago de Chile. Retrieved from <http://www.gob.cl/wp-content/uploads/2015/05/Manual-de-Vialidad-Ciclo-Inclusiva.pdf>
- Gobierno del Distrito Federal, G. (n.d.). ECOBICI. Retrieved from <https://www.ecobici.df.gob.mx/es/informacion-del-servicio/que-es-ecobici>
- Gobierno del Estado de Baja California. (2012). *Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California (PEACC-BC)*. Mexicali, B.C.
- Gobierno del Estado de Baja California, & SEMARNAT. (2011). *Programa para mejorar la calidad del aire en Mexicali 2011-2020*. Mexicali, B.C.
- González, C. (2010). *Cambio climático: Causas, Consecuencias y Soluciones*. (A. M. Vicente, Ed.) (1st ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Grabow, M. L., Spak, S. N., Holloway, T., Stone, B., Mednick, A. C., & Patz, J. A. (2012). Air quality and exercise-related health benefits from reduced car travel in the midwestern United States. *Environmental Health Perspectives*, *120*(1), 68–76. <http://doi.org/10.1289/ehp.1103440>
- Gutiérrez, E., & Vladimirovna, O. (2014). *Probabilidad y estadística* (Primera). Mexico, D.F.: Patria, S.A. de C.V.
- Gutiérrez Pérez, C., & Gutiérrez Cánovas, C. (2009). *La actuación frente al cambio climático*. (E. de la U. de Murcia, Ed.) (1era ed.). Murcia: Region de Murcia.
- H. Raven, P., F. Evert, R., & E. Eichhorn, S. (1992). *Biología de las plantas*. (S. Santamaria del Campo, F. Lloret Maya, M. Mas i Serra, M. A. Cardona Florit, & L. Rosellis, Eds.) (4ta ed.). Barcelona: Reverté, S.A. Retrieved from <https://books.google.es/books?id=xvNd3udrh1YC&pg=PA430&dq=EFFECTOS+DA%3C%B1INOS+DE+LA+CONTAMINACION+A+LAS+PLANTAS&hl=es&sa=X&ved=0CCcQ6AEwAmoVChMIm93rvZP3xwIVR5aICh301wgP#v=onepage&q&f=false>
- Hogar Proyecto Salón. (n.d.). Los medios de transporte. Retrieved from <http://www.proyectosalohogar.com/transportes/index.html>
- Ibañez, Y., & Galindo, M. (2014). *Modelo para minimizar emisiones producto del transporte de personal de la industria maquiladora de Mexicali*.
- IMECA. (2006). *Índice Metropolitano de la Calidad del Aire*. Mexico, D.F. Retrieved from [http://www.sedema.df.gob.mx/padla/index.php?option=com\\_content&view=article&id=331:nadf-009-aire-2006&catid=53:normas-ambientales-del-distrito-federal&Itemid=87](http://www.sedema.df.gob.mx/padla/index.php?option=com_content&view=article&id=331:nadf-009-aire-2006&catid=53:normas-ambientales-del-distrito-federal&Itemid=87)
- IMIP. (2014). *Red de Movilidad en Bicicleta de Mexicali*. Mexicali, B.C.
- IMIP, SEDESOL, USTRAN, & LOGIT. (2011). Plan Maestro de Vialidad y Transporte de Mexicali, B.C.

- INE, SEMARNAT, & Western Governor's Association. (2005). Guía de Elaboración y Usos de Inventarios de Emisiones. Retrieved from [http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_pub=457](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=457)
- INEGI. (n.d.). Clima. Retrieved April 15, 2015, from <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bc/territorio/clima.aspx?tema=me>
- Instituto de Ingeniería UABC. (2002). Flujos de tránsito vehicular en puntos representativos de la ciudad de Mexicali, B.C. Mexicali, B.C.
- Jiménez Cisneros, B. E. (2002). *La contaminación ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada*. (Limusa, Ed.).
- Johan de Hartog, J., Boogaard, H., Nijland, H., & Hoek, G. (2010). Do the health benefits of cycling outweigh the risks? *Environmental Health Perspectives*, 118(8), 1109–16. <http://doi.org/10.1289/ehp.0901747>
- Melero, A., Quintero, M., & Galindo, M. (2013). Análisis de las estrategias de mitigación y adaptación del sector transporte en la ciudad de Mexicali. *Estudios Fronterizos*, 14, 79–105. Retrieved from <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=9acde5f4-9c84-45d7-8719-33ad2ab8ff00@sessionmgr4004&vid=14&hid=4209>
- Melo, E., & Chalkho, R. (2012). *El mobiliario urbano destinado al uso de la bicicleta en la ciudad de Bogotá*. Universidad de Palermo. Retrieved from [http://fido.palermo.edu/servicios\\_dyc/proyectograduacion/archivos/1554\\_pg.pdf](http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/proyectograduacion/archivos/1554_pg.pdf)
- Monteiro Machado, P., Nascimento Costa, L., & de Rezende Barros, C. (2013). Contaminación causada por automóviles y el derecho ambiental en el impuesto Brasil: la reestructuración fiscal propuesta para el desarrollo sostenible. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 8, 183–203. <http://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Nesamani, K. S. (2010). Estimation of automobile emissions and control strategies in India. *The Science of the Total Environment*, 408(8), 1800–11. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.01.026>
- OECD. (2010). *Cities and Climate Change*. OECD. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1787/9789264091375-en>
- Periódico Oficial del Estado de B.C. Reglamento de tránsito para el municipio de Mexicali, Baja California, Pub. L. No. 103 (2013). Mexicali, B.C.: Actas de Sesiones Ordinarias y Extraordinarias de Mexicali, Baja California. Retrieved from <http://www.mexicali.gob.mx/transparencia/normatividad/reglamentos/pdf/transito.pdf>
- Pucher, J., & Buehler, R. (2011). *Analysis of Bicycling Trends and Policies in Large North American Cities: Lessons for New York*. *American journal of epidemiology* (Vol. 180). Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25157047>
- Quintero, M., Garcia, R., Camargo, A., Santillán, N., Ojeda, S., Nieblas, E., & Soto, R.

- (2013). *Baja California ante el embate del cambio climático*. (Laredo Editores, Ed.) (Primera ed). Mexicali, B.C.: Universidad Autónoma de Baja California. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/236176762\\_El\\_cambio\\_climatico\\_global\\_y\\_escenarios\\_climaticos\\_en\\_Mexicali\\_Baja\\_California\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/236176762_El_cambio_climatico_global_y_escenarios_climaticos_en_Mexicali_Baja_California_Mexico)
- Samaniego, J., Jordán, R., & Ruiz-tagle, M. T. (2013). *Estrategias de desarrollo bajo en carbono en megaciudades de América Latina*. (M. T. Ruiz-Tagle, Ed.). Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Retrieved from <http://148.231.10.114:3018/ehost/detail/detail?sid=9ff7b029-b358-459b-8e1f-580e071dfbbe@sessionmgr110&vid=0&hid=107&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1l aG9zdC1saXZI#db=a9h&AN=57140994>
- Sandoval, J. (2012). *La importancia de la bicicleta en la movilidad del distrito federal*. 132.248.9.195. Universidad Nacional Autonoma de Mexico. Retrieved from [http://132.248.9.195/ptd2012/marzo/0678250/0678250\\_A1.pdf](http://132.248.9.195/ptd2012/marzo/0678250/0678250_A1.pdf)
- Secara, M., Nan, M.-S., Dandea, L.-D., & Popescu, D. (2013). Present state and perspectives of environmental pollution caused by vehicles. *Annals of the University of Petroșani*, 15, 155–165. Retrieved from <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=9acde5f4-9c84-45d7-8719-33ad2ab8ff00@sessionmgr4004&vid=9&hid=4209>
- SEMARNAT. (2012). *Cambio climático: Una reflexión desde México*. (Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental, Ed.) (Coordinaci). Mexico, D.F.
- Solís, J. (2008). *Historia de las cosas*. (Cadena cien, Ed.). Retrieved from <http://books.google.com.mx/books?id=cSqUHL-qcikC&pg=PA10&dq=antecedentes+de+la+bicicleta&hl=es&sa=X&ei=2zBxU-7aC4n4oASW2ICADA&ved=0CCwQ6AEwAA#v=onepage&q=antecedentes+de+la+bicicleta&f=false>.
- Solís, J., & Sheinbaum, C. (2013). Energy consumption and greenhouse gas emission trends in Mexican road transport. *Energy for Sustainable Development*, 17(3), 280–287. <http://doi.org/10.1016/j.esd.2012.12.001>
- Sue Edwards, & Magarey, P. (2007). Environmental benefits of cycling, 1–4.
- Time Rime. (2015). Historia de los medios de Transporte. Retrieved from [http://timerime.com/es/linea\\_de\\_tiempo/1696645/Historia+de+los+medios+de++Tr+ansporte/](http://timerime.com/es/linea_de_tiempo/1696645/Historia+de+los+medios+de++Tr+ansporte/)
- Treviño, X., Martínez, A., & Carreón, A. (2011). *Manual de Ciclista Urbano de la Ciudad de México*. (Designio, Ed.) (1era ed.). Ciudad de Mexico. Retrieved from <https://www.ecobici.df.gob.mx/sites/default/files/pdf/manual-del-ciclista.pdf>
- Vázquez, M. S. de la P. D. (2012). *La bicicleta en el contexto de la movilidad en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM)*. 132.248.9.195. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Retrieved from <http://132.248.9.195/ptd2012/agosto/097144063/097144063.pdf>

## ANEXOS

**Anexo 1.** Plano de localización de puntos de aforo ciclista a lo largo de la ciudad de Mexicali, B.C.  
(Elaboración propia con plano base de GoogleEarth)



## Anexo 2. Formato aforo ciclista aplicado en censo ciclista

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
INSTITUTO DE INGENIERÍA  
FORMATO DE AFORO CICLISTA

Página: \_\_\_\_\_

No. LUGAR	FECHA Y LUGAR				SENTIDO/HORA		GENERO	EDAD DEL CICLISTA						TOTALES	
No.	Lugar:				Hacia:		Genero	de 9 o menos	de 10 a 19	de 20 a 29	de 30 a 39	de 40 a 49	de 50 a 59	de 60 o más	Total:
	Día de la semana:	Día:	Mes:	Año:	Hora:										
									de:		H				
					a:		M								

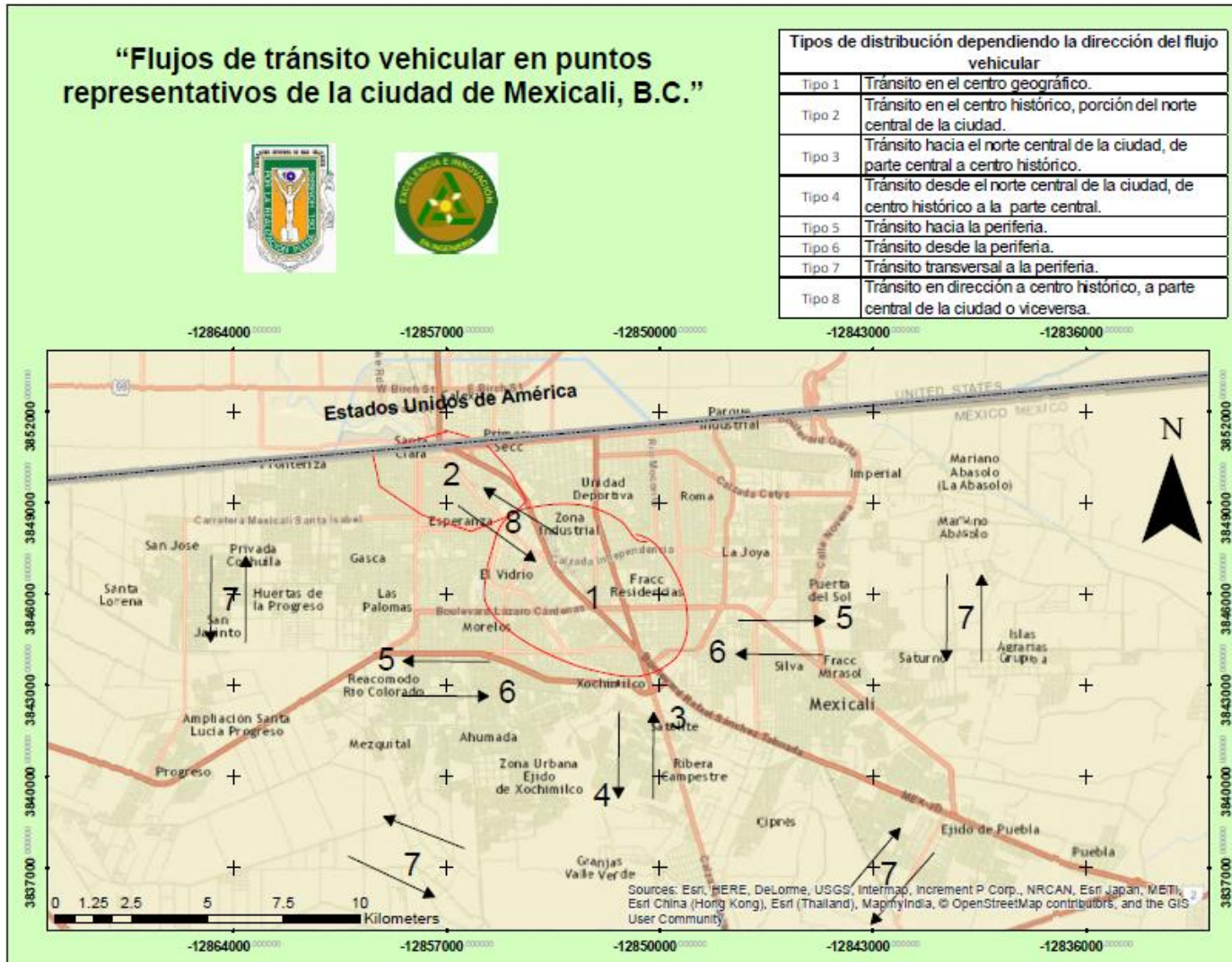
No. LUGAR	FECHA Y LUGAR				SENTIDO		GENERO	EDAD DEL CICLISTA						TOTALES	
No.	Lugar:				Hacia:		Genero	de 9 o menos	de 10 a 19	de 20 a 29	de 30 a 39	de 40 a 49	de 50 a 59	de 60 o más	Total:
	Día de la semana:	Día:	Mes:	Año:	Hora:										
									de:		H				
					a:		M								

OBSERVACIONES:

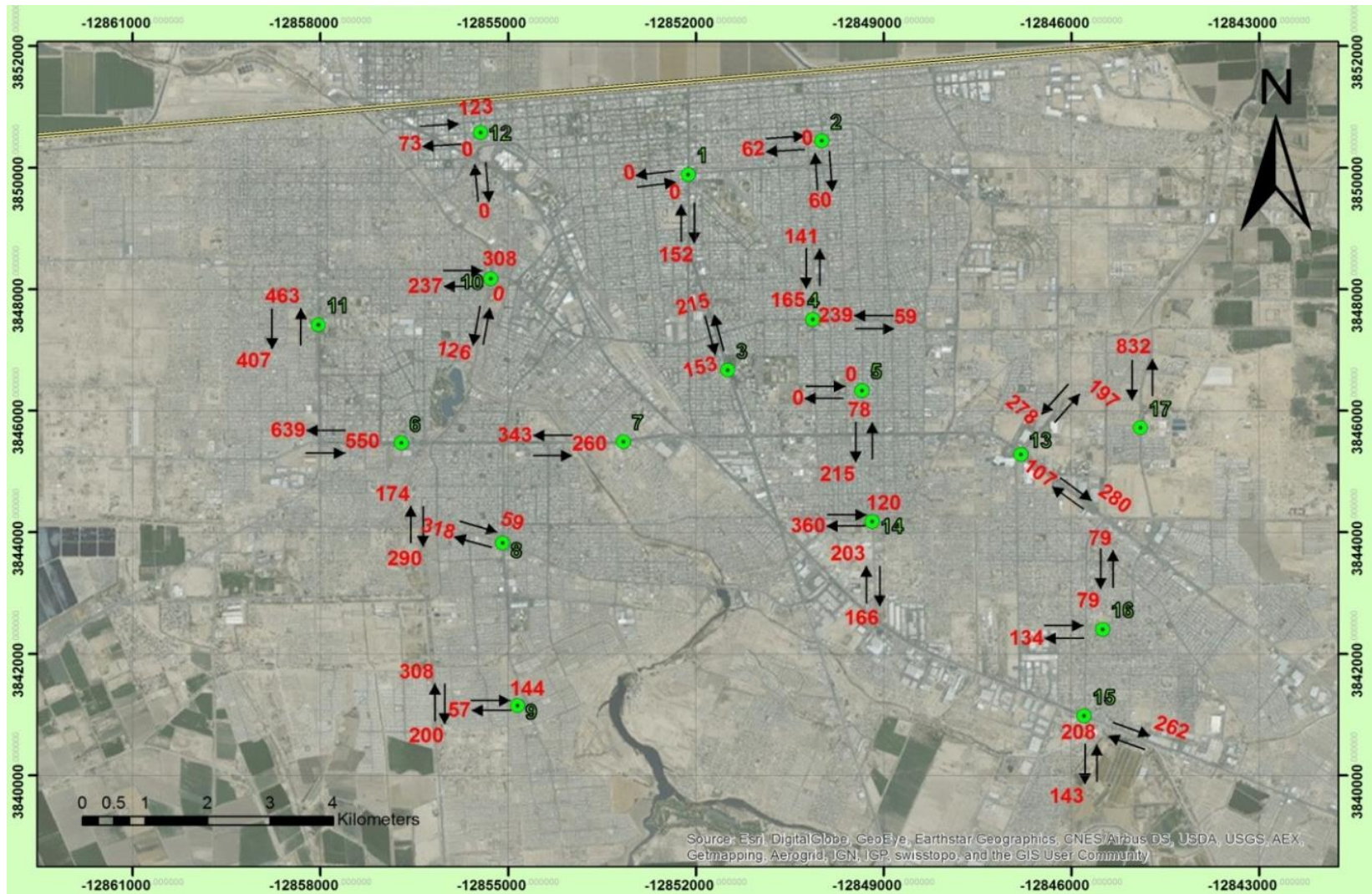
SIMBOLOGIA	
C	Casco
L	Luces
R	Reflejante

ELABORADO POR: \_\_\_\_\_

**Anexo 3. “Flujos de tránsito vehicular en puntos representativos de la ciudad de Mexicali, B.C.”**  
 (Elaboración propia en base a datos del Instituto de Ingeniería UABC, 2002 con mapa base de GoogleEarth)



**Anexo 4.** Plano de afluencia ciclista en la Ciudad de Mexicali, Baja California (vol/día) (Elaboración propia con plano base de GoogleEarth)



**Anexo 5. Plano de rutas ciclistas a detalle propuestas para la ciudad de Mexicali, B.C. basadas en estudio realizado por IMIP2014**

**Rutas ciclistas propuestas**

Longitud total de 141.88 kms



Vialidad	Longitud (Kms)
Boulevard Venustiano Carranza	8.23
Calle Rio Elota	5.13
Calzada de las Américas y Cety's	8.86
Calle Novena	6.04
Calzada Héctor Terán Terán	9.78
Calzada Manuel Gómez Morin y Periferico Oriente	9.78
Calzada Anáhuac	9.16
Boulevard Adolfo López Mateos y Rafael Sánchez Taboada	19.77
Calzada Independencia	13.8
Calzada Justo Sierra y Benito Juárez	8.79
Boulevard Lázaro Cárdenas	26.38
Heróico Colegio Militar	7.77

