

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES**

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN PLANEACIÓN Y DESARROLLO SUSTENTABLE



Evaluación de la movilidad sustentable: modelo alternativo de viajes al empleo. Mexicali, 2010.

T E S I S

Que para obtener el grado de

DOCTORA EN PLANEACIÓN Y DESARROLLO SUSTENTABLE

Presenta

MA. DE LOS ÁNGELES SANTOS GÓMEZ

Director de tesis

DR. OSVALDO LEYVA CAMACHO

Mexicali, Baja California

Noviembre del 2018

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Declaro que la tesis que se presenta contiene material original que no ha sido presentado para la obtención de un grado académico o diploma en esta u otra institución de educación superior. Asimismo, declaro que hasta donde yo sé no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de las citas.

Mexicali, Baja California a 23 de noviembre de 2018

Ma. de los Angeles Santos Gómez

Ma. de los Ángeles Santos Gómez

DEDICATORIA:

A mi familia y amigos que me acompañaron en esta etapa de mi vida y que con su apoyo y cariño me dieron fortaleza e inspiración para el logro de mis objetivos

AGRADECIMIENTOS

A mi familia: por su amor y apoyo incondicional.

Al Dr. Osvaldo Leyva Camacho: Director de tesis, por su guía, paciencia y apoyo.

Al comité de tesis: por su colaboración en la mejora de este trabajo.

A los maestros del programa de MDPDS: por sus conocimientos, dedicación y su tiempo invaluable.

Al CONACYT: por su apoyo a la formación de estudiantes de posgrado.

A la UABC: por la oportunidad de participar en este programa de alta calidad así como de realizar actividades para la elaboración del presente trabajo.

ÍNDICE

LISTA DE ABREVIATURAS.....	7
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN	12
1.- SUSTENTABILIDAD, CIUDAD Y MOVILIDAD.....	23
1.1.- Sustentabilidad y desarrollo urbano.....	23
1.2.- Estructura urbana y movilidad.....	27
1.3.- Movilidad sustentable	31
1.4.- Planeación urbana y de transporte urbano	33
1.5.- Modelo de transporte	36
2.- METODOLOGÍA.....	41
2.1.- Antecedentes	41
2.2.- Premisas para la propuesta metodológica.....	46
2.3.- Alcances de esta investigación.....	47
2.4.- Recopilación de la información	48
2.5.- Modelo de movilidad urbana	49
2.6.- Modelo de transporte urbano	49
2.7.- Accesibilidad	55
2.8.- Emisiones contaminantes.....	56
3.- RESULTADOS	60
3.1.- Caracterización de la ciudad de Mexicali	61
3.2.- Movilidad.....	76
3.3.- Transporte	78
3.4.- Accesibilidad	84
3.5.- Emisiones de GEI	87
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	93
a) Discusión.....	93
b) Conclusiones	105

LISTA DE TABLAS.....	108
LISTA DE FIGURAS.....	110
BIBLIOGRAFÍA.....	112

LISTA DE ABREVIATURAS

AGEB	Área geoestadística básica
CEPAL	Comisión Económica Para América latina y el Caribe
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Bióxido de carbono
CO _{2e}	Bióxido de carbono equivalente
CONAPO	Consejo nacional de población
COPLADE	Consejo de planeación y desarrollo del Estado
COPLADEM	Consejo de planeación y desarrollo de Mexicali
DENUE	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas
EEUU	Estados Unidos de América
EH	Empleo – Hogar
EPA	United States Environment Protección Agency (por sus siglas en inglés)
GEI	Gases efecto invernadero

Gg	Gigagramo
HE	Hogar = Empleo
HEH	Hogar = Empleo = Hogar
IMIP	Instituto municipal de investigación y planeación
INE	Instituto Nacional de ecología
INECC	Instituto nacional de ecología y cambio climático
INEGI	Instituto nacional de estadística geografía e informática
IPCC	Panel intergubernamental para el cambio climático (por sus siglas en inglés)
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
Lt	Litro
N ₂ O	Óxido nitroso
NH ₃	Amoniaco
NO ₂	Dióxido de nitrógeno
O ₃	Ozono
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico de los Países Desarrollados
O-D	Origen – Destino
ONU	Organización de las naciones unidas

Pb	Plomo
PED-BC	Plan estatal de desarrollo de Baja California
PIPCA	Programa Integral de Pavimentación y Calidad del Aire
PM ₁₀	Material particulado de 10 μm (1 micrómetros, corresponde la milésima parte de 1 milímetro)
PM _{2.5}	Material particulado de 2.5 μm (1 micrómetros, corresponde la milésima parte de 1 milímetro)
SCIAN	Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte
SEDATU	Secretaría de desarrollo agrario territorial y urbano
SEMARNAT	Secretaría de medio ambiente y recursos naturales
SO ₂	Dióxido de azufre
Ton	Tonelada
Zij	Zona de origen i y destino j
ZMVM	Zona metropolitana del valle de México

RESUMEN

La movilidad y el transporte urbano influyen en el desarrollo de una ciudad o región, pero también forman parte de la problemática urbana y ambiental. Para ello, se requiere actualizar el marco de la planeación urbana y del territorio que considere la relación entre transporte y cuidado del ambiente a partir de información sobre patrones de movilidad y sus impactos. El modelo clásico de demanda de transporte permite recabar la información a través de cuatro pasos: generación, atracción, distribución y asignación de viajes, sin embargo, no contempla el aspecto ambiental de consumo energético y contaminación. El modelo tradicionalmente ha sido planteado a partir de estudios de origen y destino (O-D) basados en encuestas que representan un elevado costo de elaboración y que se convierte en una limitante para su actualización, condición que exige la dinámica actual de las ciudades y zonas metropolitanas. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue desarrollar una alternativa metodológica de menor costo y fácil actualización, que se traduce en la elaboración de una matriz O-D basada en información estadística oficial de población y vivienda y de unidades económicas para las ciudades, que para el caso de estudio fue la ciudad de Mexicali en 2010. Dicha información sirvió de base para elaborar una matriz O-D de viajes al empleo y el planteamiento de los modelos de transporte, movilidad, consumo energético y emisiones contaminantes. Entre los resultados obtenidos; se realizaron 597,706 traslados diarios de personas en días hábiles con motivo de traslado hogar-empleo (HE) y empleo-hogar (EH), con un recorrido promedio de 6.03 km por viaje, un consumo de combustible promedio de 17.61 litros (lt) y 22.08 kilogramos (kg) de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) generados en cada viaje. Esta información puede ser consultada por los tomadores de decisiones en el proceso de planeación urbana y el modelo puede ser replicado para otros motivos de viaje y otras ciudades.

Palabras clave: modelo de transporte, transporte al empleo, movilidad urbana, matriz O-D y Gases Efecto Invernadero (GEI)...

ABSTRACT

Mobility and urban transport have effects on city or region development, but they are also part of the urban and environmental problems. For this reason, update the urban and territory planning framework it is necessary, the relationship between transport and environment care, based on mobility patterns information and their impacts must be considered. The classic model of transport demand allows collecting information through four steps: generation, attraction, distribution and trips allocation; however, does not include the environmental aspect of energy consumption and pollution. The model has traditionally been based on origin and destination studies (O-D) which are based on surveys, they represent a high production cost and that becomes a limitation for its updating, a requirement in the cities and metropolitan areas current dynamics. Therefore, the objective of this research was to develop a methodological alternative of lower cost and easy updating, which translates into the development of an OD matrix based on official statistical information about population, housing and economic units for cities, the case study was the city of Mexicali in 2010. This information served as the basis for preparing an OD matrix of travel to employment and the approach to transport models, mobility, energy consumption and polluting emissions. Among the results obtained; 597,706 daily trips of people were made on working days for transports home-employment (HE) and employment-home (EH), with an average route of 6.03 km per trip, an average fuel consumption of 17.61 liters (lt) and 22.08 kilograms (kg) of carbon dioxide equivalent (CO₂e) generated in each trip. This information can be consulted by the decision makers in the urban planning process and the model can be replicated for other travel reasons and other similar cities.

Key words: transport model, commuting, urban mobility, O-D matrix, GHG, energy consumption.

INTRODUCCIÓN

La movilidad y el transporte son aspectos determinantes de la dinámica urbana, ya que influyen en la eficiencia de su desempeño y reflejan en gran medida el desarrollo de una ciudad o una región, contribuyendo al acercamiento de las personas a sus actividades, al mejor aprovechamiento de la infraestructura y al cuidado del medio ambiente, así como al logro de la sustentabilidad en las diferentes dimensiones del desarrollo de una ciudad, región o país.

En cuanto a la configuración de la ciudad contemporánea, se ha observado una fuerte expansión horizontal en la ocupación del suelo y un desarrollo desprovisto de infraestructura, equipamiento y servicios, lo que ha ejercido presiones físicas y funcionales sobre los espacios públicos que estructuran el territorio, debido a la interacción entre las actividades realizadas y a los espacios y elementos que estructuran, conforman o se sitúan en los espacios de la localidad (Greene y Soler, 2005).

En este sentido, en las zonas urbanas, el movimiento de personas y materiales está relacionado con el nivel de interacción entre las actividades que realizan sus habitantes, la distribución espacial de los usos de suelo y las opciones de traslado disponibles. Por esta razón, en la planeación de la estructura urbana se requiere de conocimientos sobre patrones de movilidad, los impactos que esto puede producir, así como de la disponibilidad de información confiable y actualizada que permita la aplicación de instrumentos o herramientas para evaluar estrategias de crecimiento o inversión de las ciudades, con la finalidad de eficientizar los escasos recursos en su planeación (REDPGV, 2011).

Así mismo, el deterioro o evolución de los espacios urbanos, se vincula con su gestión territorial, que responda a las presiones demanda y oportunidades sobre estos espacios, que juegan roles de centralidad en una urbanización (Manríquez, 2016), en lo que respecta a la infraestructura vial, esto influye en los flujos de viaje de las zonas urbanas y en

general en los patrones de movilidad y sus efectos en la calidad de vida y el medio ambiente.

Por otro lado, de acuerdo al Banco mundial (2002), la población urbana continúa expandiéndose a más del seis por ciento anual en muchos países en vías de desarrollo y se pronostica que en el lapso de una generación, más de la mitad de la población del mundo en desarrollo, y entre un tercio y la mitad de sus pobres, vivirán en las ciudades, además, la cantidad y uso de automóviles per cápita continúa creciendo hasta en un 15 a 20 por ciento anual en algunos países por lo que la congestión del tránsito y la contaminación del aire continúan aumentando. Así mismo existe una falta de atención hacia los peatones y el transporte no motorizado lo que resulta en un aumento del uso de automóviles privados y en la caída de la demanda del transporte público así como en un deterioro en los niveles de servicio. Adicionalmente, se ha observado que las ciudades con crecimiento desordenado vuelven los viajes al trabajo excesivamente largos y costosos (Monzón y De la Hoz, 2009).

En este sentido, es imposible separar el término de movilidad urbana con el de transporte, son conceptos indisociables, por ello, es importante mencionar que en la segunda mitad del Siglo XX los vehículos motorizados causaron cambios económicos, sociales y ambientales derivados del nuevo modelo de movilidad urbana (Lizárraga, 2006), reduciendo las barreras en los desplazamientos largos, lo que generó la utilización excesiva del vehículo particular causando problemas de contaminación ambiental y congestionamientos, por lo anterior, se observa que la movilidad es un factor importante en la conformación de las ciudades, entendida como el derecho a desplazarse libremente de un lugar a otro (Arias y Martínez, 2017).

En la literatura sobre el tema, se encontró que para hacer frente a la problemática urbana y para eficientar los recursos y la planeación, existen diversas maneras de estudiar la movilidad urbana y el transporte, como lo son estudios de origen y destino, software de modelación y otros modelos que tratan de integrar las características que lo componen (Sánchez, 2005). Existen técnicas, herramientas y metodologías especializadas en su análisis; el uso de software de sistemas de información geográfica es particularmente útil

ya que relaciona la información socioeconómica con una localización física o geográfica que permite analizar y visualizar la información distribuida en el área de estudio, otra herramienta de apoyo es el uso de programas informáticos para modelar los sistemas de transporte como TRANPLAN, MINUTP, TRIPS, CUBE, EMME 3, ARCGIS y software libre, que nos permiten establecer y/o evaluar escenarios de proyección y estimación de impactos provocados por la modificación en dichos sistemas o alguno de sus elementos.

En los últimos años se ha observado un crecimiento de la movilidad urbana basado en el uso intensivo de vehículos motorizados privados (Lizárraga, 2006); por lo que al transporte motorizado se le atribuye un alto consumo de combustibles, la sobreexplotación de los recursos energéticos no renovables y la generación de emisiones que comprometen la calidad del aire para las generaciones actuales y futuras. Este tipo de consecuencias negativas han dado lugar a conceptos como sustentabilidad, a la cual se le asocian tres principales dimensiones que son la ecológica, relacionada al cuidado de la naturaleza; la económica, para garantizar los ingresos que protejan el cuidado de los recursos y la social, para que haya equidad en la distribución de costos y beneficios entre los distintos grupos sociales.

Aunado a lo anterior, se requieren marcos que involucren a la sustentabilidad en el estudio de la movilidad y el transporte, con el fin de equilibrar los objetivos económicos con el cuidado del ambiente (Lonza y Hernández, 2000) y en cuanto al transporte, este sistema consume espacio dedicado a las vialidades y otorga la facilidad de acceder a los sitios y actividades por su distribución geográfica, pues los tiempos de viaje están directamente relacionados con factores de productividad (REDPGV, 2011), además, la cantidad y longitud de viajes se relaciona con los usos de suelo y la localización de las actividades humanas, por lo anterior, la planeación del territorio tiene en la planeación ambiental un instrumento para la organización de los asentamientos humanos y el desarrollo de la sociedad, a través del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y humanos y la protección y calidad del medio ambiente (Salinas y Middleton, 1998).

En este sentido, Islas (2000) señala que, entre las técnicas más utilizadas se encuentran los estudios de origen y destino, diseñados para obtener información sobre el tipo y el número de viajes de bienes y de personas desde una zona de origen hacia otra de destino, así como

información relativa a volúmenes de tránsito, dirección de flujos, modo de transporte, y características socioeconómicas del usuario, a través de encuestas realizadas por medio de entrevista directa a los conductores de un vehículo, usuarios del transporte público o directamente en el lugar de habitación.

La información obtenida con estos estudios permite ahondar en el conocimiento de la demanda de transporte y sus características. El principal problema para la realización de este tipo de estudios se relaciona con su elevado costo de elaboración o de actualización, lo que se traduce en una limitada aplicación de los mismos (Bocanegra, 2005).

Por lo anterior, se puede decir que un sistema de transporte deficiente incrementa los costos individuales y sociales al restringir el acceso de los individuos al trabajo o educación, además, las clases menos privilegiadas están más expuestas a accidentes y a la contaminación generada por los sistemas de transporte. Así mismo, los usuarios del transporte público enfrentan barreras de acceso, disponibilidad, costo y tiempo, es por eso que el transporte público va más allá de una conexión territorial y se convierte en un instrumento de inclusión social (Jaramillo, Lizárraga y Gringlay, 2012).

Un manejo adecuado de la demanda de viajes en una ciudad o región contribuye a una mejor accesibilidad, para analizar dicho fenómeno, es necesario conocer los patrones de movilidad hacia el interior de una ciudad, analizar la dinámica territorial y realizar actualizaciones periódicas, esto se puede lograr con el planteamiento de un modelo de generación de viajes que permita analizar la demanda y proponer las mejores opciones de planeación territorial y de inversión en infraestructura vial y de transporte de acuerdo a los cambios en la población, usos de suelo y distribución territorial, para evitar el deterioro del ambiente, de la calidad de vida de la población y del desarrollo económico (Low & Gleeson, 2003). Existe una relación necesaria entre uso de suelo y transporte, por lo cual, se presenta la necesidad de realizar la planeación urbana con base en la accesibilidad al sistema de transporte: (Suárez-Lastra y Delgado-Campos, 2007).

Uno de los efectos adversos de una inadecuada planeación del transporte es la exclusión¹ de la que pueden ser objeto los ciudadanos, en este contexto, la exclusión social es la que predomina, pues dificulta el acceso de la población a lugares o actividades ya sea por disposición territorial, costo u horario de atención (Escobar, 2007 y Cebollada y Miralles-Guash (2010). La exclusión social depende de las actividades de las que el individuo es excluido, se han identificado tres procesos naturales, el primero se refiere a la organización del espacio-tiempo en los hogares, el segundo corresponde a la organización espacial-temporal del sistema de transporte y los distintos bienes o servicios a los que el individuo está tratando de acceder, el tercero está directamente relacionado con el transporte pues se refiere a la exclusión física, geográfica, psicológica y espacial.

El modelo de transporte consiste en una serie de relaciones representadas por expresiones matemáticas que describen características socioeconómicas y territoriales y nos permite expresar la situación actual en forma gráfica y sintética (BCEOM, 2005).

En la Tabla 1 se pueden observar los principales modelos que se han utilizado para el estudio de la movilidad, el transporte y las emisiones contaminantes, principalmente a escala urbana, sin embargo, su realización representa un alto costo ya que depende de encuestas de gran muestreo, que requieren mucho tiempo y personal que las realice y las procese, al mismo tiempo, los datos que resultan pierden vigencia y no dan información suficiente para la toma de decisiones, por ello hay que buscar alternativas viables y confiables que contribuyan a la planeación y al logro de la sustentabilidad (Cárdenas, 1999, Cal y Mayor, 2007, Ortúzar, 2012, Molinero y Sánchez, 2013).

¹ La exclusión social implica la imposibilidad de acceder como individuo o como grupo a las oportunidades de participación en la vida social y política de la comunidad, lo que reduce su calidad de vida material y no material (Escobar, 2007).

Tabla 1: Modelos de transporte, movilidad y accesibilidad urbanos

Concepto	Modelos	Indicadores	Variables
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> •Gravitacional •Acumulativo •Regresión •Correlación 	<ul style="list-style-type: none"> • Congestionamiento vial • Nivel de servicio 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad • Tiempo de recorrido • Demoras
Movilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Reparto modal • Trayectos • Motivos de viaje 	<ul style="list-style-type: none"> • Viajes por modo • Tiempos de viaje • Recorridos 	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de viajes • Tiempo en minutos • Kilómetros por viaje
Emisiones	<ul style="list-style-type: none"> • Factores de emisión • Balances 	<ul style="list-style-type: none"> • Viajes • Emisiones 	<ul style="list-style-type: none"> • Recorridos (Km) • Combustible: tipo y cantidad • GEI (Ton) • O₂ (Ton) • PM (Ton)

(Elaboración propia, basado en Cárdenas, 1999, Cal y Mayor, 2007, Ortúzar, 2012, Molinero y Sánchez, 2013)

Una vez que se cuenta con los resultados del análisis de los conceptos mencionados en los párrafos anteriores, esta información se convierte en un insumo valioso para la planeación urbana, ofreciendo argumentos para la toma de decisiones que mejoren el desempeño de la ciudad, su desarrollo urbano y económico a futuro así como la calidad de vida de sus habitantes, todo ello en el marco del desarrollo sustentable y la prevención del deterioro de los recursos naturales, con miras a detener el cambio climático y la contaminación, entre otros objetivos que debiera alcanzar la administración pública.

El aspecto sustentable de la movilidad y del transporte está relacionado con sus tres principales dimensiones, en la económica, se refleja en inversión en caminos o en transporte público y el desarrollo regional (Low & Gleeson, 2003), en el ámbito social tiene impactos en la salud y en la exclusión a ciertas actividades, mientras que en lo ecológico impacta a la biodiversidad, los recursos naturales y la atmósfera, por ejemplo, el transporte es la mayor fuente de bióxido de carbono (CO₂) (INE, 2009), de la cual el transporte urbano genera más de la mitad, por lo que si se quiere disminuir el CO₂ acumulado en la atmósfera, se deben hacer cambios en el sector transporte (Low & Gleeson, 2003).

La búsqueda de un transporte sostenible, es decir la incorporación de la sustentabilidad en la planeación de este sector, depende de que conozcamos las características de la región y

los patrones de movimiento de la población que nos permitan distribuir la infraestructura vial y de transporte de acuerdo a sus necesidades para lograr una eficiencia energética y espacial a través de la un mejor aprovechamiento del territorio, incorporando la utilización de la tecnología con modos de transporte adecuados para que se logre la equidad social, que el tomador de decisiones cuente con instrumentos e información suficiente y adecuada (Low & Gleeson, 2003).

En el ámbito local, el parque vehicular privado de Mexicali se ha incrementado, al mismo tiempo que la cantidad de viajes en transporte público urbano ha disminuido notablemente, mientras que la población sigue creciendo (XVIII Ayuntamiento de Mexicali, 2005). Además, el crecimiento de la mancha urbana provoca una mayor necesidad de viajes, cada vez más largos, aumenta la dependencia al vehículo particular, lo que genera mayor consumo de energía y mayor contaminación.

Entre algunos aspectos relevantes sobre la dinámica de movilidad urbana de Mexicali, se pueden resaltar los siguientes:

- En el periodo de 1990 a 2010, el parque vehicular en Mexicali aumentó a una tasa promedio de 16% anual mientras que la población creció en 6.3% anualmente y los viajes en transporte público disminuyeron casi en promedio 4% anualmente (XXI Ayuntamiento de Mexicali, 2014a).
- La ciudad presenta altos índices de contaminación, por ejemplo, las concentraciones de material particulado PM-10, de monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y ozono violaron la normatividad varias ocasiones entre 1997 y 2010 (Meza et al., 2010).
- Se han realizado estudios de transporte público para la ciudad de Mexicali en los años 1994, 2004, 2007 y 2011, estos dos últimos basándose en la información del 2004, sin embargo, en algunos no se incluyeron otros modos de transporte, en otros faltaron los impactos al ambiente o a la salud de la población que este sistema puede ocasionar, o bien se presentaron los temas de transporte e impactos al ambiente en forma separada.

- Se puede decir que la toma de decisiones basada en información precisa, rápida y económica es una de las principales preocupaciones para la planeación y gestión de la movilidad y el transporte urbano y, dado que no existen trabajos similares en nuestro medio, se planteó el presente estudio cuyos principales objetivos fueron:

Objetivo general

Evaluar la movilidad urbana sustentable de los traslados del hogar hacia el empleo y del empleo hacia el hogar a partir de un modelo alternativo de viajes, en la ciudad de Mexicali, B. C. en el año 2010.

Objetivos específicos

1. Estimar tasas de generación y atracción de viajes al empleo que se realizaron en Mexicali en 2010 con motivo del traslado del hogar hacia el empleo y del empleo hacia el hogar, con información de fuentes oficiales.
2. Integrar las cuatro etapas del modelo clásico de transporte entre sí y con modelos de evaluación de consumo energético y de emisiones de GEI de los viajes realizados en Mexicali en 2010 con motivo del traslado del hogar hacia el empleo y del empleo hacia el hogar.
3. Evaluar la relación espacial entre las zonas O-D a partir de los viajes realizados en Mexicali en 2010 con motivo del traslado del hogar hacia el empleo y del empleo hacia el hogar, así como las distancias recorridas en dichos traslados.
4. Evaluar la demanda energética y estimar las emisiones de GEI por los traslados del hogar hacia el empleo y del empleo hacia el hogar.

Pregunta general

¿Cómo puede ser evaluada la movilidad urbana sustentable de los traslados del hogar hacia el empleo y del empleo hacia el hogar a partir de un modelo alternativo de viajes en la ciudad de Mexicali, B. C. en el año 2010?

Preguntas específicas

1. ¿Cuáles son las tasas de generación y de atracción de viajes que se realizaron en Mexicali en 2010 con motivo del traslado del hogar hacia el empleo y del empleo hacia el hogar?
2. ¿Cómo se integran las cuatro etapas del modelo clásico de transporte entre sí y con los modelos de evaluación de consumo energético y de emisiones de GEI.
3. ¿Cómo es la relación espacial entre las zonas O-D a partir de los viajes realizados en Mexicali en 2010 con motivo traslado del hogar hacia el empleo y del empleo hacia el hogar a partir de las distancias recorridas en dichos traslados?
4. ¿Cuál es la demanda energética y la contribución de emisiones GEI a la atmósfera por el traslado del hogar hacia el empleo y del empleo hacia el hogar en Mexicali en 2010?

Hipótesis

Es posible evaluar la movilidad urbana sustentable a partir del planteamiento de un modelo alternativo de viajes al empleo en Mexicali durante el año 2010, a partir del planteamiento de una matriz O-D simulada con información estadística de fuentes oficiales.

Justificación

Desde que la preocupación por el medio ambiente y el cuidado de los recursos naturales ha quedado de manifiesto, se han delineado conceptos como sustentabilidad y desarrollo sustentable, los cuales han permeado hacia los diversos sectores que conforman nuestra sociedad, especialmente en los núcleos de desarrollo que son las ciudades, en este contexto, la planeación de la movilidad y del transporte urbano son considerados piezas clave para el logro del desarrollo urbano sustentable, considerando aspectos como estructura urbana, accesibilidad a la red vial y los deseos de viaje de la población, los

cuales permiten analizar la relación entre la provisión de servicios y las necesidades de transporte.

La principal fuente de información para la movilidad y el transporte urbano consiste en elaborar una matriz O-D, sin embargo es un proceso costoso y las entidades gubernamentales cuentan con presupuestos limitados que destinan a otros fines, por lo cual, se explora la posibilidad de obtener y organizar la información estadística disponible en fuentes oficiales como son INEGI, Estados y Ayuntamientos para plantear un modelo de análisis que nos permita conocer los patrones de viajes y sus efectos en el territorio y el medio ambiente con la finalidad de contar con información útil en la planeación urbana y ambiental.

En la medida que se disponga de una planeación de la infraestructura de transporte, a partir del conocimiento de los patrones de movilidad en cada ciudad o región, se tendrán mayores probabilidades de acercamiento a un transporte sustentable (Low & Gleeson, 2003). En este sentido, contar con una movilidad eficiente en una ciudad o región, no tiene sentido si no cumple con proporcionar una adecuada accesibilidad a los lugares y/o actividades a los que la población requiere acceder, es decir, debe incluir la proximidad física necesaria para evitar la exclusión de los individuos en la realización de sus actividades cotidianas y la satisfacción de sus necesidades básicas de trabajo, educación, compras, esparcimiento o servicios en general.

Los sistemas de transporte y movilidad han sido abordados de manera aislada a partir de metodologías basadas principalmente en modelos matemáticos, pero al estar constituidos de diversos elementos o subsistemas, es necesario estudiarlos desde una visión integral. Por ejemplo, en Mexicali no se han realizado estudios de este tipo, en los cuales se relacione la información de los modelos de transporte, de movilidad y emisiones que permitan un análisis desde la ubicación de los puntos de generación y atracción de viajes hasta la estimación de los efectos negativos de los traslados, en este caso la generación de GEI que juegan un papel preponderante en el cambio climático, por ello, se deben considerar otras formas de analizar el transporte más allá del modelo clásico ya que no ha sido suficiente para solucionar los problemas.

Este escrito está estructurado de la siguiente manera: en la Introducción se presentan los antecedentes de estudios relacionados con el tema, los objetivos, alcances y justificación de la presente investigación, así como el estado del arte respecto al estudio de esta problemática, en el Capítulo uno se puede encontrar el marco de referencia respecto a los conceptos principales que son sustentabilidad, desarrollo urbano, estructura urbana, planeación, movilidad y transporte, describiendo las teorías que los preceden y sustentan, los elementos que lo componen y la forma de cuantificarlos o evaluarlos según corresponda.

El Capítulo dos consta de la descripción de la metodología seguida para realizar los análisis que permitieron dar cumplimiento a los objetivos planteados en este escrito, entre los que se encuentran el modelo de movilidad, el modelo de transporte y las emisiones contaminantes, así como para la elaboración de la matriz origen y destino de viajes que es la base para calcular los demás conceptos mientras que en el Capítulo tres se presenta la caracterización de la ciudad de Mexicali en el ámbito del transporte y la movilidad urbana, así como los resultados obtenidos en la investigación de acuerdo a los objetivos y alcances planteados, permitiendo realizar discusiones, conclusiones y recomendaciones.

1.- SUSTENTABILIDAD, CIUDAD Y MOVILIDAD

En este apartado se presentan los antecedentes teóricos de los conceptos relacionados con sustentabilidad, desarrollo urbano, estructura urbana, movilidad y transporte, orientados hacia los patrones de traslado de la población para la realización de sus actividades cotidianas, como los viajes realizados hacia al empleo desglosando sus componentes y los modelos aplicados para su análisis.

1.1.- Sustentabilidad y desarrollo urbano

La preocupación mundial por la naturaleza dio lugar a la confrontación de ideologías entre ambiente y desarrollo al relacionar variables como población, producción de alimentos, industrialización, contaminación y consumo de recursos no renovables, la principal controversia debatía entre lo que representa el sistema económico y el ambiente natural (Villegas y López, 2001), a partir de este debate surgieron términos como el de desarrollo sustentable, al que se le asocian tres objetivos básicos a cumplir: ecológicos, relacionados con el cuidado de la naturaleza; económicos, para garantizar los ingresos que protejan el cuidado de los recursos y sociales, que haya equidad en la distribución de costos y beneficios entre los distintos grupos (Salinas y Middleton, 1998).

El término sustentable se aplica a casi cualquier actividad realizada por el ser humano, en el sentido de aprovechar los recursos naturales de la mejor manera posible, al mismo tiempo que se procura su preservación para las futuras generaciones, y que las emisiones o desechos se puedan mantener dentro de la capacidad de absorción de los vertederos locales y globales, por su parte, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico de los Países Desarrollados (OCDE) focaliza la acción ambiental en el medioambiente urbano, entendido como la ciudad y define tres temas prioritarios para las políticas ambientales; la rehabilitación urbana, el transporte urbano y la energía urbana (Cárdenas, 1999).

Con el tiempo, el concepto de sustentabilidad ha sido analizado desde diversas dimensiones y escalas, así como con enfoques desde y hacia diversos sectores, por el ejemplo, en el enfoque ecológico, va desde un individuo hasta la biósfera completa, en las ciencias sociales se aplica desde una vivienda hasta escala mundial, mientras que Grainger (2004) propone escalas espaciales que envuelven desde la más pequeña, que es la vivienda, hasta la mayor que es la mundial. Otro esquema para el estudio de la sustentabilidad propuesto por Satterwaite (2004) es a través de la planeación sectorial, mismo que incluye a los principales servicios urbanos y de producción como son los sectores del transporte, desechos sólidos, áreas verdes y edificación, así como la agricultura y la manufactura industrial.

En la vida diaria se presentan interacciones entre los diversos sectores productivos, de actividades y de servicios, por lo que otra forma de evaluar o proponer el logro de la sustentabilidad es a través de modelos de cadenas sugerido por Tjallingii, (1995), quien propone la utilización de modelos de encadenamiento intersectorial donde se relacionan los diversos sectores y escalas, por ejemplo, el manejo del agua incide en los diferentes sectores como son vivienda, industria y agricultura al mismo tiempo que relaciona diferentes escalas espaciales que van desde la edificación hasta nivel nacional, al interior de un país.

Dentro del contexto de los enfoques y escalas en que se divide el estudio de la sustentabilidad, así como el análisis de la problemática relativa a cada uno de ellos, se ha determinado que uno de los sectores socioeconómicos más relacionados con la contaminación es el de transporte, pues la movilización de automóviles públicos y privados ocasiona un gran consumo energético y genera emisiones que producen contaminación del aire y degradación del ambiente urbano (IPCC, 2000).

Así mismo, está relacionado con la densidad urbana y con la configuración del uso de suelo pues estas influyen en la cantidad de combustible consumido y en el modo de transporte seleccionado, el sector transporte es básico para el desarrollo de una región (Bazant, 1998) pero es también un gran consumidor de energía, principalmente no renovable, y un importante generador de contaminación por lo que puede contribuir como causa y/o solución a la sustentabilidad y al desarrollo.

Por otro lado, el desarrollo urbano es un fenómeno económico social que atiende las necesidades básicas de la población, conlleva un proceso de asignación de recursos en términos físicos y financieros orientados a la satisfacción de necesidades y atención de los problemas de la sociedad. Dentro de las condiciones para el logro del desarrollo urbano, es requerimiento indispensable contar con sistemas de transporte adecuados y eficientes para que el traslado de personas y mercancías de forma ágil, cómoda, económica y segura (Bazant, 1998).

Los conceptos de sostenibilidad y sustentabilidad, aún con diferentes acepciones o interpretaciones confluyen en el ámbito ecológico o ambiental, mientras que el concepto de desarrollo implica una serie de enfoques ya que se aplica a los ámbitos social, económico y cultural, de acuerdo con Gallopin (2003) el desarrollo apunta a la idea de cambio gradual y direccional, como un medio para lograr el crecimiento económico.

En este sentido, el término Desarrollo Sustentable surgió a partir del Informe Brundtland, donde se declaró que consiste en aprovechar los recursos de tal manera que se puedan satisfacer las necesidades actuales, sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras, al cual se le asocian tres objetivos básicos a cumplir: ecológicos, relacionados con el cuidado de la naturaleza; económicos, para garantizar los ingresos que protejan el cuidado de los recursos y sociales, que haya equidad en la distribución de costos y beneficios entre los distintos grupos (Salinas y Middleton, 1998).

El desarrollo sustentable se ha introducido en la formulación de políticas a todos los niveles, la aplicación de este concepto a las áreas urbanas es esencial por una serie de razones; en términos económicos, estas razones incluyen el hecho de que las ciudades son motores del crecimiento y centros de poder; en términos medioambientales, las áreas urbanas plantean graves retos e imponen, cada vez más, una pesada carga sobre el medio ambiente, por ejemplo, en lo que se refiere al cambio climático, especialmente en relación con el uso equilibrado de los recursos y el vertido de contaminantes y en términos sociales, las áreas urbanas marcan estilos de vida y son los principales motores del cambio. Además, el fenómeno de la urbanización está creciendo a nivel mundial y así los problemas que surgen con él son aún más apremiantes (Lonza y Hernández, 2000).

Desde este enfoque, para lograr el desarrollo sustentable se necesita procurar la integración de los intereses sociales, económicos y ecológicos, estableciendo y dando seguimiento a límites de sostenibilidad, atendiendo a sus atributos como son: disponibilidad de recursos, adaptabilidad y flexibilidad, homeóstasis general o estabilidad, capacidad de respuesta, auto dependencia y empoderamiento (Rodríguez, 2003) así como considerar la interrelación entre las distintas regiones y países, desarrollados o no, pues el impacto al medio ambiente se refleja en todo el planeta.

De acuerdo con Grainger (2004), las dos principales metas del desarrollo sustentable son la de proteger el medio ambiente e incrementar la igualdad dentro y entre países, para lograr su cumplimiento es necesario dividir el planeta en escalas adecuadas, las cuales se definen como la dimensión utilizada para medir un fenómeno y están divididas convenientemente en jerarquías o niveles (Gibson, 1998).

El desarrollo urbano sustentable es aquel que busca el crecimiento económico de las ciudades, disminuyendo la carga hacia el medio ambiente, eficientando el uso del territorio y mejorando las condiciones de vida de la población (Lonza y Hernández, 2000), tiene que prever, planificar, dirigir y coordinar esfuerzos para lograr un crecimiento urbano, armónico, ordenado y con respeto al medio ambiente (Torres, 2008). Las ciudades difieren en su enfoque hacia la sustentabilidad, por ejemplo, en las ciudades desarrolladas del norte de Europa las preocupaciones se enfocan en la calidad y eficiencia ambiental, mientras que en las no desarrolladas o en desarrollo las prioridades son la pobreza, salud y necesidades básicas (Gordon, 2004).

Entre las definiciones de sustentabilidad urbana, podemos encontrar que es aquella donde las ciudades con baja o decreciente huella ecológica per cápita son más sustentables, así como también cuando las ciudades que crean bienestar no declinable per cápita están en un camino a la sustentabilidad, y por último, cuando las ciudades reducen los riesgos a la salud, minimizan la contaminación y maximizan el uso de recursos renovables contribuyen más al desarrollo sustentable total (Leitmann 1999).

En la búsqueda de la sustentabilidad urbana es más realista hablar de regiones, en una escala suficiente para incorporar los sistemas metabólicos y los impactos ambientales,

poniendo atención a la distribución espacial de la población y de las actividades económicas, (Gordon, 2004).

Este concepto es significativo desde el nivel global hasta el nivel regional, pero no es aplicable en todas las escalas debido a que, por los procesos del capital natural, social y económico, el desarrollo sustentable se da desde el nivel regional hacia niveles superiores, es decir, las ciudades y la vivienda no pueden desarrollar sustentabilidad por sí solas, pero sí se mejora la función de las ciudades y de los procesos que ahí se llevan a cabo, se puede incrementar la sustentabilidad global (Grainger, 2004).

1.2.- Estructura urbana y movilidad

Al término espacio se le considera como una “forma física ya sea natural o construida por el hombre” (Hiernaux, 1995, p. 27), es también un recurso natural y el elemento del cual las sociedades emergen; se convierte así, en el “soporte para la integración y estructuración de los asentamientos humanos” (Lambin et Al, 2001 en Mendez, 1996). El término espacio ha sido definido desde diversos puntos de vista como son el espacio social, el cual se considera como la acción de grupos, factores con conocimiento e ideología o con el dominio de representaciones (Lefebvre, 1991. P. 77). Para efectos de esta investigación se considera únicamente la acepción de espacio desde el punto de vista físico.

Históricamente, el espacio ha sido definido a partir de la influencia de grupos dominantes, no solamente como un contenedor de objetos, sin embargo, con la expansión de las actividades productivas se ha empleado en la producción de plusvalía, como una materia prima, a partir de sus exigencias económicas, políticas y culturales. En los tejidos urbanos existe un consumo productivo del espacio para la construcción de vías de comunicación, edificios y otros equipamientos urbanos, en este ámbito, la función del espacio es la de formar y de dividir, en una nueva forma, la superproducción de la sociedad (Bettin, 1982).

Por otro lado, se considera a la industrialización como el inicio o la formación de zonas urbanas (Lefebvre, 1991) supone este hecho como el máximo transformador de la sociedad contemporánea y el inductor de la urbanización mientras que Castells (1972) define urbanización como “...la concentración espacial desde ciertos límites de población

y densidad y como difusión del sistema de valores, actitudes y comportamientos bajo la denominación de cultura urbana”, Hiernaux (1995:23) considera que la dinámica de las formas espaciales construye un espacio más adecuado a las necesidades de sus relaciones sociales, de su actividad económica o de sus necesidades socioculturales”.

En ese sentido, el estudio del espacio urbano va de la mano de una perspectiva sociológica, pues es un elemento de transformación que articula los elementos que constituyen una sociedad, por ejemplo, para Castells (1972), las instancias fundamentales de la estructura social son tres: economía, política e ideología, por ello, los elementos de los sistemas económico, político-institucional e ideológico, dan forma y expresión específica al espacio, no solo desde el punto de vista físico, sino también social, así mismo, señala que el sistema político-institucional tiene dos tipos de relación con el espacio que son la de dominación-regulación y la de integración-represión. Otro aspecto de la relación entre el Estado y el espacio es la subdivisión y la distribución de los distintos asentamientos en el territorio (Bettin, 1982).

La urbanización del territorio va estrechamente ligada a los cambios económicos, sociales y al desarrollo industrial, lo cual trae como consecuencia un aumento de la población urbana, una extensión de su tamaño y el surgimiento de fenómenos como la migración campo-ciudad y el desarrollo de sistemas de transporte cada vez más complejos (Rojas et al., 2009), así mismo, el espacio se estructura por medio del proceso de la reproducción de la fuerza-trabajo en las unidades urbanas Castells (1972), mientras que Weber (en Bettin, 1982) afirma que el suelo, al venderse libremente, se convierte en un instrumento de crédito con valor de capital favoreciendo la libre edificación de una ciudad (Bettin, 1982).

Para definir el concepto de urbano es necesario considerar, en primer lugar, el elemento ecológico-espacial, el cual, en las zonas urbanas gira en torno a factores como tamaño de la población y la densidad; en segundo lugar, hay un elemento económico, que considera las actividades que tienen lugar dentro de la zona y, un tercer elemento consiste en distinguir lo rural de lo urbano es el carácter social de la zona, por ejemplo, la forma en que la población rural y urbana vive, su comportamiento, características, sus valores, la manera en que perciben el mundo, y la manera en que se interrelacionan (Paddison, 2001).

Las formas urbanas contemporáneas han tenido la influencia de procesos como la dispersión urbana, que fue favorecida por la existencia de suelo abundante a bajo costo en las periferias, reducidos costos de transporte y el dominio en la economía de la industria de tecnología y servicios, lo que llevó en muchos casos a que las ciudades crecieran más rápido que la población (Rodrigue et al., 2009).

La aglomeración humana o el asentamiento de la misma con cierta proximidad dieron origen a lo que hoy conocemos como ciudad. La ciudad es reunión y concentración de hombres, de recursos materiales y de instituciones cuya finalidad es la de satisfacer tanto las necesidades colectivas surgidas tanto en su interior como en el exterior (Bettin, 1982).

Existen diversas perspectivas desde las cuales se ha definido dicho concepto, Bettin (1982) realizó un análisis de diversos autores acerca de esta acepción, por ejemplo, menciona que Wirth define la ciudad como un asentamiento relativamente grande, denso y permanente de individuos socialmente heterogéneos. Weber (en Bettin, 1982) la define como un asentamiento de casas colindantes que constituyen un asentamiento compacto, desde el punto de vista de la economía.

La ciudad es un asentamiento cuyos habitantes obtienen sus rentas por medio de una actividad industrial y cubren sus necesidades gracias a un intercambio de bienes, en virtud de esta fuerza económica la ciudad ejerce influencia sobre el resto del territorio no urbano. Según Park (en Bettin, 1982), la ciudad es un conjunto de costumbres, actitudes y sentimientos transmitidos mediante una tradición, es decir, es un producto de la naturaleza humana. La atención de Roderick McKenzie en el estudio de la ciudad es la metrópoli, fue uno de los primeros sociólogos que se ocupó de esta nueva dimensión de la organización urbana, con un enfoque ecológico hacia la organización social en el espacio urbano (en Bettin, 1982).

Los conceptos de ciudad y zona urbana están relacionados entre sí, generalmente lo urbano se confina a los límites de la ciudad, a través de factores como son tamaño de la población, densidad, espacio, organización económica y social, función económica, oferta de trabajo y la demanda. Los asentamientos urbanos suelen definirse en base a criterios como límites administrativos o en el tamaño de la población (Paddison, 2001).

En lo que respecta a las actividades, dentro de las urbanizaciones se pueden distinguir a partir de una clasificación de usos de suelo, los cuales se refieren precisamente a las actividades que se realizan en un determinado espacio (Suárez-Lastra y Delgado-Campos, 2007) son “las acciones, actividades e intervenciones que realizan las personas sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla” (IPCC, 2000: 26). el uso del suelo “es un término clave en el lenguaje de la planeación de ciudades” (Guttenberg, 1959: 143).

En este sentido, la estructura espacial urbana está apoyada en una serie de interacciones entre la gente, las mercancías y la información, dentro de los cuales, el sistema de transporte urbano y la infraestructura que lo compone confiere una configuración espacial a las ciudades, la configuración de las calles y de las demás vías de comunicación constituye la espina dorsal de la vida ciudadana, puesto que “...Las actividades humanas² y el territorio interactúan para producir un modelo de relaciones... el territorio es inherente del funcionamiento de las estructuras sociales...” (Hiernaux, 1995, p. 21).

En cuanto a la movilidad urbana, está relacionada con la facilidad de desplazamiento que ofrecen los medios de transporte, es una variable cuantitativa que mide la cantidad de movimientos que hacen las personas o los bienes en un sistema específico o en una área socioeconómica (Jaramillo, Lizárraga y Grindlay, 2012) mientras que la vocación territorial de un asentamiento se define en términos del transporte motorizado y de la competencia con otras regiones, se convierte en la unidad comunitaria donde se conforman las relaciones locales de un extremo a otro de un país (Bettin, 1982).

La movilidad traduce la adaptación de la demanda a la oferta, sin embargo, no contempla los desplazamientos no realizados por falta de o insuficiencia de medios de transporte (Martín, 2007), es decir, se circunscribe a la oferta que el usuario tiene a su disposición. Mientras que, en el contexto del sector transporte, el concepto de forma urbana se refiere a la disposición espacial de la infraestructura existente, dado por los sistemas de transporte urbano, debido a que la distribución espacial de las actividades influye en el patrón de

² Se refiere a las actividades cotidianas que realiza la población para la satisfacción de sus necesidades como son trabajo, recreación, estudio, compras y salud, entre otras.

comportamiento de viajes, el modo seleccionado y la cantidad y longitud de los mismos (Rodríguez, 2009).

1.3.- Movilidad sustentable

La movilidad urbana se refiere a los patrones de viajes intraurbanos, incluye aspectos sociales, económicos y ambientales, implica la posibilidad de realizar desplazamientos en forma cómoda, rápida, económica y segura (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007), un aspecto relevante en la movilidad urbana es la distribución espacial de la ciudad y de las actividades que ahí se llevan a cabo, el concepto de forma urbana es muy amplio y a menudo se confunde o se restringe al uso del suelo, una definición de la misma es la que representa aspectos como distribución de la población, el empleo e infraestructuras que se pueden separar en tres ámbitos: uso del suelo, estructura espacial y expansión urbana (De la Fuente, 2009).

La movilidad en las áreas urbanas está estrechamente relacionada con aspectos económicos, medioambientales y sociales de la vida en las ciudades y forma parte de lo que les permite ser centros vitales de actividad. Por lo que, avanzar hacia la movilidad urbana sostenible significa mitigar las externalidades negativas del transporte, tales como la contaminación del aire y la contaminación por ruido. También exige la conservación de los recursos, la reducción del consumo energético, el alivio de la congestión y la resolución de problemas de equidad (Lonza y Hernández, 2000).

Recientemente, la adopción de los términos movilidad sustentable y transporte sustentable ha contribuido a establecer definiciones e indicadores que aportan elementos para el abatimiento de esta problemática, a través del diseño de herramientas para su evaluación y estrategias para la adaptación y reducción de contaminación. En el caso de la movilidad urbana sustentable, ésta depende de la existencia de patrones de transporte que permitan accesibilidad y oportunidades para cubrir necesidades económicas ambientales y sociales, reduciendo las implicaciones negativas (Jaramillo, Lizárraga y Grindlay, 2012).

Además, la movilidad está estrechamente relacionada a la geografía urbana, a través de patrones y procesos espaciales, sin embargo, se requiere una mayor integración entre la modelación urbana y la evaluación del desarrollo urbano sustentable. Las ciudades y

regiones urbanas deben enfocarse en la modelación del desarrollo sustentable y ampliar sus alcances para dirigirse a cuestiones de calidad ambiental, mejorar su tratamiento de la equidad social, explorar la distribución social y los costos ambientales, consumos y uso de recursos (Gordon, 2004).

En este sentido, existe un debate sobre la relación entre la forma urbana y el logro de la movilidad sustentable, las dos principales contradicciones consisten en comparar la ciudad compacta y la ciudad dispersa. El principio que define a la ciudad compacta consiste en la conformación de una mezcla de actividades en el núcleo urbano, donde se encuentren vivienda, trabajo y compras, lo que implica altas densidades de población; la principal justificación para defender este tipo de forma urbana para llegar a la sustentabilidad es que reduce el consumo energético por el transporte al disminuir la cantidad y longitud de viajes, sin embargo, se conoce muy poco acerca de la influencia del ambiente construido sobre el patrón de viajes de la población.

Los que apoyan la ciudad dispersa argumentan la ciudad verde, es decir una estructura urbana abierta, con un patrón de usos tipo mosaico donde se mezclan edificios con áreas verdes, las mayores desventajas se atribuyen a la forma compacta argumentando que se cuenta con menos espacios verdes, incremento de la congestión y de la segregación, reducción en la calidad de vida y mayor deterioro del ambiente (Holden y Norland, 2005).

Existe también una discusión sobre la influencia del transporte en la forma urbana, con relación a que, si cierto patrón de ciudad puede reducir el consumo de energía per cápita, dicho debate tiene dos enfoques principales:

1. Autores como Boarnet y Sarmiento (2001), Cervero y Kockelman (1997), Newman y Kenworthy (2000), Dargay y Hanly (2004), sugieren que a través del control del crecimiento urbano, aumentando la densidad de población y propiciando usos mixtos del suelo se propicia la reducción del número de viajes motorizados, el aumento de los viajes no motorizados, la reducción de la distancia de viaje y el incremento en la ocupación de los vehículos, lo que coadyuva en la reducción del consumo de energía en el sector transporte y de la contaminación,

2. Breheny y Rookwood (1996) difieren del argumento anterior, manifiestan que no se ha demostrado que las políticas de contención al crecimiento urbano provoquen la disminución del consumo de energía por el transporte, su premisa es, que se debe dejar que el mercado libre determine la localización de las actividades y la residencia.

En este mismo sentido, Newman (1996) ha llegado a las siguientes conclusiones: Las densidades bajas de población llevan a la disminución de accesibilidad del peatón, largos viajes de traslado y una reducción de rutas de transporte público en determinadas áreas de la ciudad, lo que da como resultado el incremento de la dependencia del automóvil, el uso desconsiderado de energía y el consecuente aumento de la contaminación global.

Los responsables de la política urbana necesitan marcos de evaluación sólidos para ayudarles en el logro de las metas de la sustentabilidad con el fin de equilibrar objetivos políticos contrapuestos tales como el fomento del desarrollo económico y la disminución del deterioro medioambiental. Esta necesidad se experimenta especialmente cuando se aborda la movilidad urbana donde se requieren modelos dinámicos de información para garantizar la vigilancia de los progresos y mantener constantemente al día a los responsables políticos (Lonza y Hernández, 2000).

En resumen, se puede decir que a la movilidad urbana sustentable se le atribuye la capacidad de desplazamiento de personas o cosas, haciendo uso integral y racional de los recursos naturales y los flujos de energía, a través de medios de transporte alternativos y no contaminantes, que sean compatibles con el crecimiento económico, cohesión social y defensa del medio ambiente, garantizando de esta forma, una mejor calidad de vida para los ciudadanos (Osorio, 2010).

1.4.- Planeación urbana y de transporte urbano

Para afrontar la problemática urbana se cuenta con disciplinas como la planeación, que tiene como meta plantear la estructura urbana considerando aspectos geográficos, ecológicos, económicos, sociales y políticos orientados a determinar la acción futura, a través de una secuencia definida de etapas (Ducci, 2009). En este sentido, existen diferentes corrientes de planeación urbana, entre las contemporáneas se encuentran el Desarrollo Inteligente, el Nuevo Urbanismo, el Desarrollo de Rellenos y el Redesarrollo

de Terrenos abandonados o subutilizados, con cierto grado o presunción de presencia de contaminación.

En términos generales, la planeación es el proceso de establecer objetivos y elegir los medios más adecuados para lograrlos, es decir, es el proceso de decidir antes de que se requiera la acción. (Goodstein, Nolan y Pfeiffer, 1993). Como disciplina, la planeación enfrenta nuevos escenarios que demandan responder a los desafíos de equidad, productividad y sustentabilidad (Suárez, M. en Castellano et al, 2017) en este sentido, desde la década de los años cuarenta, la CEPAL (Comisión Económica Para América latina y el Caribe) se ha esforzado por aplicar esquemas de planeación para el desarrollo en Latinoamérica.

La planeación del desarrollo permite constituir un modelo de ocupación del territorio en el mediano y largo plazo donde se establece la estructura básica y acciones necesarias para la adecuada expansión de regiones urbanas, en este sentido, la planeación del ordenamiento territorial constituye una de las estrategias más importantes de las autoridades regionales para orientar el desarrollo hacia metas de sostenibilidad y seguridad (Capra.org, 2007).

En este sentido, las actuales políticas urbanísticas y de transporte están llevando a un crecimiento excesivo de los viajes en automóvil, lo cual causa congestionamiento, contaminación, ruido, lluvia ácida y el riesgo de calentamiento global del planeta (OCDE, 1998), por lo que se ha puesto de manifiesto la necesidad de poner en práctica medidas que promuevan la reducción del uso del automóvil y el aumento en el uso del transporte público, bicicletas o desplazamientos a pie, así como promover un mejor uso de las infraestructuras existentes que puedan aliviar la congestión y sus consecuencias que los métodos tradicionales de ampliación de la oferta de infraestructuras de transporte no han resuelto, a estas medidas se les ha llamado Gestión de la Demanda de Transporte o Planeación Orientada al Transporte, pero, estas propuestas resultan ineficaces si se promueven únicamente desde las autoridades, su éxito requiere el apoyo de las instituciones y de los ciudadanos (Pozueta, 2000).

En síntesis, las medidas experimentadas para orientar la demanda de transporte son las siguientes: reducción de la demanda de movilidad, a través de la promoción del teletrabajo, la educación a distancia, reducción del número de días de trabajo o estudio

semanal y promoción de modelos urbanos de baja demanda de movilidad; otra medida es la promoción de medios de transporte alternativos con desplazamientos a pie, redes ciclistas, promoción del transporte colectivo, y regulación de los lugares de estacionamiento; por último, la optimización del uso de las infraestructuras existentes a partir de la implementación de horarios flexibles y escalonados de entrada y salida al trabajo, construcción de carriles bus y de alta ocupación, uso de vehículos compartidos y regulación del acceso a la red vial principal (Ite, 1989, Wachs, 1989; Ferguson 1990, Giuliano, 1992; Pozueta, 2000 y USDOT 1993).

En cuanto al transporte, este concepto se refiere al traslado de bienes o personas de un lugar a otro y se considera una actividad derivada puesto que su finalidad es la de realizar alguna otra acción o tarea como educación, estudio, comercio, diversión, salud, etc., se puede decir que la demanda de transporte representa el número de personas que desean o requieren viajar (Ortúzar, 2012). Puede ser urbano o interurbano, público o privado (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007), está relacionado recíprocamente con el sistema de actividades de la población y la estructura de flujos de viajes y se entiende como la relación socioeconómica y espacial entre los distintos espacios (Suárez-Lastra y Delgado-Campos, 2007).

Un sistema de transporte demanda infraestructura y regulaciones de circulación (Jaramillo, Lizárraga y Grindlay, 2012), sus principales elementos son: el usuario, la infraestructura, el vehículo y las políticas que lo rigen (Bazant, 1998). Un aspecto trascendente del modelo de transporte es que se requiere conocer la cantidad de personas que se trasladan con las finalidad de realizar una actividad en particular, a lo que también se ha denominado motivos de viaje, siendo el más importante el de viaje hacia el empleo.

El transporte y la movilidad en las ciudades y regiones urbanas deben orientarse hacia la modelación del desarrollo sustentable y en ampliar sus alcances para dirigirse a cuestiones de calidad ambiental, mejorar su tratamiento de la equidad social, explorar la distribución social y los costos ambientales, consumos y uso de recursos (Gordon, 2004).

En cuanto a las externalidades negativas de este sector, se le atribuye un gran consumo energético, lo que genera una gran cantidad de emisiones contaminantes, principalmente por el extendido uso del automóvil particular cuyas tendencias van en aumento, entre

dichos contaminantes se encuentran los GEI que contribuyen al cambio climático, pues la mayor parte de los automóviles en circulación utilizan combustibles fósiles (INECC, 2014). El aspecto positivo es que, el traslado eficiente intra e interurbano de mercancías y personas es un detonante de desarrollo regional (Bazant, 1998) pues la movilidad ha sido beneficiada por la tecnología, la cual le otorga una libertad de movimiento y una posible disminución de sus costos (Low y Gleeson, 2003).

Además, por lo regular, el diseño, ejecución y evaluación de políticas públicas se desarrollan sin un marco de planeamiento que permita ordenar y orientar las acciones hacia el desarrollo integral de un país, región, municipio o institución. Si no se tienen claros o explícitos los objetivos estratégicos o grandes metas de la planeación, la asignación de recursos no siempre se encamina hacia las prioridades o necesidades básicas (Medina y Ortega, 2006)

Ahí radica la importancia realizar una gestión del transporte que contribuya a la mitigación de contaminantes y su concentración en la atmósfera, pues resolver los problemas en la ciudad puede ser la mayor contribución a solucionar los problemas de presión al ambiente, pues es aquí donde se concentran las actividades económicas y se toman las decisiones cuyos efectos son a largo plazo y generalmente irreversibles, es por ello que cualquier estrategia ambiental debe considerar los efectos de transporte (Gossop y Webb 1993). Así mismo, en la medida que se disponga de una planeación de la infraestructura de transporte, a partir del conocimiento de los patrones de movilidad en cada ciudad o región.

1.5.- Modelo de transporte

El planteamiento de un modelo de transporte, también llamado modelación de la demanda de transporte, permite estimar los flujos de pasajeros o vehículos que hay en una red en cada uno de los modos, es decir, representa la cantidad de viajes en un periodo determinado, derivados de la realización de una serie de actividades. Son herramientas necesarias para la planificación de transporte y permiten obtener información cuantitativa sobre su desempeño. A los tomadores de decisiones les sirve para prever los efectos de la aplicación de medidas, políticas, regulaciones o restricciones, con el objetivo de precisar cómo invertir los recursos y para definir políticas públicas (Castiglione et Al., 2014).

El modelo clásico para el estudio del transporte, también llamado de cuatro etapas, consta de cuatro modelos denominados generación, atracción, distribución y asignación de viajes, consiste en representar la interrelación entre los dichos modelos para lograr el equilibrio entre oferta y demanda que se supone implícito en la estructura organizacional del mismo. Generación: Es el proceso mediante el cual se cuantifican los viajes producidos por personas residentes en una zona o área determinada.

1. Atracción: Es el proceso mediante el cual son atraídas las personas que desarrollan una actividad en una determinada área urbana.
2. Asignación. Se utiliza para estimar el flujo en una red de transporte, usualmente a través de algún método de equilibrio que utiliza el tiempo de viaje y congestión, con la premisa de que los individuos puedan reducir sus costos mediante la selección de rutas. Este paso permite desarrollar mejoras de transporte a la red.
3. Distribución: Es el proceso mediante el cual se determinan las zonas de origen y destino de los viajes generados, esto es, las producciones de viaje de cada zona que se conectan con todas las zonas a las cuales son atraídos.

El enfoque clásico considera una red multimodal, la zonificación del área de estudio y la recolección y calibración de datos socioeconómicos, útiles para la valoración del modelo y para fines predictivos. Con estos datos se pueden calcular los viajes generados y atraídos por cada zona, a través de métodos estadísticos, para generación de viajes datos a nivel hogar y para atracción a nivel zonal, considerando actividades económicas, propósitos de viaje, y hora del día, planteados a través de una matriz. Posteriormente se reparten los viajes zonalmente y por modalidad de transporte, lo que también se conoce como partición modal (Ortúzar, y Willumsen, 1994), en la Figura 1 se presenta el modelo general de viajes.

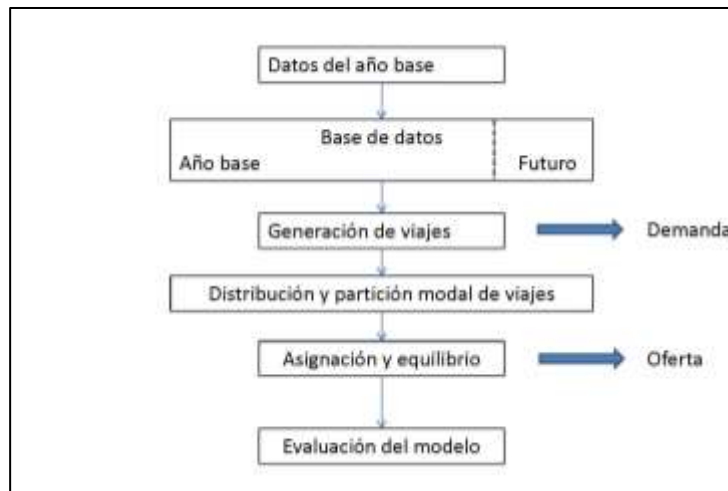


Figura 1. Modelo general de viajes (Cal y mayor, 2007)

Otra clasificación importante es la relacionada al comportamiento de los individuos pues su comportamiento depende de sus características socioeconómicas como el ingreso, posesión de automóvil, autos por vivienda, tamaño y tipo de vivienda, densidad residencial, tasa de motorización y accesibilidad, servicios y comercio. En la Tabla 2 se presentan los variables e indicadores de los modelos de generación, atracción, asignación y distribución de viajes, también conocido como el modelo de cuatro pasos.

Tabla 2: Modelo clásico de transporte

MODELO	INDICADORES	VARIABLES
Generación de viajes	Cantidad de viajes	Ingreso Posesión de automóvil Autos por vivienda Tamaño y tipo de vivienda Densidad residencial Tasa de motorización Localización
Atracción de viajes	Cantidad de viajes	Servicios Comercio Número de empleados Ventas Área de la empresa Localización
Asignación de viajes	Cantidad de viajes	Tiempo de viaje Costo / ingreso Frecuencia de viajes
Distribución de viajes	Matriz de viajes	Por modo de transporte Por propósito de viaje Por hora del día

(Elaboración propia con base en Ortúzar, 2012)

Estos modelos presentan algunos problemas en su aplicación, de los cuales el principal es que carecen de una teoría de lo urbano, no proporcionan explicaciones y no son capaces de describir la interacción entre variables (Schneider, 1959 y Lee, 1973). Aunque esta afirmación fue hecha hace más de dos décadas, sigue siendo válida porque aún carecen de una teoría de lo urbano y porque, a pesar del desarrollo de la informática y ser los más usados entre los modelos de interacción utilizan muy pocas variables y no permiten generar explicaciones ni conocer relaciones de causalidad (Haynes et al. 1988).

Adicionalmente, a los análisis de movilidad y transporte, se añade la evaluación de otro parámetro complementario a la problemática urbana, como es la accesibilidad. En este sentido, el concepto de accesibilidad³ hace referencia al factor de interacción del territorio, donde las relaciones entre dos puntos aumentan en función de la disminución del costo de desplazamiento. Se denomina accesibilidad territorial de un lugar a aquella que representa la calidad y diversidad de comunicaciones de que dispone un punto del territorio (Galán 1999, en Molero et al., 2007), en cuanto a la accesibilidad económica, se refiere a contar con la capacidad de cubrir el costo de utilizar determinado servicio o entrar a un lugar específico. Por otro lado, la accesibilidad social lleva implícita la exclusión, al no contar con la posibilidad de acceder a los lugares o actividades, la persona queda excluida por esa causa.

También se define como la facilidad de los habitantes de participar en actividades dentro de una ciudad, puede ser estimada a partir de la aplicación de modelos o del cálculo de índices que reflejen tanto la proximidad territorial o temporal a los lugares donde se llevan a cabo dichas actividades, así como las necesidades de traslado de un individuo o de un grupo social, un ejemplo es el porcentaje de población que tiene acceso a una vialidad principal y el porcentaje del espacio cubierto por la existencia de una vialidad en sus diferentes categorías: principal, secundaria o terciaria.

Sintetizando lo que se vio en este capítulo, a partir del surgimiento de la preocupación por el medio ambiente y el debate generado acerca de temas como sustentabilidad y desarrollo económico y urbano, este apartado enfatiza la importancia del estudio de la movilidad, el

³ Entendido como la posibilidad física de acceder a un espacio territorial.

transporte y su relación con la estructura urbana a partir de modelos que los representen, con la finalidad de que las zonas urbanas se acerquen a la eficiencia de los sistemas urbano, de movilidad y transporte, minimizando sus efectos negativos a través de la planeación, partiendo del planteamiento del modelo de transporte que represente la necesidad de traslado entre zonas con características sociodemográficas específicas, este estudio, se enfocó en los traslados hacia el empleo ser el principal motivo de viaje.

2.- METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta el procedimiento que se utilizó para el estudio de la problemática, el cual se constituye principalmente por los análisis de movilidad, transporte, accesibilidad y emisiones contaminantes, a partir de los viajes realizados para el traslado al empleo; todo ello integrado en un modelo general.

2.1.- Antecedentes

A través de la planeación se definen los modelos territoriales y urbanos, principales condicionantes de la movilidad, se localizan y diseñan los espacios de circulación, se proponen las infraestructuras de transporte y se establecen estándares de estacionamiento; esta relación entre modelo espacial y movilidad otorga al planeamiento urbanístico su importancia en el desarrollo de las políticas de transporte, es decir, definir la localización e intensidad de las actividades en el espacio, influye en la demanda de desplazamientos y en el tipo de medios de transporte adecuados para su satisfacción (Pozueta, 2000).

Los sistemas de transporte son evaluados para cubrir diversos objetivos, como son conocer su eficiencia, cobertura, disponibilidad, su relación con la infraestructura urbana y su efecto en la sustentabilidad y desarrollo, dicha evaluación se realiza a través de tres atributos (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007):

- a. Ubicación: Grado de accesibilidad al sistema, facilidad de rutas directas y facilidad para acomodar un tránsito variado.
- b. Movilidad: Cantidad de tránsito que puede acomodar el sistema, la rapidez con que éste se puede transportar, y
- c. Eficiencia: Relación entre los costos totales del transporte y su producción.

Una de las herramientas que puede ser utilizada en la planeación del transporte es la modelación, pues permite el análisis de fenómenos que no pueden ser reproducidos en un

laboratorio (CIEMAT), los modelos permiten expresar la situación actual, mientras que, a través de la simulación se pueden establecer y evaluar escenarios de proyección e impactos (BCEOM, 2005), para lo cual han influido las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, la obtención de datos a través de Internet y su procesamiento a través de los sistemas de información geográfica.

Hoy en día los modelos matemáticos son usados en investigación utilizando bases de datos estadísticos y territoriales de organizaciones y dependencias gubernamentales (Medina y Ortegón, 2006), por ejemplo, la modelación aplicada en la gestión medioambiental, en aspectos como evaluación de impacto ambiental, planeación, evaluación y mejora de la calidad de aire, control de emisiones, predicción de la contaminación, y diseño de redes de la calidad del aire, así como en planeación y gestión urbana para diferentes sectores, escalas y temporalidades.

Con la metodología del enfoque clásico de transporte o modelo de cuatro etapas, se busca el equilibrio entre los modelos de distribución de viajes entre zonas y de asignación por modo de transporte a través de la aplicación iterativa de procesos matemáticos, culminando con la determinación del número de viajes entre cada par de zonas en que fue dividida la zona de estudio. Sin embargo este procedimiento presenta desventajas ya que no necesariamente convergen dichos modelos y se pueden generar resultados distintos, en términos de flujos o costos (Ortúzar, 2012).

Además, el modelo de generación de viajes se encuentra desligado del proceso de cálculo de los otros modelos, es decir, para el cálculo de la cantidad de viajes no se consideran los cambios que se pueden presentar en esta etapa, repercutiendo en los resultados predictivos a largo plazo (Ortúzar, 2012), es decir no se trabaja de manera conjunta o integral con los cuatro modelos que integran el modelo general o total de viajes.

Para determinar la generación o demanda de viajes se aplican metodologías como proximidad, método gravitacional, acumulativo o por aproximación espacio - temporal (Cal y Mayor, 2007; Ortúzar, 2012 y Molinero, 2007), mientras que la para la atracción de viajes se aplican diversos métodos entre los que destacan: método de la tasa de generación, método del factor de crecimiento, método de regresión lineal simple, y

método de calificación cruzada o análisis de categorías (Ortúzar, 2012), en ambos casos se requiere de una zonificación del área de estudio.

La zonificación mencionada anteriormente o las zonas de origen y destino de viajes se definen por criterios socioeconómicos o agregaciones de población que tengan características similares, o bien por los movimientos de demanda de transporte que se suscitan entre ellas. Esta zonificación sirve de base para el estudio espacio - temporal del transporte, desde el planteamiento de modelos hasta para la proyección de los mismos en diferentes etapas (Bocanegra, 2005).

Una de las principales fuentes de información para el modelo clásico de transporte es la elaboración de matrices origen-destino (O-D) las cuales se utilizan para cuantificar y sintetizar la movilidad asociada al desplazamiento de personas y/o mercancías sobre una región, aportan información sobre el número de viajes realizados entre una zona de transporte de origen y una destino en un determinado intervalo de tiempo, representan la demanda de transporte sobre un área durante un período temporal específico (Bocanegra, 2005). Estas matrices pueden ser elaboradas con diferentes niveles de agregación o tamaño de las zonas, o bien por el tipo de información necesario como el modo de transporte o el bien transportado (Cáceres, 2009).

Así mismo, entre los métodos utilizados para elaborar las matrices O-D se encuentra la encuesta domiciliaria, entrevista a un lado del camino, registro de las placas de los vehículos en tránsito, etiquetas en el vehículo, tarjetas postales al conductor o cuestionario a empleados, aplicadas a partir de un diseño muestral estadístico. Otro método es el de la observación de ascenso y descenso de pasajeros en una ruta de transporte público, sin embargo éste se utiliza para determinar la movilización de pasajeros en una ruta específica (Bocanegra, 2005).

Es importante mencionar que, conforme aumenta el tamaño del área considerada, se eleva la necesidad de datos O-D detallados, así como la complejidad y el costo para obtenerlos, por lo cual, el método para la recopilación de la información O-D se selecciona considerando las necesidades de datos, el personal del que se dispone, el presupuesto y las limitaciones de tiempo, lo que representa una limitante para su aplicación (Bocanegra, 2005).

Otro aspecto a considerar dentro de la problemática urbana y que está asociado a la movilidad y el transporte es la accesibilidad, este concepto ha sufrido cambios en el tiempo, por ejemplo, en la década de los años 50's se concibió como una medida de la eficiencia de una red vial a partir de las oportunidades de interacción entre los usos de suelo y los sistemas de transporte, mientras que para los años 90's se consideraba como una meta política en referencia al manejo territorial o una mayor seguridad en las calles. Actualmente, está ligado a la satisfacción de los derechos humanos como vivienda, salud, educación y la oportunidad de los individuos de participar en actividades en diferentes lugares, así como a la capacidad de un lugar de ser alcanzado o de ser accesible desde diferentes lugares. La capacidad y la provisión de infraestructura y de servicios de transporte son elementos clave para determinar el nivel de accesibilidad (Jaramillo, Lizárraga y Grindlay, 2012). En la Tabla 3 se presentan diversos modelos para calcular la accesibilidad.

Tabla 3. Modelos para el cálculo de índices de accesibilidad

INDICADORES	VARIABLES
Accesibilidad (Ortúzar, 2000. p. 111) $O_i^n = f(H_i^n, A_i^n)$	$O_i^n =$ producción de viajes personales tipo n en la zona i $H_i^n =$ características del hogar $A_i^n =$ accesibilidad por tipo de persona Donde: $A_i^n = \sum_j [E_j^n / f(C_{ij})]$ $E_j^n =$ atracción de la zona j $C_{ij} =$ costo generalizado del viaje entre las zonas i y j
Accesibilidad espacial Accesibilidad temporal (Guo et Al, 2005)	Distancia Modo disponible / rutas Forma de acceso / instalaciones Tiempo de acceso / horarios Tiempo de viaje
Accesibilidad territorial (Escobar y García, 2012)Manizales	Velocidad promedio de operación Tiempo de viaje
Accesibilidad * Análisis espacial * Análisis de proximidad * Análisis de red (Liu y Zhu, 2004)	Distancia Costo Modo de transporte Uso de suelo

(Elaboración propia a partir de Ortúzar, 2012, Gao et al 2005, Escobar y García, 2012 y Liu y Zhu, 2004)

Índice de accesibilidad (Ortúzar, 2012; 111)

$$O_i^n = f(H_i^n, A_i^n)$$

O_i^n = producción de viajes personales tipo n en la zona i

H_i^n = características del hogar

A_i^n = accesibilidad por tipo de persona

Donde:

$$A_i^n = \sum_j [E_j^n / f(C_{ij})]$$

E_j^n = atracción de la zona j

C_i^j = costo generalizado del viaje entre las zonas i y j

La metodología seguida en esta investigación trata sobre la elaboración de una matriz O-D de viajes con información estadística oficial relacionada al lugar de habitación de la población ocupada y a la ubicación de centros de trabajo en la ciudad. Una vez recopilada la información sociodemográfica y la cartografía disponible de Mexicali para el año 2010, relacionada con la población ocupada y de las fuentes de empleo, se realizó el análisis de la movilidad urbana enfocada al traslado de la población hacia su lugar de trabajo, cantidad de viajes, distancias recorridas, combustible consumido y las emisiones contaminantes que dichos desplazamientos ocasionan, a partir de la elaboración de matrices origen y destino de viajes, considerando como origen el lugar de residencia y como destino la ubicación de las fuentes de empleo, para 85 zonas en que fue dividida la ciudad en base a la unificación de áreas geoestadísticas básicas (AGEBS) de características similares.

La principal finalidad de este análisis es elaborar el diagnóstico del transporte y de la movilidad urbana en Mexicali de viajes hacia el empleo ya que es el principal motivo de viaje, lo anterior, a través la cantidad de viajes, distancias recorridas, tiempos de traslado y consumo de combustible por modo de transporte, obtenidos a partir de una matriz O-D elaborada con datos oficiales, integrando el análisis de accesibilidad a los empleos; en la dimensión ambiental, se enfoca hacia la calidad del aire en la ciudad y el cambio climático, a partir del cálculo de emisiones de GEI generadas por los viajes al empleo en la ciudad, así como el consumo energético representado por la cantidad de combustible consumido por los vehículos en cada modo de transporte. El esquema del proceso

metodológico aplicado se puede apreciar en la Figura 2, donde se aprecian las etapas de esta investigación.

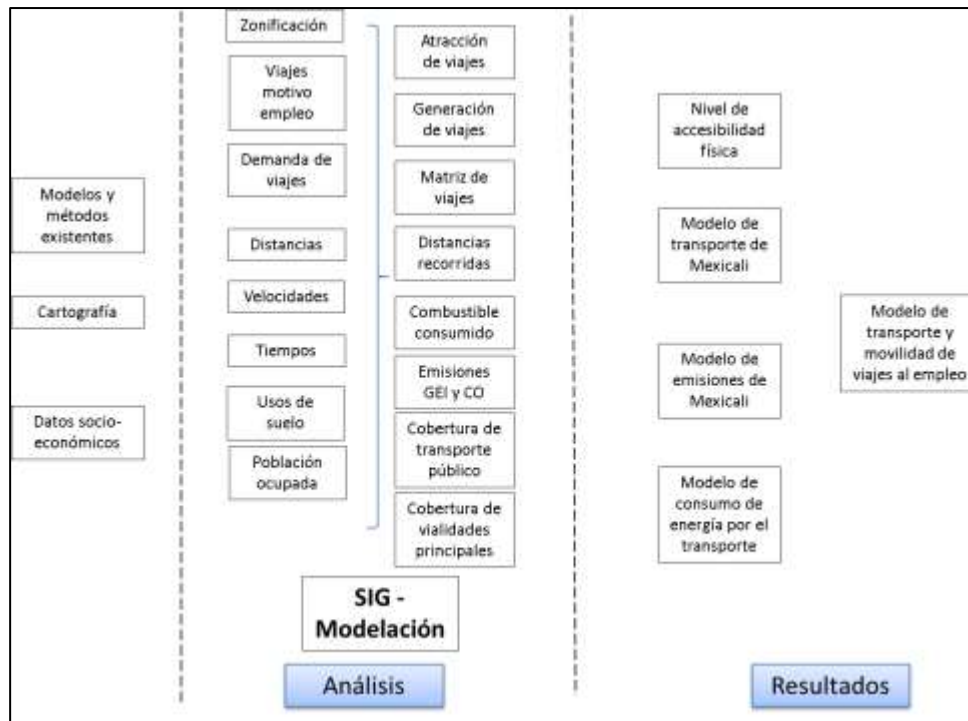


Figura 2. Etapas del proceso metodológico (Elaboración propia con base en Cal y Mayor, 2007, Molinero y Sánchez, 2007 y Ortúzar, 2012)

En síntesis, la estructura urbana es la base para los estudios de movilidad y transporte, pues la disposición territorial del espacio determina los desplazamientos de la población para la realización de las actividades cotidianas, las distancias recorridas y los tiempos de viaje.

2.2.- Premisas para la propuesta metodológica

Aunque existen diversas formas de interpretar el concepto de movilidad, para efectos de la presente investigación se adoptó el de movilidad urbana, considerado como la interacción de flujos de desplazamiento de personas y bienes en el espacio urbano (IBAM, 2005), o bien, como el promedio de desplazamientos que se realizan diariamente con el fin de realizar las actividades cotidianas. En lo que respecta al transporte, se considera los tres elementos que se requieren para llevar a cabo el proceso, que son, el vehículo, el usuario y el camino o vialidad, es decir la infraestructura. La modalidad de transporte público se

refiere al traslado masivo de pasajeros en unidades motorizadas; mientras que la acepción de accesibilidad representa la facilidad física o territorial de arribar a un modo de transporte o el grado de opcionalidad que tienen los ciudadanos para acceder a diferentes lugares, servicios y actividades (Burns, 1979).

El enfoque de sustentabilidad es el ambiental, en particular la calidad del aire y el consumo energético. En este sentido, Low y Gleeson (2003), consideran que la movilidad es sustentable en su dimensión ambiental cuando las emisiones generadas por los traslados realizados en las distintas modalidades de viaje pueden ser absorbidas en su totalidad por los sumideros existentes.

En cuanto a las herramientas que apoyaron la realización de este trabajo, se encuentran el uso de los sistemas de información geográfica, en particular MapInfo y ArcGis, así como los modelos matemáticos de transporte y movilidad, los cuales se mencionan en el Capítulo Uno y en el apartado 2.1.

2.3.- Alcances de esta investigación

El área geográfica donde se aplicó la investigación es la que corresponde a la zona urbana de la ciudad de Mexicali, con información del año 2010, en la Figura 3 se puede apreciar el área de estudio.



Figura 3. Área de estudio, Mexicali, Baja California, México (XX Ayuntamiento de Mexicali, 2011)

Únicamente se analizaron los viajes con motivo hogar-empleo (HE) y empleo-hogar (EH), a partir de la información oficial de población ocupada y empresas establecidas en la localidad. Las escalas espaciales de estudio fueron abordadas desde una manzana, AGEB, la agrupación de AGEBS en zonas O-D y la ciudad en su conjunto.

2.4.- Recopilación de la información

La recopilación de información se llevó a cabo a partir de la consulta de fuentes oficiales, de organismos gubernamentales que recolectan, analizan y difunden información socioeconómica, demográfica y geográfica de los centros urbanos, en particular el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el Estado de Baja California, el Ayuntamiento de Mexicali, así como las dependencias federales y estatales con información sobre transporte, movilidad, población, medioambiente, calidad del aire y actividades económicas, como son el Consejo Nacional de Población (CONAPO), la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (SEDATU).

Conocer la situación de la movilidad y el transporte en una ciudad se requiere para disponer de los patrones de traslado de la población, que se pueden determinar a través del análisis espacial de la infraestructura vial y de la información socioeconómica prevaliente. Por tal motivo, con apoyo de sistemas de información geográfica se realizó la caracterización de la población ocupada, como edad, género, escolaridad, las ramas de actividad económica a las que se dedica, ubicación de las fuentes de empleo, que representan las zonas de atracción de viajes, y localización de las áreas donde habitan los empleados, lo que representa las zonas importantes de atracción de viajes.

Una de las principales fuentes de información utilizadas fueron el censo de población del 2010 elaborado por INEGI, del cual la variable más destacada fue la cantidad de población ocupada que habitaba en cada zona en la que se dividió el estudio, mientras que, del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) 2012, también elaborado por INEGI, la principal variable utilizada fue la cantidad de empleados que laboraban en cada uno de los centros de empleo, para todos los centros de trabajo ubicados en cada una de las zonas.

2.5.- Modelo de movilidad urbana

La cantidad de desplazamientos realizados en una determinada región son un indicador de su movilidad, pero también la velocidad y el tiempo de viaje reflejan la calidad de la misma, el submodelo de movilidad está compuesto por la estructura urbana, la oferta y la demanda de transporte (De la Fuente, 2009). En la Figura 4 se puede apreciar la metodología aplicada para el análisis de la movilidad urbana de Mexicali.

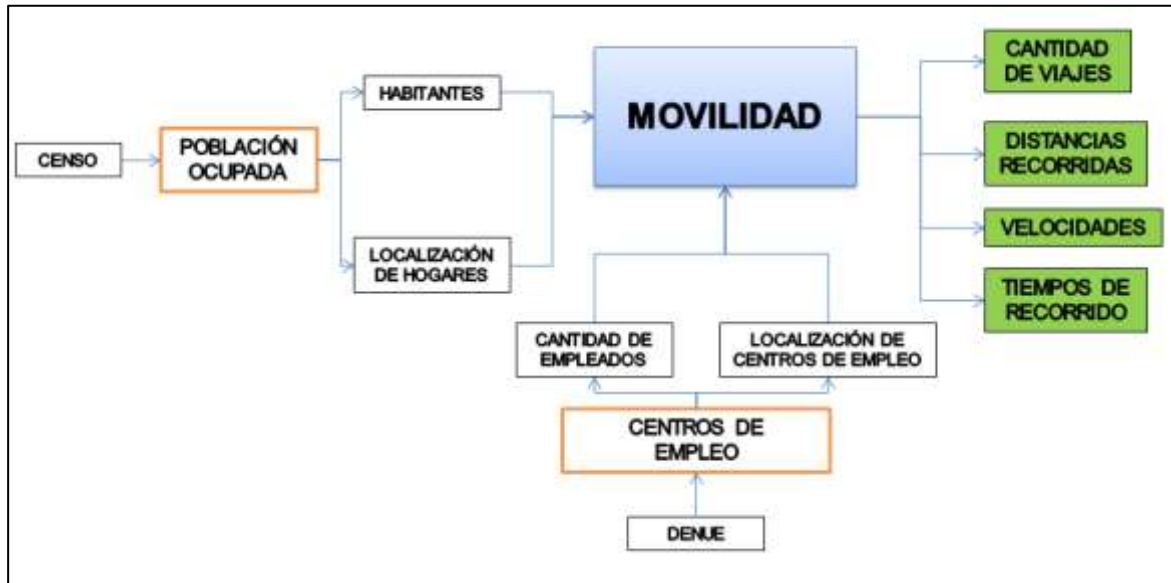


Figura 4. Modelo de movilidad urbana (Elaboración propia con base en Cal y Mayor, 2007, Molinero y Sánchez, 2007 y Ortúzar, 2012)

Para la evaluación de la movilidad, inicialmente se cuantificó la cantidad de desplazamientos realizados en el área urbana de Mexicali, en particular la cantidad de viajes y la cantidad de kilómetros recorridos con motivo traslado HE y EH y la proporción de viajes por modo de transporte se analiza con la aplicación de ArcGis.

2.6.- Modelo de transporte urbano

El modelo de transporte está basado en el modelo clásico de cuatro etapas, que consiste en determinar la generación, distribución, partición modal y la asignación de viajes (Cárdenas, 1999; Cal y Mayor, 2007; Ortúzar, 2012 y Molinero y Sánchez, 2007), de tal manera que la zonificación del área de estudio y la utilización de datos socioeconómicos empleados en la elaboración del modelo de transporte para este estudio, fueron orientados

hacia la predicción de la generación y atracción de viajes en cada zona, así como a la partición modal y asignación de los mismos.

Este trabajo fue orientado hacia el análisis de los patrones de traslado con motivo empleo para lo cual se realizó un análisis espacial a través de la utilización de sistemas de información geográfica, donde las zonas habitacionales son consideradas puntos de generación de viajes y las zonas de ubicación de empleos como puntos de atracción de viajes, como menciona Bocanegra (2005), en la generación se cuantifica por los viajes producidos por personas residentes en una zona o área determinada mientras que la atracción de viajes se calcula a partir de las personas que desarrollan una actividad en una determinada área urbana; en la Figura 5 se observa el modelo de transporte planteado.

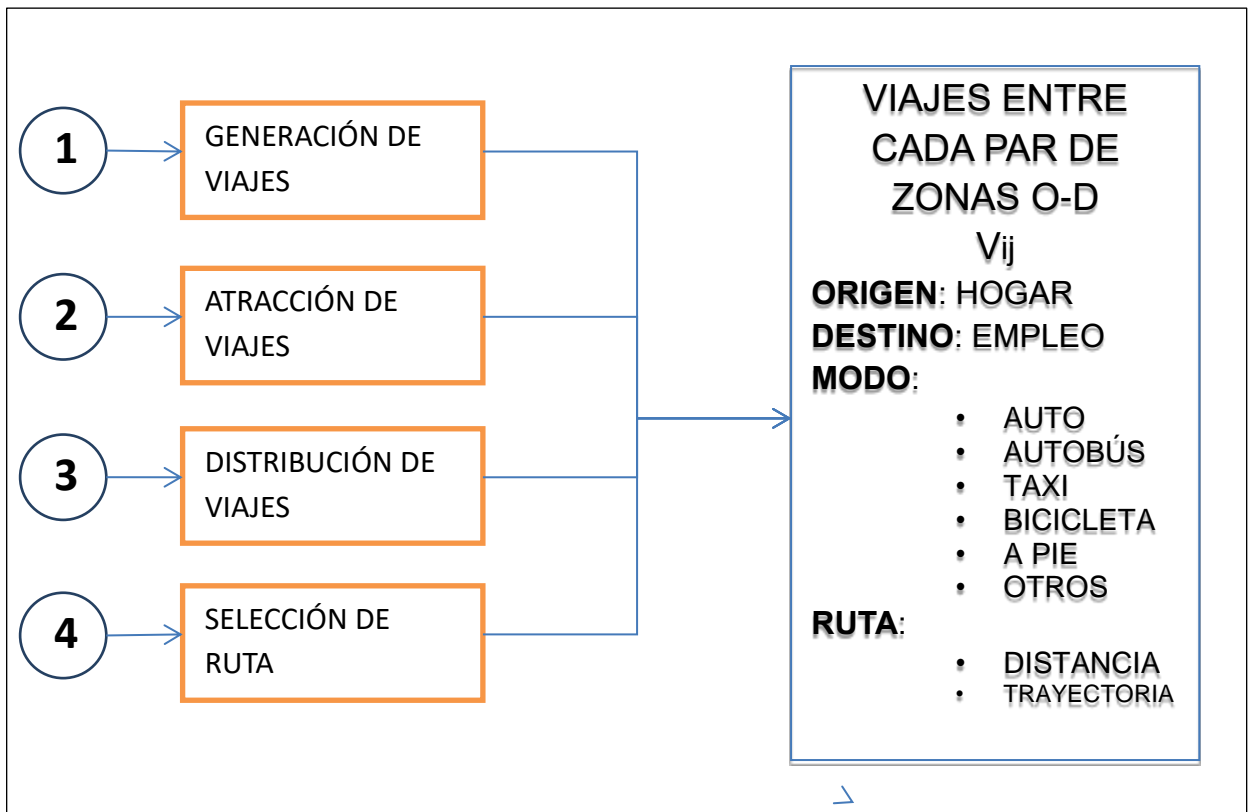


Figura 5. Modelo de transporte urbano (Elaboración propia con base en Ortúzar, 2012)

La información requerida para los modelos movilidad y transporte fue calculada a partir de una matriz de origen y destino elaborada con información oficial de INEGI, la cual fue planteada exclusivamente para el motivo de viaje empleo, con los datos del censo 2010 y el DENUE 2012 como se describe a continuación.

La matriz origen y destino de viajes fue elaborada en base a la información oficial disponible sobre censos de población y vivienda, así como censos económicos,

La zonificación de la ciudad se efectuó a partir de la agrupación de zonas geoestadísticas básicas (AGEBS), basándose en un estudio llevado a cabo en el año 2004 en Mexicali, resultando en 85 zonas que agrupan AGEBS de características socioeconómicas similares (Ortúzar, 2012).

Con la ciudad dividida en 85 zonas geográficas, que integran diversos AGEBS y que responde a una zonificación realizada anteriormente en un estudio de transporte de la ciudad de Mexicali (Galindo et Al, 2003) para tener un punto de comparación, ver Figura 6.



Figura 6. Zonificación para el análisis origen-destino en Mexicali.

Se eligió el motivo empleo por la disponibilidad de la información del censo 2010 (INEGI), con la ciudad dividida en 85 zonas, utilizando ArcGis y Excel, se tomó en cuenta la población ocupada como la generación de viajes de cada zona por motivo empleo, es decir forzosamente todas esas personas tienen que realizar un traslado con motivo hogar-empleo (HE), por lo tanto, en cada zona se realizó la suma de la población ocupada de los AGEBS que integran cada una de las zonas y con la información del DENU se realizó el cálculo de la probabilidad de atracción de viajes, a partir de la relación del número de

empleados de una zona origen i y destino j (Z_{ij}) entre la totalidad de número de empleados en la ciudad, es decir cantidad de empleados por zona entre la totalidad de empleados en la ciudad. Posteriormente se calculó el número de viajes desde cada zona desde la 1 hasta la zona 85, hacia cada una de ellas multiplicando la población ocupada en cada zona (origen) por la probabilidad de atracción de viajes en cada una de ellas (destino). De esa forma se construyó una matriz origen y destino de viajes por motivo empleo. En la Figura 9 se puede observar el modelo de generación de viajes en un día laborable, con este procedimiento fue posible calcular la cantidad de viajes unitarios o personales por zona representados en el modelo por E_i , así como la totalidad de dichos viajes en la ciudad representados por F a partir de los datos del Censo de población y del Censo económico

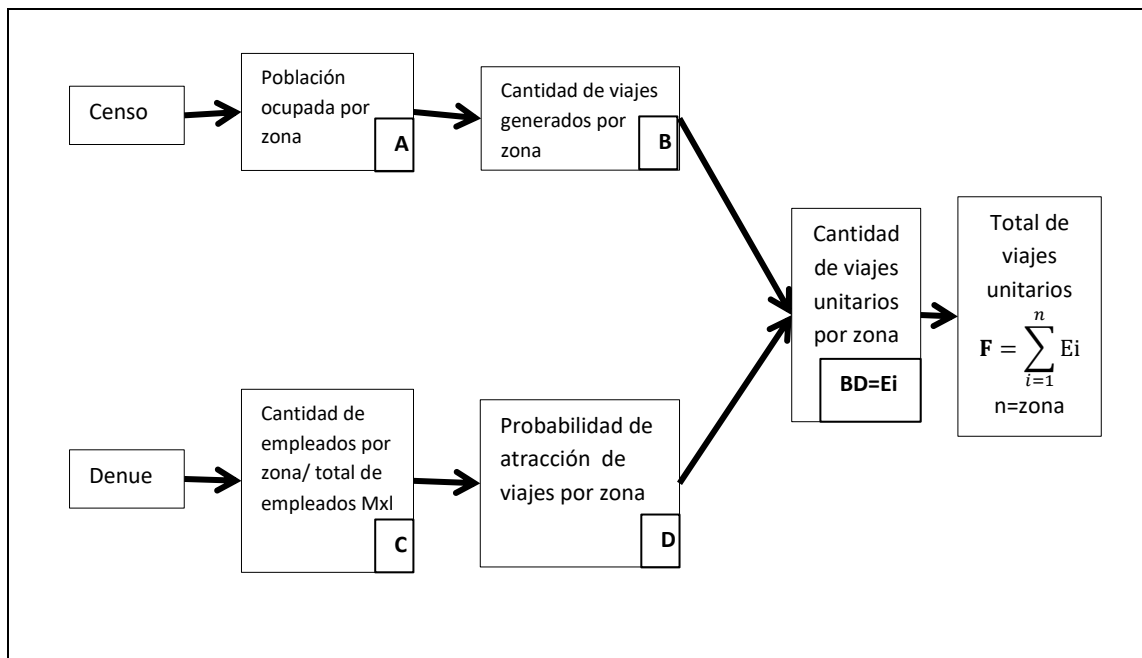


Figura 7. Total de viajes unitarios por día laborable (Elaboración propia con base en Cal y Mayor, 2007, Molinero y Sánchez, 2007 y Ortúzar, 2012)

La distribución de viajes entre zonas se llevó a cabo a partir de un modelo gravitacional, la probabilidad de atracción de viajes (P_a) por zona se calculó con la suma de empleados que laboran en los centros de empleo ubicados en dicha zona, ver Fórmula 1, entre el total de empleados, con datos del Directorio Estadístico de Unidades Económicas (DENUE); mientras que la probabilidad de generación de viajes (P_g) se calculó a partir de la cantidad de población ocupada que habita en cada una de las zonas, dividida entre el total de la

población ocupada, ver Fórmula 2, de acuerdo a la información del Censo 2010, en la Figura 8 se puede observar el modelo de elaboración de la matriz O-D.

$$Pa_{ij} = \text{Empleados por zona} / \text{total de empleados}$$

Fórmula: Probabilidad de atracción de viajes en el par de zonas ij [1]

$$Pg_{ij} = \text{Población ocupada por zona} / \text{total de población ocupada}$$

Fórmula: Probabilidad de atracción de viajes en el par de zonas ij [2]

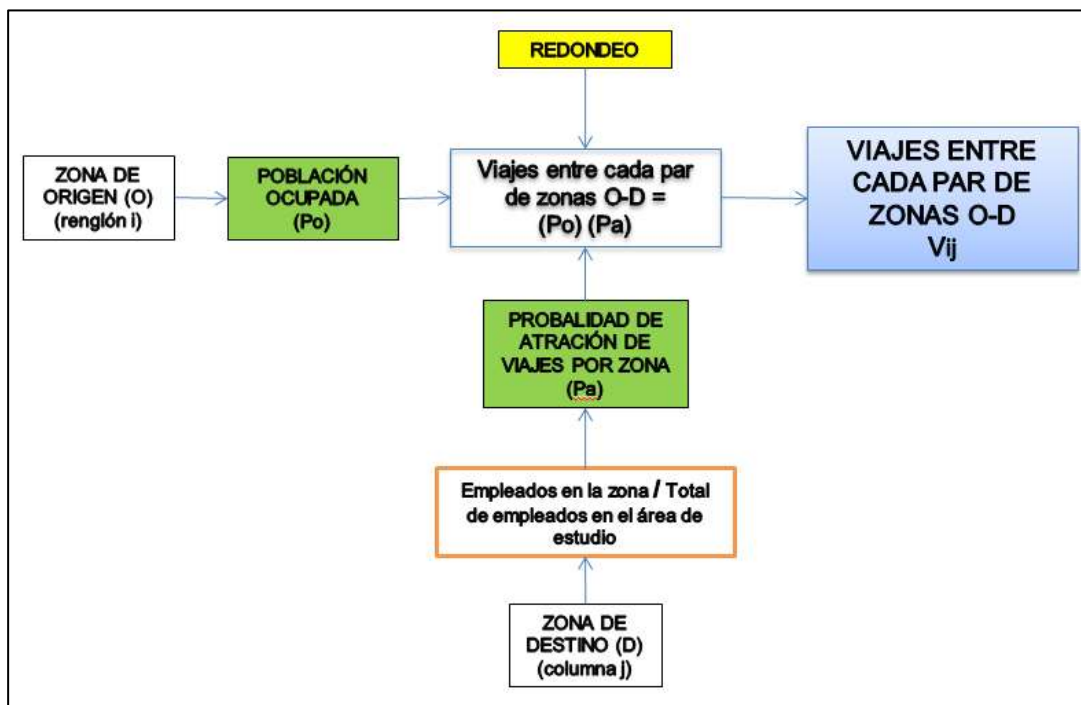


Figura 8. Modelo de elaboración de la matriz O-D de viajes ((Elaboración propia con base en Cal y Mayor, 2007, Molinero y Sánchez, 2007 y Ortúzar, 2012)

Las probabilidades mencionadas anteriormente fueron dispuestas en una matriz origen y destino construida con la misma cantidad de renglones y columnas que las zonas en que fue dividida la zona de estudio, donde el elemento ij de una matriz O-D representa el número de viajes entre el origen i y el destino j (Verástegui, 2006). La cantidad de viajes entre zonas se calculó multiplicando la tasa de probabilidad de atracción de viajes en la zona de destino por la cantidad de población ocupada de la zona de origen (Ortúzar,

2012), mientras que las distancias entre zonas se calcularon con ArcGis, considerando la separación lineal entre sus centros de gravedad.

La cantidad de viajes por cada zona se distribuyó por modo de viaje considerando la distribución mencionada en el Plan de Vialidad y Transporte de Mexicali 2011 (XX Ayuntamiento de Mexicali 2011): vehículos: 84.35 %, autobús: 8.9 %, taxi libre: 0.57 % taxi de ruta: 2.52 % y transporte de personal de la industria maquiladora: 3.66%; la diferencia entre la totalidad de los viajes y la suma de las modalidades mencionadas anteriormente fue considerada como otras modalidades, es decir, incluye los modos peatonal, ciclista y motociclista. Para calcular la cantidad de viajes por vehículo en cada modo de transporte se consideró la ocupación de pasajeros por vehículo, 1.4 pasajeros en automóvil particular, 2.3 pasajeros en taxi y 18 pasajeros por autobús. En la Figura 9 se presenta el modelo de distribución modal de viajes.

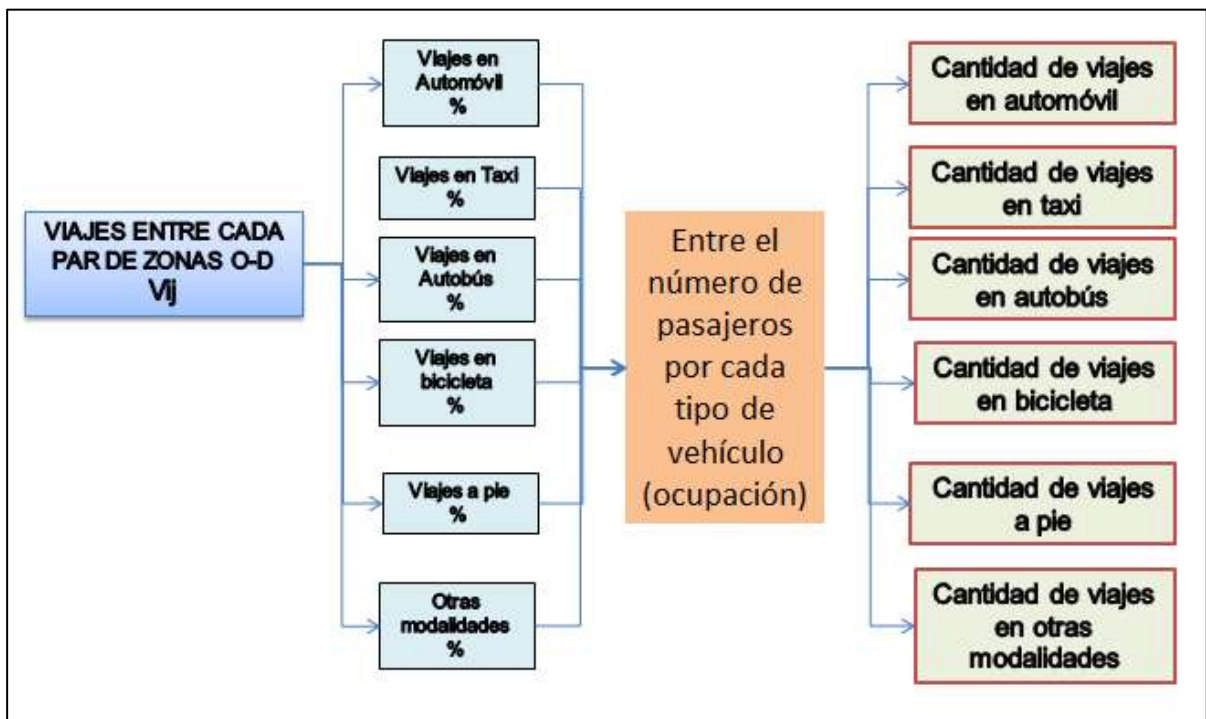


Figura 9: Modelo de distribución modal (Elaboración propia sobre la base de Ortúzar, 2012)

Utilizando el programa ArcGis, se realizó el cálculo de las distancias euclidianas, es decir, la separación en línea recta entre centroides de zonas, a partir de cada zona hacia los 84 restantes. La distancia recorrida total diaria en día hábil para cada modo de transporte se calculó considerando la ocupación por vehículo, es decir el número de viajes individuales o viajes-persona dividido entre la ocupación por cada tipo de vehículo dio como resultado el total de viajes por vehículo entre dichas zonas multiplicado por la distancia entre dichas zonas representa la distancia recorrida entre zonas, al final se realizó la sumatoria de las distancias entre todas las zonas dando como resultado el total de distancias recorridas en la ciudad para cada medio de transporte en cada día hábil, en la Figura 10 se observa el proceso descrito en este párrafo.

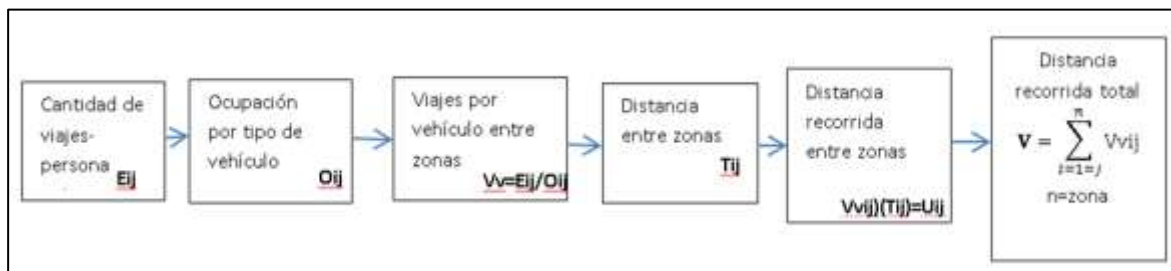


Figura 10: Distancia recorrida por viajes al empleo en Mexicali

Otro parámetro calculado fue el tiempo de viaje, dicho cálculo se realizó entre centroides de zonas para cada modo de transporte, considerando la velocidad promedio de cada tipo de vehículo, siendo de 40 km/hr para vehículo ligero y de 25 km/hr para autobuses (IMIP, 2011) dividiendo las distancias entre las velocidades mencionadas.

2.7.- Accesibilidad

En este trabajo se calculó la accesibilidad territorial entre las zonas de la matriz origen y destino la cual puede ser utilizada para evaluar la facilidad de los habitantes de participar en actividades que se llevan a cabo en cada zona, en este caso, la de acudir a los centros de empleo que ahí se ubican. Se utilizó el modelo de Ortúzar (2012) ya que es el que más se adapta a la disponibilidad de información y al análisis espacial que forma parte de este estudio, en la Fórmula 3 representa el modelo matemático de la accesibilidad entre las zonas del estudio, calculada a partir de la relación inversa entre la atracción de las otras zonas y la distancia entre ellas.

$$A_i^n = \sum_j [E_j^n / f(C_{ij})]$$

Fórmula: Modelo de accesibilidad [3]

Donde:

A_i^n = accesibilidad por tipo de persona, en este caso, la población ocupada de Mexicali.

E_j^n = atracción de la zona j, en porcentaje.

C_i^j = costo generalizado del viaje entre la zona de origen i y la zona de destino j. En este estudio se consideró la distancia entre ambas zonas.

Otro análisis de accesibilidad se realizó a través de la delimitación de áreas de servicio obteniendo como indicador a la población cubierta dentro del área próxima a la red, es decir, dentro de umbrales de distancia. En este ejercicio se tomaron los umbrales de 300m y 500m (Moreno y Prieto, 2004), la evaluación se llevó a cabo mediante ArcGIS para establecer la cobertura de las rutas de autobús de transporte público y de las vialidades principales, tanto por área cubierta como por la cantidad de población que habita en las áreas de influencia a 300 y 500 m. de las rutas de autobús o de las vialidades principales.

2.8.- Emisiones contaminantes

La sustentabilidad de la movilidad implica un balance entre sus roles y ligas, por lo que, una evaluación integrada del sistema incluye factores físicos, económicos y sociales, mostrando las relaciones entre las necesidades humanas, la cultura y estilo de vida, demanda de viajes, infraestructura, modo de transporte y tecnología, así los como impactos generados, cada una de las etapas mencionadas implica mejorar el balance entre necesidades y externalidades o entre problemas y oportunidades (Ravetz, 2006).

El rol social del transporte se enfoca en la necesidad de elección y accesibilidad y en cuestiones como inequidad e inaccesibilidad a lugares o actividades. A nivel físico, los sistemas de transporte han dado forma a la interacción entre la gente y los lugares, mucho antes que se presentara el uso masivo del automóvil. El desarrollo de la industria y el mercado inmobiliario yace en el crecimiento de transporte, por la competitividad y el valor agregado de la ubicación de los lugares, además, la innovación tecnológica en este sector

tiende a hacer más accesibles las distancias ya que con el aumento de velocidad crecen los umbrales de tiempo de viajes, haciendo viables más usos de suelo, lo anterior sugiere que la demanda tenderá a superar la oferta, a menos que se logre un balance a través de cambios o restricciones, lo que implica efectos indeseados, por ejemplo, un incremento en la oferta genera daño ambiental, la congestión vehicular es económicamente ineficiente, las regulaciones normativas son políticamente impopulares y los cargos directos representan una regresión social (Ravetz, 2006).

La división entre transporte público y privado representa un punto importante, ya que muchas veces no se toma en cuenta el papel del automóvil como estatus social, símbolo de identidad e incluso como almacén, oficina o espacio habitable sobre ruedas, es decir, no solo es un modo de viajar, alienta estilos de vida por su flexibilidad al proveer la facilidad de una movilidad continua, habilitando nuevos patrones de uso de suelo y actividades, lo que posiciona al transporte público como una opción ineficiente para la mayoría de los viajes aun cuando esté disponible, por lo tanto, el papel del automóvil no es solo cuestión de viajes, sino de reestructuración de la sociedad y de la economía (Ravetz, 2006).

El aspecto ambiental de esta investigación está orientado hacia el impacto del transporte en la calidad del aire, para lo cual, se realizó la estimación de emisiones. Con la información obtenida en la matriz origen y destino de viajes relacionada a la cantidad de distancias recorridas y el rendimiento vehicular, se calcularon variables para el análisis de la sustentabilidad de la movilidad y el transporte de la ciudad. A partir de las distancias recorridas y el rendimiento promedio de las unidades de transporte se hizo la estimación del combustible para ambas modalidades, gasolina para automóviles y diésel para autobuses, considerando la proporción de vehículos que utilizan cada tipo de combustibles.

Con la información anterior, se llevó cabo la estimación de emisiones contaminantes producto de la movilidad urbana a partir de factores de emisión para cada tipo de contaminante (IPCC, 1997), basándose en los desplazamientos por modo de transporte generados en las etapas anteriores, los valores de los factores de emisión de GEI dependen del perfil de vehículos tecnología y edad. En la Figura 11 se presenta el esquema del modelo de emisiones GEI por el traslado al empleo.

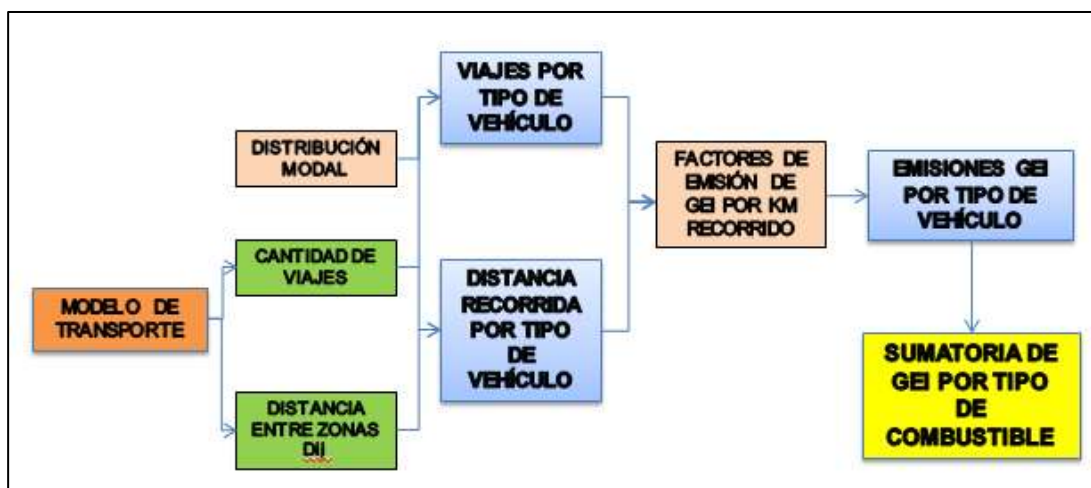


Figura 11. Modelo de estimación de GEI por el traslado al empleo (Elaboración propia con base en IPCC, 1997)

En lo que respecta a la estimación de contaminantes tipo GEI y producto del traslado al empleo en transporte motorizado, tanto particular como público, los cuales contribuyen al cambio climático. Estos cálculos están basados en los kilómetros recorridos por las unidades de transporte utilizadas en cada modalidad de traslado, es decir, automóviles, taxis y autobuses, multiplicados por su factor de emisión para cada uno de los GEI.

En la Tabla 4 se presentan los factores de emisión utilizados para el cálculo de las emisiones de GEI para cada tipo de contaminante y para cada tipo de combustible, mientras que en la Tabla 5 se aprecian los factores de conversión de CH₄ y N₂O en CO₂e para una permanencia de 100 años de permanencia en la atmósfera, de tal manera que primero tiene un potencial de calentamiento de 21 veces y el segundo de 310 veces más que el CO₂.

Tabla 4. Factores de emisión de GEI para gasolina y diésel

Tipo de contaminante	Factor de emisión (gr/Km)	
	Gasolina	Diésel
CO ₂	285	1011
CH ₄	0.30	0.05
N ₂ O	0.17	0.025

IPCC, 1997)

Tabla 5. Factores de conversión de CO₂e

Gas		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Horizonte de tiempo	20 años	1	56	280
	100 años	1	21	310
	500 años	1	6.5	170

(IPCC, 1997)

El planteamiento y uso de modelos es una herramienta para el cálculo y estimación de información de transporte y movilidad urbana, así como sus externalidades, estos datos son útiles para los tomadores de decisiones en la medida que proporcionen elementos para la evaluación de posibles efectos que pudiera causar la implementación de acciones de movilidad y desarrollo urbano en diversos escenarios.

3.- RESULTADOS

En este apartado se presentan los principales datos sobre transporte, movilidad y emisiones contaminantes de GEI obtenidos al aplicar la metodología propuesta en esta investigación para la ciudad de Mexicali, Baja California, México en el año 2010,

Para dar aplicabilidad a la presente investigación, se eligió como caso de estudio a la ciudad de Mexicali, capital del estado de Baja California y cabecera del Municipio del mismo nombre. Se encuentra asentada en el Noroeste del país y colinda en su límite Norte con los Estados Unidos de América (EEUU), además, es el enlace terrestre de la península de Baja California con el resto de la República Mexicana. En la Figura 12 se puede observar la localización geográfica de la ciudad y su cercanía con EEUU.



Figura 12. Localización geográfica de Mexicali, B. C. (SEP, 2016 www.sep.gob.mx)

La ubicación geográfica de la ciudad propicia que se llevan a cabo procesos sociales, económicos, culturales y ambientales con repercusiones para ambas naciones, por

ejemplo, en esta ciudad se encuentran dos cruces fronterizos con el vecino país, en los cuales se realizaron alrededor de 6.7 millones de cruces vehiculares en 2010 (COPLADE, 2010).

3.1.- Caracterización de la ciudad de Mexicali

Esta ciudad contaba con 750,768 habitantes en el año 2010, de los cuales 298,853 corresponden a la población económicamente activa (PEA) en el área de estudio, en ese año, la tasa de crecimiento poblacional fue del 1.35 % en el año 2010, mientras que en el Estado de Baja California era del 1.57 % anual, y a nivel nacional fue de 1.3 %. En lo que se refiere a hogares registrados, se reportaron 44,499 hogares habitados en la zona de estudio, con una ocupación promedio de 3.4 habitantes por vivienda, en los cuales, el 28.65 % hogares contaban con jefatura femenina y el 71.35 % hogares con jefatura masculina (INEGI, 2011; INEGI, 2012; COPLADE, 2010 y CONAPO, 2010).

La población ocupada (Pocup) fue de 313,347 habitantes, de los cuales el 61.7 % corresponde al género masculino, mientras que 38.3 % al femenino. La población ocupada se distribuye de la siguiente forma en los principales sectores productivos: el 0.1 % se encuentra ocupado en el sector primario, el 60.3 % se dedica al sector secundario y el 39.6 % se emplea en el sector terciario. Lo que significa que, la mayor parte de los empleos en Mexicali, corresponden al sector industrial (INEGI, 2011; INEGI, 2012).

Por otro lado, el grado escolar promedio de la población en el mismo año fue de 8.5 años, pero en la Pocup, el promedio de escolaridad fue de 10.05 años, sin embargo, por género se presentó un promedio es de 10.21 años en la Pocup masculina y de 9.88 años en la Pocup femenina. (INEGI, 2011).

En cuanto a las actividades económicas, en el año 2010 en la ciudad de Mexicali se tenían registradas 12,660 empresas, de las cuales cinco corresponden al sector productivo primario, constituyendo un 0.04 % del total de empresas, 7205 pertenecen al sector productivo secundario, lo que representa un 56.91 % y 5450 pertenecen al sector terciario, lo que significa el 43.05 %, siendo el sector secundario donde se ubica la mayoría de las empresas registradas en la ciudad (INEGI, 2012).

En la Tabla 6 y en la Figura 13 se presenta la distribución de empresas registradas en Mexicali en 2010 por rama de actividad de acuerdo al acuerdo al Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN), donde sobresaliendo la rama 40 del rubro agua y electricidad con 39% de empresas y en segundo se encuentran los servicios financieros, de administración y alquiler de bienes muebles e inmuebles con un 20.35 %.

SECTOR PRODUCTIVO	RAMA DE ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE EMPRESAS	PROPORCIÓN
I	10	Agricultura, ganadería y caza	5	0.04%
II	20	Minería y extracción de petróleo	94	0.74%
	30	Industrias manufactureras, incluye maquiladoras	948	7.5%
III	40	Electricidad y agua	4940	39.02%
	50	Construcción	1224	9.66%
	60	Comercio	1243	9.82%
	70	Transportes y comunicaciones	1260	9.95%
	80	Servicios financieros, de administración. y alquiler de bienes muebles e inmuebles	2577	20.35%
	90	Servicios comunales y sociales; hoteles y restaurantes; profesionales, técnicos y personales	199	1.6%
	100	Otros	170	1.34%

Tabla 6. Distribución por ramas de actividad económica en Mexicali en 2010 (Elaboración propia con base en INEGI, 2011; INEGI, 2012).

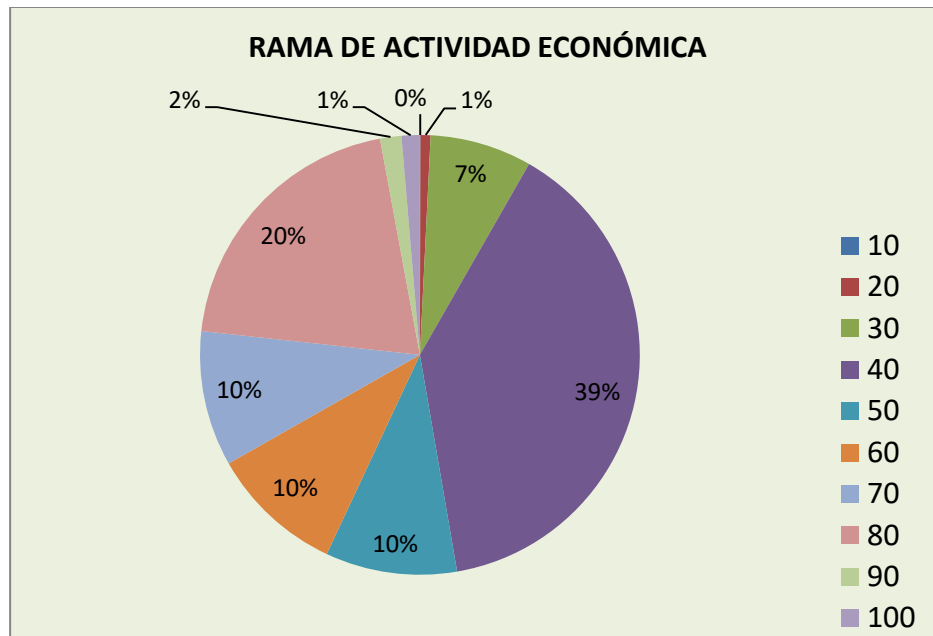


Figura 13. Ramas de actividad económica en Mexicali en 2010 (INEGI-2012).

En cuanto a su ubicación geográfica, Mexicali es la capital del Estado de Baja California y forma parte de la zona metropolitana de Mexicali, está asentada en una topografía plana, se localiza en las siguientes coordenadas geográficas: al Norte 32° 43', al Sur 30° 52' de latitud Norte, al Este 114° 42' y al Oeste 115° 56' de longitud Oeste, su clima es tipo cálido-seco, con una temperatura promedio de 23°C de octubre a mayo y de los meses de junio a septiembre la temperatura promedio asciende a 45°C y su precipitación pluvial anual promedio es de 132 milímetros (XXI Ayuntamiento, 2014b).

Su traza vial es de tipo reticular, presenta discontinuidades debidas a limitantes físicas, como lo es la frontera internacional, el bosque de la ciudad, el río nuevo, ahora entubado y convertido en vialidad, el bordo Wisteria, las lagunas Xochimilco y México y a la forma de la mancha urbana que se ha desarrollado en diferentes etapas de crecimiento, entre otras causas; esto ha propiciado que los corredores viales sean escasos y que el tráfico se concentre en unas cuantas vialidades, ocasionando demoras y congestionamientos (XVIII Ayuntamiento de Mexicali, 2005) (PMVT 2011, IMIP). En la Tabla 7 se presentan las principales vialidades de Mexicali y sus características.

Tabla 7. Principales vialidades de Mexicali

VIALIDAD	NÚMERO DE CARRILES	LONGITUD (Km)
Calle H. Colegio Militar	4	5.5
Bld. De los Presidentes	6	5.6
Bld. López Mateos	6	8.9
Calzada Justo Sierra-Bld. Benito Juárez	6	6.3
Calzada Manuel Gómez Morín	4	8.3
Calzada Independencia	4	11.9
Av. Zaragoza-Bld. Las Américas	4	5.5
Bld. Lázaro Cárdenas	6	18.1
Calzada Héctor Terán	4	8.2

(XX Ayuntamiento de Mexicali, 2011).

Las vialidades que se encuentran clasificadas como principales en esta ciudad son: Ave. Colón, Bld. Abelardo L. Rodríguez, Calzada Justo Sierra, Bld. Benito Juárez, Corredor Urbano a San Felipe, Calzada Independencia, el par vial formado por las Av. Sonora y Av. Sinaloa, Carretera a Santa Isabel, Av. Zaragoza, Calzada de las Américas, Calzada Compuertas, Calzada Cetys, Bld. Lázaro Cárdenas, Calzada Francisco L. Montejano, Bld. Castellón, Bld. López Mateos, Corredor Industrial Palacio, Bld. Río Nuevo y Eje Central, Bld. Anáhuac, Calle Novena Bld. Venustiano Carranza, Bld. Héctor Terán Terán, Periférico Oriente, Bld. Manuel Gómez Morín, Calzada Heroico Colegio Militar (Calle 11) y Corredor Urbano a Tijuana. En cuanto a las vialidades secundarias, se tienen jerarquizadas las siguientes en dicha categoría: Calle Cuarta. Bld., Robledo Industrial, Av. San Pedro Mezquital, Calle Río Mocerito, Calle Río Culiacán, Calzada Cuauhtémoc, Av. Reforma, Av. República de Brasil, Bld. Lombardo Toledano, Calzada Laguna Xochimilco, Avenida Cuyutlán, Bld. Versalles, Ocotlán, Prolongación Zaragoza, Av. Oaxaca, Calzada Yugoslavia, Av. Michoacán y Calzada Continente Europeo. En general, del total de vialidades urbanas, la proporción de las que están pavimentadas es del 60% aproximadamente (XXI Ayuntamiento, 2014a).

Sin embargo, en la práctica no existe claridad en la jerarquía vial del sistema primario y secundario de la ciudad debido a que no se le ha dado prioridad de paso a las vías primarias sobre las secundarias y a estas sobre las locales, lo cual se manifiesta en la presencia de señales de alto en vías primarias que obligan al tránsito vehicular a detenerse para dar el paso a calles locales de poco volumen, generando demoras y congestión vehicular (XX Ayuntamiento de Mexicali, 2011).

En cuanto a su territorio, la superficie urbana de Mexicali es de 20,633.50 Hectáreas (Ha.), mientras que la zona urbana ocupada consta de un área de 14,865.6 Ha. en los últimos años, el crecimiento de la mancha urbana fue de 13.9% entre 1990 y 1997 y de 11.56% de 1994 a 2004 (XVIII Ayuntamiento de Mexicali, 2005).

Respecto a usos de suelo, en la superficie urbana de Mexicali se encuentran identificados diversos tipos, entre los que destacan el uso de suelo habitacional con 40.96 %, mientras que el 11.76 % se encuentra ocupado por vialidades, derechos de vía y cuerpos de agua, sin embargo, 2800 Ha. corresponden a terrenos baldíos, lo que representa el 13.55%, en la Figura 14 se puede observar la forma urbana y la infraestructura vial de la ciudad (XVIII Ayuntamiento de Mexicali, 2005).



Figura 14. Traza vial de Mexicali (Google Earth, 2014).

El sistema de transporte público urbano de esta ciudad ofrece las opciones de rutas de autobuses concesionadas, el servicio de taxis de ruta y el de taxis de itinerario libre, históricamente, entre 1990 y 1998 el parque vehicular privado presentó un crecimiento del 76.6 %, mientras que los viajes realizados en transporte público disminuyeron 16.3 %, a pesar de que la población aumentó 16.5% en el mismo periodo, (XVIII Ayuntamiento de Mexicali, 2005) lo que representa una creciente dependencia al automóvil particular.

Aunado a lo anterior, en Mexicali se reportaron ventas de gasolina per cápita en 2010 de 0.72 m³, mientras que el estado de Baja California se vendieron 0.72 m³ y a nivel nacional solamente 0.40 m³ por habitante (SIE. 2017).

Los estudios relacionados con el tema de transporte que se han llevado a cabo en Mexicali son: “Propuesta de un sistema vial y de transporte para la ciudad de Mexicali” elaborado en el año de 1992 por la Universidad Autónoma de Baja California a partir de la aplicación de una encuesta domiciliaria de O-D para estimar la cantidad de viajes en la ciudad y su distribución por motivo de viaje, tipo de transporte y horario. Entre los principales hallazgos, se encontró que se hicieron 4800 viajes en transporte público y 9000 en otros modos, es decir, el 35% de los traslados corresponden al transporte público y el 65% en otros modos. El principal motivo de viaje fueron los traslados de empleo al hogar y del hogar al empleo con un 59% de los viajes (UABC, 1992).

En 1994, la misma Universidad elaboró el estudio denominado “Estudio integral de vialidad y transporte urbano de Mexicali, B. C.” cuyo objetivo fue plantear los lineamientos para elevar los niveles de calidad de los servicios de vialidad y transporte urbano. Se llevó a cabo en el marco del programa de las 100 ciudades del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 1990-1994, tuvo como base la información obtenida en el estudio mencionado en el párrafo anterior para realizar el diagnóstico, pronóstico y acciones de vialidad y tránsito, transporte público, mantenimiento vial y medio ambiente, en este apartado se hizo el análisis de PM₁₀, ruido e imagen urbana, además, se propuso un programa de inversión en infraestructura para diferentes escenarios. En lo que respecta al transporte la cantidad de viajes y motivo, estos fueron actualizados del estudio de 1992 con un porcentaje de crecimiento respecto al año 1994 (UABC, SEDESOL, Gobierno del Estado de Baja California y Ayuntamiento de Mexicali, 1994).

Otro estudio de transporte fue elaborado en 2004, para cumplir con la realización del plan maestro integral de vialidad y transporte de Mexicali y contar con información actualizada a esa fecha que permitieran reprogramar acciones de corto, mediano y largo plazo en el sector. En este estudio estuvo basado en el de 1992 y el de 1994 para muchos aspectos como zonificación y datos de la matriz O-D de viajes. El principal objetivo planteado fue elaborar el diagnóstico integral del sistema de vialidad y tránsito de la ciudad. Fue elaborado por la Universidad Autónoma de Baja California y la empresa ARHSA basándose en los lineamientos de SEDESOL, el 21 de mayo de 2004 se publica en el Periódico Oficial del Estado de Baja California con el título de Plan Maestro de Vialidad y Transporte para el Municipio de Mexicali, B. C.

Entre los resultados publicados se encuentran 207,656 viajes en transporte público incluyendo 22,979 transbordos y 23,218 viajes en el transporte de personal de la industria maquiladora, sin especificar otras modalidades de transporte. Se tenían una cobertura territorial del transporte público de 92% 300 m y de 96% a 500 m de las rutas en operación (Periódico Oficial del Estado de Baja California, 2004).

El 14 de diciembre de 2006 se Autoriza por medio del H. Cabildo la actualización del Plan Maestro de Vialidad y Transporte, por lo que se procede a la contratación de la empresa USTRAN, iniciando actividades en diciembre 2006 y entregando el diagnóstico final en julio 2007. Este proyecto estuvo muy enfocado al transporte público pues sus objetivos eran reducir los índices de contaminación ambiental, del congestionamiento vehicular, renovación del parque vehicular e implementación de un sistema de prepago tarifario en todo el transporte público Municipal, traslado en diferentes rutas con un solo pago de boleto, reducción de tiempos de espera en paraderos, reactivar el transporte público colectivo y darle prioridad al transporte masivo.

Para este estudio se realizó una encuesta con la aplicación de 10,000 cuestionarios de O-D y se generó un diagnóstico general del sistema de transporte público en Mexicali relativo a rutas, paraderos, parque vehicular, tiempos de recorrido y tarifas, entre otros. Se encontró que en Mexicali había un promedio de 2.5 automóviles por domicilio, un parque vehicular estimado de 475,000, 11 concesionarios de transporte urbano, cincuenta rutas activas en la ciudad, 589 autobuses, de los cuales 265 eran de modelo reciente, 205 de 10 años de

antigüedad y 119 con más de 10 años de antigüedad donde se transportaron 143,000 pasajeros al día. Así mismo, se encontró que Mexicali estaba considerado como el primer lugar nacional en índice de asma y alergias por habitante, que era la segunda ciudad en contaminación ambiental del país, 70% de partículas suspendidas por emisiones de vehículos (USTRAN, 2007).

El más reciente estudio fue publicado en 2011 por el XXI Ayuntamiento de Mexicali, el cual fue denominado “Plan Maestro de Vialidad y Transporte de Mexicali” en 2011. En este documento se indica que está basado en la recopilación y actualización de los estudios realizados desde 1992 hasta el del 200 en cuanto al motivo de viaje, se encontró que el 46% de los traslados realizados en transporte público tenían como principal motivo el traslado desde o hacia el empleo.

Se elaboró el análisis de factibilidad del corredor de transporte masivo denominado Línea exprés 1, se realizó el proyecto ejecutivo del corredor y demás documentos requeridos por BANOBRAS y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público para la obtención de recursos. La empresa denominada Logit realizó el estudio en el lapso de los años 2009 a 2011 con el objetivo de actualizar y modificar el Plan Maestro de Vialidad y Transporte vigente, acorde con los cambios y transformaciones de la Ciudad de Mexicali ocurridos en el período del 2004 al 2010, para modernizar y eficientar el sistema de transporte público de la ciudad de Mexicali, consolidar la estructura vial con el fin de dar fluidez al tráfico vehicular, mejorar la movilidad de la población, así como proponer las políticas, estrategias y acciones, cuya instrumentación permita mejorar el desempeño del sistema vial y del transporte urbano de Mexicali, que permita la realización de las actividades socioeconómicas de la población considerando la imagen urbana y los impactos ambientales en la misma.

Para el cálculo de los viajes se consideró la cantidad de población y un factor de 2.15 desplazamientos por persona combinado con una tendencia a la baja de los viajes en transporte público pues hasta el 2005 se consideraba que el 10% del total de viajes correspondían al transporte público, mientras que, a partir del año 2006 dicha proporción disminuyó a 9%. Entre los resultados reportados por la investigación, en 2012 el parque vehicular era de 560,405 vehículos registrados, de los cuales el 75% eran

automóviles particulares, el 24% de carga y solo el 1.6% aproximadamente eran unidades de transporte público. En cuanto al índice de motorización, fue de 2.5 vehículos por vivienda, 186,043 de los usuarios utilizaban el transporte público y 40,000 de ellos utilizaban el servicio de personal, además se consideró a Mexicali como el segundo lugar de las ciudades en contaminación ambiental, atribuyendo un 70% a las emisiones vehiculares (XXI Ayuntamiento de Mexicali, 2011) el cual fue denominado “Plan Maestro de Vialidad y Transporte de Mexicali” en 2011.

De acuerdo con la información anterior, los estudios realizados muestran que los más recientes están basados en el realizado desde el año 1992, lo cual no refleja el estado real de la movilidad y el transporte urbanos y pudiera ser una causa de que los problemas de movilidad, transporte y contaminación no han sido solucionados, pues el parque vehicular privado ha ido en aumento mientras que el transporte público se ha visto disminuido en su utilización, a pesar de que existió un aumento en la población.

En cuanto a información recopilada para esta investigación, en 2010 se tenían registrados 291,568 vehículos en circulación en Mexicali de los cuales el 97.8 % requieren de gasolina para su operación (Galindo et Al, 2014), de esos vehículos el 76.8 % eran vehículos particulares, 21.94 % de carga, 0.43% autobuses y 0.22% taxis y 0.61%. En 2009 se estimó que el 91 % de los viajes se realizaron en la modalidad de transporte particular, mientras que solamente el 9% fueron en transporte público (XX Ayuntamiento de Mexicali, 2011).

Adicionalmente, en esta ciudad fronteriza, las empresas maquiladoras ofrecen un servicio de transporte de personal independiente del sistema de transporte público, debido a que este último no ofrece cobertura en horarios de entrada y salida para todos los turnos de trabajo en dichas empresas, se estima una cobertura de aproximadamente 40,000 usuarios con 450 autobuses, los cuales superan los 10 años de antigüedad (SIMUTRA, 2014).

Por otro lado, en cuanto a las externalidades del transporte urbano, una de las más críticas es la contaminación atmosférica la cual está directamente asociada con la emisión de gases producidos por las actividades humanas y partículas suspendidas, particularmente en la generación de energía, industria, vehículos automotores, rellenos sanitarios a cielo abierto, tránsito de vehículos sobre vialidades no pavimentadas, así como incendios y tormentas de

polvo características de la región (Corona, 2008), en este sentido, en la ciudad de Mexicali el deterioro de la calidad del aire se asocia con la emisión de gases y partículas suspendidas, atribuidas a su localización geográfica en una zona árida y a las actividades humanas, principalmente las industriales y urbanas, lo que representa un serio problema para la salud (Quintero y Vega, 2006; Reyna et al., 2003; Collins et al, 2004; Mendoza et al., 2004).

Además, se han identificado factores asociados a una escasa o nula planeación como es el número creciente de vehículos en circulación, transporte público que moviliza solo a una quinta parte de la población, cobertura de pavimento en vialidades alrededor del 66 %, alto consumo energético en la industria (XX Ayuntamiento de Mexicali, 2012 y Corona, 2008); mezclas de uso de suelo incompatibles, grandes lotes baldíos que son generadores de polvo y un déficit de áreas verdes en la ciudad (XVIII Ayuntamiento de Mexicali, 2005; XVII Ayuntamiento de Mexicali, 2006); asentamiento de industrias que afectan al ambiente como son geotermoeléctrica, termoeléctrica, metalúrgica, química, papelera y de alimentos, adicionalmente, alrededor de la ciudad existen zonas agrícolas, bancos de materiales pétreos sujetos a explotación, sitios de disposición final de residuos sólidos y residuos no peligrosos así como terrenos agrícolas abandonados (Corona, 2008).

La calidad del aire en Mexicali ha sido estudiada principalmente a partir de la presencia de partículas suspendidas en la atmósfera, también llamadas material particulado (PM) y de los gases efecto invernadero (GEI) que contribuyen al cambio climático. Respecto al material particulado o PM, este está compuesto por una serie de sustancias orgánicas e inorgánicas, recibe el nombre de partículas totales en suspensión las cuales son denominadas de acuerdo a su tamaño: PM10, PM5 y PM2.5, donde el número representa el tamaño de la partícula en micrones (Bull, 2003), para su medición existen estaciones de monitoreo que realizan la cuantificación las concentraciones de contaminantes criterio, como son CO, SO₂, O₃, NO₂ y PM10 y PM2.5, pero no se dispone de los instrumentos e información necesarios para determinar el incumplimiento de los estándares de calidad aplicables a dichas emisiones (Quintero y Sweedler, 2005a) en el medio ambiente de la ciudad (Quintero y Vega, 2006), actualmente solo una de ellas se encuentra funcionando por lo que no representa un monitoreo adecuado de dichos contaminantes en la ciudad.

En 1996 se realizó un inventario de emisiones en el cual se estudiaron los siguientes contaminantes: PM10, SO₂, CO, NO_x, plomo (Pb) y amoniaco (NH₃) provenientes de diversas fuentes, en dicho estudio se encontró que, en la ciudad de Mexicali, son los vehículos automotores la principal fuente de emisión de contaminantes a la atmósfera (EPA, 2009), uno de los objetivos de dicho estudio fue el de identificar la contribución a la atmósfera que emiten los diferentes sectores (SEMARNAT, 2006), destacándose las siguientes cifras: fuentes de área 23 %, suelos y vegetación 6 %, industria 3 % y transporte 68 % (INE, SEMARNAT Y GOB Edo BC, 1999) como se puede apreciar, se observa un importante aporte del sector transporte lo que ha contribuido al deterioro de la calidad del aire en Mexicali.

Aunado a lo anterior, por la condición fronteriza de Mexicali con EEUU, existen programas derivados de acuerdos binacionales entre México y Estados Unidos, como el Programa Frontera XXI, dentro del cual, en materia de calidad del aire se definieron los siguientes contaminantes criterio: monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃) y material particulado (PM10) (Corona, 2008), mientras que el Programa Frontera 2012 tuvo el objetivo de medir el avance en el cumplimiento de las metas y objetivos del programa anterior (Corona, 2008).

En lo que respecta a la operación y gestión del transporte urbano, así como la prevención de sus externalidades, éstas se encuentran estipuladas en una serie de instrumentos regulatorios, políticos y de planeación expresados en forma de políticas públicas, planes, programas, leyes y reglamentos, los cuales están orientados principalmente al desarrollo urbano y a la preservación del medio ambiente. Entre ellos destaca la planeación y regulación del ordenamiento territorial y de los asentamientos humanos así como del desarrollo urbano de los centros de población los cuales se encuentran establecidos en la Ley General de los Asentamientos Humanos que regulan la elaboración de Programas de Desarrollo Urbano de Centros de Población, Plan Nacional de Desarrollo, programas sectoriales, Planes estatales y municipales de desarrollo, Programas de Desarrollo Urbano de Centros de Población, Programas Parciales de Conservación, Mejoramiento y Crecimiento de los Centros de Población, Programas Parciales Comunitarios y Programas Sectoriales.

En cuanto al transporte urbano, la normatividad aplicable a este sector se encuentra la Ley Estatal de Tránsito y en el Reglamento de Transporte Público para el municipio de Mexicali, B.C. en donde se contempla la forma de operar el servicio de transporte público y se establece que el Ayuntamiento es la autoridad facultada para prestar el servicio de transporte público de carga y de pasajeros y que el Plan Maestro de Vialidad y Transporte servirá de base para el desarrollo y evolución de las diversas modalidades de transporte público y para el otorgamiento de concesiones y permisos, en cuanto al cuidado del ambiente, solamente menciona que es obligación de los concesionarios evitar las emisiones de humo y contaminación, sin especificar tipos de emisión o parámetros a cumplir (XX Ayuntamiento de Mexicali, 2011).

En lo que se refiere a la preservación del cuidado del ambiente, a nivel nacional, es un aspecto que se contempla en instrumentos de planeación como son los Planes Nacionales de Desarrollo que se llevan a cabo cada periodo sexenal del gobierno de la República, los cuales son retomados por los gobiernos de los estados para realizar lo propio. Entre los principales instrumentos normativos que establecen las directrices para la conservación del medio ambiente se encuentran la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en la cual se contempla el ordenamiento ecológico del territorio nacional, regional, local, y marino, sin especificar acciones directas en el sector transporte.

Por otro lado, una de las consecuencias más críticas de la contaminación ambiental es el cambio climático, por lo cual las autoridades han reconocido la necesidad de incentivar acciones para la reducción de emisiones de GEI y de adaptación al mismo (INE, 2009), por lo que, a través del tiempo, se han establecido una serie de compromisos adquiridos por los países con la finalidad de mitigar sus efectos, por ejemplo, a nivel internacional surgió lo que se considera el Plan de Acción de las Naciones Unidas para un desarrollo mundial sostenible en el Siglo XXI, conocido como Agenda 21, donde se puntualizó la cooperación entre países para conservar, proteger y restablecer la salud y la integridad del ecosistema de la Tierra y el buen uso de los recursos naturales (ONU, 2009).

En el ámbito local, en el Plan Estatal de Desarrollo 2008-2013 del Estado de Baja California (PED-BC), se expresa que es necesario considerar el aprovechamiento racional de los recursos naturales y la integración de la política energética directa o indirectamente,

en diferentes aspectos como son la planeación y el desarrollo urbano, así como la necesidad de realizar un inventario de gases efecto invernadero. Otro aspecto que se menciona en el PED-BC es la necesidad de mantener en buen estado la infraestructura vial urbana, rural y de comunicaciones regionales así como la de mejorar el sistema de transporte regional y cruces fronterizos, pues factores como el flujo vehicular, las calles sin pavimento, las superficies sin cubierta vegetal, junto con algunas actividades productivas y las quemas agrícolas, son fuentes importantes de contaminación a la atmósfera por emisiones de humos, polvos, vapores y olores fétidos, siendo generadores de gases efecto invernadero.

Debido a su condición fronteriza con los Estados Unidos de América, uno de los objetivos que se plantean en el PED-BC es que tiene que considerarse la mitigación del cambio climático, la reforestación y aplicarse el ordenamiento ecológico de su territorio y la gestión ambiental, siguiendo las líneas de acción a nivel nacional: normatividad ambiental, aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, protección del medio ambiente, y educación y conocimiento para la sustentabilidad (Gobierno del Estado de BC, 2008).

En el aspecto normativo, indica que se deben integrar en la legislación los conceptos urbano y ecológico, la gestión territorial del medio ambiente, los energéticos, las vialidades, el transporte, el agua y su saneamiento, la protección al ambiente y a los recursos naturales; fomentar y desarrollar instrumentos de política ambiental, así como la promoción de la valoración de los servicios ambientales. En lo que se refiere a educación ambiental, propone fortalecer los programas de difusión y educación de la población respecto al cuidado y preservación del ambiente, así como promover su participación en la solución de la problemática.

En lo que se refiera a la contaminación del aire, suelo y agua, se tienen dos enfoques: uno de ellos es el control, que sana, reduce y minimiza los efectos de la contaminación una vez producida; el otro, es la prevención, que fomenta las prácticas productivas ambientalmente más amigables y la mayor participación ciudadana a través de la educación ambiental, en este contexto se propone la elaboración de un inventario de GEI, así como el desarrollo e implementación de un Plan de Acción Climática para el estado de

Baja California enfocados a la reducción de los GEI a través de la aplicación de estrategias para la mitigación y la adaptación de los efectos del cambio climático en esta región.

También se tocan aspectos ambientales relacionados con los GEI con la inclusión de la sustentabilidad en las actividades productivas, así como aspectos relacionados con la promoción de una mejor calidad de vida y el cuidado de la salud pública a través de acciones de prevención y mitigación de la contaminación del aire, como es la pavimentación de calles para reducir la generación de polvos.

Se han elaborado estudios y programas para la ciudad de Mexicali que relacionan el sector transporte con la calidad del aire entre los que destacan el Estudio integral del transporte público 2004, que proponía el reemplazo de una parte de la flotilla por modernos y equipados autobuses y la instrumentación de un sistema automatizado de semaforización en los principales nodos viales de la ciudad y los programas Proaire de Mexicali 2000-2005, Frontera XXI, Frontera 2012, el Programa Integral de Pavimentación y Calidad del Aire (PIPICA), que ha operado durante el 2003-2004, Programa de Verificación Vehicular, Programa de Puentes y Pasos a Desnivel, programa de semaforización, Programa de mejoramiento de la calidad del aire para Mexicali 2000-2005, Programa binacional XXI, Programa binacional Frontera 2012, Red de monitoreo atmosférico local, Programa de mejoramiento del transporte y vialidades, Mejoramiento en la fluidez vehicular a través de los trabajos en nodos y vialidades con altas densidades de tránsito, entre las que destacan la prolongación Independencia, el paso a desnivel López Mateos- Lázaro Cárdenas; así como la adecuación de los nodos de la Calle 11 y Calzada Héctor Terán, Calle 11 y Calzada. Ciudad del Sol, Calzada Anáhuac y Calzada Manuel Gómez Morín, entre otros (Corona, 2008).

En términos generales, existen instrumentos normativos en los que se puede apoyar el enfoque ambiental de la planeación urbana y del transporte, de tal manera que se pueda potenciar el desarrollo económico y social al mismo tiempo que se aprovechen los recursos disponibles y mejorar las condiciones de vida de la población, sin embargo, falta la reglamentación que complemente o defina acciones específicas en el sector transporte.

En cuanto a la gestión del transporte, en Mexicali está a cargo del Gobierno municipal, distribuyendo funciones entre las siguientes dependencias: Dirección de Obras Públicas

Municipales, Dirección de Servicios Públicos Municipales, Dirección de Administración Urbana, Dirección de Seguridad Pública Municipal, Dirección del Sistema Municipal de Transporte, Dirección del Fideicomiso para el Desarrollo Urbano de Mexicali, Consejo de Urbanización del Municipio de Mexicali, Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Mexicali, Comité de Planeación y Desarrollo Municipal de Mexicali, Dirección de Protección al Ambiente. Dicha gestión se encuentra segmentada en diversas funciones que dificultan la planeación del transporte.

A continuación, se presentan los principales indicadores que corresponden a la utilización del sistema de transporte, la situación de la movilidad y de la accesibilidad que se presentó en la ciudad de Mexicali durante el 2010, todo ello relacionado con el motivo de viaje al empleo, a partir de datos censales correspondientes a la población ocupada y la atracción generada por las empresas establecidas en esta área de estudio según la cantidad de empleados que labora en cada una de ellas.

La población ocupada que habita en la zona urbana de Mexicali es el sector que mayor cantidad de viajes demanda diariamente con la finalidad de realizar el traslado del hogar al empleo y viceversa (XX Ayuntamiento, 2011), utilizando diversos modos de transporte como son autobús, automóvil particular, servicio de taxis, servicio de transporte de personal de las empresas, bicicleta y peatonal. La utilización del sistema de transporte urbano, con todas las modalidades que ofrece, se traduce en la movilidad de la ciudad y, en la medida que permita acercarse a las actividades, representa la accesibilidad que este significa para la población.

La mayoría de los traslados hacia el empleo en Mexicali se realizan en transporte motorizado, principalmente en automóviles particulares, de los cuales más del 97 % utilizan combustibles fósiles para su funcionamiento. La cantidad de viajes-persona diarios desde el hogar hacia el empleo (HE) y del empleo hacia el hogar (EH) fue de 595,706 en días hábiles, con una longitud promedio de 7.26 km recorridos en cada uno, la mayor distancia recorrida en un viaje individual fue de 24.6 kilómetros, lo que dificulta el uso de la modalidad de viaje a pie o en bicicleta, favoreciendo las alternativas de autobús o automóvil. La distancia recorrida promedio desde cada zona en un día hábil de todos los viajes en vehículo particular fue de 360 km, la máxima distancia recorrida por todos los

viajes entre un par de zonas fue de 10,640 Km y el total de todos los recorridos entre todos los pares de zonas fue 2,607,420 Km. La cantidad de viajes-automóvil particular fue de 358,972 y viajes-autobús 2,936 viajes por día hábil.

El tiempo promedio de un viaje HE o EH en vehículo entre un par de zonas fue de 9.05 minutos, con un máximo de 36.9 minutos mientras que en autobús fue de 14.48 y 59.04 minutos en promedio y máximo respectivamente, lo cual repercute directamente en el costo del viaje, el consumo de combustible y la generación de emisiones y, no menos importante la calidad de vida del empleado, pues cuenta con menor tiempo para la convivencia en familia y la realización de actividades de esparcimiento, afectando aspectos de la salud. En cuanto al consumo de gasolina, el promedio fue de 36 litros (lt) por viaje HE o EH, y el máximo fue de 1274 lt, con un total de 305,262 lt diarios, en cuanto al diésel, el consumo total diario fue de 8,879 lt. Lo anterior impacta al sector energético pues la mayoría del combustible es fósil, no renovable y genera altos consumos y contaminación.

De las 85 zonas en que se dividió la ciudad para la construcción de la matriz O-D con motivo traslado al empleo, se encontró que la mayor cantidad de viajes-persona por zona se presenta entre las zonas 72 y 20, con un total de 807 viajes diarios del HE o EH, mientras que el promedio de viajes fue de 41, presentando zonas con cero atracción o generación de viajes.

3.2.- Movilidad

Entre los principales indicadores de movilidad se encuentran la cantidad de desplazamientos, la velocidad de traslado, tiempos de viaje y las distancias recorridas, para cada modo de transporte y el total. En las siguientes figuras se presenta un extracto de las matrices resultantes de cada uno de los indicadores mencionados, las matrices completas se presentan en el apartado de anexos.

En la Tabla 8, se presenta un extracto de la matriz de distancias recorridas por los viajes entre zonas, la distancia máxima entre zonas 24.6 km entre las zonas cincuenta y ocho y sesenta y uno, un promedio de 6.03 km y un total de 43,582 km diarios.

Tabla 8. Matriz distancias de viaje (km) por viajes al empleo en Mexicali en 2010

O/D	1	2	3	4	5
1	0	2,03	1,31	1,23	1,97
2	2,05	0	2,81	2,00	0,99
3	1,31	2,81	0	0,91	2,24
4	1,23	2,00	0,91	0	1,34
5	1,97	0,99	2,24	1,34	0

El mayor tiempo de recorrido en la modalidad transporte en automóvil particular es de 36.9 minutos a velocidad promedio de 40 km/hr, con un promedio de 9.05 minutos y un total de 65,374 km por día hábil, en la Tabla 9 se presenta un extracto de la matriz de tiempos de viaje en automóvil entre zonas.

Tabla 9. Matriz tiempos de viaje en automóvil minutos por viajes al empleo en Mexicali en 2010

O/D	1	2	3	4	5
1	0	3,04	1,96	1,85	2,96
2	3,07	0	4,22	3,00	1,48
3	1,96	4,22	0	1,37	3,37
4	1,85	3,00	1,37	0	2,01
5	2,96	1,48	3,37	2,01	0

El mayor tiempo de recorrido en la modalidad transporte en autobús es de 59.04 minutos a velocidad promedio de 25 km/hr, con un promedio de 14.48 minutos, en la Tabla 10.

Tabla 10. Matriz tiempos de viaje en autobús por viajes al empleo en Mexicali en 2010

O/D	1	2	3	4	5
1	0	4,87	3,13	2,96	4,73
2	4,91	0	6,75	4,81	2,38
3	3,13	6,75	0	2,19	5,39
4	2,96	4,81	2,19	0	3,21
5	4,73	2,38	5,39	3,21	0

Con esta metodología es posible calcular los principales indicadores de movilidad en forma de matrices O-D para representar en forma gráfica o numérica la relación entre zonas para cada variable³ o indicador.

3.3.- Transporte

Los resultados encontrados con el análisis del modelo de atracción de viajes arrojan una cantidad de traslados-persona en día hábil del hogar al empleo de 297,853 viajes individuales, de los cuales 84.36% corresponden al vehículo particular, 8.87% son viajes en autobús, 2.5% en taxi y 1.84% se llevan a cabo utilizando otras modalidades de transporte.

La cantidad de viajes generados en promedio por zona fue de 3,504, mientras que la máxima cantidad de viajes generados fue de 13,707 en la zona 72, ubicada al sur de la ciudad donde el tipo de vivienda es preponderantemente tipo interés social, entre los asentamientos ubicados en esa zona se encuentran los fraccionamientos Villas del Rey, en sus diferentes etapas de construcción. La mínima cantidad de viajes se presentó en la zona 22, localizada en el centro geográfico de la ciudad, con 115 viajes, además, se observó una generación o atracción de viajes nula en 10 zonas debido a que no existe población ocupada o bien no se encuentran centros de empleo en dichas zonas.

Considerando la ocupación de pasajeros por cada tipo de vehículo, para el 2010 se encontró un promedio de 1.4 personas por vehículo y 18 personas por autobús, lo que se traduce en 179,400 viajes en automóvil, mientras que los autobuses realizan 6,605 viajes por día hábil, de las 36 rutas en operación.

En la Figura 15 se puede apreciar que la mayor cantidad de empleos se encuentran concentrados en la parte central de la ciudad, mientras que en la Figura 16 se aprecia la probabilidad de atracción de viajes hacia el empleo, las zonas donde se generan la mayor viajes están ubicadas hacia los extremos de la ciudad, siendo colonias o fraccionamientos densamente poblados con viviendas tipo interés social, en la Figura 17 se observa la generación de viajes por zona; la probabilidad de atracción de viajes por motivo empleo fue de 1.17% en promedio por zona y el máximo fue de 5.83% en la zona 20.

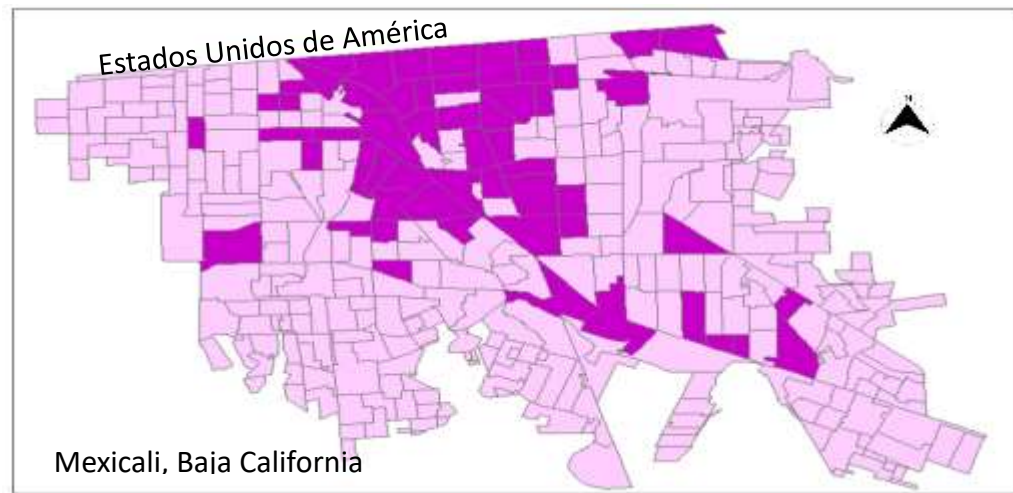


Figura 15. Concentración de empleos en Mexicali por AGEB en 2010, con base en INEGI, 2012

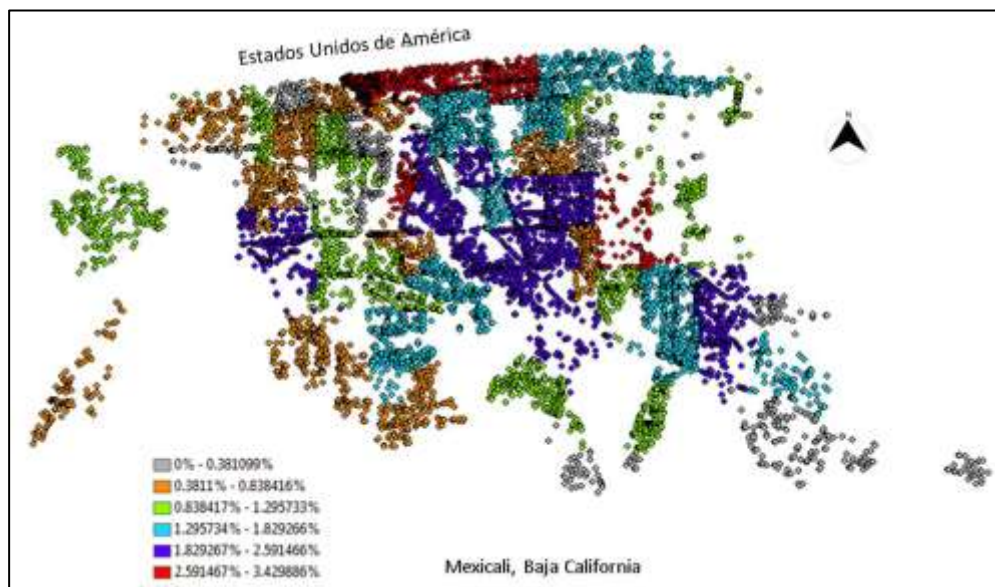


Figura 16. Probabilidad de atracción de empleos por zona en Mexicali en 2010 con base en INEGI, 2012

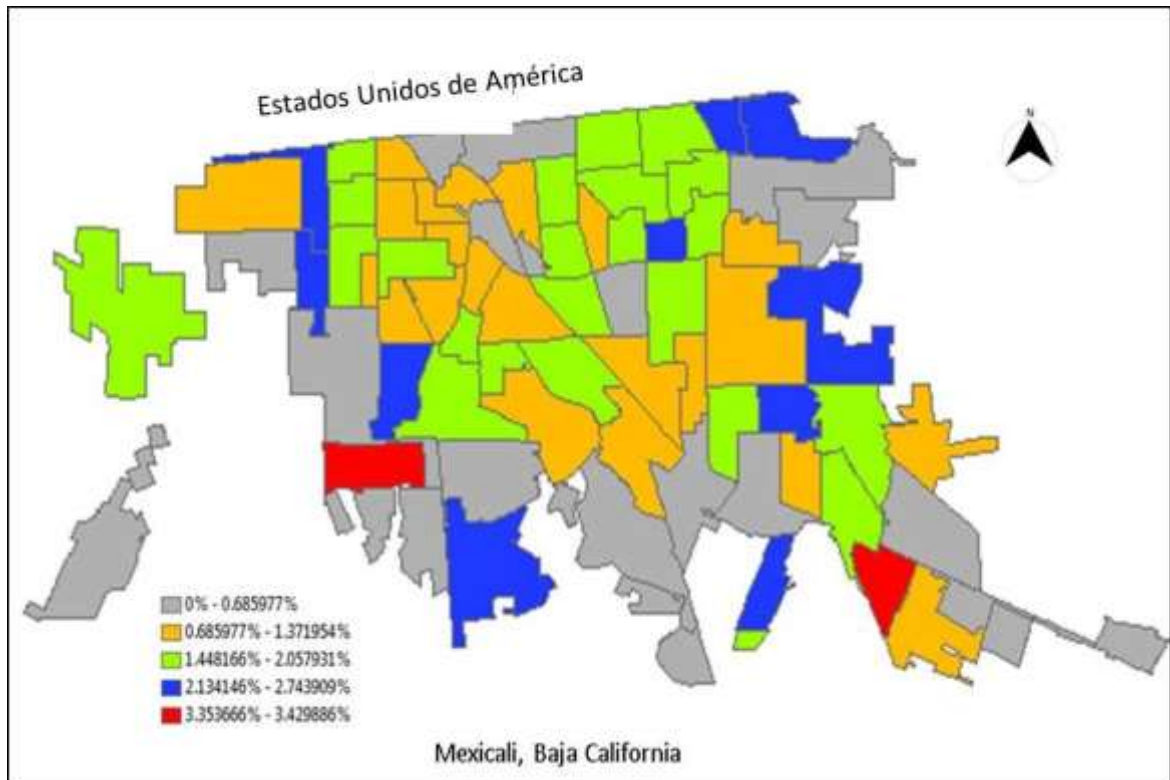


Figura 17. Generación de viajes por persona por AGEB en Mexicali en 2010, con base en INEGI, 2011

En la Figura 18 se puede observar que las viviendas en las que las familias disponen de automóvil propio coinciden con las zonas de mayor generación de viajes al empleo, es decir, hacia las periferias de la ciudad, esta variable, junto con la oferta de servicio de transporte público son determinantes en la elección de modo de transporte.

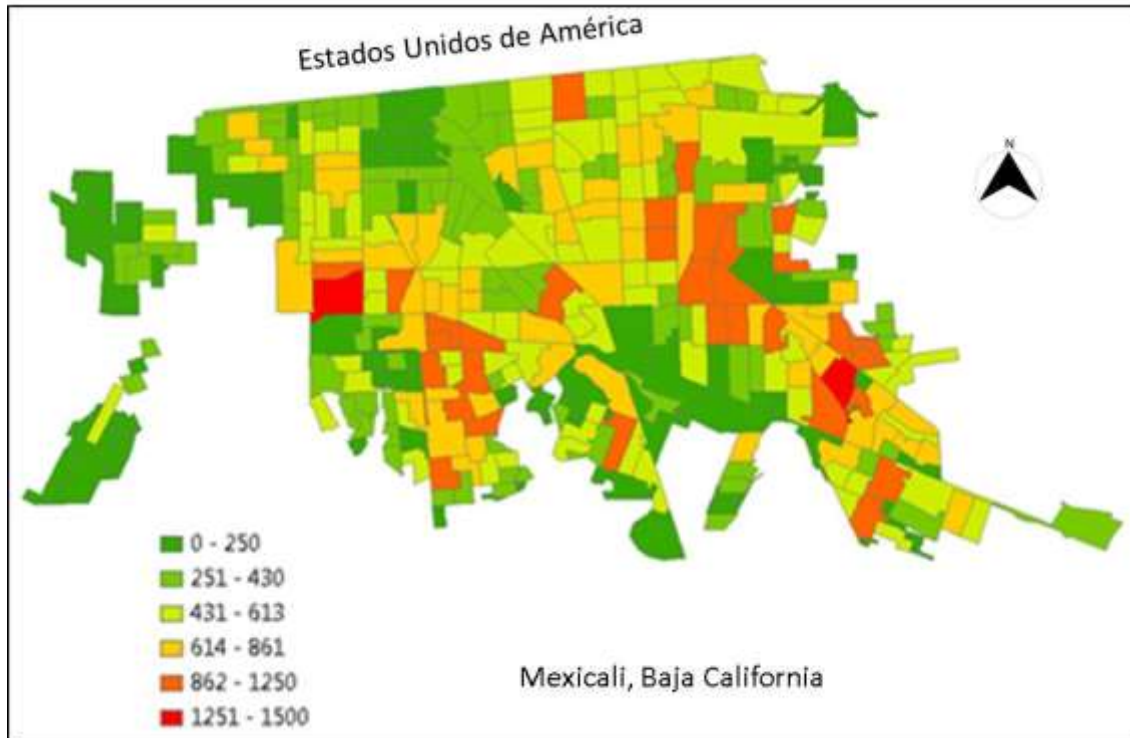


Figura 18. Cantidad de viviendas por manzana con automóvil propio en Mexicali, 2010

Del total de viajes realizados en Mexicali en el año 2010, la mayor cantidad de viajes estimados entre las 85 zonas O-D, se registró de la zona 72 a la 20 con 807 traslados del hogar al empleo, en promedio en día hábil. En la Tabla 11 se presenta un extracto de la matriz de viajes del hogar hacia el empleo. En la Figura 19 se observa la ubicación de las zonas con entre las que se generan la mayor cantidad de viajes.

Por otro lado, en la Figura 20 se pueden apreciar las líneas de viaje de la población ocupada para el traslado hacia su centro de trabajo, es decir, los pares de zonas entre las cuales se genera la mayor cantidad de viajes.

Tabla 11. Extracto de la matriz de viajes distribuidos por zonas hogar-empleo

O/D	1	2	3	4	5	... 85	Suma
1	28	16	10	21	22	...	3612
2	33	19	12	25	26	...	4310
3	14	8	5	11	11	...	1855
4	27	15	10	21	21	...	3497
5	25	14	9	19	20	...	3256
... 85	...	...	...	...	...	...	...
Suma	2290	1294	833	1758	690	...	297853

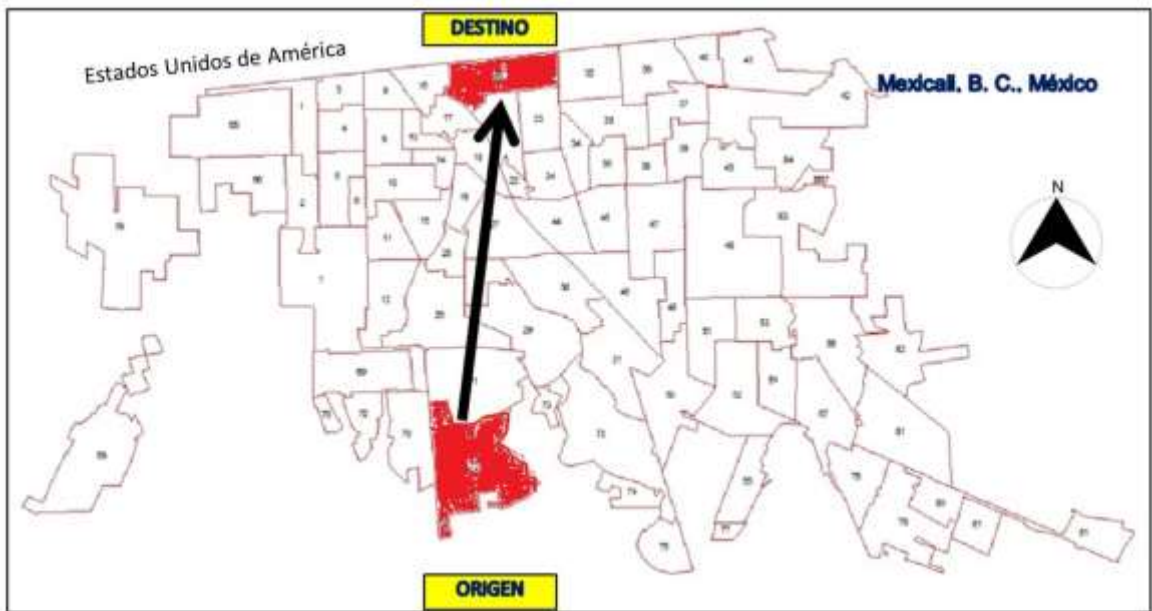


Figura 19. Zonas entre las que se presenta la mayor cantidad de viajes al empleo en Mexicali 2010

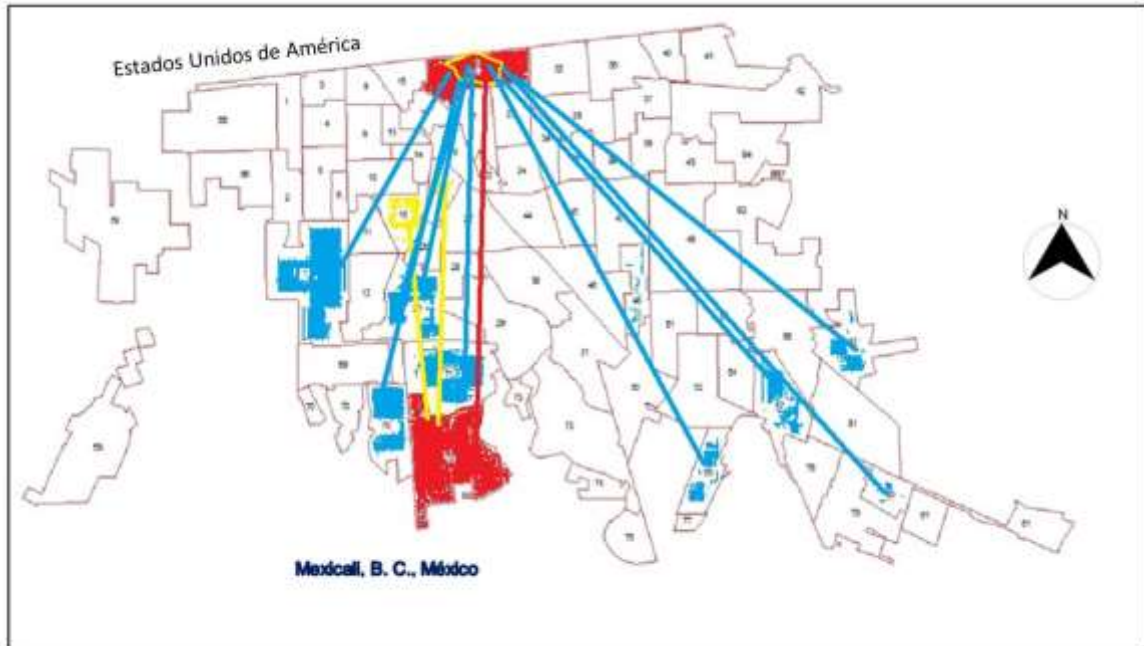


Figura 20. Líneas de viajes distribuidos por zonas en Mexicali 2010

Los viajes en automóvil particular representan el 84.35 % del total de viajes realizados hacia la fuente de empleo, lo que significa una alta cantidad de desplazamientos en este modo de transporte, con el consecuente consumo de combustible no renovable y la generación de emisiones al medio ambiente. El promedio de viajes fue 73, un máximo de 486 viajes y un total de 179,486 viajes.

Los viajes en autobús representan el 8.9 % del total de viajes realizados hacia la fuente de empleo, lo cual significa que este modo de transporte se encuentra subutilizado, provocando el desperdicio de su potencial de transportar una mayor cantidad de personas por unidad, lo que se traduciría en una menor cantidad de vehículos en circulación y contaminación, el promedio de viajes en autobús fue de 0.20 un máximo de 4 viajes y un total de 1468 viajes.

En cuanto a los viajes en taxis de ruta, se encontró un promedio de 0.44 viajes por zona, un máximo de 151 viajes y un total de 3144 viajes, mientras que, en los taxis de itinerario libre, el promedio de viajes por zona fue de 0.07, el máximo por zona fue de 2 viajes y el total de viajes en esta modalidad fue de 506.

3.4.- Accesibilidad

El análisis de accesibilidad arrojó como resultado que las zonas con mayor accesibilidad entre ellas son la número veintidós y la setenta y dos, lo que significa que entre ellas se presenta la mejor interacción en cuanto a interacción entre la atracción de viajes y la distancia que las separa, es decir, la zona 22 tiene la mejor opción de accesibilidad al empleo para los habitantes de la zona 72. En la Figura 21 se presentan las zonas con mejor accesibilidad en cuanto al empleo en cuanto a la distancia entre ellas y la población empleada en los centros de trabajo ubicados en dichas zonas, donde se puede observar que las zonas con mejor accesibilidad no coinciden con las de mayor atracción o generación de viajes.

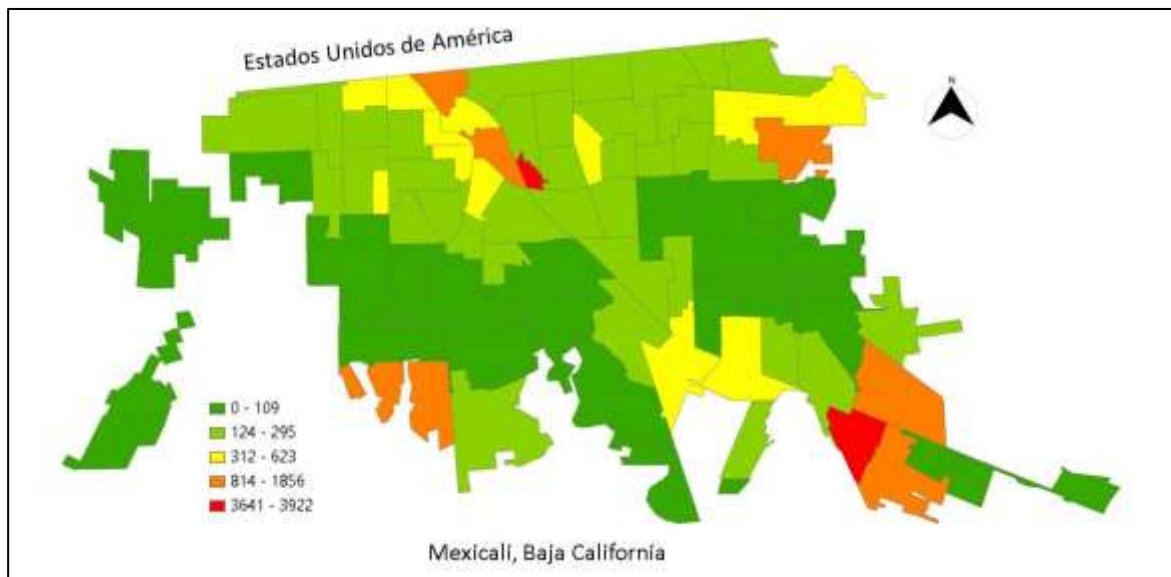


Figura 21. Accesibilidad espacial por zona en Mexicali 2010

En la Figura 22 se presenta la cobertura de transporte público a 500 m y en la Figura 23 la cobertura a 300 m, donde se aprecia que el 89.78% de la población tiene acceso a una ruta de transporte público a una distancia de 500 m y solamente el 78.8% tiene acceso a una ruta de transporte público a una distancia de 300 m.

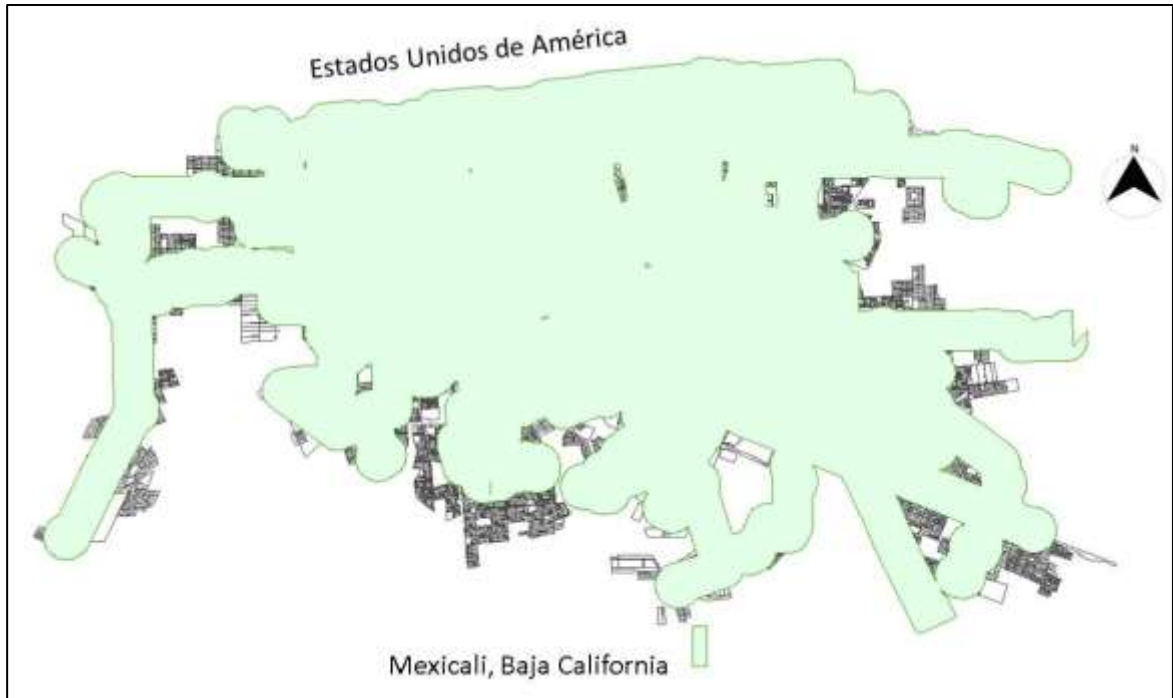


Figura 22. Cobertura de rutas de autobús de transporte público a 500 m.

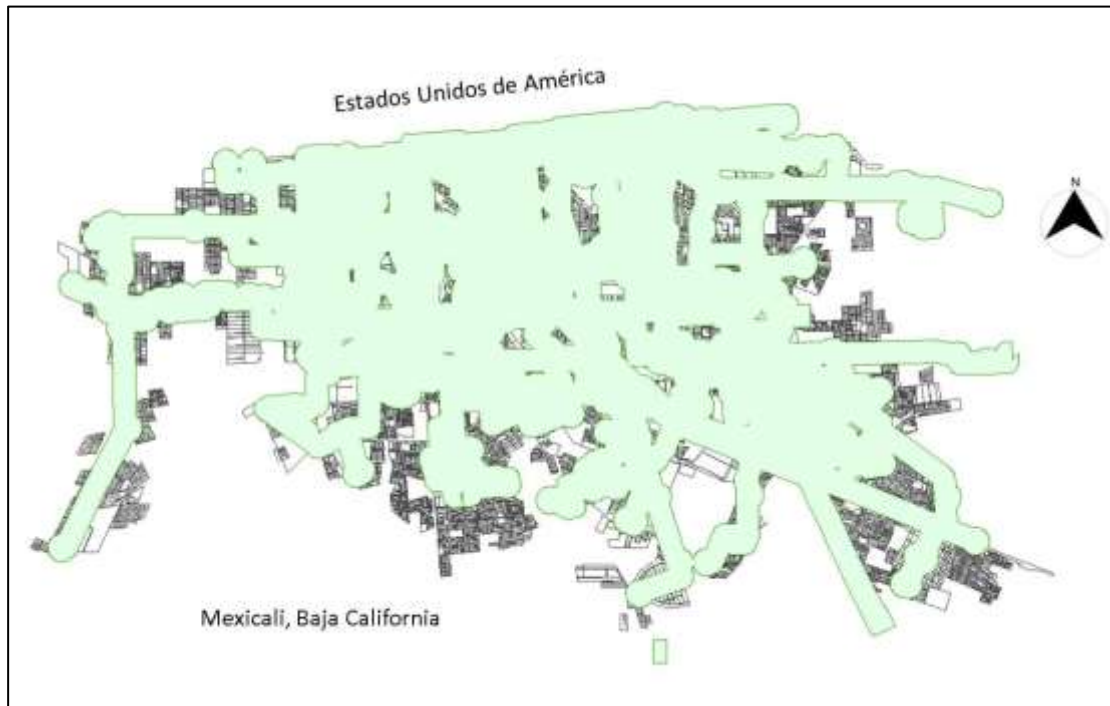


Figura 23. Cobertura de rutas de autobús de transporte público a 300 m.

En la Figura 24 se presenta la cobertura vialidades principales a 500 m y en la Figura 25 la cobertura a 300m, El 56.28% de la población tiene acceso a una vialidad principal a una distancia de 500 m y solamente el 35.71% tiene acceso a una vialidad principal a una distancia de 300 m.

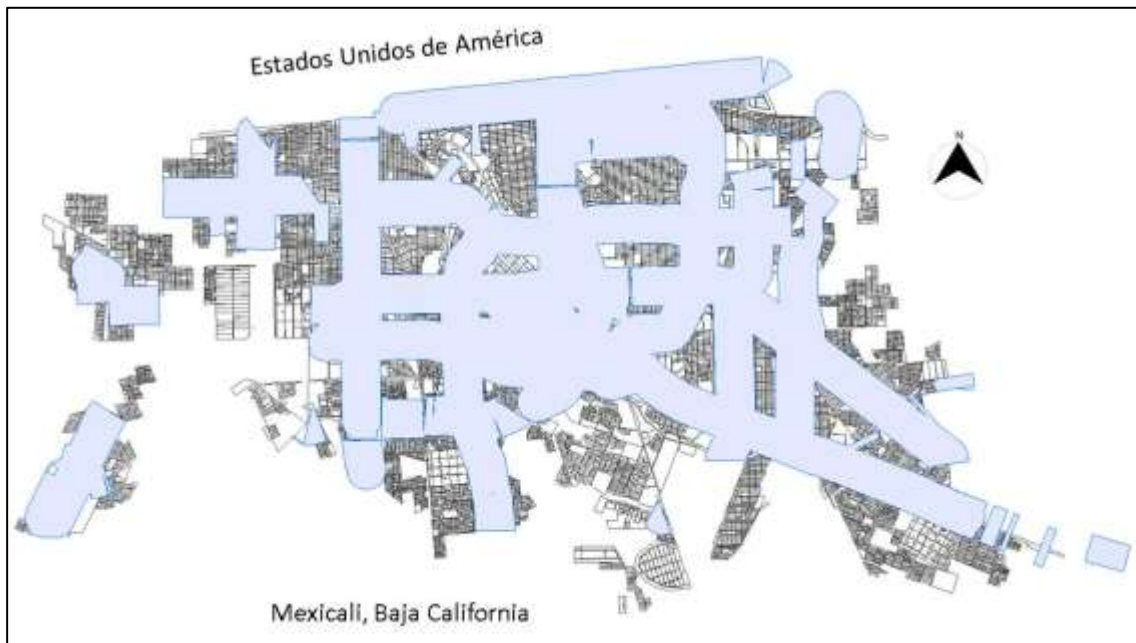


Figura 24. Cobertura de vialidades principales a 500 m en Mexicali 2010

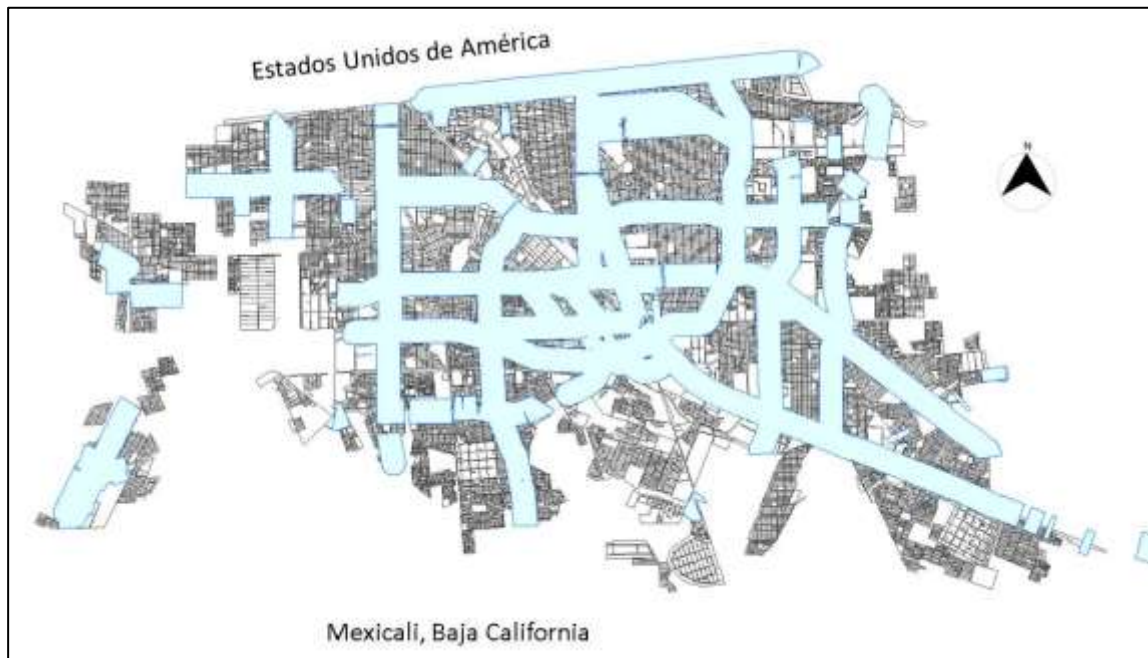


Figura 25. Cobertura de vialidades principales a 300 m en Mexicali 2010

En la Tabla 12 se presenta el resumen de cobertura de las rutas de autobús y de las vialidades principales a 300m. y a 500m.

Tabla 12. Cobertura de transporte público y vialidades principales en Mexicali, 2010

Distancia (m)	Población cubierta (%)	
	Rutas de autobús	Vialidades principales
300	78.80	35.71
500	89.78	26.28

3.5.- Emisiones de GEI

En esta investigación se realizó la estimación de contaminantes tipo GEI producto del traslado al empleo en transporte motorizado, tanto particular como público, los cuales contribuyen al cambio climático. Estos cálculos están basados en los kilómetros recorridos por las unidades de transporte utilizadas en cada modalidad de traslado, es decir, automóviles, taxis y autobuses, multiplicados por su factor de emisión.

Los gases calculados fueron el N₂O, CH₄ y CO₂, y la conversión en términos de CO₂e En la Figura 26 se pueden observar las cantidades de cada GEI para automóviles y autobuses, obtenidas mediante el cálculo mencionado, encontrando, en millones de toneladas o Gigagramos (Gg) 0.74 de CO₂ y 0.76 de CO₂e, para el transporte particular expresados en miles de toneladas por día hábil, mientras que en la Figura 27 se observa el total de emisiones de GEI para el año 2010.

En dichas ambas gráficas se puede observar que el CO₂ es el contaminante que se genera en un mayor cantidad por la combustión de combustible en las unidades de transporte.

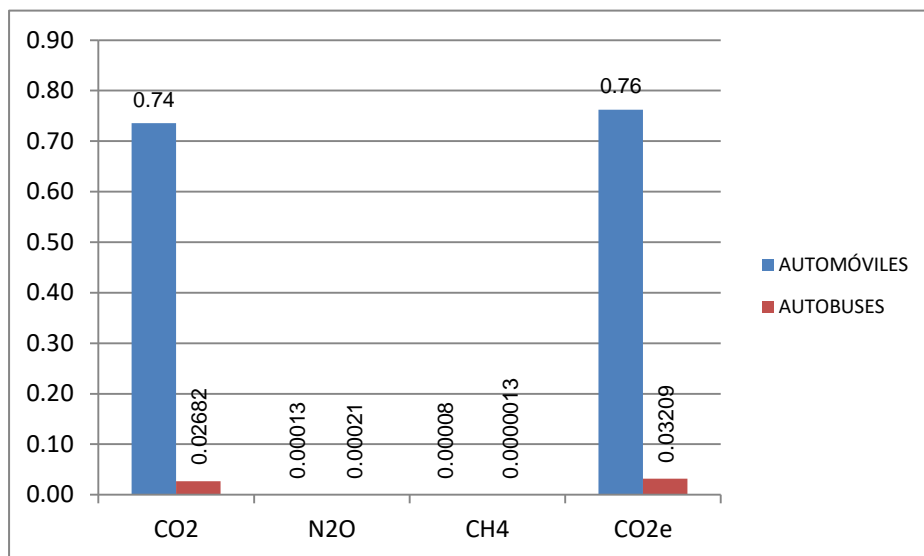


Figura 26. GEI por viajes al empleo en Mexicali en 2010 en día hábil por tipo de emisión y tipo de vehículo (Gg)

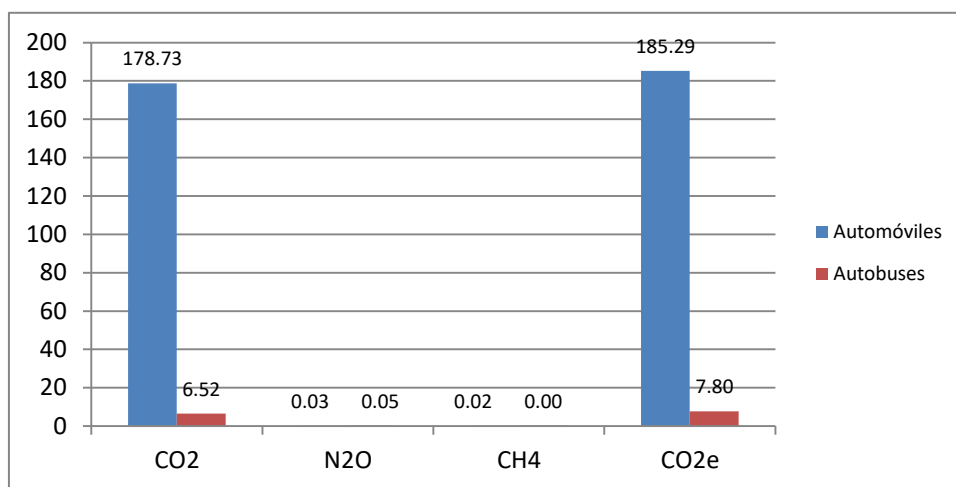


Figura 27. GEI por viajes al empleo en Mexicali en 2010 por tipo de vehículo (Gg)

En la Tabla 13 se presenta la matriz de emisiones de CO_{2e} por zona, con un promedio de 105,886 y un máximo de 3,691, 606 kg por día hábil en 2010 en Mexicali. En cuanto al CO₂ calculado por zona, el promedio obtenido fue de 89648 kg/día hábil y el máximo de 3,126,771 kg por día hábil en Mexicali en 2010. En cuanto a las emisiones de CH₄ por zona, el promedio fue 9.27 kg/día hábil y el máximo de 323 kg por día hábil en 2010 en

Mexicali, el promedio de emisiones de N₂O por zona fue de 51.76 y el máximo de 1800 kg por día hábil en 2010.

Tabla 13. Matriz emisiones CO₂e por viajes al empleo en Mexicali en día hábil del 2010 (kg)

O/D	1	2	3	4	5	... 85	Suma
1	0	12705	5043	11045	18561	...	12336022
2	7494	0	13512	20976	10826	...	13895569
3	14077	9554	0	3947	9722	...	5743834
4	20632	12436	3520	0	11964	...	10416014
5	7393	5680	8670	10239	0	...	9499453
... 85	...	...	...	...	...	...	...
Suma	8817740	4547505	3078404	6143512	5913451	...	900208539

Con esta metodología es posible estimar las emisiones de GEI para cada tipo o modo de transporte motorizado, en base al tipo de combustible utilizado, incluso por tipo de vehículo. En este trabajo se encontró que, de los GEI emanados por el transporte en la ciudad de Mexicali, el 4% corresponden a los vehículos que utilizan diésel para su operación, mientras que el 96% restante corresponde a los vehículos que utilizan gasolina como combustible.

Así mismo, el cálculo del combustible constituye un indicador útil para realizar análisis de impacto al medio ambiente y al sector energético, por lo que, se calcularon las matrices de consumo de combustible por tipo de vehículo entre cada par de zonas O-D a partir de dividir el rendimiento promedio de cada tipo de vehículo entre la distancia entre ellas. Para realizar dicho cálculo, se consideró que el 97% de los vehículos particulares consume gasolina, con un rendimiento promedio por vehículo de 8.3 km/lt, mientras que la totalidad de autobuses utilizan el diesel para su operación, con un rendimiento promedio de 4 Km/lt por unidad de transporte.

En la Tabla 14 se observa un extracto de la matriz de consumo de gasolina por vehículos particulares, con un promedio de 17.98 lt por viaje y un máximo 622 lt por viaje, sumando

un total de 152,631 lt de todos los viajes en un día hábil. La Tabla 15 corresponde al consumo de gasolina por los taxis, con un promedio de 0.35 lt y un máximo 14.6 lt de por viaje, sumando un total de 3,203 lt de todos los viajes en un día hábil en Mexicali durante el 2010.

Tabla 14. Matriz consumo de gasolina por vehículo particular en Mexicali 2010

O/D	1	2	3	4	5	... 85	Suma
1	0	2.22	0.87	1.85	3.13	...	2088
2	4.78	0	2.38	3.51	1.82	...	2348
3	1.31	1.64	0	0.68	1.69	...	978
4	2.37	2.17	0.61	0	2.01	...	1765
5	3.45	0.99	1.5	1.79	0	...	1610
... 85	...	...	...	...	...	...	...
Suma	1496	773	525	1044	1006	...	152631

Tabla 15. Matriz consumo de gasolina por taxis por día hábil en Mexicali 2010

O/D	1	2	3	4	5	... 85	Suma
1	0	0	0	0.06	0.10	...	42
2	0.11	0	0	0.10	0.05	...	51
3	0	0	0	0	0	...	16
4	0.06	0	0	0	0.07	...	35
5	.010	0	0	0	0	...	31
... 85	...	...	...	...	...	...	...
Suma	27.13	13.24	6.92	17.43	16.52	...	3203

En la Tabla 16 se puede observar el consumo de diésel por los autobuses de ruta de transporte público, con un promedio de 0.53 lt y un máximo 85 lt de por viaje, sumando un total de 4439.36 lt de todos los viajes en un día hábil.

Tabla 16. Matriz consumo de diésel en autobús por día hábil en Mexicali 2010

O/D	1	2	3	4	5	... 85	Suma
1	0	0.05	0.03	0.06	0.09	...	61.97
2	0.14	0	0.07	0.09	0.05	...	68.32
3	0.03	0.07	0	0.02	0.05	...	27.77
4	0.03	0.05	0.02	0	0.06	...	51.99
5	0.06	0.02	0.05	0.06	0	...	47.91
... 85	...	...	...	...	...	...	...
Suma	44.81	22.04	15.09	30.06	28.03	...	4439.36

Con la matriz origen destino de kilómetros recorridos y/o de combustible consumido por los diversos modos de transporte en posible aplicar modelos de estimación de otros contaminantes como es el monóxido de carbono, en la Tabla 17 se puede observar resultado de aplicar esta metodología.

Tabla 17. Monóxido de carbono por los traslados al empleo en Mexicali, 2010

Unidad	Día hábil	Año 2010
Toneladas	16.6	4045.9

La metodología utilizada en este trabajo fue seleccionada considerando la información estadística oficial disponible, la confiabilidad de la misma y la utilidad de los resultados en el proceso de planeación urbana y ambiental de las zonas urbanas, en particular de la

movilidad. Esto permitió la generación de información desagregada en función de las 85 zonas de origen y destino en que fue dividida la ciudad, lo cual ofrece una ventaja para la planeación urbana local, pues la mayoría de la información disponible en las fuentes oficiales se encuentra agrupada a escalas espaciales mayores como es el estado y el país.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este apartado se contrastan los resultados de la investigación respecto al marco conceptual y metodológico. Así mismo, se señalan las contribuciones al campo de la planeación urbana y en particular al área de la movilidad y transporte urbano, a través del planteamiento de una metodología más accesible, eficiente y factible.

El trabajo está dirigido a la evaluación de la movilidad urbana de traslados al empleo. La relevancia radica en que es el principal motivo de viaje en las ciudades y determina en gran medida la interacción espacial entre la concentración de la población en el uso habitacional y la concentración del empleo en el uso comercial, industrial y de servicios.

Entre los propósitos del estudio está el destacar la ventaja de utilizar un método alternativo para el planteamiento del modelo de demanda de transporte, que tiene mayor viabilidad que el modelo clásico para generar información actualizada sobre la movilidad y de utilidad en la actualización de la planeación urbana. Además, señalar la importancia de incluir el enfoque sustentable a través del análisis de aspectos negativos ambientales que genera la movilidad, como son el uso excesivo de combustibles fósiles y la contaminación del aire.

Otro aspecto relevante de la metodología del trabajo es que, con su aplicación se genera información valiosa para ser aplicada en la selección de acciones y estrategias de planes y programas de desarrollo urbano, así como en el planteamiento de políticas públicas relativas a la movilidad urbana y a la protección al medio ambiente, con la finalidad de evitar su deterioro y contribuir a la sustentabilidad local y global.

a) Discusión

Una de las cuestiones que pretende resaltar esta investigación es la importancia de contar con mecanismos de actualización de información estratégica de la movilidad y el transporte para la planeación urbana, que propicie el desarrollo económico, el bienestar

social y el cuidado del ambiente, tal como se describe en los objetivos de la sustentabilidad tal y lo indican Salinas y Middleton (1998).

Respecto a la movilidad urbana, ésta representa un gran consumo energético, principalmente por el uso de transporte motorizado y predominantemente de propiedad privada, tal como sucede en Mexicali, donde se tuvieron ventas per cápita en 2010 de 0.72 m³, mientras que el estado de Baja California se vendieron 0.72 m³ y a nivel nacional solamente 0.40 m³ por habitante. Por lo que, para avanzar hacia una movilidad urbana sostenible se requiere, entre otras cosas, estrategias de reducción de contaminantes que se resumen en cuatro mecanismos que son: división del modo de transporte utilizado: peatonal, motocicleta, automóvil, autobús y taxi; eficiencia de energía: tecnología de los motores para la combustión del combustible; reducción de volúmenes de transporte: reducción en la cantidad de viajes o en la cantidad de kilómetros recorridos por cada usuario y tipo de combustibles: alternativas al uso de combustibles fósiles que generan menor cantidad de contaminación, principalmente de CO₂ (Low y Gleeson 2003).

Aunado a lo anterior, se requiere revisar el marco jurídico estatal y local para mitigar la contaminación, conservar los recursos a partir de la reducción del consumo energético, aliviar la congestión y solucionar los problemas de equidad (Lonza y Hernández, 2000), encaminados hacia una mejor calidad de vida para los ciudadanos (Osorio, 2010). En este sentido, la tendencia mundial y en México es el aumento en la utilización del automóvil particular, relacionado con el consumo de combustibles fósiles, en el año 2002 en Mexicali el 36% de los viajes se realizaron en transporte público mientras que para 2011, únicamente el 12% se transportaban en esta modalidad (UABC, 1992), (XXI Ayuntamiento de Mexicali, 2011).

La relevancia de tomar acciones en el sector del transporte y la movilidad en Mexicali requiere como lo señala Cárdenas (1999), evitar el deterioro del ambiente y de los recursos, acciones que deben focalizarse a las ciudades, lo que demanda la elaboración de esquemas planeación con una visión hacia el logro de la sustentabilidad como son la planeación y ordenamiento de los usos del suelo y la sectorial relativa a la movilidad y el transporte (Satterthwaite, 2004). Los programas derivados también estarán orientados a

reducir los riesgos a la salud, la contaminación del aire, reducir el uso de combustibles fósiles y a promover el uso de recursos renovables (Leitmann, 1999).

La importancia de contar con modelos de movilidad y transporte, es que permiten vigilar el avance de acciones y estrategias, manteniendo al día a los tomadores de decisiones sobre el desarrollo local (Lonza y Hernández, 2000). En este sentido, la trascendencia del enfoque sustentable es que se haga uso integral y racional de los recursos naturales, a través de una planeación urbana basada en la disposición territorial del espacio a partir del reconocimiento de los patrones de traslado de la población, pues estos determinan en gran medida, la cantidad de desplazamientos de la población, las distancias recorridas y los tiempos de viaje, así como la contaminación y el consumo energético.

Actualmente, la mayoría de los estudios de transporte en ciudades latinoamericanas utilizan el modelo clásico (Ortúzar y Willumsen, 1994), modelo que demanda información de encuestas domiciliarias, entrevistas a un lado del camino, registro de las placas de los vehículos en tránsito, etiquetas en el vehículo o cuestionario a empleados. Existen otros modelos como los simplificados a partir de conteos de tráfico o de participación modal; modelos de elección discreta, de la teoría de la utilidad aleatoria, Logit o el de preferencias declaradas, sin embargo, presentan deficiencias o limitaciones similares al modelo clásico.

A medida que aumenta el tamaño del área de estudio se eleva la complejidad y el costo para obtenerlos, ya que depende del personal del que se dispone, el presupuesto y las limitaciones de tiempo (Bocanegra, 2005), este hecho restringe la aplicación de las encuestas mencionadas, limitando la temporalidad de la elaboración o actualización de los modelos de demanda de transporte, haciendo patente la necesidad de buscar modos alternos menos costosos y demorados.

Además de lo anterior, por la velocidad de cambio de las condiciones urbanas, de la población y de la economía, se requiere la revisión periódica de la planeación a partir de modelos fáciles de utilizar, de bajo costo y que permitan el uso de información histórica nos lleva a buscar alternativas (Ortúzar y Willumsen, 1994), en este sentido, la metodología propuesta en esta investigación resulta adecuado para el caso de Mexicali y de otras ciudades ya que, entre sus principales ventajas, se encuentra su bajo costo y los pocos recursos humanos y materiales que se requieren. Es importante resaltar que en el

modelo clásico se requiere de gran cantidad de personal con conocimientos en diversas áreas, mientras que en este método una persona podría realizar el análisis para una ciudad del tamaño de Mexicali, no obstante, debe tener la capacitación en el uso de sistemas de información geográfica, hojas de cálculo e interpretación de los resultados.

Otra ventaja de la metodología expuesta en este trabajo, es que su actualización resulta factible por la disponibilidad de información utilizada en el modelo planteado, principalmente la información económica. Mientras que, en el modelo clásico, resulta difícil y costoso realizar encuestas O-D, o bien, la actualización de los modelos con métodos estadísticos resulta menos confiable.

Otro concepto importante para el desarrollo urbano es la accesibilidad que, aunque consta de una dimensión económica que se refiere a la capacidad de cubrir un costo y una dimensión social que lleva implícita la exclusión (Galán 1999, en Molero et al., 2007), en este estudio hace referencia al factor de interacción del territorio y a la posibilidad de acceder a la localización de los lugares de empleo, desde la ubicación de los hogares de la población ocupada (Liu y Zhu, 2004) a partir de la distancia entre pares de zonas Z_{ij} del área de estudio.

La accesibilidad puede ser estimada a partir de la proximidad territorial o temporal a los lugares, así como las necesidades de traslado de un individuo o de un grupo social, un ejemplo es la cobertura poblacional o territorial de una vialidad o una ruta (Moreno y Prieto, 2004); en esta investigación se consideró la distancia entre zonas O-D en las que fue dividida la ciudad (Ortúzar, 2012) ya que se circunscribe a la interacción entre la localización de hogares y de empleos. En este sentido, en el modelo planteado y con el uso de sistemas de información geográfica, es posible generar análisis de proximidad, distancias, trayectos, modelos de interpolación, cobertura y accesibilidad a los servicios de transporte y vialidades así como modelos de proyección a futuro, a partir de datos históricos, a diferencia del modelo clásico en el que no se incorporan de manera directa análisis de coberturas o de distancias de viaje como producto directo de la encuesta O-D, a menos que se realice un procedimiento adicional y exhaustivo de clasificación de lugares, captura de información y análisis con costosos programas computacionales especializados

en modelos de transporte, que requiere de personal altamente capacitado en su operación e interpretación.

En síntesis, lo anterior enfatiza la importancia de la eficiencia en la planeación de las zonas urbanas en el caso de la movilidad y transporte, partiendo del planteamiento de un modelo que represente la necesidad de traslado al empleo y su relación con la estructura urbana con la finalidad de evaluar acciones propuestas que minimicen los efectos negativos de este sector.

Por otro lado, los resultados obtenidos mediante el modelo de transporte planteado nos indican que una gran cantidad de viajes que se realizan en la ciudad tienen como motivo el acudir al empleo y el regreso al lugar de habitación ya que estos representan el 57.69 % de los viajes que se realizan diariamente en Mexicali. Además, la mayor proporción de estos traslados se realiza en automóvil particular, lo que agudiza el problema del congestionamiento y deterioro de la infraestructura vial urbana.

Aunado a lo anterior, de los vehículos utilizados para los viajes en modalidad particular o taxi, el 97 % utiliza gasolina para su funcionamiento, mientras que el total de autobuses utiliza diésel para su operación; esto ocasiona una gran cantidad de diversos contaminantes que afectan la calidad de vida de la población por la utilización de combustibles fósiles, que impactan al medio ambiente y contribuyen al cambio climático.

La distancia de viaje promedio encontrada fue de 6.03 Km y la máxima de 24.6 Km lo cual dificulta la elección de modos de transporte no motorizados como son el peatonal y el ciclista, además, la baja cantidad de pasajeros por vehículo provoca que una mayor cantidad de unidades de transporte se encuentren en circulación, lo que incrementa la problemática vial, de transporte y de calidad del aire.

El análisis de cobertura de las rutas de autobuses muestran que un alto porcentaje de la población, casi 90 %, tiene acceso a una ruta de autobús a una distancia de 500 m, sin embargo, el hecho de que la mayor cantidad de viajes se lleven a cabo en vehículo particular indica que esto no es determinante para que los trayectos de dichas rutas correspondan a la necesidad de traslado entre sus hogares y la ubicación de los centros de empleo.

En este sentido, se pudo observar que en Mexicali no hay concurrencia entre la disposición de zonas donde habita la población ocupada y la localización de los centros de empleo, además, las rutas de autobús operan entre las cinco de la mañana y las once de la noche, mientras la entrada y salida de los empleados de la industria maquiladora es de cinco de la mañana y las 12 de la noche, que es un sector muy amplio de la población ocupada; lo anterior favorece la elección del automóvil para el traslado al trabajo.

Además, con este método, es posible realizar análisis de cobertura espacial y poblacional de rutas de transporte público así como de vialidades, en esta investigación se seleccionaron las distancias de 500 m y 300 m debido a que representan no más 4 y 6 minutos de recorrido a pie para alcanzar la ruta o la vialidad a pie. Los resultados demuestran una amplia cobertura territorial y poblacional de rutas y de vialidades principales a las distancias mencionadas anteriormente, sin embargo, la cobertura no garantiza la calidad del servicio o de la accesibilidad.

Esto puede ser un indicativo que la planeación urbana realizada hasta el momento en Mexicali no ha considerado aspectos de las necesidades de movilidad y de transporte de la población ocupada y en general de todos los motivos de viajes, así como de accesibilidad, por lo que se recomienda que se promueva una estrecha colaboración entre los organismos de investigación y planeación urbana de los diversos niveles de gobierno, en colaboración con la academia, la iniciativa privada y la consulta ciudadana para la realización de estudios y análisis de aspectos urbanos en forma periódica que permitan mejorar la movilidad y reducir sus impactos negativos a partir de la planeación.

En lo que respecta a las emisiones contaminantes producto del transporte, se demostró que esta metodología es útil en la generación de información puntual y desagregada por tipo de contaminante, modo de transporte y a una menor escala espacial, que puede llegar hasta una manzana. En este sentido, se pudo apreciar que los vehículos ligeros contribuyen con el 96 % de las emisiones de GEI generadas por el transporte motorizado, por su amplio margen de utilización respecto a otros modos de transporte y por la baja ocupación de pasajeros por vehículo, mientras que, de la generación de monóxido de carbono, el 99 % corresponde a los vehículos ligeros y tan solo el 1 % es atribuible a los autobuses.

Por lo anterior, la planeación de la movilidad, el transporte y la protección al ambiente urbanos deben tomar muy en cuenta la disposición territorial de los centros de empleo como puntos importantes de atracción de viajes, ofreciendo alternativas de transporte que faciliten la movilidad al trabajo, que es el principal motivo de viaje en esta ciudad.

Así mismo, el modelo planteado en este estudio puede resultar útil para generar información necesaria para la planeación urbana y ambiental relacionada con otros motivos de viaje y otro tipo de contaminantes; especialmente porque no requiere la inversión de recursos financieros y humanos como en el caso de las encuestas O-D. Por otro lado, en la mayoría de los países se cuenta con dependencias que compilan información socioeconómica como la utilizada en este estudio, por lo que es factible su aplicación en diversas localidades urbanas, regiones o países.

Otra ventaja observada con la metodología aplicada en este trabajo de investigación es que permite la generación de información desagregada al nivel de las zonas de origen y destino en que sea dividida la ciudad, lo cual ofrece una ventaja para la planeación urbana local, pues la mayoría de la información disponible en las fuentes oficiales se encuentra agrupada a escalas espaciales mayores como es el estado y el país.

Este trabajo busca llamar la atención sobre la importancia de realizar la planeación urbana considerando favorecer la movilidad y reducir sus externalidades, para lo cual es necesario contar con información actualizada y suficiente sobre este sector, pues tiene un impacto directo en el aspecto social por la afectación a calidad de vida de la población, tanto en el aspecto de salud como en la economía; en el aspecto ambiental por el impacto al medioambiente y en lo económico por la necesidad de invertir en infraestructura urbana, por los costos de transporte y para favorecer el desarrollo de la región.

Es relevante comentar que durante la realización de este trabajo no se encontraron estudios que integren análisis de accesibilidad o de aspectos sustentables de la movilidad urbana, a partir del planteamiento de modelos de transporte o de demanda de transporte sustentados en matrices O-D, por lo general se analizan por separado el transporte y sus externalidades. Esto representa más tiempo de análisis y el riesgo de omitir información relevante para la planeación urbana orientada hacia el transporte (Ortúzar y Willumsen, 1994).

El tema de la movilidad urbana se aborda a partir de las distancias recorridas y los tiempos de viaje, en esta investigación se utilizaron velocidades promedio por tipo de vehículo o modalidad de transporte, sin embargo, es posible considerar la adición de análisis de grafos a este modelo, que incluya restricciones y demoras en el recorrido con la finalidad de obtener velocidades más reales de acuerdo a rutas específicas de traslado. La distancia promedio de recorrido calculada, de 6.03 km, indica la dificultad de elegir modalidades sustentables de transporte como son el viaje a pie o en bicicleta, favoreciendo las alternativas de autobús o automóvil. El cálculo de estas distancias de recorrido es más fácil de obtener con esta metodología, ya que, como se mencionó en el apartado anterior, con el método clásico se requieren procesos más profundos con personal especializado y software de modelación de transporte.

La diferencia entre el tiempo máximo de recorrido en vehículo particular y en autobús es de casi 22 minutos, lo cual sugiere que las personas que poseen automóvil tendrían preferencia por esta modalidad de transporte por el ahorro de tiempo. Otro análisis que se puede realizar a futuro con este modelo es en cuanto al costo del transporte, aunque no es un objetivo de esta investigación, la forma en la que se planteó permite agregar análisis comparativos de costos del combustible consumido en transporte particular o bien la tarifa de las diversas modalidades de transporte público.

En cuanto al tema del transporte, en el modelo clásico de cuatro etapas, la primera de ellas llamada etapa de generación de viajes, se aísla del procedimiento matemático de equilibrio de las dos últimas etapas de distribución y asignación de viajes (Ortúzar, 2012). Es decir, en el caso del modelo propuesto, a diferencia del método clásico, es posible llevar a cabo análisis articulados de las cuatro etapas del modelo clásico y todos los análisis agregados en este trabajo que son accesibilidad, demanda energética y emisiones, ya que los cálculos realizados están ligados desde el planteamiento de la matriz de viajes O-D, de tal manera que cualquier cambio o propuesta que suceda en las etapas primarias será considerado en las subsecuentes, ocasionando evaluaciones sistemáticas o análisis integrales de la problemática.

La búsqueda del equilibrio de viajes entre la distribución y asignación de viajes mencionado en el modelo de transporte, representa la parte más importante del modelo

clásico, pues al provenir de una muestra representativa de la población encuestada, es necesario validar y expandir la matriz generalizando los datos a la totalidad de la población en estudio, a través de diversos procedimientos matemáticos, que a su vez presentan deficiencias o desventajas (Cal y Mayor, 2007; Ortúzar, 2012 y Molinero, 2007).

En este sentido, la metodología aplicada en esta investigación permitió abarcar la totalidad de la población del área de estudio, pues se cuenta con la información de la totalidad de la población empleada y la ubicación de su lugar de residencia, así como los lugares de empleo, su localización, la actividad económica a la que se dedican y la cantidad de empleados que laboran en ellos. Esto permite evaluar la relación espacial entre los lugares donde se presenta la aglomeración de la población ocupada y la ubicación de los centros de trabajo, a partir de la atracción de viajes por los traslados al empleo, que a su vez son generados por la población ocupada.

En cuanto a la generación de viajes hacia el empleo, la mayor cantidad de población ocupada se concentra hacia la periferia Sur de la ciudad, siendo colonias o fraccionamientos densamente poblados con viviendas tipo interés social, mientras que la atracción de viajes por motivo empleo se encuentra hacia el Norte de la ciudad. La ubicación de hogares donde las familias disponen de automóvil propio, coincide con las zonas de mayor generación de viajes al empleo, es decir, hacia las periferias de la ciudad, este hecho, junto con la oferta de servicio de transporte público son determinantes en la elección de modo de transporte, en esta investigación, más del 80% de las veces se prefiere el automóvil para realizar el traslado al empleo.

Esta información resulta útil para el diseño de rutas de transporte público masivo, se observa la necesidad de proporcionar servicio de traslado al empleo en corredores Sur a Norte y de la periferia al centro de la ciudad. Por lo tanto es necesario evaluar si las rutas de transporte existentes responden a esta demanda de viajes encontrada en este estudio, o bien, si es necesario densificar el área urbanizada principalmente las periferias, para aumentar la cantidad de pasajeros en transporte público o si es más factible dotar de equipamiento urbano o permitir el establecimiento de lugares de empleo en dichos

sectores. Es decir, acercar la oferta de empleos a las zonas habitacionales, reduciendo así las distancias de traslado.

Lo mencionado anteriormente se puede valorar a partir de la evaluación de estrategias contenidas en escenarios planteados para mitigar la problemática a corto, mediano o largo plazo. Dichos escenarios también pueden plantearse a partir del modelo clásico, sin embargo, como se ha mencionado en reiteradas ocasiones, con esta metodología resulta más práctico, rápido y económico por la integración de las diversas etapas de cálculos y análisis.

En cuanto a la cantidad de viajes, en la literatura se menciona una creciente dependencia al uso del automóvil particular lo cual se refleja en la una disminución de la cantidad de pasajeros por vehículo, en Mexicali se tenían un promedio de 1.4 ocupantes por vehículo particular en 2010. Para contrarrestar esto, autores como Dargay y Hanly (2004), proponen la disminución en las distancias recorridas para reducir el consumo de combustibles fósiles y de la contaminación. Algunas estrategias que pueden contribuir a esta disminución es incentivar el uso del automóvil compartido, es decir aumentar la ocupación promedio de pasajeros por vehículo tanto particular como público, un servicio de rutas de transporte público más eficientes que propicie una mayor proporción en la utilización del transporte público y la promoción de modalidades de transporte no motorizadas.

La metodología aplicada en este estudio, aunando a la disponibilidad de información espacial de la población y los centros de empleo, permite realizar análisis de accesibilidad a partir de la relación entre la atracción de viajes de una zona y la distancia que la separa del resto de las zonas, es decir, representa la interacción espacial entre la aglomeración poblacional en zonas habitacionales y la aglomeración de los centros de empleo de la ciudad. En esta investigación se puede observar que las zonas con mejor accesibilidad no coinciden con las de mayor atracción o generación de viajes, lo cual es un indicativo que la estructura urbana no es eficiente en cuanto a la distribución de las actividades en el espacio urbano.

En lo que respecta a la calidad del aire, en Mexicali, la mayor parte de los viajes al empleo se realizan en transporte particular, superando por mucho al transporte público, situación

que propicia un alto consumo de combustibles fósiles. Por lo anterior, aspirar al desarrollo urbano sustentable como sugieren Lonza y Hernández (2000) y Gordon (2000), es una tarea difícil en esta ciudad, por lo que es decisivo que se diseñen estrategias sustentables tendientes a la prevención de la contaminación como son: promoción del tele-trabajo, educación a distancia, reducción del número de días de trabajo o estudio, medios de transporte alternativos a pie, ciclistas, transporte colectivo, y regulación de los lugares de estacionamiento; por último, optimización del uso de la infraestructura existentes a partir de horarios flexibles y escalonados de entrada y salida al trabajo, construcción de carriles para autobús ocupación, uso de vehículos compartidos y regulación del acceso a la red vial principal (Ite, 1989, Wachs, 1989; Ferguson 1990, Giuliano, 1992; Pozueta, 2000 y USDOT 1993).

En este sentido, el modelo de análisis propuesto permite integrar diversos análisis dentro del modelo base de transporte como son la estimación de emisiones de GEI y de otros contaminantes. Con los resultados obtenidos es posible elaborar diagnósticos y plantear escenarios futuros de movilidad urbana así como evaluar acciones o estrategias tendientes a la mitigación de dichas emisiones y sus efectos en el medio ambiente. En síntesis, una ventaja de este modelo alternativo es que integra o incluye el aspecto ambiental, lo cual no ocurre en el análisis del transporte realizado con el modelo clásico.

Los resultados obtenidos demuestran que el 96 % de los GEI emanados por el transporte corresponden a los vehículos particulares, que en su mayoría utilizan gasolina como combustible, en este sentido, es importante propiciar el uso de transporte no motorizado o transporte masivo que demande un menor consumo energético y por lo tanto genere menor contaminación, principalmente porque en años recientes se ha observado un crecimiento del parque vehicular en la ciudad.

En términos generales, la aplicación de esta metodología permite la generación de información desagregada en función de las zonas de origen y destino en que fue dividida la ciudad, lo cual ofrece una ventaja para la planeación urbana local, pues la mayoría de la información que se encuentra disponible actualmente en fuentes oficiales sobre movilidad urbana, se encuentra agrupada a escalas espaciales mayores como es el estado y el país. Así mismo, permite la disponibilidad de los datos de maneta actualizada, lo cual

contribuye a la eficacia de las políticas públicas de movilidad a través de un diseño apegado a las condiciones urbanas y sociales prevalecientes.

Con este método, es posible plantear otros modelos para el cálculo, estimación, análisis o evaluación de otros parámetros como son la estimación de otros contaminantes, otros motivos de viaje o bien, replicarlo para otra ciudad. Así mismo, da pie al planteamiento y evaluación de escenarios de proyección de viajes, longitud, tiempos de recorrido, velocidades y emisiones, entre otras aplicaciones.

Un atributo sobresaliente del modelo presentado en esta investigación, es que permite a los tomadores de decisiones consultar información acerca de la movilidad, el transporte y la accesibilidad así como la contaminación resultante de estas actividades, con la finalidad de realizar planeación urbana dirigida hacia la eficiencia y la sustentabilidad del sector, inclinada hacia un mejor aprovechamiento de los recursos y al logro de una mejor calidad de vida de población, a través del cuidado del ambiente y la disminución del uso de combustibles fósiles por el traslado al empleo.

En este sentido, los tomadores de decisiones, tienen que tomar conciencia de la necesidad de integrar la planeación de la movilidad y del transporte con la planeación urbana, actualmente es difícil tener una visión integrada de la problemática debido a que la movilidad y el transporte son jurisdicción municipal y se encuentran diseminadas en distintas dependencias de la administración municipal lo cual provoca la fragmentación del problema, generando diseños urbanos desarticulados que no contribuyen a la solución de la problemática.

Con la metodología propuesta se requiere poco personal, es posible utilizar información oficial que se publica periódicamente, definir la agenda de actualización e incorporación de información producida por el gobierno local en materia de movilidad y el uso de programas informáticos para elaborar en forma periódica y actualizada análisis de movilidad y transporte urbanos. A partir de matrices O-D que generen información suficiente y desagregada sobre diversos indicadores urbanos útiles para la planeación urbana y para la evaluación de sus efectos en el medio ambiente. Esto representa una menor inversión en costo y tiempo para la realización de estudios de transporte, lo que otorga una mayor factibilidad de realización de este tipo de investigaciones.

Entre las limitaciones de la aplicación de la metodología, están que se requiere personal capacitado en el uso de sistemas de información geográfica y la disponibilidad de información estadística referenciada espacialmente, accesible para su consulta, así como equipo de cómputo con software de sistemas de información geográfica y hojas de cálculo. Mientras que, entre algunas de sus ventajas sobre el modelo clásico, se encuentran que se requiere poco personal, menos recursos técnicos y económicos así como la facilidad de integrar las cuatro etapas del modelo de transporte y análisis posteriores como distribución espacial, deseos de viajes, demanda energética y emisiones. Es decir, permite integrar el estudio del transporte y la movilidad urbana con aspectos sustentables del sector como son demanda energética y emisiones contaminantes en un solo modelo, concatenado de tal manera que se podrían realizar cálculos, análisis de sensibilidad y evaluación de escenarios en un mismo archivo digital.

b) Conclusiones

La evaluación de un modelo de transporte cubre aspectos como eficiencia, cobertura, y disponibilidad, pero su mayor importancia radica en determinar la relación entre la infraestructura urbana y su efecto en la sustentabilidad y desarrollo, pues sirve para desarrollar políticas públicas de transporte. La ventaja de utilizar la modelación es que facilita el análisis de fenómenos que no pueden ser reproducidos en un laboratorio, lo cual es muy útil en la planeación, mientras que la facilidad de obtener información de fuentes oficiales a través de internet y su procesamiento a través de los sistemas de información geográfica ha contribuido a mejorar la aplicación de esta herramienta.

La metodología del enfoque clásico para el estudio de transporte, a pesar de ser ampliamente utilizada, presenta desventajas como la necesidad de gran cantidad de información y un alto costo para recolectarla, principalmente a través de encuestas O-D, por lo que ha surgido la necesidad de explorar nuevas formas de abordar la problemática y plantear dichos modelos. Sin embargo, la estructura urbana sigue siendo la base para los estudios de movilidad y transporte, pues la disposición territorial del espacio determina los desplazamientos de la población, las distancias recorridas, los tiempos de viaje y las externalidades asociadas a este sector.

En cuanto a la accesibilidad, ésta ha ganado mayor relevancia pues ha pasado de considerarse más allá de una proximidad física para plantearse como un derecho humano, ligado a la oportunidad de los individuos de participar en actividades y con la capacidad de un lugar de ser alcanzado desde diferentes lugares, por lo que se han desarrollado diversos métodos y enfoques para su análisis, entre los que destaca la relación entre la distancia y la demanda de viajes entre lugares o zonas de estudio.

En lo que respecta a Mexicali, los estudios de transporte fueron realizados en los años 1992, 1994, 2004, 2007 y 2011, es importante mencionar que los estudios elaborados en años posteriores a 1992, han sido actualizaciones del mismo, es decir, no se han realizado encuestas O-D con la misma profundidad y cobertura. Lo anterior hace suponer que se cumplen las críticas realizadas al modelo clásico de transporte por autores como Schneider (1959), Lee (1973) e Islas (2000) en el sentido de que son escasamente realizadas por el costo y tiempo que demandan, de ahí la relevancia de encontrar alternativas más accesibles para realizar dichos estudios es esta ciudad.

Así mismo, es determinante resaltar que en Mexicali se ha presentado un comportamiento similar a otras urbanizaciones, donde la tendencia al crecimiento territorial y poblacional ha provocado el crecimiento de los viajes en automóvil, la longitud de los traslados y la disminución en el uso del transporte público (Banco Mundial, 2002). Además, se ha observado que el tráfico se concentra en unas cuantas vialidades, ocasionando demoras y congestiones, por lo que es determinante precisar que ambos factores dificultan alcanzar la sustentabilidad en sus diversos enfoques y escalas y que se requiere diseñar políticas públicas, planes y programas para revertir dichas tendencias.

Como reflexión final, aunque transporte, movilidad y accesibilidad son conceptos frecuentemente utilizados como sinónimo, los tres representan procesos muy diferentes en la dinámica urbana, el transporte significa la existencia de la infraestructura, unidades de transporte y reglas para que este servicio pueda ser ofrecido y utilizado, mientras que la movilidad se refiere a la forma e intensidad en la utilización de este servicio, por otro lado, la accesibilidad va más allá de la cercanía física o territorial o la facilidad de acceder a la infraestructura, representa el acceso de la población a sus actividades cotidianas como empleo, educación, servicios de salud, compras y entretenimiento, entre otros, es decir que

la infraestructura y los servicios de transportes sean acordes a la demanda de traslados de la población, que los viajes puedan ser realizados en forma cómoda, rápida, económica y segura.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Modelos de transporte, movilidad y accesibilidad urbanos.....	17
Tabla 2	Modelo clásico de transporte.....	38
Tabla 3	Modelos para el cálculo de índices de accesibilidad.....	44
Tabla 4	Factores de emisión de GEI para gasolina y diésel	58
Tabla 5	Factores de conversión de CO ₂ e.....	59
Tabla 6	Distribución ramas de actividad económica en Mexicali en 2010.....	62
Tabla 7	Principales vialidades de Mexicali.....	63
Tabla 8	Matriz distancias de viaje (km) al empleo en Mexicali 2010.....	76
Tabla 9	Matriz tiempos de viaje en automóvil por viajes al empleo en Mexicali en 2010.....	77
Tabla 10	Matriz tiempos de viaje en autobús por viajes al empleo en Mexicali en 2010.....	77
Tabla 11	Extracto de la matriz de viajes distribuidos por zonas hogar-empleo.	81
Tabla 12	Cobertura de transporte público y vialidades principales en Mexicali, 2010.....	86
Tabla 13	Matriz emisiones CO ₂ e por viajes al empleo en Mexicali en día	88

	hábil del 2010 (kg).....	
Tabla 14	Matriz consumo de gasolina por vehículo particular en Mexicali 2010.....	89
Tabla 15	Matriz consumo de gasolina por taxis por día hábil en Mexicali 2010.....	89
Tabla 16	Matriz consumo de diésel por autobuses día hábil en Mexicali 2010.....	90
Tabla 17	Monóxido de carbono por los traslados al empleo en Mexicali, 2010.....	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Modelo general de viajes.....	38
Figura 2	Etapas del proceso metodológico.....	46
Figura 3	Área de estudio.....	47
Figura 4	Submodelo de movilidad urbana.....	49
Figura 5	Modelo de transporte urbano.....	50
Figura 6	Zonificación para el análisis O-D en Mexicali.....	51
Figura 7	Total de viajes unitarios por día laborable.....	52
Figura 8	Modelo de elaboración de la matriz O-D de viajes.....	53
Figura 9	Modelo de distribución modal.....	54
Figura 10	Distancia recorrida por viajes al empleo en Mexicali.....	55
Figura 11	Modelo de estimación de GEI por el traslado al empleo.....	58
Figura 12	Localización geográfica de Mexicali, B.	60
Figura 13	Ramas de actividad económica en Mexicali en 2010	62
Figura 14	Traza vial de Mexicali.....	65
Figura 15	Concentración de empleos en Mexicali en 2010.....	78
Figura 16	Probabilidad de atracción de empleos por zona en Mexicali en	79

	2010.....	
Figura 17	Generación de viajes en Mexicali en 2010.....	79
Figura 18	Cantidad de viviendas por manzana con automóvil propio en Mexicali 2010	80
Figura 19	Zonas entre las que se presenta la mayor cantidad de viajes al empleo en Mexicali 2010.....	81
Figura 20	Líneas de viajes distribuidos por zonas en Mexicali 2010.....	82
Figura 21	Accesibilidad espacial por zona en Mexicali 2010.....	83
Figura 22	Cobertura de rutas de autobús de transporte público a 500 m.....	84
Figura 23	Cobertura de rutas de autobús de transporte público a 300m.....	84
Figura 24	Cobertura de vialidades principales a 500 m en Mexicali 2010.....	85
Figura 25	Cobertura de vialidades principales a 300 m en Mexicali 2010.....	85
Figura 26	GEI por viajes al empleo en Mexicali en 2010 en día hábil por tipo de emisión y tipo de vehículo (Gg).....	87
Figura 27	GEI por viajes al empleo en Mexicali en 2010 por tipo de vehículo (Gg).....	87

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, B. y Martínez, A. (2017). Lineamientos generales para una movilidad sustentable entre el área urbana y rural que complementen el modelo de ciudad compacta. Caso Cuenca.
- Banco mundial, 2002. Ciudades en movimiento: Revisión de la estrategia de transporte urbano del banco mundial. Ken Gwilliam. Departamento de Transporte y Desarrollo Urbano del Banco Mundial, Washington, DC.
- Bazant, J. (1998). Manual de diseño urbano. Trillas. México
- BCEOM-GMI-WSA. Consorcio. (2005). Plan Intermodal de Transportes del Perú - Ministerio de Transportes y Comunicaciones/OGP. 2 - 8 Informe Final - Parte 3, Capítulo 2. Bettin, G. (1982). Los sociólogos de la ciudad. España: Gustavo Gili, S. A.
- Boarnet, M. y Sarmiento, M. (2001). Travel by design. The influence of urban form in travel. Oxford University Press.
- Bocanegra, H. 2005. Estimación de una matriz origen-destino a partir de aforos vehiculares. Tesis. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Breheny, R. y Rookwood, R. (1996). Planning the sustainable city region. In Bowers (ed) Planning for a sustainable environment. P. 150-190. Earthscan. London.
- Bull, A. (2003). Congestión de tránsito: el problema y cómo enfrentarlo. Naciones Unidas. CEPAL. Chile. CEPAL. 2003. Consultado en mayo del 2010 en: www.mideplan.cl/cgi-bin/btca/WXIS?IsisScript=./xis/plus.xis&mfn=006778&base=Biblo.
- Burns, L. D., 1979, Transportation, Temporal, and Spatial Components of Accessibility, Lexington Books, Lexington, Massachusetts.
- Cáceres N, 2009). Estimacion de matrices de movilidad mediante datos de telefonía móvil. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla. España.
- Cal y Mayor R. y Cárdenas J. 2007. Fundamentos y Aplicaciones de Ingeniería de Tránsito. Alfaomega. México.

- Capra.org. Universidad de los andes (2007). Planeación del ordenamiento territorial. Consultado en 2009 en: http://www.ecapra.org/capra_wiki/es_wiki/index.php?title=Planeaci%C3%B3n_de_l_Ordenamiento_Territorial (3 sep 2009).
- Cárdenas, L. (1999). Definición de un marco teórico para comprender el concepto de desarrollo sustentable. *Revista de Urbanismo*. Chile.
- Castells, M. (1972). *La cuestión urbana*, 12 ed., tr. IRENE C. OLIVAN, Siglo XXI, págs. 107-117 traducido en 1974, original en francés.
- Castiglione J., Bradley M., y Glielbe J. (2014) *Activity-Based Travel Demand Models: A Primer*. The Strategic Highway Research Program of the Transportation Research Board.
- Cervero R. y Kockelman K. (1997). Travel demand and the 3D'S: density, diversity and design. In *Transportation Research Part D: transport and environment*. Volumen 2, Issue 3. P. 199-219.
- Collins, K., Paul Ganster, P., Quintero, M., Núñez, E. y Mason, C. (2004). *Imperial and Mexicali Valleys: Development and Environment of the U.S.-Mexican Border Region*. San Diego, CA: San Diego State University Press.
- CONAPO. (2010). Baja California: Proyecciones de población de localidades seleccionadas1, 2010-2030, 2010. Disponible en http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos [Acceso el 4 de julio del 2014].
- COPLADE. (2010). Baja California: Proyecciones de población de localidades seleccionadas, 2010-2030. Mexicali. Disponible en <http://www.copladebc.gob.mx/> [Acceso el 23 de abril del 2012].
- Corona Zambrano Elva Alicia (2008). *Sistema de Indicadores para la Planeación y Gestión Sustentable de las Ciudades: Calidad del Aire en Mexicali*, B. C. Tesis
- Dargay, J. y Hanly, M. (2004). Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to Price and income: a review. In *Transport reviews*. Vol. 24. No. 3. P. 275-292.
- De la Fuente, S. (2009). *Encuentro de Economía Aplicada*. Consultado en mayo de 2009 en: <http://www.revecap.com/encuentros/anteriores/xeea/trabajos/d/pdf/086.pdf>.
- Ducci, M. (1989, reimp. 2009). *Conceptos básicos de urbanismo*. Ed. Trillas. México. ISBN 978-968-24-2970-5
- Escobar, D. (2007). *Indicadores de accesibilidad del transporte público, diagnosis de Partida hacia una ciudad sostenible. Aplicación en la ciudad de Manizales, Colombia*. Universidad de Cataluña, España.

- Escobar, D. y Garcia, F. (2006). Territorial accesibility analysis as a key variable for diagnosis of urban mobility: A case study Manizales (Colombia). *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 48. 1385-1934.
- Ferguson, E. (1990). Transportation Demand Management: Planning, Development and Implementation. *Journal of the American Planning Association*. Autumn 1990, vol 56, núm. 4, pp 442-457.
- Galindo, M., Campbell, H., García, C., Santos, M., Benites, J. y García, E. (2003). Modelo de Transporte Público de la Ciudad de Mexicali. Universidad Autónoma de Baja California. México.
- Galindo, M., Santos, M. y Benites, J. En Muñoz, G., et al (2014). Proyecto para desarrollar el programa de cambio climático en el Estado de Baja California, México. Mexicali, México: CONACYT.
- Gallopín, G. (2003) Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. Chile, 2003. United Nations Publications.
- Gao, Z. y, Zhang, H. (2009). Bilevel programming model and solution method for mixed transportation network design problem, doi: 10.1007/s11424-009-9177-3, *Journal of Systems Science and Complexity*, 22 (3), 446-459, (2009).
- Gibson, R. (2005). Sustainability assesment: criteria, processes and applications. Earthscan. London.
- Giuliano, G. (1992). Travel Demand Management: Promise or Panacea, *Journal of the American Planning Association*, n° 3, Summer, 1992.
- Gobierno del Estado de Baja California. (2008). Plan Estatal de Desarrollo 2008-2013. Consultado en agosto de 2010 en: <http://www.lib.utexas.edu/benson/lagovdocs/mexico/bajacalifornia/ped.html>.
- Goodstein L., Nolan T. y Pfeiffer W. (1993). *Applied Strategic Planning – How to develop a plan that really work*. McGraw-Hill, Inc. USA).
- Google Earth. [En línea], disponible en: <https://www.google.com.mx/intl/es/earth/> [Acceso el 4 de Noviembre del 2016].
- Gordon. (2004). Forecasting urban futures: a systems analitical perspective on the development of sustainable urban regions. In *Exploring SDGP*. P. 99-127. Earthscan. London.
- Gossop, Ch. Y Webb, A. (1993). *Towards a sustainable energy policy. Planning for a sustainable environment*. Earthscan Publications, London.

- Grainger, A. (2004). The role of spatial scale and spatial interaction in sustainable development, en Purvis, M and Grainger, A. Exploring sustainable development geographical perspectives. Earthscan, UK.
- Greene, M. & Soler, F. (2005). Santiago: de un proceso acelerado de crecimiento a uno de transformaciones. En De Mattos, C.; Ducci, M.; Rodríguez, A & Yáñez, G (editores). “Santiago en la Globalización ¿una nueva ciudad?” Segunda edición. Santiago de Chile: Ediciones Sur y EURE libros, 2005. pp. 47 – 84.
- Guttenberg, Albert Z. (1959). A Multiple Land Use Classification System, Journal of the American Planning Association, 25: 3, 143 — 150.
- Haynes, Kingsley et al. Gravity and Spatial Interaction Models. Sage Publications. 1988. Beverly Hills. USA.
- Hiernaux, D.(1995). Hacia nuevos patrones de estructura urbana: De viejas y nuevas formas. Papeles de Población, noviembre-febrero, número 6-7. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. pp. 20-35.
- Holden, E, y Norland I. (2005). Three Challenges for the compact city as a sustainable urban form: household consumption of energy and transport in eight residential areas in the greater Oslo region. In Urban studies, Vol. 42. No. 12 No. 2005. pp. 2145-2166. Routledge.
- IBAM. Ministerio Das Cidades. (2005). República Federativa do Brasil. Mobilidade e política urbana: subsídios para uma gestão integrada. Rio de Janeiro, 2005. Convênio nº 7/2004.
- INE. (2009). Página web del Instituto Nacional de Ecología. Consultado el 4 de octubre del 2009 en: http://cambio_climatico.ine.gob.mx.
- INECC (2014). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.. Página web del Instituto Nacional de Ecología y cambio climático. Disponible en: <http://www.gob.mx/inecc> [Consulta el 20 de febrero del 2014]
- INEGI. (2011). Censo de Población y Vivienda 2010, Resultados definitivos, México.
- INEGI. (2012). Directorio Estadístico de Unidades Económicas, 2012. Disponible en: www.inegi.org.mx/sistemas/denue/
- IPCC. (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Green house Gas Inventories: Reference Manual. Consultado en 2007 en el sitio: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>
- IPCC (2000). Special Report on Land Use, Land-Use Change And Forestry, 2.2.1.1 Land Use. ISBN: 92-9169-114-3. Consultado en 2013 en <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/srl-en.pdf>

- Islas, V. (2000). Llegando tarde al compromiso: la crisis del transporte en la Ciudad de México. México D.F.: El Colegio de México.
- ITE. (1989). A Toolbox for Alleviating Traffic Congestion. Institute of Transportation Engineers, Washington.
- Jaramillo, C., Lizarraga, C. y Gringlay, A. (2012). Spatial disparity in transport social needs and public transport provision in Santiago. En Journal of Transport Geography, Volumen 24, Número 1 (2012) 340–357. Elsevier.
- Lee, D. (1973). Requien for large scale models. Journal of American Institute of planners. Vol. 39, 163-178.
- Lefebvre, H. (1991)The production of space. 1 ed.. tr.Donald Nicholson-Smith, Blackwell, Massachusetts, USA
- Leitmann. J. (1999). Sustaining Cities Environmental Planning and Management in Urban Design. Capítulo 4, pp. 108-134. MacGraw Hill.
- Liu, S, y Zhu, X. (2004). Accessibility Analyst: an integrated GIS tool for accessibility analysis in urban transportation planning National Institute of Education, Nanyang Technological University, 1 Nanyang Walk, Singapore.
- Lizarraga, C. (2006). Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI. Economía, Sociedad y Territorio. Vol. VI, No. 22, 283-321. España.
- Lonza, L. y Hernández, H. (2000). Marco analítico para evaluar la movilidad urbana sostenible. The IPTS Report - Núm. 46. Consultado en mayo del 2010 en: <http://vlex.com/vid/analitico-evaluar-movilidad-sostenible-111290#ixzz0hcG03xiK>.
- Low, N. y Gleeson B. (2003). Australia. Making Urban Transport Sustainable. Ed. Palgrave.
- Manríquez, C. (2016). Diagnóstico del estado físico - funcional del espacio público de una centralidad metropolitana. Universidad de Chile.
- Márquez, L. (2010) hábitat y planeación urbana. Instrumentos para la planeación del hábitat a la escala del barrio: Ciudades intermedias - Caso Manizales. Universidad Nacional de Colombia.
- Martin D. (2007). Comparación de tiempos de trayectos metro-a pie-bici en la zona urbana de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña (Tesis).
- Medina J. y Ortegón E. (2006). Manual de prospectiva y decisión estratégica: bases teoricas e instrumentos para América Latina. ONU, CEPAL, ILPES.

- Mendoza, A., M. García and E. Pardo (2004). Air Quality Information Catalogue for the Mexicali-Imperial Valley Border Region. Draft final report LASPAU-Tecnológico de Monterrey. México. ITM. México.
- Meza, L., Quintero, M., García, R. y Ramírez, J. (2010). Estimación de Factores de Emisión de PM10 y PM2.5, en Vías Urbanas en Mexicali, Baja California, México. *Informacion Tecnológica*. Vol 21 (4). 45 – 56.
- Molero, M; Grindlay, A y Rodríguez, A. (2007). Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio. *GeoFocus* n° 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157.
- Molinero, A. y Sanchez, L. (2007). Transporte público: planeación, diseño, operación y administración. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Monzón, A., de la Hoz, D., 2009. Efectos sobre la movilidad de la dinámica territorial de Madrid. *Urban* 14, 58-71.
- Moreno, A., & Prieto, E. (2004). Evaluación de procedimientos para delimitar áreas de servicio de líneas de transport urbano con sistemas de información geográfica. *Investigaciones Regionales*, 2, 85 a 102.
- Newman, P. (1996). Reducing Automobile Dependence. In Satterwaite, D. *The Earthscan Reader in Sustainable Cities*. Earthscan Publications, London.
- Newman, P. y Kenworthy, J.P. (1998). Sustainability and cities. Overcoming automobile dependence. Washington D.C.: Island Press.
- Newman, P. y Kenworthy, J. (2000). The ten myths of automobile dependence. In *World Transport Policy and Practice*. Vol. 6. No. 1. P. 15-25.
- OECD (1998). *Towards sustainable development: Environmental indicators*. OE CD: Francia.
- ONU. (2009). Consultado en octubre del 2009 en: <http://www.pnuma.org/ozono/Espanol/index.php>.
- Ortúzar, J. (2012). *Modelos de demanda de transporte* (Vol. 2da Edición). Chile: Ediciones universidad católica de Chile.
- Ortúzar, J. y Willumsen, G. (1994). *Modelling transport*. Chichester: John Wiley and Sons.
- Osorio, M. (2010). *Movilidad humana sustentable: hacia un propósito estratégico en la gestion ambiental institucional del area metropolitana centro occidente en Colombia.*, Universidad tecnológica de Pereira, Colombia.
- Paddison, R. (2001). *Handbook of urban studies*: Sage publications.

- Pozueta, J. (2000). Movilidad y planeamiento sostenible: hacia una consideración inteligente del transporte y la movilidad en el planeamiento y en el diseño urbano. Cuadernos de investigación urbanística. Colegio Juan herrera. Madrid, España.
- QUINTERO, M. y Sweedler, A. (2005). La evaluación de la calidad del aire de los valles Imperial y Mexicali como un elemento para un programa comunitario. Porrúa. México.
- Quintero, M y Vega, A. (2006). Estudio comparativo de tendencias de la calidad del aire de la ciudad de Mexicali 1997-2004 en Quintero, M. Contaminación y Medio Ambiente en Baja California, coordinador. pp. 9-42. UABC. Mexicali.
- Ravetz, J. (2006). City Region 2020. Reino Unido. Londres, Inglaterra..
- Red de Energía. (2009). Cambio climático. Consultado en 2009 en <http://reddeenergia.com>
- Reyna M., Quintero M., Collins, K. y Vildósola, L.(2003). Análisis de la relación del PM10 con las enfermedades respiratorias en la población urbana de Mexicali, Baja California: Un estudio de series de tiempo”, Relationship analysis of PM10 with respiratory illnesses from the Mexicali’s urban population in Baja California: A time series study. Rev Mex Ing Biomed, 24(2), pp. 116-125.
- Rodríguez, J. (2003). Desarrollo y sostenibilidad. Universidad de Gotemburgo. Suecia.
- Rodrigue, J. and Slack, B. (2009). New York: Routledge, 352 pages. ISBN 978-0-415-48324-7. Second edition. Consultado en <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch6en/conc6en/ch6c1en.html> en mayo de 2009.
- Rojas, C.; Muñoz I y García M. (2009). Estructura urbana y policentrismo en el Área Metropolitana de Concepción. Eure, Vol. XXXV, Núm. 105, agosto, 2009, pp. 47-70. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile.
- Periodico Oficial del Estado de Baja California (2004). Plan maestro de vialidad y transporte para el mucipio de Mexicali. Tomo CXI, Número 22. Baja California, México.
- Salinas, E. y Middleton, J. (1998). La ecología del paisaje como base para el desarrollo sustentable en América Latina. Canadá.
- Sánchez, O. (2005). Medidas flexibles de gestión de desplazamientos en zonas urbanas: hacia la sistematización de planes integrales de movilidad. Universidades, (30), 31-58.
- Satterhwaite, D. (2004). The Earthscan Reader in Sustainable Cities. Earthscan Publications, London.

- Schneider, M. (1959), Gravity Models And Trip Distribution Theory. Papers in Regional Science, 5: 51–56. doi:10.1111/j.1435-5597.1959.tb01665.x
- SEMARNAT. (2006). Hacia una Estrategia Nacional de Acción Climática. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. México.
- (SEP, 2016. Página web de la Secretaría de Educación Pública. 2016. Disponible en www.sep.gob.mx.
- SIE. 2017. Página web de la Secretaría de Energía. Disponible en <http://sie.energia.gob.mx/>
- SIMUTRA (Sistema Municipal de Transporte de Mexicali). 2014. Disponible en <http://www.mexicali.gob.mx>.
- Suárez-Lastra, M. y Delgado-Campos J. (2007). Estructura y eficiencia urbanas. Accesibilidad a empleos, localización residencial e ingreso en la ZMCM 1990-2000. Economía, Sociedad y Territorio, vol VI núm. 23, 2007, 693-724.
- Suárez, M. en Castellano, H., Payares L., Mac-Quhae, R., López, J., Renaud CX., Suárez, M., Marcano R., Campos, T. y Fernández, A. (2017). Complejidad, Acción y Desarrollo. CENDES-UCV.
- Tjallingii, S. (1995). Ecopolis, strategies for ecologically sound urban development. Backhuys publishers. The Netherlands.
- Torres, E. (2008). "Desarrollo urbano sustentable" en Observatorio de la Economía Latinoamericana N° 101, agosto 2008. Texto completo en <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/la/>
- UABC, SEDESOL, Gobierno del Estado de Baja California y Ayuntamiento de Mexicali (1994). Estudio integral de vialidad y transporte urbano de Mexicali. Mexicali. Baja California, México.
- UABC y SAHOPE (1992). Propuesta de un sistema vial y de transporte para la ciudad de Mexicali. Mexicali, Baja California, México.
- USDOT (1993). Implementing Effective Travel Demand Management Measures: Inventory of Measures and Synthesis of Experience. U.S. Department of Transportation. Washington.
- USTRAN (2007). Programa De Modernización de la Red de Transporte Público de Mexicali, B.C. Mexicali, Baja California, México.
- Villegas G. y López M. (2001). ¿Es posible el desarrollo sostenible? Acercamientos conceptuales a la relación ambiente – desarrollo y economía. Revista Luna azul, número 11-12. Colombia.

- Wachs, M. (1989). *Transportation Demand Management: Policy Implementation of Recent Behavioral Research*. Graduate School of Architecture and Urban Planning, University of California, Los Angeles.
- XVIII Ayuntamiento de Mexicali. (2005). *Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Mexicali 2025 (PDUCP)*. Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Mexicali.
- XXI Ayuntamiento de Mexicali (2011). *Plan Maestro de Vialidad y Transporte de Mexicali*. Mexicali, Baja California, México.
- XXI Ayuntamiento de Mexicali. (2014a). *Anuario Estadístico de Mexicali*. Disponible en <http://www.mexicali.gob.mx> consultado el 23 de abril del 2015. Consultado en.
- XXI Ayuntamiento de Mexicali. (2014b). *Plan de Desarrollo Municipal*. Disponible en <http://www.mexicali.gob.mx> consultado el 23 de abril del 2015.
- XXII Ayuntamiento de Mexicali. Mexicali. (2016). Disponible en <http://www.mexicali.gob.mx>
- Verastegui, D. (2006). *Estimación de matrices origen-destino y calibración de parámetros en el problema de asignación de tráfico en redes congestionadas*.
- Villegas G. y López M. (2001). *¿Es posible el desarrollo sostenible? Acercamientos conceptuales a la relación ambiente – desarrollo y economía*. Revista Luna azul, número 11-12. Colombia.