

Patrones de viaje hacia el empleo en una ciudad fronteriza México – USA con sistemas de información geográfica: Mexicali¹

Travel patterns to employment in a border city Mexico – USA with
geographic information systems: Mexicali

Ma. de los Ángeles Santos-Gómez y Osvaldo Leyva Camacho

msantos@uabc.edu.mx oleyca@uabc.edu.mx

Universidad Autónoma de Baja California

Resumen

En este escrito se presenta la caracterización de la movilidad urbana del traslado hacia el empleo en una ciudad fronteriza de México con Estados Unidos: Mexicali, Baja California, a partir de una matriz origen-destino de viajes elaborada con información de fuentes oficiales y el uso de sistemas de información geográfica. Con el análisis territorial se realizó el cálculo de indicadores como distancias y tiempos de recorrido, combustible consumido y generación de gases efecto invernadero (GEI), información que puede resultar de utilidad para los tomadores de decisiones en el proceso de planeación urbana y ambiental.

Palabras clave: transporte al empleo, movilidad urbana, matriz O-D, SIG, consumo de energía, GEI.

Abstract

This paper presents the characterization of commuting in a border city of Mexico with the United States: Mexicali, Baja California, from an origin-destination matrix of trips which was elaborated with official sources and the use of geographic information systems. With the territorial analysis, other indicators were calculated such as distances and travel times, fuel consumption and generation of greenhouse gases (GHG), information that can be useful for decision-makers in the urban and environment planning process.

Keywords: transport to employment, urban mobility, O-D matrix, GIS, energy consumption, GHG.

¹ Este trabajo es producto de una tesis doctoral en Planeación y Desarrollo Sustentable por la Universidad Autónoma de Baja California.

Introducción

En las ciudades están presentes una serie de problemáticas sociales, económicas y ambientales entre las que destaca la movilidad urbana, entendiéndose como la interacción de flujos de desplazamiento de personas y bienes en el espacio urbano (Aristizabal, 2009), es decir, los traslados que se realizan con el fin de llevar a cabo las actividades cotidianas. Dichos traslados están condicionados por la infraestructura y equipamiento de las ciudades, a partir de la disponibilidad y disposición de los medios de transporte y sus elementos (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007), por lo tanto, la planificación de la movilidad es esencial dentro del proceso de planeación urbana, pues la infraestructura vial y los servicios de transporte disponibles determinan aspectos importantes de la movilidad como son la selección del modo de transporte, longitud y cantidad de viajes y distancias recorridas, entre otros. Lo anterior, en la mayoría de los casos, entra en contradicción con el cuidado del medioambiente, es decir, si se presenta una mayor utilización del transporte motorizado, tendrá como consecuencia 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 (Ortúzar, 2012).

Un aspecto importante en los análisis urbanos es la incorporación de la preocupación por el cuidado del medio ambiente y los recursos naturales, lo que da lugar al planteamiento de metodologías e indicadores para su evaluación y proyección a futuro, en aras de permitir a las generaciones actuales y futuras la satisfacción de sus necesidades sin menoscabo de su calidad de vida. En el caso de la movilidad, dichos análisis se han visto restringidos por su carácter dinámico y la complejidad de esta problemática, que involucra el sistema de transporte, la infraestructura urbana, las necesidades de la población, las relaciones que se establecen entre ellos y sus efectos negativos, de ahí que se plantea la necesidad de realizar estudios que arrojen información útil en la toma de decisiones de planeación urbana tendientes a la mitigación de posibles externalidades, es decir, diseñar una metodología que permita integrar el modelo de transporte, la movilidad urbana y el impacto que esto genera al medioambiente; en este contexto, la movilidad urbana es considerada pieza clave en la lucha contra la contaminación y el cambio climático, ya que se considera como causante principal de esta problemática ambiental.

La movilidad urbana se refiere a los patrones de viaje al interior de las ciudades, incluye aspectos sociales, económicos y ambientales e implica la posibilidad de realizar desplazamientos en forma cómoda, rápida, económica y segura (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007), a través de su análisis se puede medir la cantidad de movimientos que

hacen las personas o los bienes en un sistema específico o en una área socioeconómica determinada (Jaramillo, Lizárraga y Grindlay, 2012).

Se puede decir que la movilidad traduce la adaptación de la demanda a la oferta, sin embargo, no considera los desplazamientos no realizados por falta de o insuficiencia de medios de transporte (Martin, 2007), es decir, se restringe a la oferta que el usuario tiene a su disposición. En este sentido, dos aspectos relevantes a considerar en su análisis son, en primer lugar, la forma urbana, que representa aspectos como distribución de la población, el empleo e infraestructuras y en segundo lugar, las actividades que ahí se llevan a cabo (De la Fuente, 2009). Algunos de los principales indicadores para medir su desempeño son la velocidad de traslado, tiempos de viaje y distancias recorridas (Ortúzar, 2012).

Por su naturaleza dinámica y por los múltiples elementos que componen la movilidad, es necesario desglosar e incluir cada uno de ellos en la evaluación del modelo completo así como considerar sus externalidades a fin de conocer su desempeño de una manera más completa (Ortúzar, 2012). Generalmente, las externalidades del transporte son evaluadas por separado, a partir del consumo energético, la producción de contaminantes, efectos en la salud, su influencia en el cambio climático y aspectos socioeconómicos que afectan a las ciudades, sin embargo, es importante incluirlas en el modelo completo de movilidad.

El transporte es un componente clave de la movilidad urbana, se considera una actividad derivada puesto que su finalidad es la de realizar alguna otra acción o tarea como trabajo, educación, estudio, comercio, diversión, salud, entre otros, en este sentido, el principal motivo de viajes alrededor del mundo es el traslado al empleo. Se puede decir que la demanda de este servicio representa el número de personas que desean o requieren viajar (Cal y Mayor, 2007 y Cárdenas, 1999), por lo que se concreta al traslado de bienes o personas de un lugar a otro. Así mismo, este sector desempeña un papel esencial en el desarrollo económico y social, pero al ser considerado como una fuente de emisiones atmosféricas y un factor contribuyente al cambio climático es necesario revisarlo para lograr un diseño y una gestión eficaces de dichos sistemas (IPCC, 2007).

En general, el transporte es uno de los aspectos de la movilidad que más han sido estudiados, principalmente con modelos matemáticos de atracción, generación, distribución y asignación de viajes, los cuales consisten en una serie de relaciones que son representadas por expresiones matemáticas utilizadas para describir una serie de características socioeconómicas, territoriales e incluso ambientales como son las relaciones entre las actividades humanas, su disposición geográfica, los modos de transporte disponibles y la interacción entre ellos, el análisis de oferta y demanda, la

accesibilidad, su cobertura y proximidad lo que nos permite expresar la situación actual y los resultados de la evaluación de escenarios, (Ortúzar, 2012).

La demanda de transporte está localizada en el espacio y está supeditada al tiempo, es decir, depende de la infraestructura existente y del tiempo en el que las actividades pueden ser llevadas a cabo, ya que deben ser realizadas en tiempos y lugares determinados, es decir es un bien que no puede almacenarse, se produce y se utiliza, o se desperdicia. En lo que respecta a los modelos para el estudio de transporte, estos se dividen en el modelo clásico y los modelos simplificados. El primero se enfoca en la generación, distribución, partición modal y asignación de viajes; mientras que el segundo requiere pocos recursos, permite la utilización de información proveniente de otras fuentes o información histórica; ambos culminan con una predicción del número de viajes entre cada par de zonas por cada medio de transporte, por periodo y por costos, con esta modelación se busca equilibrar la oferta-demanda, es decir minimizar costos (Ortúzar, 2012; Molinero y Sánchez, 2013).

Para realizar los estudios de transporte mencionados, es necesario dividir el área de estudio en zonas, dicha zonificación se puede realizar agrupando características territoriales o socioeconómicas similares, la finalidad es la de elaborar una matriz origen y destino (OD), que consiste en una tabla bidimensional en la que las filas y las columnas representan las zonas del área de estudio. El elemento ij de una matriz OD representa el número de viajes entre el origen i y el destino j (Verastegui, 2006; Ortúzar, 2012; Cal y Mayor, 2007, y Molinero y Sánchez, 2013).

La estimación de matrices OD se lleva a cabo a partir de tres metodologías:

- 1) Estimación directa: a partir de la aplicación de una encuesta con un muestreo amplio, ya sea en los domicilios o en vialidades, posteriormente se realiza una expansión de esta con el fin de obtener una matriz que represente los desplazamientos de la población; este proceso resulta ser muy costoso y sus resultados son sensibles a distorsiones y a sesgos (Ortúzar y Willumsen 1994).
- 2) Estimación por modelos de demanda: utilizando una matriz OD existente, los datos de otra desactualizada o información suficiente para desagregar una matriz OD realizada otra escala o con otro propósito (Abrahamsson y Lundqvist, 1999).
- 3) Estimación mediante conteos de tráfico: con información de una matriz OD obtenida de algún estudio anterior, aunado a conteos de flujos de tráfico recogidos en puntos seleccionados de la red vial se deduce un patrón de distribución de viajes sobre la red, esta alternativa presenta ventajas económicas al prescindir de las encuestas (Low, 1972).

Otra forma de abordar esta problemática es a través del uso de programas informáticos desarrollados con la finalidad de modelar los sistemas de transporte, sin embargo, estos son herramientas de análisis y simulación que nos permiten establecer y/o evaluar escenarios de proyección y evaluación de impactos causados por la modificación en dichos sistemas o alguno de sus elementos y no constituyen por si mismos un modelo de transporte, en este sentido, los programas informáticos para modelación del transporte son una herramienta que facilita dichos análisis, algunos de los programas informáticos desarrollados con este fin son Tranplan, Minutp, Trips, Cube, Emme3, ArcGis y software libre.

Uno de los propósitos básicos de la planificación del transporte y en general de la movilidad es mejorar las condiciones de los flujos de personas y mercancías, a menor costo, disminuyendo los impactos socioeconómicos y al medioambiente, puede basarse en mejoras orientadas hacia la infraestructura vial, los equipos de transporte o a los métodos de operación, justificándose aún más con la existencia de recursos financieros y económicos limitados y se hace necesario utilizar dichos recursos de manera óptima (Moliner y Sánchez, 2013).

A 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; además, de acuerdo con las tendencias globales, la cantidad de vehículos y la dependencia del uso del automóvil van en aumento lo cual representa un crecimiento de las emisiones, no solo en el ámbito urbano sino a nivel global debido a su dispersión y periodo de permanencia en la atmósfera, 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).

Uno de los aspectos negativos que genera este sector es la producción de GEI que contribuyen al cambio climático, pues la mayor parte de los automóviles en circulación utilizan combustibles fósiles. Los principales GEI emanados durante el proceso de combustión de gasolinas y diésel son dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (N₂O), los cuales tienen un alto periodo de permanencia en la atmosfera (Reyes, 2009) y se reportan como CO₂ equivalente (CO₂e) y/o CO₂e per cápita (INECC, 2014).

Área de estudio

Se tomó como estudio de caso la ciudad de Mexicali, capital del estado de Baja California, México; está asentada sobre terreno plano, su infraestructura vial presenta discontinuidades debidas a limitantes físicas como la frontera internacional con Estados Unidos de Norteamérica.

La ciudad cubre una extensión de 14,890 hectáreas y tiene una población de 759,537 hab (INEGI, 2010), con una densidad de 46 hab/ha, y expansión horizontal. En cuanto a usos del suelo, predomina el habitacional con un 56 %, el uso industrial representa el 7 % y el comercial y de servicios el 6 %, por su parte el uso destinado al equipamiento (en el cual se incluye a las áreas verdes públicas) corresponde al 8 % del área urbana, mientras que el destinado a la conservación solo representa el 1 %; otro uso importante es el de vialidad e infraestructura que cubre el 15 %, y el siete por ciento restante corresponde a usos mixtos (comercio, servicios e industria).

La mayor parte de la red vial está construida de concreto asfáltico con escasos corredores viales por lo que el tráfico se concentra en unas cuantas vialidades, ocasionando demoras y congestionamientos (XVIII Ayuntamiento de Mexicali, 2005). La mayoría de los viajes intraurbanos son realizados en automóvil propio, lo cual ha generado que el parque vehicular y la demanda de viajes mantengan una alta tendencia de crecimiento en los últimos años lo que deriva en una mayor contaminación (XVIII Ayuntamiento de Mexicali, 2005), en la Figura N° 1 se presenta la traza de la ciudad de Mexicali.

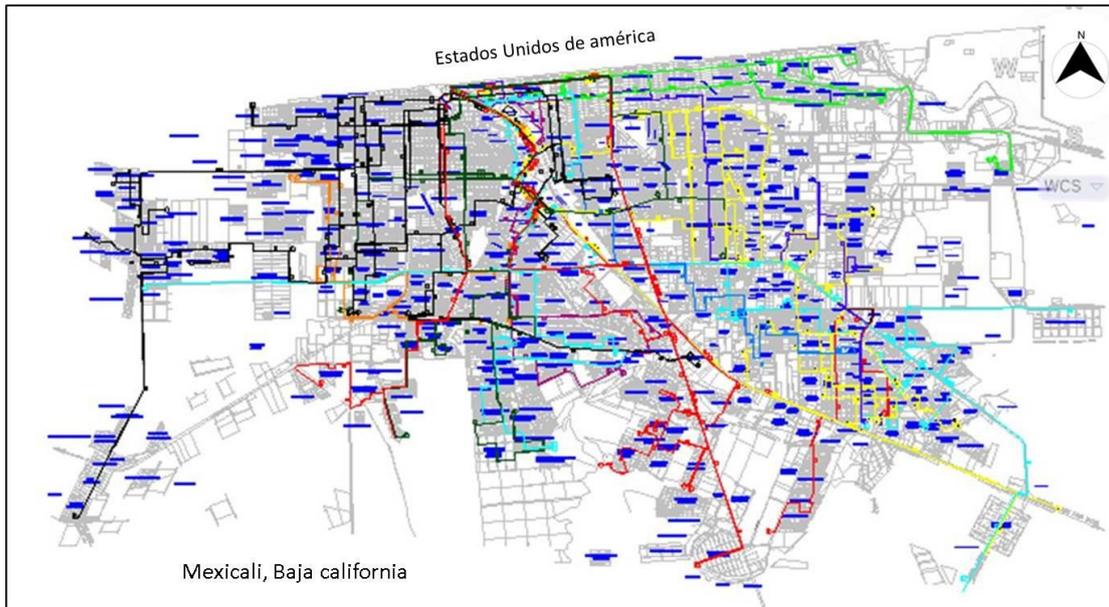
Figura N° 1. Trazo de la ciudad de Mexicali



Fuente: Google Earth, 2014

En lo que respecta al transporte público, existen 36 rutas de autobús registradas ante el Sistema municipal de transporte, las cuales operan de las 5 a las 23 horas, así como 20 rutas de taxi y taxis con servicio de itinerario libre que operan las 24 horas. En la Figura N° 2 se pueden observar las rutas de autobús de transporte público. La ocupación promedio en autobuses fue de 18 pasajeros y en automóviles de 1.4.

Figura N° 2. Rutas de autobús de transporte público en la ciudad de Mexicali



Fuente: XXI Ayuntamiento de Mexicali, 2014

En los últimos años el crecimiento de la mancha urbana ha ocasionado una mayor necesidad de viajes, cada vez más largos, lo que genera mayor consumo de energía y contaminación. Al 2010, el parque vehicular en Mexicali era de 446,734 vehículos (Galindo, Santos y Benites, 2014) lo que representa un índice de motorización de 588 vehículos por cada mil habitantes, además, por la condición fronteriza de la ciudad con USA, se tiene la facilidad de adquirir vehículos usados a menor costo y se tienen flujos vehiculares de las ciudades vecinas.

En esta ciudad se han elaborado diversos estudios integrales de transporte en cumplimiento de la normatividad relativa a la planeación urbana, enfocados en la elaboración del diagnóstico vial y de transporte público, pero hace falta realizar la evaluación de los aspectos de la movilidad urbana de la ciudad que puedan contribuir a la sustentabilidad en este sector, por ejemplo, considerando que el traslado al empleo se considera como uno de los principales motivos de viaje en las zonas urbanas, resulta de particular interés el análisis de los patrones de traslado que genera esta actividad, en función de la localización de centros de empleo y los asentamientos donde reside la

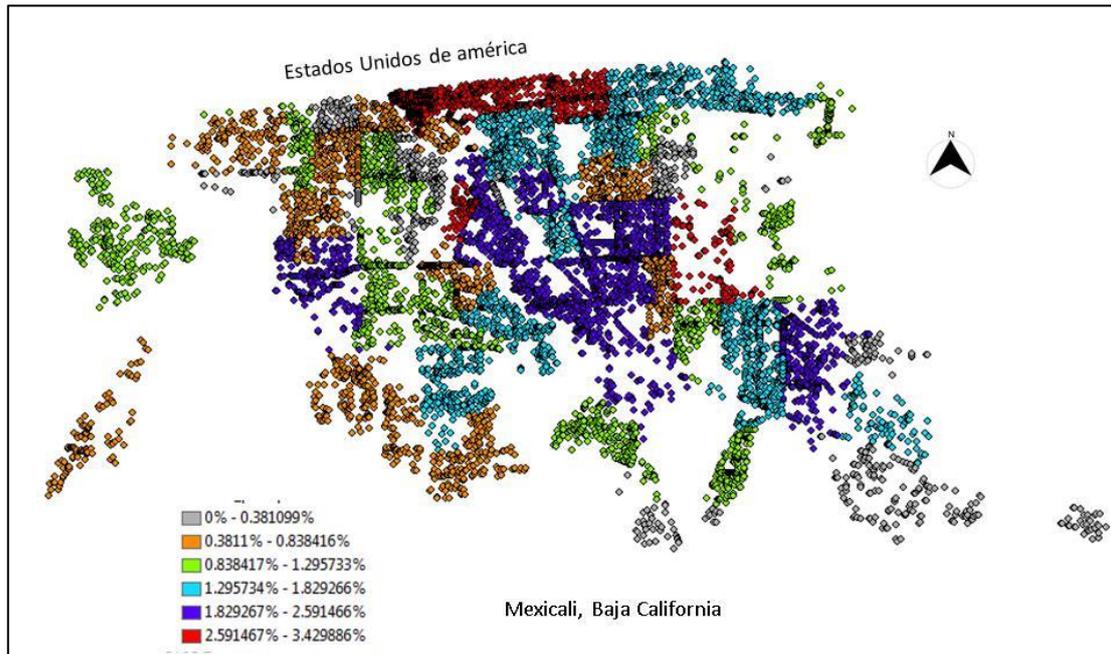
población que labora en ellos, ligado a las opciones de infraestructura y servicios de transporte disponibles.

En cuanto a la información socioeconómica, Mexicali contaba con 750,768 habitantes en el año 2010, de los cuales 328,847 corresponden a la población económicamente activa (PEA), 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 43,121 hogares, 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, 2015; COPLADE, 2010 y CONAPO, 2010).

La población ocupada (Po) fue de 313,347 habitantes, de los cuales el 61.7 % corresponde al género masculino, mientras que 38.3 % al femenino (INEGI, 2011). 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, 2010 e INEGI, 2012). El grado escolar promedio de la población en el mismo año fue de 8.5 años, pero en la Po el promedio de escolaridad fue de 10.05 años, sin embargo, por género se presentó un promedio es de 10.21 años en la Po masculina y de 9.88 años en la Pocup femenina (INEGI, 2011).

En la Figura N° 3 se observa la distribución de los centros de empleo en Mexicali y su probabilidad de atracción de viajes, indicando con color oscuro los lugares donde se concentra la mayor cantidad de empleados, la cual se ubica en el centro geográfico de la ciudad.

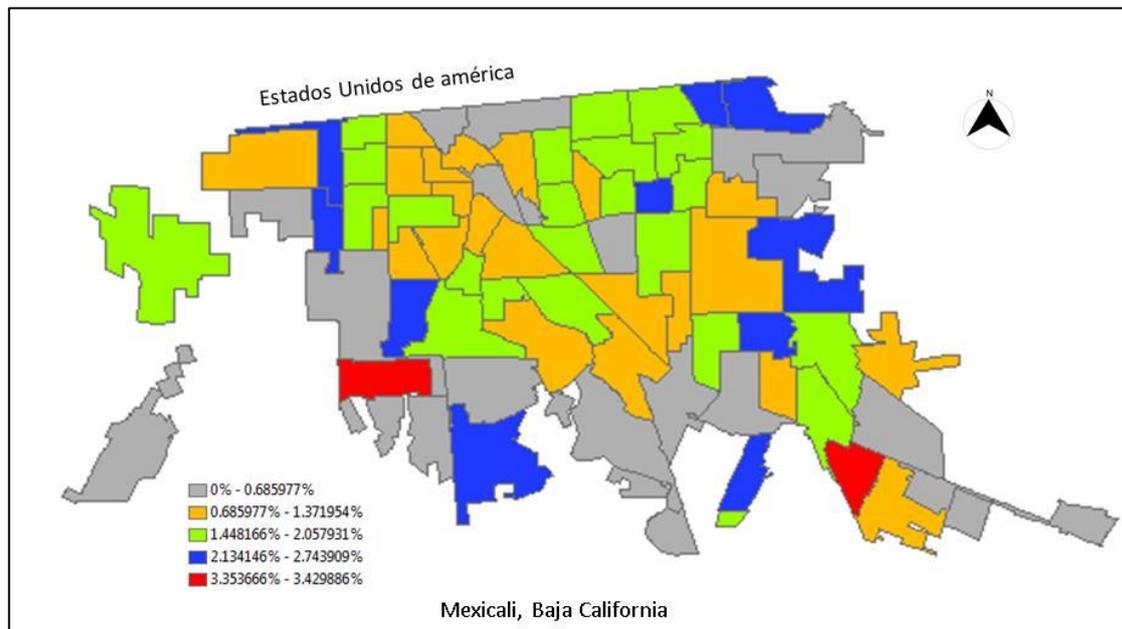
Figura N° 3: Probabilidad de atracción basado en la ubicación de empleos en Mexicali, 2010



Fuente: Elaboración propia sobre la base de INEGI, 2010

En la Figura N° 4 se puede apreciar que la población ocupada habita mayormente las zonas ubicadas en márgenes de la ciudad, hacia el Sur, Este y Oeste.

Figura N° 4. Índice de concentración de la población ocupada en Mexicali

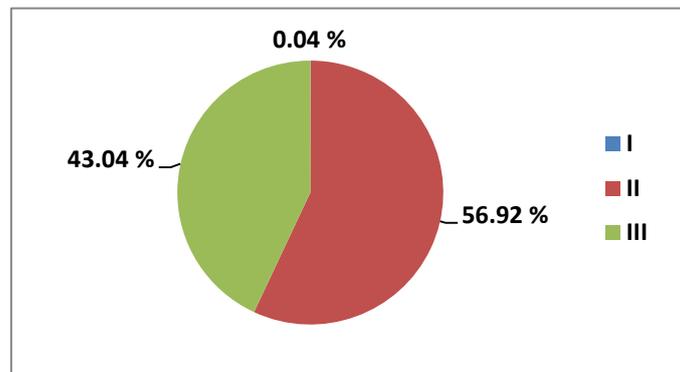


Fuente: Elaboración propia sobre la base de INEGI, 2010

En cuanto a las actividades económicas, en la Figura N° 5 se presenta la distribución de empleos por sector productivo en Mexicali para el año 2010; de las 12,660 empresas que

se tenían registradas, 5 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.

Figura N° 5 Distribución de empleos por sector productivo en Mexicali en 2010



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2012

Por otro lado, 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), para lo cual existen estaciones de monitoreo que realizan la medición de dichas concentraciones en el medio ambiente de la ciudad, por mencionar un 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 (Quintero y Vega, 2006). En lo que respecta a GEI, los inventarios que se han elaborado han sido para el para el estado de Baja California dentro de los resultados encontrados en dichos estudios, el transporte generó 7.28 Gg de CO₂e en 2010, lo que representa el 88 % del total de las emisiones de GEI del sector transporte en dicho año (COCEF y Gob. BC, 2010).

Metodología

La metodología seguida en esta investigación trata sobre la elaboración de una matriz O-D de viajes con información 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 de GEI que

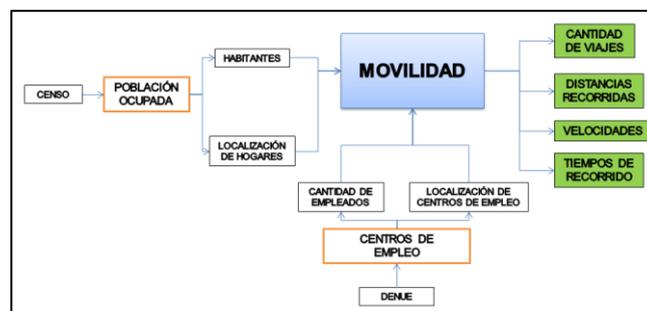
dichos desplazamientos ocasionan, a partir de la elaboración de matrices origen y destino de viajes, considerando como origen el lugar de residencia y como destino la ubicación de las fuentes de empleo, para 85 zonas en que fue dividida la ciudad en base a la unificación de áreas geoestadísticas básicas (AGEBS) de características similares.

La 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), las páginas de internet del Estado de Baja California y 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 CONAPO, SEMARNAT y SEDATU, entre otras .

Conocer la situación de la movilidad 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 prevaeciente. 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.

Para la evaluación de la movilidad, se cuantificó la cantidad de desplazamientos realizados en el área urbana de Mexicali, y la cantidad de kilómetros recorridos con motivo traslado hogar-empleo-hogar (HEH), así como la proporción de viajes por modo de transporte, con la aplicación de ArcGis. En la Figura N° 6 se puede apreciar la metodología aplicada para el análisis de la movilidad urbana de Mexicali.

Figura N° 6. Esquema de análisis de la movilidad urbana.



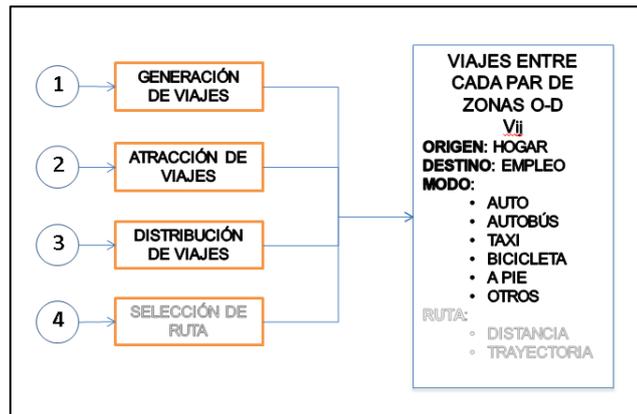
Fuente: Elaboración propia sobre la base de Ortúzar, 2012.

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, 2013), 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, en la Figura N° 7 se observa el modelo de transporte planteado.

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,

Figura N° 7: Modelo de transporte



Fuente: Elaboración propia, en base a Cárdenas, 1999, Cal y Mayor, 2007, Ortúzar, 2012, Molinero y Sánchez, 2013.

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 similares, ver Figura N° 8 (Ortúzar, 2012).

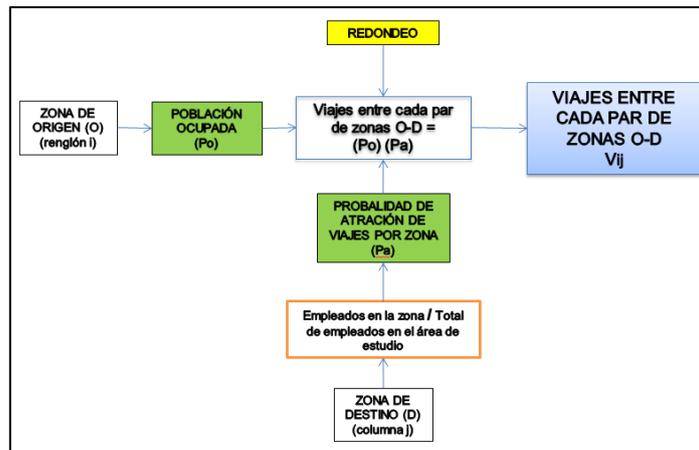
Figura N° 8: Zonificación para el análisis origen-destino en Mexicali



Fuente: Elaboración propia, con base a Ortúzar, 2012 y Galindo et Al, 2005

La distribución de viajes entre zonas se llevó a cabo a partir de un modelo gravitacional, la probabilidad de atracción de viajes por zona se calculó con la suma de empleados que laboran en los centros de empleo ubicados en dicha zona, ponderada entre el total de empleados, con datos del Directorio Estadístico de Unidades Económicas (DENUE); mientras que la probabilidad de generación de viajes 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, de acuerdo a la información del Censo 2010, en la Figura N° 9 se puede observar el modelo de elaboración de la matriz O-D.

Figura N° 9: Modelo de elaboración de la matriz O-D de viajes

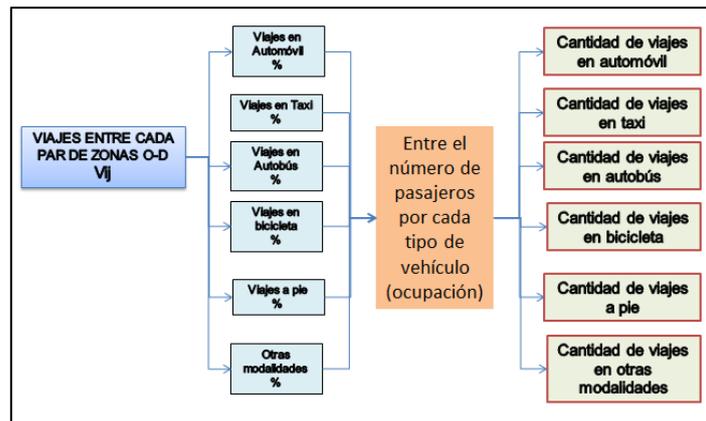


Fuente: Elaboración propia sobre la base de Ortúzar, 2012

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 OD representa el número de viajes entre el origen i y el destino j (Verastegui, 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.

Por otro lado, la distribución modal de viajes se realizó aplicando el porcentaje que se le atribuye a cada modalidad en la ciudad de Mexicali para calcular el tipo de transporte que prefieren los empleados para realizar sus recorridos hacia su fuente de empleo, en la Figura N° 10 se presenta el modelo de distribución modal de viajes.

Figura N° 10: Modelo de distribución modal



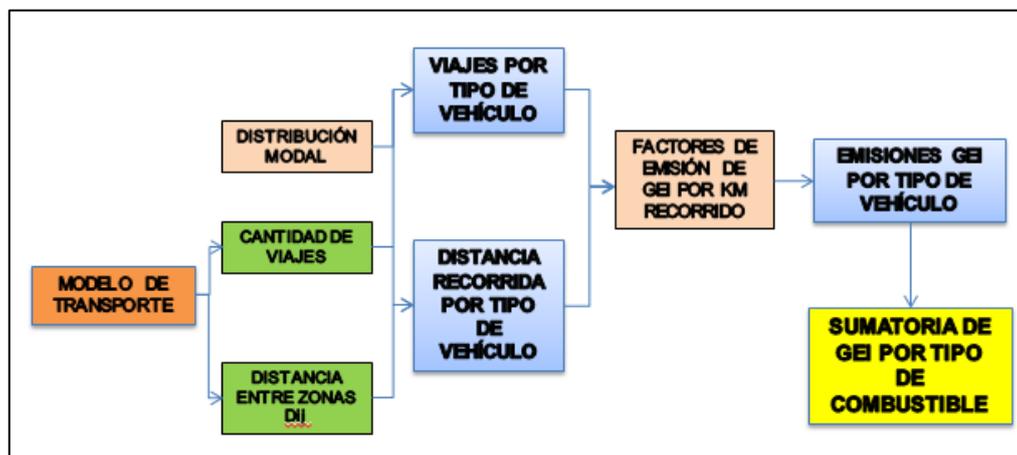
Fuente: Elaboración propia sobre la base de Ortúzar, 2012

A partir de la matriz O-D de viaje, fue posible elaborar matrices para calcular distancias recorridas, tiempos de recorrido, modos de transporte, combustible consumido y emisiones de GEI, por zona y para el área de estudio en general. Las distancias recorridas por día hábil entre dos zonas se calcularon con el producto de la cantidad de viajes realizados y la distancia entre ellas, mientras que los tiempos de recorrido se determinaron a partir de la división de las distancias entre la velocidad promedio de viaje por cada modo de transporte, por otro lado, el combustible consumido se estimó con la división de las distancias recorridas entre el rendimiento promedio del motor para cada tipo de vehículo.

Por otro lado, la estimación de emisiones contaminantes producto de la movilidad urbana se efectuó a partir de factores de emisión para cada tipo de contaminante (IPCC, 2007), basándose en los desplazamientos por modo de transporte generados en las etapas

anteriores, el valor de los factores de emisión de GEI dependen del perfil de vehículos tecnología y edad. En la Figura N° 11 se presenta el esquema del modelo de emisiones GEI por el traslado al empleo.

Figura N° 11. Modelo de estimación de GEI por el traslado al empleo



Fuente: Elaboración propia en base a IPCC, 2007

En la Figura N° 12 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 Figura N° 13 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.

Figura N° 12. 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

Fuente: IPCC, 1997

Figura N° 13. Factores de conversión de GEI 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

FUENTE: United Nations Convention Framework on Climate Change

Fuente: 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.

Resultados

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 y del empleo hacia el hogar 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 sencillo es 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 en un día hábil de todos los viajes en vehículo particular fue de 154 km, la máxima de 5,328 y el total 1,303,710 km. La cantidad de viajes-automóvil particular fue de 358,971 y viajes-autobús 2,936 viajes por día hábil.

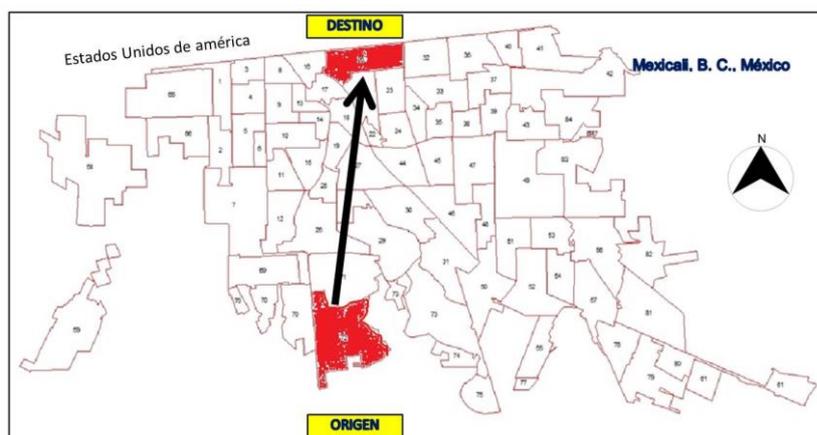
El tiempo promedio de viajes en vehículo fue de 10.9 minutos, con un máximo de 30.9 minutos mientras que en autobús fue de 17.44 y 59.04 minutos en promedio y máximo respectivamente, lo cual repercute directamente en el costo del viaje, el consumo de combustible y la generación de emisiones y, no menos 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, y el máximo fue de 1274 lt, con un total de 305,262 lts 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 se presenta entre las zonas 72 y 20, con un total de 807 viajes diarios del hogar hacia el empleo, mientras que el promedio de viajes fue de 41, presentando zonas con cero atracción o generación de viajes, en la Figura N° 14 se presenta un extracto de la matriz de viajes hacia el empleo, mientras que en la Figura N° 15 se aprecia la ubicación de las zonas mencionadas.

Figura N° 14. Extracto de la matriz de viajes distribuidos por zonas hogar-empleo

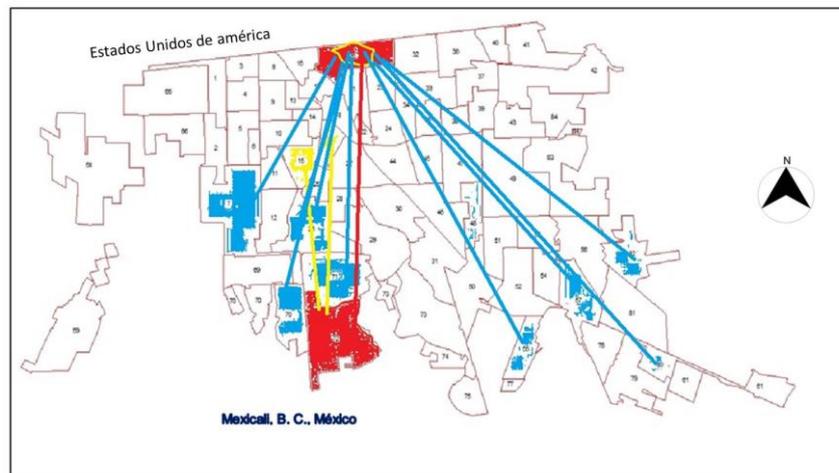
O/D	1	2	3	4	5	... 85	Suma
1	28	16	10	21	22	...	3612
2	33	19	12	25	26	...	4310
3	14	8	5	11	11	...	1855
4	27	15	10	21	21	...	3497
5	25	14	9	19	20	...	3256
... 85
Suma	2290	1294	833	1758	690	...	297853

Figura N° 15. Zonas entre las que se presenta la mayor cantidad de viajes



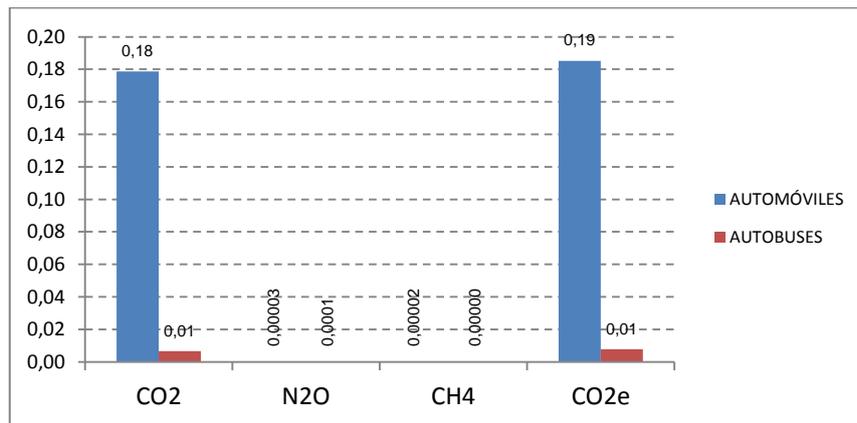
En la Figura N° 16 se pueden apreciar las líneas de viaje de la población ocupada para el traslado hacia su centro de trabajo, sobre las vialidades principales y las rutas de transporte público en operación. Se observa que las principales necesidades de viaje no coinciden con el trazo de las vialidades principales ni con la disposición de las rutas de autobuses de transporte público existentes.

Figura N° 16. Líneas de viajes distribuidos por zonas



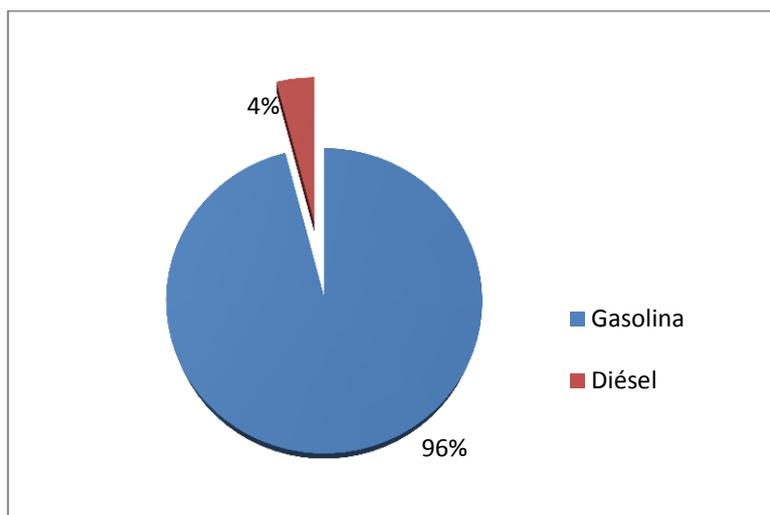
Los gases calculados fueron el N_2O , CH_4 y CO_2 , y la conversión en términos de CO_2e . En la Figura N° 17 se pueden observar las cantidades de cada GEI obtenidas mediante el cálculo mencionado, en Giga gramos (Gg), para la suma de días hábiles del año 2010.

Figura N° 17. GEI por viajes al empleo en Mexicali en 2010 por tipo de emisión (Gg)



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 la Figura N° 18 se pueden observar los resultados obtenidos para cada tipo de combustible utilizado en el transporte motorizado.

Figura N° 18. GEI por viajes al empleo en Mexicali en 2010 por tipo de combustible (Gg)



Conclusiones y recomendaciones

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 representan 576,906 viajes-persona diarios, de un millón aproximadamente que se realizan diariamente en Mexicali, lo que representa casi el 60 %, aunado a lo anterior, 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. 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.

En este sentido, se pudo observar que en Mexicali no hay concurrencia entre la disposición de las rutas de autobús de transporte público y la distribución de usos de suelo, particularmente las zonas donde habita la población ocupada y la localización de los centros de empleo, además, las horas en las que operan dichas rutas tampoco coinciden con la entrada y salida de los empleados de la industria maquiladora, que es un sector muy amplio de la población ocupada; lo anterior favorece la elección del automóvil para el traslado al trabajo, que al tener menor capacidad de pasajeros induce una mayor cantidad de unidades vehiculares en circulación provocando congestionamiento y contaminación, especialmente en las horas de entrada y salida al empleo.

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, 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 que permitan mejorar la movilidad y reducir sus impactos negativos a partir de la planeación.

Así mismo, 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, impactan en el medio ambiente y contribuyen al cambio climático.

Por lo anterior, el modelo planteado en este estudio puede resultar útil para generar información necesaria para la planeación urbana y ambiental, en cuanto a otros motivos de viaje y otro tipo de contaminantes; especialmente cuando no se cuenta con recursos suficientes para generar estudios más completos. En la mayoría de los países se cuenta con dependencias que compilan información socioeconómica como la utilizada es este estudio, por lo que es factible su aplicación en diversas localidades urbanas, regiones o países.

Este trabajo busca reflexionar 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 y los costos de transporte.

Santos-Gómez; Leyva Camacho | Patrones de viaje hacia el empleo en una ciudad fronteriza México – USA con sistemas de información geográfica: Mexicali.

Referencias bibliográficas

- Abrahamsson, T. y Lundqvist, L. (1999). Formulation and Estimation of Combined Network Equilibrium Models with Applications to Stockholm. En *Transportation Science* 33. Pp 80 – 100. Disponible en <https://doi.org/10.1287/trnsoc.33.1.80>
- Aristizabal, O. (2009). *Disfuncionalidades perennes de movilidad y Transporte en Bogotá*. Cataluña, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. (2007). *Fundamentos y aplicaciones de la ingeniería de tránsito*: Alfaomega.
- De la Fuente, S. (2009). *Encuentro de Economía Aplicada*. Disponible en: <http://www.revecap.com/encuentros/anteriores/xeea/trabajos/d/pdf/086.pdf>. [Consulta en mayo de 2009].
- 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.
- Galindo, M., Santos, M. y Benites, J. et al (2005). *Modelo de transporte público de la ciudad de Mexicali*. México. Mexicali, México: SEDESOL.
- Google Earth. [En línea], disponible en: <https://www.google.com.mx/intl/es/earth/> [Acceso el 4 de Noviembre del 2016].
- Gossop, Ch. Y Webb, A. (1993). *Towards a sustainable energy policy. Planning for a sustainable environment*. Londres: Earthscan Publications.
- Jaramillo, Lizarraga y Gringlay, 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.
- Low, D. E. (1972) *A new approach to transport system modelling*. *Traffic Quarterly*, vol. 26, no. 3, pp. 391–404.
- Martin D. (2007). *Comparación de tiempos de trayectos metro-a pie-bici en la zona urbana de Barcelona*. Cataluña, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- México. Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza. COCEF Y Gobierno del Estado de Baja California. *Emisiones de gases de efecto invernadero en Baja California y proyecciones de casos de referencia 1990-2025*. CONAPO, 2010. Mexicali.
- México. Consejo Nacional de Población. CONAPO. *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].
- México. Consejo de Planeación y Desarrollo. COPLADE. *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].
- México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. INECC. Página web del Instituto Nacional de Ecología y cambio climático. Disponible en: <http://www.gob.mx/inecc> [Consulta el 20 de febrero del 2014]

Santos-Gómez; Leyva Camacho | Patrones de viaje hacia el empleo en una ciudad fronteriza México – USA con sistemas de información geográfica: Mexicali.

México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010, Resultados definitivos, México*. 2011. Mexicali.

México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI. *Directorio Estadístico de Unidades Económicas, 2012*. Disponible en: www.inegi.org.mx/sistemas/denue/ [Consulta el 9 de septiembre del 2014].

México. XVIII Ayuntamiento de Mexicali. Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Mexicali 2025, 2005. Mexicali.

México. XXI Ayuntamiento de Mexicali. Mexicali. Disponible en <http://www.mexicali.gob.mx> [Consulta el 23 de abril del 2016].

Moliner, A. y Sanchez, L. (2013). *Transporte público: planeación, diseño, operación y administración*. México: Universidad Autónoma del Estado de México.

Ortúzar, J. (2012). *Modelos de Demanda de Transporte. 2ª Edición ampliada*. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.

Ortúzar, J. de D. & L. G. Willumsen (1994). *Modelling transport*. Chichester: John Wiley and Sons.

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. Mexicali, México: UABC.

Reyes, A. (2009). *Estrategia de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Estudio de caso: Instituto Politécnico Nacional*. Ciudad de México: IPN.

Verastegui, D. (2006). Estimación de matrices origen-destino y calibración de parámetros en el problema de asignación de tráfico en redes congestionadas.



Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial SinDerivadas 2.5 Argentina. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/> o envíe una carta a Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.