

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES

MAESTRÍA EN PLANEACIÓN Y DESARROLLO SUSTENTABLE



Contribución del transporte particular al cambio climático en Mexicali

T E S I S

Para obtener el grado de
Maestro en Planeación y Desarrollo Sustentable

Presenta
Ma. de los Ángeles Santos Gómez

Director de tesis
Dr. Osvaldo Leyva Camacho

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California

Mi alma máter

AI CONACYT

Por su apoyo

A los maestros del programa de MDPDS

Por sus conocimientos y su tiempo invaluable

Al Dr. Osvaldo Leyva Camacho

Por su dirección y paciencia

A mi comité de revisión

Dra. Elva Alicia Corona Zambrano

Dra. Guadalupe de los Ángeles Ortega Villa

Por su orientación

A mi familia

Por su apoyo y comprensión

A mis compañeros y amigos

Por su compañía y amistad

RESUMEN

Ante los efectos ocasionados por el cambio climático y la aceptación de que los gases efecto invernadero (GEI) son los causantes de dicho fenómeno, la mayoría de los países ha buscado estrategias para reducir sus emisiones. Un sector altamente comprometido en este aspecto es el de transporte, por ser un generador de GEI y por ser un medio donde se pueden aplicar acciones de mitigación. En el presente documento se analiza la cantidad de GEI que son producidos por los viajes realizados en vehículo particular en Mexicali, ya que es en esta modalidad como se realiza la mayor cantidad de viajes intraurbanos. Para ello, se utilizó la metodología recomendada por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) y la comparación con ciudades de otros países. El objetivo es el de cuantificar la cantidad de GEI que se producen en Mexicali y su proyección a futuro a través de la evaluación de diferentes escenarios.

Palabras clave: cambio climático, gases efecto invernadero, transporte.

ABSTRACT

Given the effects caused by climate change and the acceptance of the greenhouse gases (GHG) are causing this phenomenon, most countries have pursued strategies to reduce their emissions. A highly engaged industry in this area is transportation, as a generator of (GHG) and for being an environment where mitigation actions can be implemented. This paper analyzes the amount of GHG that are produced by private car trips in Mexicali, due to, is in this mode, where most of the intra-urban travel are done. To do this, we used the methodology recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, for its acronym in English) and compared to cities elsewhere. The objective is to quantify the amount of GHG produced in Mexicali and its projection into the future through the evaluation of different scenarios.

Keywords: climate change, greenhouse gases, transportation.

INTRODUCCIÓN	1
1.- DE LA SUSTENTABILIDAD AL TRANSPORTE SUSTENTABLE	5
1.1.- Sustentabilidad y dinámica local del desarrollo	5
1.2.- Cambio climático.....	11
1.2.1.- Institucionalización del cambio climático	14
1.2.2.- Métodos de cálculo de GEI	19
1.3.- Estrategias para la reducción de GEI recomendadas para el sector transporte	23
1.4.- Experiencias urbanas en la aplicación de estrategias para la reducción de GEI	24
1.5.- Movilidad sustentable.....	25
1.6.- Transporte sustentable	27
1.7.- Modelación	30
2.- CÁLCULO DE GEI GENERADOS POR EL TRANSPORTE.....	33
3.- EL TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE MEXICALI.....	37
3.1.- Caracterización del área de estudio	37
3.2.- Diagnóstico	38
3.3.- Estudios relacionados con la calidad del aire en Mexicali	40
4.- GEI POR EL TRANSPORTE PARTICULAR DE MEXICALI	43
4.1.- Alcances de la investigación	43
4.2.- Aplicación del método del IPCC para el cálculo de GEI en Mexicali	43
4.3.- GEI otras ciudades.....	48
5.- PROYECCIÓN DE GEI EN MEXICALI	49
5.1.- Escenario base	50
5.2.- Escenario A: basado en la utilización energías limpias.....	53
5.3.- Escenario B: basado en la disminución de kilómetros recorridos por automóvil ...	54
5.4.- Escenario C: basado en mejorar el rendimiento de los motores de vehículos.....	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	63

INTRODUCCIÓN

La necesidad de mejoramiento de las condiciones de vida de la población y de protección de los recursos naturales es una preocupación global, sin embargo, las acciones para lograrlo deben estar sustentadas en compromisos y políticas que sean factibles en ámbitos locales y regionales, incluso personales, por ende, conocer las condiciones particulares de cada región para proponer medidas adecuadas a cada una de estas escalas, de acuerdo a las actividades y características de sus entornos y de la viabilidad para su implementación.

Los sistemas de transporte son determinantes en el desarrollo económico y social de cualquier ciudad, región o país, y al mismo tiempo son fuentes generadoras de emisiones contaminantes cuyos efectos nocivos afectan la calidad del medio ambiente y de la salud de la población, debido a la quema de grandes cantidades de combustibles fósiles que producen gases efecto invernadero, los cuales inciden ampliamente en el cambio climático (INE, 2009).

En relación a la sustentabilidad, para Cárdenas (1999), este término consiste en aprovechar los recursos naturales de la mejor manera posible, procurando su preservación para las futuras generaciones al mismo tiempo que las emisiones se puedan mantener dentro de la capacidad de absorción de los vertederos locales y globales.

El consumo de combustibles fósiles, se relaciona con la sustentabilidad en el sentido de que se deben aprovechar los recursos naturales en la actualidad procurando su preservación para las futuras generaciones (Cárdenas, 1999). La sustentabilidad puede ser medida en escalas espaciales, en niveles o jerarquías político-administrativas (Grainger, 2004), por sectores (Satterwaite, 2004) o bien a través de modelos de encadenamiento intersectorial (Tjallingii, 1995). En el caso de la sustentabilidad en el transporte, ésta se liga estrechamente al diseño, planeación y desarrollo urbano, debido a que la demanda de viajes y el patrón de actividades dependen directamente de la distribución del uso de suelo, la infraestructura vial y el servicio de transporte público disponibles (Gordon, 2004).

En el contexto de la sustentabilidad del desarrollo, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y otros organismos internacionales realizan esfuerzos para lograr compromisos de sus países miembros en la lucha contra el deterioro del ambiente y el logro de la equidad social y económica, de las cuales han surgido documentos y acuerdos denominados

agendas, donde se han plasmado una serie de acciones para ser realizadas en conjunto o en forma individual, entre las cuales se describen técnicas o herramientas que permiten diseñar lineamientos para lograr la equidad social y económica así como el cuidado del ambiente, por ejemplo, entre otras cosas, se creó el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (Molina, 2007).

Los expertos en materia de cambio climático han determinado que la dinámica de este fenómeno está altamente influido por las actividades humanas, principalmente por el transporte ya que, a través de la quema de combustibles fósiles, los vehículos motorizados producen emisiones conocidas como gases efecto invernadero (GEI), entre los que se encuentran el bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el dióxido de nitrógeno (N_2O), los cuales inciden ampliamente en el cambio climático, además de generar otros contaminantes que afectan la calidad del medio ambiente y a la salud de la población, dificultando los procesos de regeneración atmosférica y ocasionando la pérdida de la sustentabilidad ambiental debido a la sobreexplotación de los recursos naturales y la saturación de los sumideros que absorben los contaminantes (INE, 2009).

La contaminación dificulta la conservación de los recursos naturales, además, de acuerdo con las tendencias globales, la cantidad de vehículos y la dependencia del uso del automóvil van en aumento (Gossop y Webb, 1993), esto se traduce en un constante crecimiento de las emisiones de gases tipo efecto invernadero producidas por el transporte y su acumulación en la atmósfera, comprometiendo la calidad de vida y los recursos para las futuras generaciones, trayendo consigo un obstáculo para el logro de la sustentabilidad ambiental, no solo en el ámbito urbano en el que se genera la mayoría de estas emisiones sino, a nivel global debido a su dispersión y periodo de permanencia en la atmósfera, ahí radica la importancia de conocer la magnitud en la que el sector transporte contribuye al cambio climático, con la finalidad de establecer mecanismos para la gestión del transporte que permitan disminuir la producción de contaminantes y concentración en la atmósfera.

Para conocer el grado en que contribuyen los diferentes sectores al cambio climático es necesario realizar inventarios de GEI, para ello, se han desarrollado una serie de modelos como son los que ha desarrollado el IPCC y la Agencia Americana de Protección al Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés), mismos que se basan en la cantidad de

combustibles vendidos en el área de estudio, en la cantidad y tipo de vehículos, sus condiciones y características como edad, rendimiento, tipo de combustible utilizado, así como los recorridos realizados por los usuarios, en la estructura vial disponible y en la aplicación de factores de emisión, los cuales están definidos para para cada tipo de combustible y tecnología de los vehículos, por lo que, su selección depende de la información disponible sobre el parque vehicular y sus características (INE, 2009).

Aunque el cambio climático es un problema global, es recomendable estudiarlo a escalas locales para conocer el contexto particular y la magnitud del daño generado en cada comunidad y así proponer acciones específicas que tengan la factibilidad de ser implementadas con éxito en el mejoramiento de la calidad de vida de la población, preservación del medio ambiente y disminución de la contaminación.

El Instituto Nacional de Ecología (INE) tiene como finalidad la coordinación de esfuerzos de diferentes dependencias y niveles de gobierno para la conservación del medio ambiente en nuestro país (INE, 2009).

En la ciudad Mexicali, Baja California la mayoría de los viajes intraurbanos son realizados en vehículo particular, 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).

Esta situación genera la necesidad de conocer de qué manera contribuyen al cambio climático las emisiones de gases efecto invernadero generadas por el parque vehicular privado de la ciudad de Mexicali, Baja California a nivel urbano, durante el año 2005.

Este cuestionamiento plantea el conocer la cantidad y tendencia de la generación de contaminantes tipo gas efecto invernadero como resultado de los viajes realizados en automóvil particular en la ciudad de Mexicali, Baja California, así como también perfilar las medidas factibles de aplicarse para disminuir la cantidad de contaminantes tipo gas efecto invernadero que son generados por el transporte privado urbano en la ciudad de Mexicali.

De lo cual se deriva el objetivo general del presente trabajo: La evaluación de la cantidad de GEI generados en la ciudad de Mexicali, Baja California en 2005, específicamente la estimación de la cantidad de contaminantes tipo gas efecto invernadero que se generaron

por los viajes realizados en automóvil particular en Mexicali, Baja California durante el 2005, con la finalidad de situar en el contexto de la ciudad de Mexicali las medidas que pueden aplicarse al transporte privado urbano para disminuir la dichos gases y generar información que permita modelar escenarios de emisión de contaminantes tipo GEI producidos por el transporte urbano particular en la ciudad de Mexicali, Baja California.

Este documento está organizado en cinco capítulos, de tal manera que en el primero se encuentra el marco conceptual, el apartado dos contiene la metodología, el tres contiene el diagnóstico del área de estudio, mientras que en el cuarto se encuentran los cálculos de GEI en la ciudad de Mexicali, en el cinco se observa la proyección de emisiones bajo diferentes escenarios, finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

1.- DE LA SUSTENTABILIDAD AL TRANSPORTE SUSTENTABLE

La preocupación mundial por la naturaleza y el cuidado de los recursos surgió a partir de publicaciones como Los Límites del Crecimiento, lo que dio lugar a la confrontación de corrientes de pensamiento entre ambiente y desarrollo, al relacionar las tendencias en las siguientes variables: población, producción de alimentos, industrialización, contaminación y consumo de recursos no renovables, la principal controversia estaba centrada entre lo que representa el sistema económico y el ambiente natural (Villegas y López, 2001).

1.1.- Sustentabilidad y dinámica local del desarrollo

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 (Cárdenas, 1999).

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.

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).

Este concepto es significativo desde el nivel global hasta el nivel regional, pero no es aplicable en todas las escalas debido a los procesos del capital natural, social y económico, el desarrollo sustentable se da desde el nivel regional hacia niveles superiores. Las ciudades y la vivienda no pueden desarrollar sustentabilidad por si solas, pero si 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).

Desde este enfoque, lograr el desarrollo sustentable se necesita procurar “la integración de los intereses 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 (estabilidad), capacidad de respuesta, autodependencia 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.

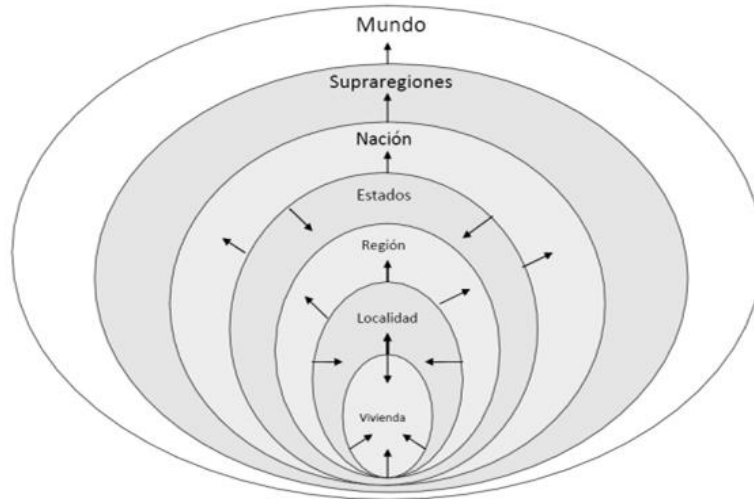
De acuerdo con Grainger (2004), las dos principales metas del desarrollo sustentable son la de proteger el medio ambiente e incrementar la igualdad dentro y entre países, para lograr su cumplimiento es necesario dividir el planeta en escalas adecuadas, las cuales se definen como la dimensión utilizada para medir un fenómeno y están divididas convenientemente en jerarquías o niveles (Gibson, 1998). En la tabla 1 se pueden observar las diferentes escalas que pueden ser utilizadas para medir o estudiar la sustentabilidad desde diferentes enfoques como son la ecológica, que va desde un individuo hasta la biosfera completa, para aplicarlo en las ciencias sociales se aplica desde una vivienda hasta escala mundial, mientras que, como aparece en la figura 1, Grainger (2004) propone escalas espaciales que envuelven desde la más pequeña, que es la vivienda, hasta la mayor que es la mundial.

Tabla 1: Escalas y niveles para medir la sustentabilidad

Ecológica	Ciencias sociales
Biósfera	Mundial
Bioma típico	Regiones supranacionales
Bioma	Estado
Paisaje	Región
Ecosistema	Ciudad
Comunidad	Villa
Población	Vivienda
Organismo	-----

Fuente: Gibson (1998)

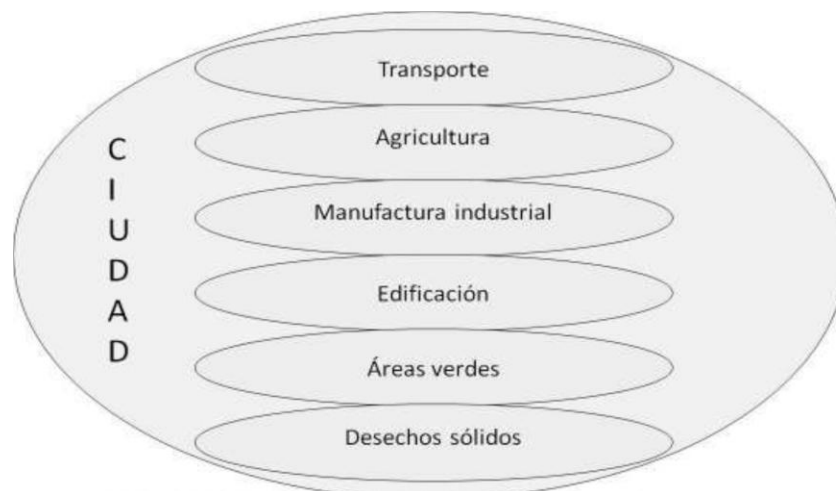
Figura 1: Escalas espaciales en la sustentabilidad



Fuente: Grainger (2004)

Otro esquema para el estudio de la sustentabilidad propuesto por Satterwaite (2004) es a través de la planeación sectorial, el cual se aprecia en la figura 2, 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.

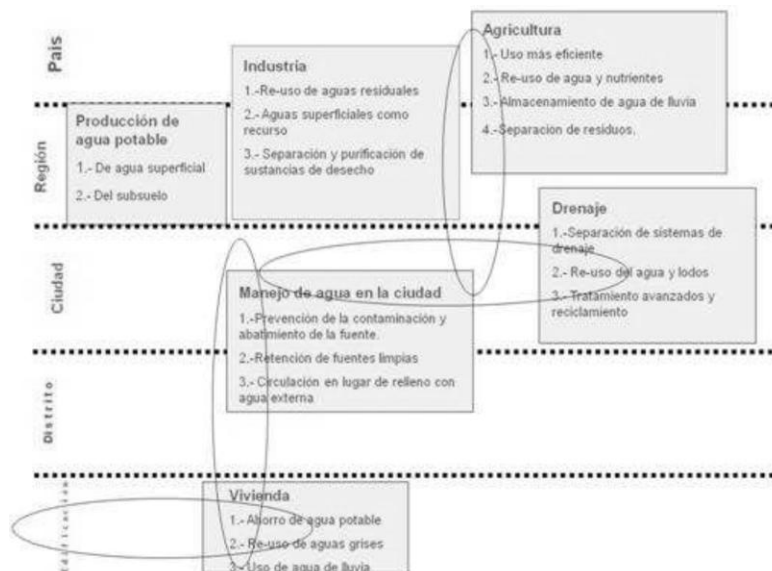
Figura 2: Esquemas de planeación sectorial



Fuente: Satterwaite (2004)

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 como el que se muestra en la figura 3, donde se aprecia la forma en que 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.

Figura 3: Modelo de encadenamiento intersectorial



Fuente: Tjallingii (2004)

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, 2001), 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 (Bazant, 1998).

Debido al impacto nocivo en la calidad ambiental urbana provocada por el transporte en las últimas décadas, la mayoría de los países miembros de la ONU han acordado llevar a cabo una serie de acciones que permitan abatir esta problemática, a través de la disminución en la generación de este tipo de contaminantes y la reducción de la acumulación de los mismos en la atmósfera, entre las actividades propuestas para este fin se encuentran la realización de inventarios de emisiones para cada tipo de fuente y la elaboración de planes de acción para hacer frente al cambio climático (ONU, 2009), por ello en 1988 se constituyó el IPCC cuyo principal objetivo es la elaboración de lineamientos y herramientas que apoyen a las naciones en el cumplimiento de las metas propuestas en las conferencias convocadas por la ONU para detener el deterioro ocasionado al planeta (Molina, 2007).

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).

Existen diferencias en la delimitación de los espacios urbanos, administrativa o geográficamente, sin embargo, en la búsqueda de la sustentabilidad 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) sugiere una serie de instrumentos que pueden apoyar en el logro de la sustentabilidad urbana:

Planeación estratégica: Coordinación de funciones urbanas a escala local y regional, uso de suelo, reducción de demanda de viajes, infraestructura para el transporte, recuperación de energía desperdiciada.

Soluciones tecnológicas: Eficiencia en la producción de energía, en el diseño de edificios, en los procesos, avances en el uso de energías renovables, solución telemática para reducción de demanda de viajes.

Instrumentos económicos: Subsidios a la energía y al transporte, control de precios e impuestos al carbón.

Controles legislativos: Implementar estándares de emisiones y de eficiencia de energía, obligatoriedad de compra de energía de combustibles no fósiles a las compañías.

Elevación de la educación y conciencia: Consejos sobre la eficiencia de la energía, ahorro de energía al conducir, estímulo del cambio de conciencia a través de la información de costos e impactos.

El desarrollo urbano sustentable 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). La movilidad en las áreas urbanas está estrechamente relacionada con los aspectos económicos, medioambientales y sociales de la vida en las ciudades y forma parte de lo que les permite ser centros vitales de actividad. 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).

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).

El desarrollo sostenible se ha introducido en la formulación de políticas a todos los niveles. La aplicación del concepto de desarrollo sostenible 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. 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 acuciantes” (Lonza y Hernández, 2000).

Leitmann (1999) nos presenta tres definiciones de la sustentabilidad urbana:

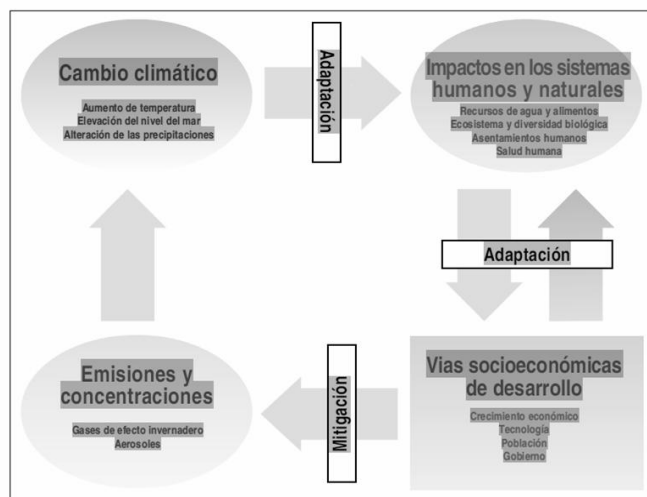
Primera: Una donde las ciudades con baja o decreciente huella ecológica per cápita son más sustentables, así como también cuando las ciudades que crean bienestar no declinable per cápita están en un camino a la sustentabilidad, y por último, cuando las ciudades reducen los riesgos a la salud, minimizan la contaminación y maximizan el uso de recursos renovables contribuyen más al desarrollo sustentable total.

1.2.- Cambio climático

El cambio climático es un fenómeno que obstaculiza el logro de la sustentabilidad, se entiende como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (INE, 2009). Es considerado como uno de los problemas trascendentales del siglo XXI e incluso de seguridad estratégica para todos los países del mundo, debido a que “pone en riesgo la sustentabilidad de los ecosistemas, generando cambios drásticos los regímenes de lluvias, elevación del nivel del mar, la ocurrencia de sequías, variaciones en la temporalidad de los procesos biológicos, escasez en la disponibilidad de agua dulce y suelos productivos, incremento de enfermedades infecciosas y de las transmitidas por vectores” (INE, 2009).

En la figura 4 se puede observar el marco de evaluación del cambio climático propuesto por el IPCC, a través de las relaciones entre sus elementos, por ejemplo, las acciones tendientes a abatir la problemática son de dos tipos, por un lado se encuentran las de adaptación cuya finalidad es la de reducir los impactos en los diferentes sistemas humanos y naturales mientras que, por otro lado están las acciones de mitigación tendientes a la disminución en la generación de los causantes del fenómeno citado, que son los GEI, en cada uno de los sectores socioeconómicos.

Figura 4. Marco integrado para la evaluación del cambio climático



Fuente: IPCC (2001)

El cambio climático afecta todos los aspectos de la vida en el planeta, humanos y no humanos, muchas especies se pueden extinguir debido a la destrucción de sus hábitats como consecuencia del cambio climático más rápido de lo que ellas se pueden adaptar, este es el mayor problema global de sustentabilidad que la humanidad haya tenido que enfrentar. La quema de combustibles fósiles, que proviene principalmente del sector transporte es el principal contribuyente de contaminantes que producen el cambio climático, mayormente debido al extendido uso del automóvil particular (IPCC, 2001).

El cambio climático es atribuido al efecto invernadero, el cual es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener la temperatura del planeta al retener parte de la energía proveniente del sol, parte de ella queda atrapada en la atmósfera debido a la existencia de ciertos gases, denominados GEI, que tienen la propiedad de absorber y re-emitir la radiación proveniente de la superficie de la Tierra (INE, 2009), los principales GEI son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃), el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC), el dióxido de carbono (CO₂) es el principal GEI (Red de energía, 2009). Este tipo de gases poseen un forzamiento radiativo que contribuye a la elevación de la temperatura de la atmósfera, al aumentar su concentración, debido principalmente a las actividades humanas, se ha producido un aumento de la temperatura y cambios en las

condiciones climatológicas a nivel mundial, es por ello que se considera el causante del cambio climático.

Esta problemática ha surgido, entre otras causas, debido al crecimiento acelerado de la población a nivel mundial, así como la demanda de bienes y servicios para satisfacer sus necesidades, lo que ha provocado la sobre explotación de los recursos naturales del planeta propiciando su agotamiento, lo cual conducirá a una mayor pobreza y condiciones de vida precarias para una gran parte de la población mundial. Es así como la quema de combustibles fósiles, la deforestación, el cambio de uso del suelo y la agricultura han contribuido a incrementar, durante el último siglo, un 54% la concentración de bióxido de carbono, metano y óxido nitroso en la atmósfera, motivando con ello, un aumento en la temperatura de la tierra en 0.6 grados centígrados (Cárdenas, 1999).

Lo anterior provoca, entre otras cosas, deforestación y desertificación, cuyas consecuencias son que los bosques pierdan su cobertura natural, así como la degradación de las tierras, reduciéndose su productividad biológica, agrícola y económica, además, los ecosistemas no siempre son capaces de responder a las presiones a que son sometidos por la utilización de recursos y la generación de desechos, pues su capacidad de adaptación no les permite ajustarse o acomodarse a las variaciones naturales del clima, de mitigar los potenciales daños, afrontar las consecuencias o aprovechar las oportunidades que brinda el cambio climático en un determinado sistema, por lo menos no en la misma velocidad en que estos se producen (INE, 2009).

El medio ambiente presta a los seres humanos un conjunto de servicios indispensables, por ejemplo, aporta todos los materiales y fuentes de energía indispensables para la producción de bienes, asimila y capta los desechos y demás formas de contaminación que resultan de la producción y el consumo, aporta valores de opción, de existencia, de recreación, etc. que los seres humanos consideramos importantes para nuestro bienestar, y también hace de nuestro planeta un lugar adecuado para la existencia de las múltiples formas de vida y de la propia civilización (Gómez, 2000), sin embargo es afectado por la contaminación debido a la presencia de sustancias que no pertenecen al medio ambiente o cuando su concentración es mayor a la que puede ser soportada por éste, esta situación provoca daños a la salud o al medio, la mayoría de los contaminantes emitidos a la atmósfera son generados por la

realización de las actividades humanas, por ejemplo, en el caso del aire, la fuente principal de contaminación es la utilización de combustibles fósiles para la operación de las unidades de transporte terrestre público y privado con lo cual se generan gases conocidos como GEI (Red de energía, 2009).

1.2.1.- Institucionalización del cambio climático

La preocupación por el cambio climático y sus efectos se ha plasmado en una serie de compromisos adquiridos por los países con la finalidad de mitigar sus efectos, por ejemplo, a nivel internacional, inició en la Cumbre de Río, también conocida como Cumbre de la Tierra, que se llevó a cabo en 1992, participando 172 países y 2,400 representantes de organizaciones no gubernamentales, en ella se trataron los temas de medio ambiente y desarrollo sostenible generándose lo que se conoce como Agenda 21, que se considera el Plan de Acción de las Naciones Unidas para un desarrollo mundial sostenible en el Siglo XXI, en ella se puntualizó la cooperación entre países para conservar, proteger y restablecer la salud y la integridad del ecosistema de la Tierra y el término desarrollo sostenible tomó fuerza en los diversos discursos que promovían el buen uso de los recursos naturales. Uno de los documentos que surgió de esta conferencia es la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el desarrollo en el cual se aborda el tema de protección a la atmósfera con la aplicación de una serie de medidas divididas en cuatro áreas que son: la toma de decisiones sobre el cambio climático, la promoción del desarrollo sostenible, la prevención del agotamiento del ozono estratosférico y la contaminación atmosférica transfronteriza (ONU, 2009a).

A partir de esta reunión, la existencia del cambio climático tomó relevancia, así como la necesidad de empezar a considerar las acciones para hacerle frente y adoptar medidas ante sus impactos sobre las actividades humanas, lo que derivó en la adopción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en 1992, instrumento al cual se adhirieron más de 150 países. En 1997, tras dos años de negociaciones, se adoptó el Protocolo de Kyoto, que estableció compromisos específicos, aplicables de manera distinta a cada país. El Protocolo entró en vigor para los países

firmantes el 15 de febrero de 2005. México es signatario tanto de este instrumento como de la Convención.

La Convención establece la distinción entre los países que forman parte de ella, en función de su desarrollo económico, catalogándolos en países Anexo 1 y países No Anexo 1, forman parte del Anexo 1 los países industrializados que fueron miembros de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) en 1992, tienen el compromiso de reducir en al menos un 5% sus emisiones de GEI con respecto al nivel de emisiones que se tenía en 1990 entre 2008 y 2012, mientras que los países pertenecientes al No Anexo 1 participan en la aplicación de mecanismos de desarrollo limpio (MDL), los cuales consisten en recibir transferencia de tecnología o inversiones de los países desarrollados para buscar la reducción de GEI (ONU, 1998).

Para resolver los efectos del cambio climático, principalmente en los países en desarrollo, es necesario involucrar a la mitigación y a la adaptación de dicho fenómeno, es por eso que, organismos como el Banco Mundial están apoyando a los países en desarrollo para contribuir a una solución global, fortaleciendo la creación de asociaciones y con el financiamiento de proyectos que disminuyan la vulnerabilidad de los sectores clave como son: la salud, abastecimiento y saneamiento de agua, energía, transporte, industria, minería, construcción, comercio, turismo, agricultura, silvicultura, pesca, protección del medio ambiente, y gestión de desastres ya que la satisfacción de las necesidades del futuro depende de las decisiones que se tomen en el presente, estos objetivos parecen estar en conflicto entre ellos en el corto plazo, como el crecimiento industrial y la preservación de los recursos naturales, sin embargo, a largo plazo, el uso responsable de los recursos naturales en la actualidad ayudará a asegurar que se cuente con recursos para el crecimiento industrial sostenido dentro de muchos años (Banco Mundial, 2010).

Otros aspectos de política internacional a considerar son la cooperación bilateral, multilateral y las fuentes de financiamiento, además de considerar condiciones como la pobreza, por ejemplo, en la Declaración del Milenio de las Naciones Unidas se proponen estrategias de reducción de la pobreza, como son el desarrollo urbano sostenible, la vivienda adecuada para todos, la mejora en las vidas de los habitantes de tugurios, el acceso

al agua potable y el saneamiento, la inclusión social, la protección del medio ambiente y los distintos derechos humanos, (UN- Hábitat, 2010).

En México, el INE es la dependencia encargada de coordinar la realización de actividades tendientes a la conservación del medio ambiente y de la coordinación de los esfuerzos de diferentes dependencias y niveles de gobierno para el cumplimiento de las metas anteriormente mencionadas, para lo cual adopta metodologías y recomendaciones del IPCC en materia del cambio climático (INE, 2009).

El texto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático fue firmado por México el 13 de junio de 1992 y ratificado el 11 de marzo de 1993, entró en vigor el 21 de marzo de 1994, es parte de la Convención como país No Anexo 1.

México participa y organiza múltiples actividades internacionales relacionadas con el tema del Cambio Climático como es el establecimiento del Grupo de Trabajo de Negociaciones Internacionales dentro de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (Tercera Comunicación), asimismo, ha participado en diversos foros a nivel internacional, como son la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, el Protocolo de Kyoto, la Red Iberoamericana de oficinas de Cambio Climático, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, el Instituto Interamericano de Investigación sobre el Cambio Global, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, la Comisión para el Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, el Diálogo Sobre Cambio Climático, Energía Limpia y Desarrollo Sustentable, el Grupo de trabajo de alto nivel México-Estados Unidos sobre cambio climático y la Cooperación bilateral en materia del Mecanismo para un desarrollo limpio (MDL) del protocolo de Kyoto (ONU, 2009b).

Las políticas nacionales en materia de cambio climático, son determinantes para la realización de acciones puntuales ante este fenómeno, para apoyar el desarrollo y puesta en marcha de dichas políticas es fundamental la identificación y desarrollo de elementos clave como son la investigación científica, elaboración y actualización del inventario nacional de GEI, proyección de emisiones, evaluación de vulnerabilidad a la variabilidad climática, concientización pública, políticas públicas de mitigación y adaptación al cambio climático a nivel nacional, regional, local y por sector, así como elaborar planes como el Plan Nacional

de Desarrollo (PND) de los cuales se derivan programas y estrategias encaminadas a impulsar acciones en este sentido. Como consecuencia se lo anterior, durante el sexenio 2001-2006, se creó la Comisión Intersecretarial a de Cambio Climático (CICC), encargada de formular e instrumentar políticas nacionales referentes al cambio climático, con ella se promueve, entre otras cosas, la reducción de emisiones de GEI, la adaptación a los efectos adversos del Cambio Climático y el desarrollo de programas y estrategias de acción climática relativos al cumplimiento de los compromisos suscritos por México en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y demás instrumentos derivados de ella, particularmente el Protocolo de Kyoto (SEMARNAT, 2006).

A partir del estudio de país denominado “México ante el cambio climático” se han realizado otros como la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático, como se presenta en la tabla 2, desde 1995 se han llevado a cabo una serie de estudios acerca de los posibles efectos y la vulnerabilidad de país ante el cambio climático, con la realización de inventarios de GEI y la evaluación de escenarios para lograr el planteamiento de la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático en 2007.

Tabla 2. Estrategia nacional de México ante el cambio climático

1995-1996	1997	2001	2006	2007
Estudio de país: México ante el cambio climático	México 1ª Comunicación nacional	México 2ª Comunicación nacional	México 3ª Comunicación nacional	Estrategia nacional ante el cambio climático
Punto de arranque en la construcción de escenarios de posibles efectos del cambio climático en México que contribuyeran a enfrentarlos de la mejor manera.	Lo más importante en este informe es el Inventario nacional de gases efecto invernadero (INEGEI) 1990 y los resultados de los primeros estudios sobre la vulnerabilidad del país al cambio climático.	Actualización del INEGEI para el periodo 1994-1998, las cifras de uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS) se informaron solo para 1996, además se incluyeron escenarios de emisiones futuras.	Actualización del INEGEI al 2002, cálculo de cifras para 1990, 1992, 1994, 1996, 1998 y 2000. Actualización de la categoría de USCUSS 1993-2000. INEGEI, mitigación y adaptación al cambio climático y divulgación del tema. Creación en 2005 del Portal del Cambio climático.	Presenta propuestas para el diseño y realización de líneas de acción, políticas y estrategias que sirven de base para la elaboración del Programa Especial de Cambio Climático (PECC).

Fuente: INE (2009)

Las autoridades federales han reconocido la necesidad de incentivar acciones en las entidades federativas respecto al cambio climático, considerando que gran parte de las

políticas nacionales de reducción de emisiones de GEI y de adaptación al mismo tienen mejores oportunidades de éxito si se diseñan e instrumentan en los niveles estatal o local y que la descentralización de esta tarea, conlleva a un mayor grado de apropiación de las políticas que se desarrollen y se pongan en práctica a nivel local (INE, 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: p)

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.

El cuidado del ambiente es un aspecto que se contempla en los instrumentos de planeación nacionales 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.

1.2.2.- Métodos de cálculo de GEI

Algunos países han desarrollado metodologías para la estimación de emisiones de GEI, por ejemplo, en Estados Unidos se desarrolló un método cuya versión más reciente se denomina MOBILE6, en Europa se utiliza el método llamado CORINAIR, el más generalizado es el que fue desarrollado por el IPCC, la elección del procedimiento a aplicar depende de la naturaleza de la actividad considerada y de la disponibilidad de la información, el grado de detalle requerido, los factores de emisión y de los recursos humanos y financieros para llevarlos a cabo, estos se pueden clasificar en cuatro grandes categorías (SENER, 2009):

1. Métodos basados en datos de emisiones observadas: Se parte de la observación directa de la variable de interés que es la emisión.

1.1 Medición continua: Requieren la operación permanente del equipo de medida en la instalación considerada.

1.2 Medición a intervalos periódicos: El dispositivo de medida debe instalarse para hacer las mediciones, desmontándose al final de la operación. Debe hacerse una extrapolación para estimar las emisiones correspondientes al periodo anual de referencia.

2. Métodos basados en los balances de materiales:

2.1 Balance simple: Aplicado para la estimación de dióxido de azufre (SO₂) en instalaciones de combustión cuando se conoce la cantidad de azufre y de los coeficientes de retención en cenizas.

2.2 Balance completo: Determinación de todos los flujos de entradas y salidas de los distintos elementos químicos aunque su aplicación es inusual debido a su complejidad.

3. Métodos basados en modelos funcionales estadísticos:

Modelización-correlación. Se basa en los resultados de trabajos previos de estimación de relaciones funcionales o de correlación entre ciertas variables físico-químicas y las emisiones de determinadas actividades.

4. Métodos basados en factores de emisión: factores determinados por el IPCC a partir de diversos estudios realizados a nivel mundial, aplicables a cada actividad o fuente, también se conocen como inventario de emisiones.

Los métodos de factor de emisión requieren la disponibilidad de las siguientes variables:

a) El propio factor de emisión: Los factores de emisión, dados por unidad de variable socioeconómica, proceden de los deducidos para actividades que son objeto de la estimación del inventario, en general, vienen caracterizados por un conjunto de argumentos como potencia térmica, la técnica de alimentación y las características del combustible.

b) Variables de actividad primaria: Se define de la forma más precisa posible, descomponiendo en su caso la actividad. La multiplicación de la variable de actividad

primaria por el factor de emisión a ella asociado da como resultado la estimación de la emisión correspondiente.

c) Variables de actividad subrogadas: Puede suceder, que no se disponga de variable de actividad primaria a niveles más bajos de desagregación territorial y por ello debe recurrirse a variables subrogadas para asignar espacialmente una estimación calculada a nivel agregado.

De acuerdo con Carter (2007), los métodos desarrollados por el IPCC utilizan como insumos de información el consumo y tipo de combustibles por cada tipo de automóvil, la cantidad de viajes realizados y las distancias recorridas en promedio por los habitantes de una ciudad, así como una serie de factores que relacionan las distancias recorridas, el tipo y características de los vehículos con la cantidad de cada emisión tipo GEI que es arrojada a la atmosfera por esta actividad, otro método relaciona el combustible vendido en determinada región geográfica con la energía consumida y las emisiones generadas.

La fórmula general para estimar las emisiones por este método es la siguiente (IPCC, 1997):

Estimación de la emisión = Datos de actividad x Factor de emisión

Dependiendo de la información disponible, se puede aplicar en tres niveles que se describen a continuación:

Nivel 1: Únicamente se requiere conocer la cantidad de combustible consumido. Se tienen factores de emisión estándar para cada contaminante, por cada tipo de combustible.

Nivel 2: Además de la cantidad de combustible consumido, es necesario conocer su composición química, ya que en base a ello se seleccionan factores de emisión específicos.

Nivel 3: Las estimaciones se realizan generando modelos o mediciones detalladas que permitan estimar el uso de energéticos con un alto nivel de desagregación, utilizando factores de conversión específicos que tomen en consideración diferencias en emisiones derivadas del uso de tecnologías y procesos determinados así como su estado de mantenimiento.

VARIABLES UTILIZADAS EN LOS MÉTODOS DEL FACTOR DE EMISIÓN:

1. El propio factor de emisión: Los factores de emisión, proceden de los deducidos para actividades que son objeto de la estimación del inventario, en general, vienen caracterizados por un conjunto de argumentos como potencia térmica, la técnica de alimentación y las características del combustible.
2. Variables de actividad primaria: Se define de la forma más precisa posible, descomponiendo en su caso la actividad. La multiplicación de la variable de actividad primaria por el factor de emisión a ella asociado da como resultado la estimación de la emisión correspondiente.
3. Variables de actividad subrogadas: Puede suceder, que no se disponga de variable de actividad primaria a niveles más bajos de desagregación territorial y por ello debe recurrirse a variables subrogadas para asignar espacialmente una estimación calculada a nivel agregado.

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

La cuantificación de emisiones se lleva a cabo para los principales gases de efecto invernadero emitidos durante la combustión. En este proceso, el carbono se emite directamente como CO₂, adicionalmente se emite metano (CH₄) y óxido de nitrógeno (N₂O). Con el fin de homologar el efecto invernadero de estos gases, las emisiones pueden expresarse en términos de CO₂ equivalente (CO₂e), lo cual representa la cantidad de CO₂ que tendría el mismo potencial de calentamiento global a lo largo de un periodo de tiempo determinado, normalmente se considera una permanencia de 100 años, es decir se calcula la equivalencia del daño que causan los GEI diferentes al CO₂, en relación al mismo.

Las emisiones de CO₂ por combustión dependen de la cantidad de carbono contenido en el combustible considerado y son independientes de la tecnología considerada, pero las emisiones no CO₂ son altamente dependientes de la tecnología de combustión utilizada y de su estado de mantenimiento.

El cálculo de emisiones de GEI totales por combustión es la suma de emisiones generadas por la combustión de todos los energéticos. Dicho cálculo puede ser afinado a medida que se disponga de información más detallada sobre las características particulares del proceso de combustión.

La EPA utiliza un modelo denominado MOBILE para estimar la emisión de gases efecto invernadero provenientes del sector transporte el cual consiste en alimentar un programa de cómputo en lenguaje Fortran con las características relacionadas a dicho sector para la zona en estudio como son: vialidades y sus condiciones, velocidades, parque vehicular, clasificación, edad, rendimientos, recorridos promedio, tipo y características del combustible utilizado, con esta información se generan los factores y cantidades de emisión de los gases efecto invernadero en el área para la que fue aplicado, el modelo más reciente es el denominado MOBILE 6. En México, se diseñó el modelo MOBILE JUAREZ con el objetivo de llevar a cabo un inventario de gases efecto invernadero para Ciudad Juárez, Chihuahua, atendiendo a las características de dicha ciudad (EPA, 2009).

En Europa se utiliza un método denominado CORINAIR para la estimación de GEI, consiste en aplicar una serie de factores de emisión para cada tipo de contaminante generado en relación al tipo de combustible consumido por los vehículos. Para su aplicación se requiere del conocimiento de una serie de variables relacionadas a cada uno de los elementos involucrados como son el consumo total de combustible, parque vehicular, condiciones de manejo y factores de emisión (INE, 2009).

1.3.- Estrategias para la reducción de GEI recomendadas para el sector transporte

Según Low y Gleeson (2003), las estrategias de reducción de GEI que los tomadores de decisiones pueden considerar para proponer acciones de mitigación en lo que se refiere al transporte se resumen en cuatro mecanismos que son:

- I. División del modo de transporte utilizado: En el caso del transporte urbano de pasajeros los modos disponibles son peatonal, motocicleta, automóvil, autobús y taxi, esto se debe a la diferenciación en el consumo de energía y la generación de GEI en cada uno de los modos mencionados. Este apartado también se refiere

a la clasificación de vehículos que circulan por las vialidades urbanas, es decir, públicos o privados.

- II. Eficiencia de energía: La tecnología de los motores para la combustión del combustible que provean una mayor eficiencia y economía en el uso de la energía.
- III. Volúmenes de transporte: Está relacionado a la reducción en la cantidad de viajes o en la cantidad de kilómetros recorridos por cada usuario, es decir hacer más eficientes los viajes o disminuir las distancias de viaje a través de la planeación urbana en el crecimiento de la ciudad y/o usos del suelo.
- IV. Tipo de combustibles: Alternativas al uso de combustibles fósiles, además de que son recursos no renovables, existen otro tipo de combustibles que generan menor cantidad de contaminación, principalmente de CO₂.

1.4.- Experiencias urbanas en la aplicación de estrategias para la reducción de GEI

Para Newman (1996), las acciones tendientes a la disminución de las emisiones contaminantes provenientes del sector transporte, entre las que se encuentran las que se han aplicado en las ciudades de Curitiba, Brasil, Surabaya, Indonesia, Zúrich, Suiza, Toronto, Canadá y Portland, Estados Unidos de América (USA, por sus siglas en inglés), están las de cambio tecnológico, el uso de sistemas multimodales y la promoción del transporte público, a continuación se presentan ejemplos de las estrategias aplicadas por cada uno de ellos:

Singapur y Hong Kong: Sistema de transporte eficiente mixto – tren eléctrico y minibús, desarrollos urbanos de alta densidad, altos impuestos a la propiedad de carros, cuotas para circular en el centro de la ciudad, exención de cuotas para carros colectivos, ciclistas y acondicionamiento de andadores para caminar,

Curitiba, Brasil: Sistema integrado de autobuses exprés del centro a la periferia, entre distritos y autobuses convencionales, infraestructura complementaria pequeñas terminales, mobiliario, etc., pago previo y estaciones de abordaje eficientes, manejo de tarifas especiales y peatonalización del centro histórico.

Surabaya, Indonesia: Promoción del transporte no motorizado, desarrollo de pequeñas villas, infraestructura y servicios con andadores y énfasis en el peatón.

Zúrich, Suiza y Copenhague, Dinamarca: Planeación social del espacio público – mayor vitalidad, más actividades y reducción del tráfico, promoción de zonas peatonales y cafés, uso múltiple de la vialidad y estacionamientos y reducción de estacionamientos, (3%) cada año.

Toronto, Canadá y Portland, USA: Cambio de ciudad basada en el automóvil a una basada en el transporte público, en 20 años creció el transporte público en 48%, revitalización del centro y desarrollo de subcentros, menos inversión en vialidades y más en transporte público, sistema tren ligero y reducción de estacionamientos y reconversión en parques o plazas.

En el Distrito Federal, México, a partir del 2008 se establecieron programas de apoyo económico para la sustitución de unidades de transporte público, como el de sustitución de taxis, que consiste en otorgar la cantidad de \$15,000.00 pesos, moneda nacional, para la compra de un vehículo nuevo a cambio de la entrega de unidades de 1998 y anteriores. En el caso de microbuses se otorga un apoyo de \$100,000.00 pesos, moneda nacional para la obtención de un crédito que les permita a los concesionarios adquirir un nuevo autobús a cambio de la entrega de las unidades modelo 1995 y anteriores (GDF, 2011).

En 2009, en México entró en vigor el programa de renovación de vehículos ligeros particulares, consistente en un apoyo de \$15,000.00 pesos, moneda nacional, para la compra de un vehículo nuevo con valor máximo de \$215,000.00, a cambio de la entrega de unidades con más de 10 años de antigüedad (Ramírez, 2009).

1.5.- 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, por lo que, su evaluación se lleva a cabo de forma sistemática y exhaustiva (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).

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

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) y Cervero (1988), 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.

1.6.- Transporte sustentable

El transporte consiste en el traslado de bienes o personas de un lugar a otro, 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 (Cal y Mayor, 2007 y Cárdenas, 1999).

El transporte puede ser clasificado desde diversos aspectos, por ejemplo, por su ámbito geográfico, puede ser urbano, que es en el que los desplazamientos se realizan dentro de una misma localidad urbana o interurbano, que se realiza al trasladarse de una ciudad a otra; por su propiedad se clasifica en público y privado, el transporte público comprende los medios de transporte en el que los pasajeros no son propietarios del mismo, siendo servidos por terceros, es decir, se paga una cuota por el servicio de ser transportado, mientras que el transporte privado es en el que se utiliza un vehículo particular para su traslado. Los principales modos de transporte público en una ciudad son las rutas de autobús, los taxis en rutas definidas o sin itinerario fijo, así como el transporte escolar, y el empresarial; en las grandes ciudades se puede contar, además, con los servicios de transporte masivo como son el metro, tren ligero, trolebús, etc., por otro lado, el transporte privado puede llevarse a

cabo a pie, en bicicleta, motocicleta, automóvil y, en algunas localidades, se tiene la opción de transportarse a través de tracción animal (Cal y Mayor, 2007).

Los principales elementos de un sistema de transporte son: el usuario, la infraestructura, el vehículo utilizado y las políticas que lo rigen; a su vez, está relacionado recíprocamente con el sistema de actividades de la población y la estructura de flujos de viajes, los sistemas de transporte son evaluados a través de tres atributos (Cal y Mayor, 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 productividad.

La evaluación de los sistemas de transporte tiene diversos objetivos, como son la de conocer su eficiencia, cobertura, disponibilidad, su relación con la infraestructura urbana y su efecto en la sustentabilidad y desarrollo. En forma general, se ha llamado transporte sustentable a aquel que incorpora en sus prácticas la protección al medio ambiente (Cal y Mayor 2007), en el caso de los GEI provenientes del transporte, sustentabilidad significa que su generación se pueda mantener dentro de la capacidad de absorción de los vertederos de desechos locales y globales (Cárdenas, 1999).

La cantidad de CO₂ que se genera por el uso de los automóviles va más allá de los viajes que se realizan en ellos, también influye su manufactura y mantenimiento, así como la infraestructura vial que se requiere para su desplazamiento debido a que vialidades en mal estado o con baja capacidad incrementan el uso de energía (Low y Gleeson, 2003).

La construcción de infraestructura para el transporte tiene efectos dañinos en el paisaje, comunidades de plantas y animales y de sitios históricos por lo que las necesidades de transporte de la sociedad deben ser revaluadas con el criterio de la sustentabilidad.

La estrategia de transporte sustentable debe incorporar cuatro tipos principales de mecanismos (Gossop y Webb, 1993):

- Mecanismos regulatorios.

- Mecanismos financieros.
- Incentivos para alentar la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías para vehículos más eficientes.
- Planeación.

Por su parte, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico de los países desarrollados OCDE), también 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. (OCDE, 1990, citado por Cárdenas, 1999).

Debido a que el sector transporte ocasiona un gran consumo energético y genera emisiones que producen contaminación del aire y degradación del ambiente urbano cuyo impacto se refleja en todo el planeta, ha sido considerado como uno de los que más ha contribuido al cambio climático, mayormente debido al extendido uso del automóvil particular.

La adopción de los términos de “Transporte sustentable” y “Movilidad 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 contaminantes tipo GEI.

El sector transporte tiene un papel esencial que desempeñar en el desarrollo económico y social, y que es indudable que las necesidades de transporte aumentarán, pero al ser considerado como una fuente de emisiones atmosféricas, y un factor contribuyente al cambio climático es necesario revisarlo y lograr un diseño y una gestión eficaces de dichos sistemas (ONU, 2009a).

Gossop y Webb (1993) han encontrado que resolver los problemas en la ciudad puede ser la mayor contribución a solucionar los problemas globales de presión al ambiente, especialmente en la reducción de gases efecto invernadero y lluvia ácida, pues es aquí donde se encuentran concentradas las actividades económicas y las emisiones y donde se toman las decisiones en cuanto al suministro de energía, transporte, inversión en infraestructura, agua y desechos, los efectos de dichas decisiones son a largo plazo y generalmente irreversibles, indican que cualquier estrategia ambiental de transporte debe

enfrentar las necesidades de transporte y los problemas creados por sus patrones de uso, se debe dar peso a los derechos de los peatones y habitantes del interior de la ciudad de tener un ambiente saludable con un transporte público de alta calidad, así mismo, mencionan que los planes deben establecer rutas prioritarias para el transporte público, ciclovías y áreas para peatones, asegurando la reducción de emisiones y el mejoramiento del ambiente.

Sintetizando lo que se vio en este capítulo, a partir de la denominada “Cumbre de la Tierra”, llevada a cabo en 1992, la existencia del cambio climático tomó relevancia, así como la necesidad adoptar medidas ante sus impactos sobre las actividades humanas, una de las acciones más generalizadas en todos los países es la de elaborar inventarios de GEI, lo que implica la estimación de este tipo de gases por diversas fuentes, este apartado enfatiza la importancia del transporte eficiente como lo es el transporte sustentable, con la finalidad de que las zonas urbanas se acerquen a la sustentabilidad.

1.7.- Modelación

La problemática medioambiental implica la interrelación de diversos ámbitos como son el natural, biótico, social y ambiental, por lo que, para su evaluación es necesario recurrir al análisis de sistemas complejos. Una de las técnicas que ha sido desarrollada para apoyar esta perspectiva es la simulación, la cual se basa en el uso de modelos, generalmente matemáticos, que representen el problema en estudio (Grant, 2007).

En este contexto se puede especificar a la problemática ambiental desde diferentes tipos de sistemas, a través de su caracterización por el número de componentes y el grado de relación que existe entre ellos; si un sistema posee pocos elementos se puede abordar matemáticamente en forma analítica, si los sistemas poseen muchos elementos que no están muy relacionados entre si, se pueden abordar mediante la estadística, pero si los problemas involucran muchos componentes medianamente relacionados o que presentan una “complejidad organizada”, es decir se cuenta con pocos datos pero se entiende, aunque sea parcialmente la estructura y dinámica general del sistema, entonces, es necesario el análisis de sistemas y la simulación (Grant, 2007).

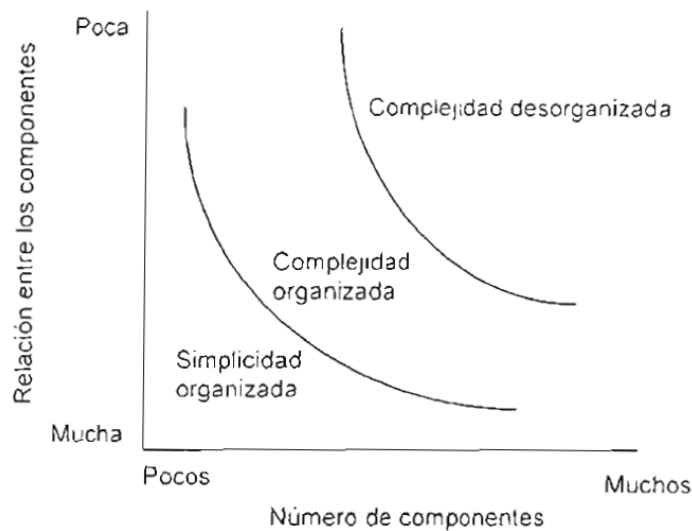
La cantidad de datos se refiere tanto a su calidad como a su pertenencia a los componentes relevantes del sistema. La selección del método mas útil para resolver un problema depende

del nivel de detalle con que se quiere abordar y del entendimiento que tengamos del mismo, a medida que aumenta la cantidad de datos y el entendimiento que tengamos del problema cambia la utilidad del método, es decir podemos optar por aplicar un método distinto dadas las condiciones que se nos presenten en determinado momento (Grant, 2007).

Como se puede apreciar en la figura 5, se puede caracterizar un sistema a partir del número de componentes que los forman y el grado de relación entre ellos, por ejemplo, los sistemas que tienen pocos componentes pero mucha relación entre ellos presentan una complejidad simplificada, se pueden abordar matemáticamente, en forma analítica, mientras que los que presentan muchos componentes pero poca relación entre ellos representan una complejidad organizada y pueden ser abordados mediante la estadística (Grant, 2007).

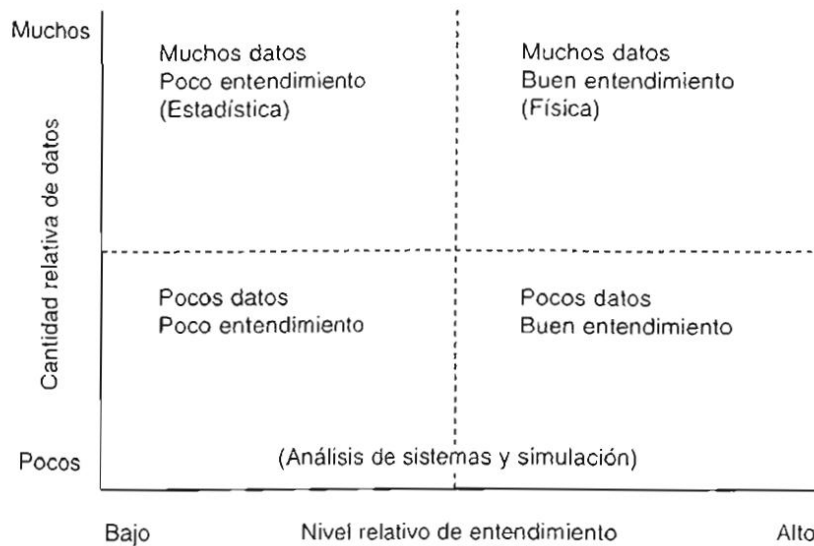
Cuando se presenta un sistema con muchos componentes medianamente relacionados, estos no pueden ser resueltos matemáticamente por el número de ecuaciones que involucran, ni estadísticamente debido a que la relación entre sus elementos es baja, en este caso se utiliza la simulación o modelación para abordarlos. En la figura 6 se observa la comparación entre los métodos para resolver problemas de acuerdo con el nivel relativo de entendimiento y la cantidad relativa de datos disponibles.

Figura 5. Número de componentes de un sistema y la relación entre ellos.



Fuente: Grant (2007)

Figura 6. Solución de sistemas a partir de la cantidad de datos y su nivel de entendimiento.



Fuente: Grant (2007)

La modelación urbana ha sido aplicada para probar leyes y formalizar conocimientos acerca de los sistemas urbanos, con el fin de integrarla con la evaluación del desarrollo urbano sustentable en aspectos como calidad ambiental, equidad social, distribución social y costos ambientales, consumos y uso de recursos, entre otros (Gordon, 2004).

Para dicho propósito se han desarrollado una serie de programas informáticos, diseñados para modelar el comportamiento de sistemas complejos bajo diferentes circunstancias, a partir de la relación entre diversas variables, así como para observar como ese sistema es impactado ante la influencia de ciertos factores que afectan a las variables y sus relaciones. Un ejemplo de lo anterior es el programa denominado Stella, que se utilizó para realizar la proyección de los GEI calculados en el presente trabajo, dicho programa presenta los resultados visualmente, a través de animaciones gráficas que permiten apreciar el comportamiento en un período determinado de las variables seleccionadas (ISEE Systems, 1985).

2.- CÁLCULO DE GEI GENERADOS POR EL TRANSPORTE

Con la firma del Protocolo de Kioto, los países adheridos adquirieron los compromisos de reducir las emisiones de GEI, así como establecer los mecanismos para su seguimiento o evaluar el logro de dicho propósito, este esfuerzo requiere de la realización periódica de inventarios de gases efecto invernadero, además, para que esta información pueda ser comparada entre todos los países, es necesario utilizar métodos estandarizados en el cálculo o estimación de las emisiones antes mencionadas por lo que el IPCC sugiere la utilización de un método de estimación en tres niveles dependiendo de la disponibilidad de información, esta metodología es del tipo cuatro mencionado en el apartado anterior y depende de la fuente de emisión y de la información disponible (ONU, 1998).

De los diferentes métodos que se aplican actualmente para la estimación de emisiones de GEI, el que más se aproxima a la información disponible y a los propósitos del presente trabajo es el de Nivel 1 de IPCC, además de ser el que el citado organismo recomienda para la elaboración de inventarios de GEI mencionados en el Protocolo de Kyoto (IPCC, 1997) , en la tabla 3 se presenta la hoja uno de ocho que corresponden al formato de cálculo de GEI para fuentes móviles de emisión según el tipo de combustible utilizado, mientras que en la tabla 4 se observan los factores de emisión aplicables para esta metodología, los cuales corresponden al rendimiento y composición química de los combustibles que se utilizan en USA, debido a que no se cuenta con factores aplicables a los energéticos de este tipo que se utilizan en México.

Tabla 3. Hoja uno de ocho para el cálculo de GEI del IPCC para fuentes móviles

MÓDULO		ENERGÍA					
SUBMÓDULO		CO ₂ PROCEDENTE DE LA QUEMA DE COMBUSTIBLES POR CATEGORÍAS DE FUENTE (NIVEL I)					
HOJA DE TRABAJO		I-2 ASPECTOS GENERALES					
HOJA		I DE 8					
		A	B	C	D	E	F
		Petróleo crudo	Orimulsión	Líquidos de gas natural	Gasolina	Queroseno para aviones de reacción	Otros tipos de queroseno
CONSUMO DE COMBUSTIBLE (TJ)							
Industrias de la energía							
Industrias manufactureras y construcción							
Transporte	Aviación nacional ^(a)						
	Por carretera						
	Ferrocarriles						
	Navegación nacional ^(a)						

Fuente: IPCC (1997)

Tabla 4. Factores de emisión por tipo de combustible

TABLE I-27 ESTIMATED EMISSION FACTORS FOR US GASOLINE PASSENGER CARS						
Season	EMISSIONS					
	NO _x	CH ₄	NM VOC	CO	N ₂ O	CO ₂
Low-Emission Vehicle Technology;^(a) Assumed Fuel Economy: 8.5 km/litre (11.8 l/100 km)						
Spring/Fall	0.26-0.34	0.02-0.03	0.30-0.46	3.15-5.30	-	-
Summer	0.25-0.32	0.02-0.03	0.32-0.47	2.69-4.67	-	-
Winter	0.31-0.39	0.03-0.04	0.29-0.51	4.78-7.60	-	-
Average (g/km)	0.27-0.34	0.02-0.03	0.30-0.47	3.44-5.72	0.040	280
Average (g/kg fuel)	3.07-3.91	0.25-0.38	3.42-5.35	38.96-64.77	0.453	3172.31
Average (g/MJ)	0.070-0.089	0.006-0.009	0.078-0.122	0.885-1.472	0.010	72.098
Three-Way Catalyst Control;^(a) Assumed Fuel Economy: 8.3 km/litre (12.0 l/100 km)						
Spring/Fall	0.41-0.48	0.02-0.03	0.49-0.66	3.62-5.78	-	-
Summer	0.39-0.46	0.02-0.03	0.80-0.95	2.90-4.89	-	-
Winter	0.47-0.56	0.03-0.04	0.37-0.60	6.35-9.14	-	-
Average (g/km)	0.42-0.50	0.03	0.54-0.72	4.12-6.40	0.170	285
Average (g/kg fuel)	4.67-5.53	0.28-0.39	6.00-7.99	45.92-71.22	1.892	3172.31
Average (g/MJ)	0.106-0.126	0.006-0.009	0.136-0.182	1.044-1.619	0.043	72.098
Early Three-Way Catalyst;^(a) Assumed Fuel Economy: 8.0 km/litre (12.5 l/100 km)						
Spring/Fall	0.41-0.51	0.03-0.04	0.63-0.81	4.77-7.08	-	-
Summer	0.39-0.49	0.03-0.04	1.44-1.62	4.46-6.87	-	-
Winter	0.50-0.63	0.04-0.06	0.45-0.70	7.75-10.42	-	-
Average (g/km)	0.43-0.54	0.03-0.05	0.79-0.99	5.44-7.86	0.170	298
Average (g/kg fuel)	4.55-5.71	0.37-0.48	8.41-10.52	57.93-83.73	1.810	3172.31
Average (g/MJ)	0.103-0.130	0.008-0.011	0.191-0.239	1.317-1.903	0.041	72.098
Oxidation Catalyst; Assumed Fuel Economy: 6.2 km/litre (16.1 l/100 km)						
Spring/Fall	1.10-1.17	0.05-0.07	1.26-1.76	8.79-14.96	-	-
Summer	0.84-0.90	0.06-0.08	2.58-3.25	12.16-20.79	-	-
Winter	1.29-1.38	0.07-0.09	1.07-1.66	12.28-19.72	-	-
Average (g/km)	1.08-1.16	0.06-0.08	1.54-2.11	10.51-17.61	0.075	383
Average (g/kg fuel)	8.97-9.58	0.50-0.63	12.77-17.48	87.08-145.95	0.622	3172.31
Average (g/MJ)	0.204-0.218	0.011-0.014	0.290-0.397	1.979-3.317	0.014	72.098

Fuente: IPCC (1997)

Variables utilizadas en esta metodología:

1. Combustible consumido: Por el sector en estudio, en este caso por los vehículos particulares registrados en la ciudad de Mexicali.
2. Factores de emisión: Dependientes de la tecnología del promedio de los vehículos que circulan en el área de estudio, relacionado con la edad de los mismos y el promedio del rendimiento del motor.

La información que se requiere para aplicarlo es la cantidad de combustible consumido por el transporte. Esta información puede ser obtenida a partir de las estadísticas de gasolina vendida en la zona de estudio o a través de los recorridos realizados por los vehículos que circulan por dicha área durante el período analizado, posteriormente se aplican factores de emisión para cada uno de los GEI según el tipo de combustible utilizado.

El método aplicado se basa en la utilización en factores de emisión correspondientes a diversas actividades, también se conocen como inventario de emisiones, en general, las emisiones de GEI por la combustión de energéticos se calculan multiplicando el consumo de combustible por el factor de emisión correspondiente para cada combustible (Carter, 2007). La fórmula general para estimar las emisiones por este método es la siguiente:

$$\text{Estimación de la emisión} = \text{Datos de actividad} \times \text{Factor de emisión}$$

En la tabla 5 se presentan los factores de emisión para los vehículos que utilizan gasolina para su operación que corresponden a las características promedio del parque vehicular particular que se tenía registrado para Mexicali en 2005.

Tabla 5. Factores de emisión de GEI por la quema de combustibles fósiles.

Tipo de contaminante	Factor de emisión (gr/MJ)
CO ₂	72.098
CH ₄	0.011
N ₂ O	0.014

Fuente: elaboración propia con datos IPCC (1997)

La cantidad de emisiones de GEI se expresan en unidades estándar que posibiliten su análisis posterior y su comparación con los resultados obtenidos en otras zonas. Actualmente, los GEI se reportan como Gigagramos (Ggr) o Toneladas de CO₂e per cápita. En la tabla 6 se presentan los factores de conversión a CO₂ equivalente para los diferentes tipos de gases efecto invernadero a diferentes periodos de permanencia en la atmósfera, es decir el grado de daño equivalente del CH₄ y el N₂O con el CO₂.

Tabla 6. Factores de conversión a CO₂e por tipo de GEI.

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)

El IPCC ha adoptado una metodología que sugiere a todos los países miembros de la ONU para estandarizar el procedimiento de cálculo y poder evaluar las metas establecidas y realizar comparaciones entre ellos, en relación con los compromisos de reducción de GEI establecidos para abatir cambio climático, en cada país, región o ciudad.

3.- EL TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE MEXICALI

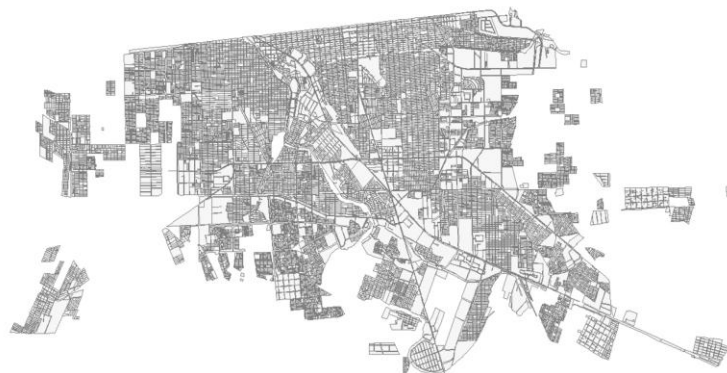
Las modalidades de transporte disponibles en Mexicali son, en el transporte particular: el automóvil, la motocicleta, la bicicleta y peatonal, y en el transporte público: el autobús, taxi de ruta y taxi sin itinerario fijo. Esta investigación se centra en la utilización de automóviles particulares en el centro de población.

3.1.- Caracterización del área de estudio

La ciudad de Mexicali es la capital del estado de Baja California, pertenece al municipio del mismo nombre. Está ubicada en las coordenadas: al Norte 32° 43', al Sur 30° 52' de latitud Norte; al este 114° 42' y al Oeste 115° 56' de longitud Oeste, dicho municipio representa el 18% de la superficie del estado (XVIII Ayuntamiento de Mexicali, 2005). Colinda al Norte con USA; al Este con USA, el Estado de Sonora y el Golfo de California; al Sur con el Golfo de California y el municipio de Ensenada; al Oeste con los municipios de Ensenada y Tecate y con Estados Unidos de América. Superficie 3,700 Km² (XVIII Ayuntamiento de Mexicali).

La traza urbana de la ciudad es una retícula limitada por la división política, su topografía es plana, la infraestructura vial consiste en una red de vialidades constituidas en diferentes jerarquías, las cuales están construidas en su mayoría de concreto asfáltico, pero aún existe una proporción de las mismas que no cuenta con ningún tipo de recubrimiento. En la figura 7 se presenta la traza de la ciudad de Mexicali.

Figura 7. Traza de la ciudad de Mexicali



Fuente: XVIII Ayuntamiento de Mexicali (2005)

3.2.- Diagnóstico

Mexicali es una ciudad fronteriza con los USA, sus habitantes utilizan el vehículo particular o el transporte público para satisfacer sus necesidades de traslado, dependiendo de sus posibilidades y las actividades que realicen, las opciones de transporte público con que cuenta son rutas de autobuses, el servicio de taxis de ruta y el de taxis de itinerario libre.

La traza vial de la ciudad es plana, presenta discontinuidades debidas a limitantes físicas como lo es la frontera internacional y a la forma de la mancha urbana que se ha desarrollado en diferentes etapas de crecimiento, por lo anterior y por los escasos corredores viales, el tráfico se concentra en unas cuantas vialidades, ocasionando demoras y congestionamientos (XVIII Ayuntamiento de Mexicali, 2005).

Debido a la condición fronteriza del estado de Baja California estado de California, USA, circula una variedad de unidades con distintas condiciones mecánicas, como autos registrados en el vecino país del norte, que deben cumplir con una serie de normas medioambientales al ser sometidos obligatoriamente a una verificación de emisiones contaminantes para obtener dicho registro, unidades registradas en nuestro estado, en el que no existe aún la obligatoriedad de cumplir con las regulaciones ambientales mencionadas y unidades irregulares que no tienen un registro al corriente en ninguno de los dos países, las cuales generalmente no cumplen con dichas regulaciones y que se pueden obtener fácilmente debido al bajo costo que representa adquirirlas en los Estados Unidos de América como producto de desecho, lo que contribuye a una creciente cantidad de vehículos en circulación y a una mayor dependencia al automóvil particular.

En el año 2005 había 684,758 habitantes (INEGI, 2005) en la ciudad de Mexicali y 854,879 habitantes en el Municipio del mismo nombre y del cual es cabecera municipal; 291,568 vehículos en circulación en el centro de población y 329,958 vehículos en el Municipio, de los cuales 97.8 % requieren de gasolina para su operación (Gobierno del Estado B. C., 2008).

En lo que respecta al parque vehicular, este pasó de 181,300 automóviles registrados en 1998 a 230,000 en 2004, lo que representa un aumento 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.

En la tabla 7 se puede observar que, para el 2005, la edad promedio de los vehículos registrados era de 11.88 años, el rendimiento del motor era de 6.7 Km/lt y el promedio de kilómetros recorridos por cada vehículo en ese año fue de 13, 937.

Tabla 7. Características del parque vehicular privado en Mexicali para 2005.

Características del parque vehicular de Mexicali en 2005	
Edad promedio	11.88 Años
Rendimiento de motor	6.7 Km/lt
Kilómetros recorridos en 2005	13,937 Km

Fuente: Galindo et Al (2009)

En la tabla 8 se aprecian los datos de población en la ciudad y municipio de Mexicali entre 1990 y 2005, mientras que en la tabla 9 se presenta la cantidad de gasolina vendida en el municipio de Mexicali entre 1990 y 2010, en miles de metros cúbicos, de acuerdo a los reportes de SENER.

Tabla 8. Población en la ciudad y el municipio de Mexicali

Año	Ciudad de Mexicali (habitantes)	Municipio de Mexicali (habitantes)
1990	464,546	601,938
1995	544,125	696,034
2000	616,895	779,154
2005	684,758	854,879

Fuente: INEGI

Tabla 9. Ventas de gasolina en el municipio de Mexicali en 2005

Año	M³
1990	443,912
1991	611,055
1992	616,200
1993	576,602
1994	579,941
1995	583,269
1996	602,161
1997	621,841
1998	626,040
1999	581,164
2000	617,100
2001	641,649
2002	579,575
2003	667,459
2004	715,375
2005	782,910
2006	835,981
2007	851,638
2008	895,389
2009	863,302
2010	887,503

Fuente: SIEE (2011)

3.3.- Estudios relacionados con la calidad del aire en Mexicali

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), el cual está compuesto de una serie de sustancias orgánicas e inorgánicas, recibe el nombre de partículas totales en suspensión, son denominadas de acuerdo a su tamaño: PM-10, PM-5 y PM-2.5, donde el número representa el tamaño de la partícula en micrones (Bull, 2003), para lo cual existen estaciones de monitoreo que realizan la medición de dichas concentraciones en el medio ambiente de la ciudad (Quintero y Vega, 2006), sin embargo, aunque tienen efectos nocivos para la salud, estas partículas no están consideradas como causantes del cambio climático, es por ello que no han sido incluidas en la presente investigación.

Autoridades de diversos niveles han implementado acciones para contrarrestar la presencia de dichas partículas en el medio ambiente como lo son el programa ProAire Mexicali 2000-2005, por parte del INE, la SEMARNAT y la participación de los tres niveles de gobierno, se buscaba diseñar e implantar acciones para controlar las fuentes contaminantes del aire en esta ciudad (Quintero y Vega, 2006). Otro programa con el mismo objetivo es el denominado Programa Integral de Pavimentación y Calidad del Aire (PIPICA) implementado por el Gobierno del Estado de Baja California, pues existe una estrecha relación entre la exposición a altas concentraciones de partículas de polvo suspendidas en el aire y la incidencia de enfermedades respiratorias las cuales, de acuerdo con el Instituto de Servicios de Salud Pública del Estado de Baja, han ido en aumento. La generación de polvo se debe principalmente al tráfico que circula por caminos sin pavimentar, factor que constituye más del 60% del inventario total de PM-10, para resolver este problema, el Estado de Baja California emprendió un programa de pavimentación a gran escala entre los años 2003 y 2007 (Banco de Desarrollo de América del Norte, 2010).

En lo que respecta a los gases efecto invernadero, se han realizado inventarios de emisiones contaminantes como el realizado en 1996 por la empresa Ingeniería en Control Ambiental y Riesgo Industrial, S. de R. L. M. I., en el cual se estudiaron los siguientes contaminantes: PM-10, SO₂, CO (monóxido de carbono) NO_x (óxidos de nitrógeno), Pb (Plomo) y NH₃ (amoníaco) provenientes de diversas fuentes, en dicho estudio de encontró que, en la ciudad de Mexicali, son los vehículos automotores la principal fuente de emisión de contaminantes a la atmósfera (EPA, 2009).

En el año 2005 se llevó a cabo el inventario de gases efecto invernadero del Estado de Baja California, por el Centro Mario Molina para el Gobierno del Estado, el cual se apegó a la guía del IPCC para la realización de este tipo de estudios, considerando las fuentes fijas de combustión como la industria manufacturera y la generación de electricidad, las fuentes móviles como el transporte terrestre y aéreo y los sectores residencial, comercial y agropecuario. El cálculo de los contaminantes fue realizado con la información obtenida de la Secretaría de Energía (SENER) y por Petróleos Mexicanos (PEMEX) sobre las ventas de combustibles correspondientes al año 2005, sus resultados fueron reportados en 2007. Este estudio se realizó en forma global para el Estado de Baja California, por lo que no se cuenta con datos desagregados para cada una de las ciudades que lo integran (Molina, 2007).

En resumen, la ciudad de Mexicali es una ciudad fronteriza con los Estados Unidos de América, con topografía plana y traza vial reticular, donde el parque vehicular ha aumentado en los últimos años, así como la proporción de viajes que se realizan en la modalidad del uso del automóvil particular, a pesar de ello, la calidad del aire no ha sido estudiada desde el cálculo de GEI a nivel local.

4.- GEI POR EL TRANSPORTE PARTICULAR DE MEXICALI

El cálculo de GEI para la ciudad de Mexicali por el autotransporte particular, en 2005, se llevó a cabo con la aplicación del Nivel I del método IPCC, primeramente a través de la información de gasolina vendida en la región, publicada por la SENER y posteriormente, calculando la gasolina consumida por el parque vehicular privado a partir de la cantidad de automóviles registrados en la Secretaría de Finanzas del Estado, el rendimiento promedio de los motores y la cantidad promedio de kilómetros recorridos por cada uno de ellos, en ambos casos, se aplicaron los factores de emisión para los siguientes GEI: CO₂, CH₄ y N₂O.

La estimación de GEI per cápita fue realizada tanto para el centro de población como para el municipio de Mexicali, con la finalidad de hacer una comparación entre dichos resultados.

4.1.- Alcances de la investigación

Para la realización de esta investigación se han seleccionado los viajes realizados en automóvil particular durante el 2005 debido a que la información con que se cuenta para este estudio corresponde al año mencionado, el área geográfica es la que corresponde al centro urbano de población de la ciudad de Mexicali y el municipio del mismo nombre, en Baja California.

4.2.- Aplicación del método del IPCC para el cálculo de GEI en Mexicali

I. A partir de los reportes de venta de gasolina en la región.

1. Datos:

- a. Combustible: De acuerdo con el reporte de la SENER, la cantidad de gasolina que se vendió en el año 2005 en la región Mexicali fue de 782,910 m³.
- b. Factores de emisión, los cuales se presentan en la tabla 5 (pág. 35), corresponden al año promedio de edad del parque vehicular, en gramos de emisión de cada tipo de contaminante por cada Megajoule (MJ) de energía consumida.
- d. De acuerdo con el INEGI (2005), la población en la ciudad de Mexicali, en 2005 fue de 684,758 habitantes, mientras que en el municipio del mismo nombre había 854,879 habitantes.

e. Los factores de conversión de los GEI a CO₂e se presentan en la tabla 8 (pág. 35).

2. Cálculos:

a. GEI: Para estimar el combustible vendido el centro urbano de población de la ciudad de Mexicali, se considera que toda la gasolina reportada se utilizó en la operación de los vehículos particulares y se le dio la proporción del municipio al centro de población a partir del porcentaje de vehículos que corresponden a cada una de las mencionadas áreas geográficas. Posteriormente, se convirtió en energía utilizada de m³ de gasolina aMJ, se aplicaron los factores de emisión para cada uno de los GEI y finalmente se convirtieron en CO₂e. En la tabla 10 se presentan estos cálculos para el municipio de Mexicali, en la tabla 11 para el centro de población, de la ciudad de Mexicali y en la tabla 12 se observan los cálculos de CO₂e per cápita para la ciudad y municipio de Mexicali en el 2005. En dichas tablas se aprecia que, a pesar de ser mayor la cantidad de CO₂e total a escala municipal, el valor de CO₂e per cápita es menor a esta misma escala.

Tabla 10. Cálculo de GEI por ventas de gasolina en el Municipio de Mexicali, 2005.

Estimación de gases efecto invernadero con el método Nivel 1 de IPCC				
Municipio de Mexicali				
Tipo de combustible: Gasolina				
Cantidad de gasolina vendida en la región en 2005: 782,910 m ³				
Energía proveniente del uso de la gasolina: 782910000x34.78=27229609800 MJ				
Tipo de contaminante	Factor de emisión gr/MJ	Cantidad estimada (ton)	Factor de conversión CO ₂ e	CO ₂ e (ton)
CO ₂	72.098	1,963,200.00	1	1,963,200
CH ₄	0.011	299.50	21	6,290
N ₂ O	0.014	381	310	118,177
Suma				2,087,667

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER e IPCC.

Tabla 11. Cálculo de GEI por ventas de gasolina en la ciudad de Mexicali, 2005.

Estimación de gases efecto invernadero con el método Nivel 1 de IPCC				
Ciudad de Mexicali				
Tipo de combustible: Gasolina				
Cantidad de gasolina vendida en la región en 2005: 691,820 m ³				
Energía proveniente del uso de la gasolina: 691820000x34.78=24061499600 MJ				
Tipo de contaminante	Factor de emisión gr/MJ	Cantidad estimada (ton)	Factor de conversión CO ₂ e	CO ₂ e (ton)
CO ₂	72.098	1,734,786	1	1,734,786
CH ₄	0.011	265	21	5,565
N ₂ O	0.014	337	310	104,427
Suma				1,844,771

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER e IPCC.

b. GEI per cápita

Tabla 12. Cálculo de GEI per cápita en 2005 por ventas de gasolina.

CO₂ equivalente per cápita en el Municipio de Mexicali		
CO ₂ e (ton)	Población (hab.)	CO ₂ e (ton/hab.)
2,087,667	854,879	2.44
CO₂ equivalente per cápita en la ciudad de Mexicali		
CO ₂ e (ton)	Población (hab.)	CO ₂ e (ton/hab.)
1,844,771	684,758	2.69

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, IPCC e INEGI.

II. A partir de información del parque vehicular y sus recorridos.

1. Datos:

- a. Vehículos: Edad, rendimiento, kilómetros recorridos, rendimiento de motor.
- b. Factores de emisión, ver tabla 7 (pág. 39).
- c. Población: en 2005, había 684,758 habitantes en la ciudad de Mexicali, mientras que a nivel municipal había 854,879 (INEGI, 2005).
- d. Tabla de conversión a CO₂e, ver Tabla 6 (pág. 35).

2. Cálculos:

En las tablas 13 y 14 se presenta el cálculo de CO₂e a partir del promedio de kilómetros recorridos en 2005 para el municipio y ciudad de Mexicali respectivamente, mientras que en la tabla 15 se presenta el CO₂e per cápita para ambos casos. En este caso, también son mayores las emisiones de CO₂e a nivel municipal, mientras que el CO₂e per cápita es menor que a nivel ciudad, además estos valores son menores a los calculados a partir de las ventas de gasolina.

Tabla 13. Cálculo de GEI por kilómetros recorridos en el municipio de Mexicali, 2005.

Estimación de gases efecto invernadero con el método Nivel 1 de IPCC				
Municipio de Mexicali				
Tipo de combustible: Gasolina				
Cantidad de gasolina consumida en 2005 329,958 veh*97.8%/6.7 km/lit X 13,937 km/veh = 671,261,926 lts de gasolina				
Energía proveniente del uso de la gasolina: 671,261,926 x34.78=23,346,489,787 MJ				
Tipo de contaminante	Factor de emisión gr/MJ	Cantidad estimada (ton)	Factor de conversión CO ₂ e	CO ₂ e (ton)
CO ₂	72.098	1,683,235	1	1,683,235
CH ₄	0.011	257	21	5,397
N ₂ O	0.014	327	310	101,324
Suma				1,789,952

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER e IPCC.

Tabla 14. Cálculo de GEI por kilómetros recorridos en el centro de población de Mexicali, 2005.

Estimación de gases efecto invernadero con el método Nivel 1 de IPCC				
Ciudad de Mexicali				
Tipo de combustible: Gasolina				
Cantidad de gasolina consumida en 2005 291,568 veh *97.8%/6.7 km/lt X 13,937 km/veh = 593,161,849 lts de gasolina				
Energía proveniente del uso de la gasolina: 593,161,849 x34.78=20,630,169,108 MJ				
Tipo de contaminante	Factor de emisión gr/MJ	Cantidad estimada (ton)	Factor de conversión CO ₂ e	CO ₂ e (ton)
CO ₂	72.098	1,487,023	1	1,487,023
CH ₄	0.011	227	21	4,767
N ₂ O	0.014	289	310	89,535
Suma				1,581,694

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER e IPCC.

Tabla 15. Cálculo de GEI per cápita por kilómetros recorridos en 2005 en el municipio y ciudad de Mexicali.

CO₂e percápita en el Municipio de Mexicali		
CO ₂ e (ton)	Población (hab.)	CO ₂ e (ton/hab.)
1,789,952	854,879	2.09
CO₂ equivalente percápita en la ciudad de Mexicali		
CO ₂ e (ton)	Población (hab.)	CO ₂ e (ton/hab.)
1,581,694	684,758	2.31

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, IPCC e INEGI.

En la tabla 16 se observa la diferencia entre el CO₂e per cápita calculado a partir de las ventas de gasolina y por la cantidad de kilómetros recorridos por automóvil por año, tanto para el municipio como para la ciudad, se puede observar que las cantidades son mayores

cuando se calculan por ventas de gasolina, y que son mayores a nivel ciudad que a escala municipal.

Tabla 16. Comparación del cálculo de GEI per cápita por ventas de gasolina y por kilómetros recorridos en 2005 en el Municipio y ciudad de Mexicali.

Zona geográfica	CO ₂ e per cápita (ton/hab.)	
	Por ventas de gasolina	Por kilómetros recorridos
Municipio de Mexicali	2.44	2.09
Ciudad de Mexicali	2.69	2.31

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER e IPCC.

4.3.- GEI otras ciudades

Debido a que no existe una normativa mundialmente aceptada para evaluar el alcance de la generación de GEI, se realizó un comparativo entre la ciudad de Mexicali y otras ciudades y países de GEI per cápita generados en 2005, la cual se observa en la tabla 17, con la finalidad de dimensionar el nivel de contaminación por GEI en esta ciudad. Para ello se utilizó información publicada por HABITAT a la cual se aplicó la proporción otorgada al transporte urbano (13%) dado por la misma publicación. Resalta la diferencia entre la ciudad de Mexicali y las ciudades de Londres, Inglaterra y Nueva York, USA que reportan casi 1.4 y 1.5 ton/hab. menos que Mexicali, respectivamente, mientras que la ciudad de Washington, USA emitió 0.25 ton/hab. más que Mexicali.

Tabla 17. Comparación de emisiones de GEI per cápita.

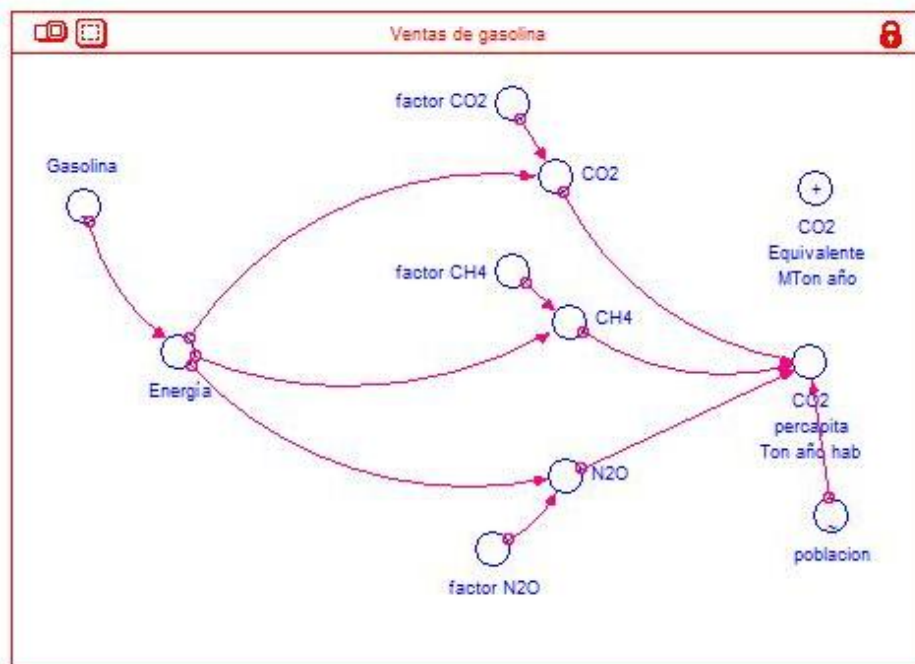
Ciudad	CO ₂ equivalente (ton/habitante)	Diferencia
Mexicali, B. C.	2.31	0
Washington D. C., USA	2.561	0.2511
Londres, Inglaterra	0.923	-1.3869
Nueva York	0.806	-1.5039

Fuente: Elaboración propia con datos de UN-Hábitat.

5.- PROYECCIÓN DE GEI EN MEXICALI

El planteamiento de escenarios para la proyección de emisiones está basado en dos contextos relacionados a la cuantificación de emisiones evitadas por las acciones que se realicen para el mejor aprovechamiento de la energía, por ejemplo, en el escenario base se presupone que no se implementarán medidas de un mejor aprovechamiento de la energía, en el supuesto de que las tendencias en el consumo de la misma continuarán con el mismo comportamiento. El planteamiento de otros escenarios presupone la implementación de medidas para el aprovechamiento sustentable de la energía con la finalidad de lograr un abatimiento en su consumo. Se realiza el análisis incorporando los efectos de la implementación de acciones de aprovechamiento de energía consideradas, ya sea en forma inmediata o gradual cuantificando las emisiones de GEI como consecuencia de tales acciones (INE, 2009). En esta investigación se utilizó el programa informático de simulación denominado Stella para la proyección de las emisiones al 2030. El modelo basado en ventas de gasolina se puede observar en la figura 8, donde se presentan las variables involucradas que son, la propia venta de combustible, la conversión a energía consumida, en MJ, los factores de emisión y la población, así como la relación entre ellas.

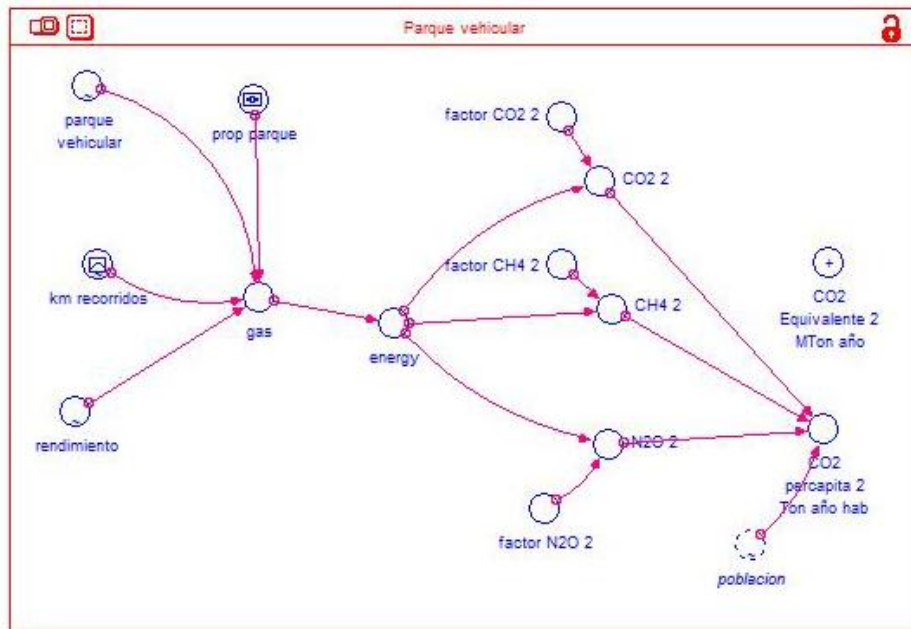
Figura 8. Modelo de proyección de emisiones por ventas de gasolina



Fuente: Elaboración propia en el programa informático Stella.

En la figura 9 se presenta el modelo para la predicción de GEI a partir del parque vehicular, los kilómetros recorridos anualmente por cada vehículo, el rendimiento de los motores, la conversión a energía consumida, en Megajoules, los factores de emisión y la población, en la figura se puede observar la relación entre las variables antes mencionadas.

Figura 9. Modelo de proyección de GEI basado en kilómetros recorridos.



Fuente: Elaboración propia en el programa informático Stella.

La finalidad de la simulación del escenario base es la de observar la tendencia en la generación de emisiones tipo GEI, mientras que en otros escenarios el propósito es el de observar la magnitud de la diferencia con el escenario base, así como también, verificar la utilidad de la modelación de los sistemas para la evaluación de acciones que incidan en las variables que lo componen y/o sus relaciones al modificar sus características o comportamiento.

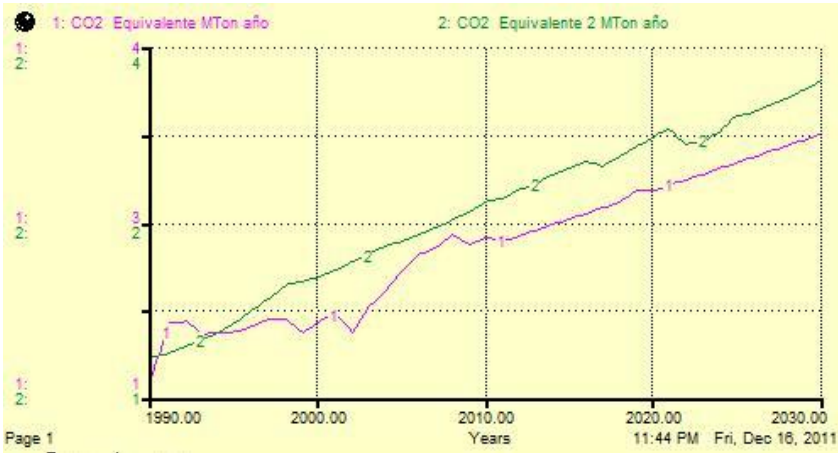
5.1.- Escenario base

El planteamiento de este escenario supone que no se llevarán a cabo acciones con el fin de reducir la generación de GEI, en el caso de este trabajo, esto significa que la venta de

gasolina continuará como se ha venido presentando en los últimos años, que no se realizarán mejoras tecnológicas en los automóviles que representen mejores rendimientos de combustible, cambios en el tipo de combustible utilizado ni tampoco para reducir el número de viajes realizados o la distancia recorrida en cada uno de ellos. Este escenario se considera el escenario base para la evaluación de propuestas de mitigación de GEI.

En la figura 10, representada por la línea uno, se observa la tendencia de las emisiones de CO₂e a partir de la venta de gasolina si no se llevan a cabo acciones para desincentivar su consumo en los próximos años, en la misma figura, con la línea número dos, se presenta la proyección de dichos contaminantes basada en la cantidad de kilómetros recorridos, el parque vehicular y el rendimiento promedio de sus motores para cada año. Se puede observar que, basada en ventas de gasolina, la cantidad de GEI quedaría subestimada en relación al cálculo a futuro fundado en la dinámica del parque vehicular, ya que, para el año 2030, la primera llega a 3, mientras que la segunda llega casi a 4 megatoneladas (MT) por año.

Figura 10. Proyección de GEI en Mexicali al 2030

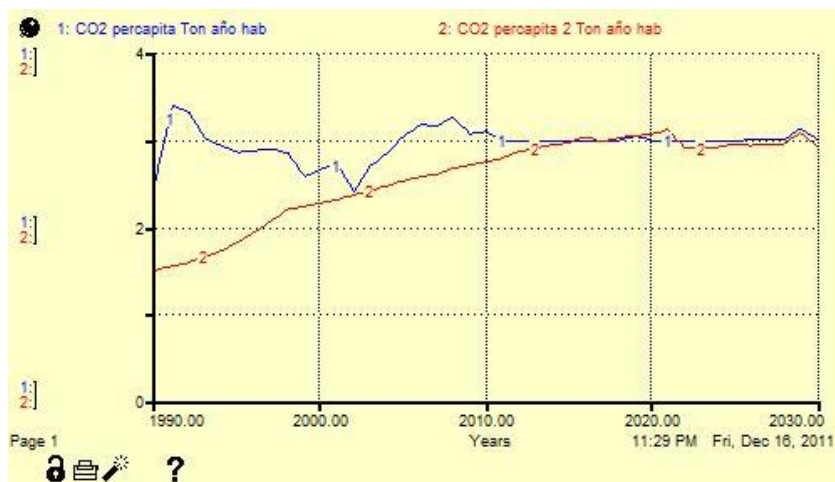


Fuente: Elaboración propia en el programa informático Stella.

En la figura 11 se presenta la predicción de GEI per cápita si no se llevan a cabo acciones para desincentivar su consumo en los próximos años, la línea uno representa la tendencia de las emisiones a partir de la venta de gasolina, en la misma figura, con la línea número dos, se presenta la proyección de dichos contaminantes per cápita basada en la cantidad de kilómetros recorridos, el parque vehicular y el rendimiento promedio de sus motores para

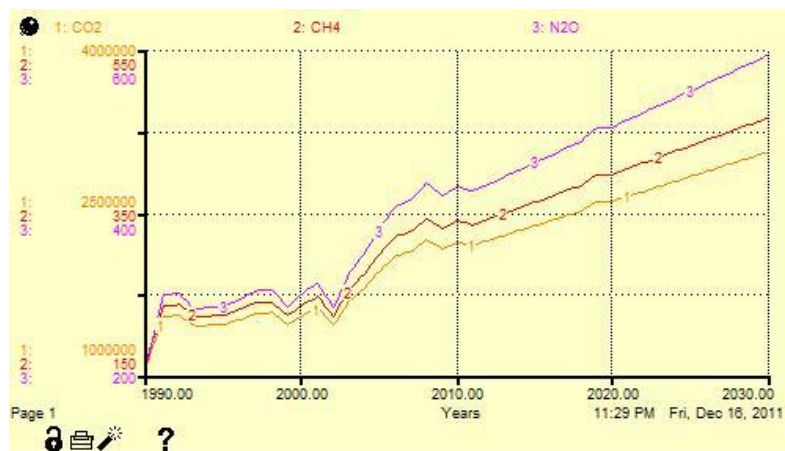
cada año. Se puede observar que, a partir del año 2015 tanto las emisiones basadas en ventas de gasolina como en el parque vehicular presentan un comportamiento similar, ya que ambas oscilan en valores de 3 ton/año/hab. de CO₂e, sin embargo, de acuerdo a la figura 10, se puede deducir que la población aumenta en mayor proporción que las emisiones, lo que disminuye la cantidad per cápita. En la figura 12 observa la tendencia de crecimiento de cada uno de los tipos de GEI, los cuales presentan un crecimiento distinto, ya que la pendiente de crecimiento del N₂O es mayor que la del CH₄ y esta a su vez, es mayor que la del CO₂ a partir del año 2005.

Figura 11. Proyección de GEI per cápita en Mexicali al 2030



Fuente: Elaboración propia en el programa informático Stella.

Figura 12. Proyección de cada tipo de GEI en Mexicali al 2030



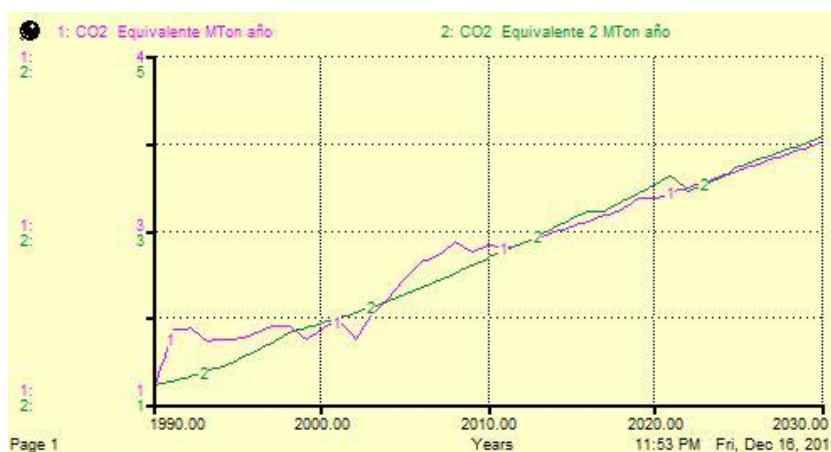
Fuente: Elaboración propia en el programa informático Stella.

5.2.- Escenario A: basado en la utilización energías limpias

Este planteamiento esta relacionado con la utilización de energéticos distintos a la gasolina para la operación de las unidades de transporte, que es una las acciones que se han propuesto para disminuir la generación de GEI en este sector. Para la evaluación de este escenario se considera que solo el 90% de vehículos utilizan gasolina, mientras que el otro 10% opera con energías limpias, es decir que no generan contaminantes tipo GEI.

En la figura 13 se observa que con la aplicación de esta medida los GEI disminuyen de 3.9 a 3.8 MT de CO₂e respecto del escenario base.

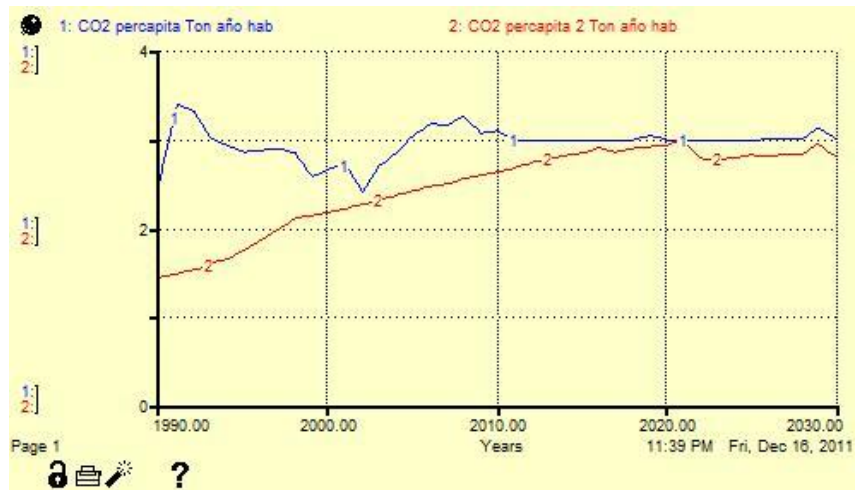
Figura 13. Proyección de GEI en Mexicali al 2030, considerando el 90% de vehículos a gasolina



Fuente: Elaboración propia en el programa informático Stella.

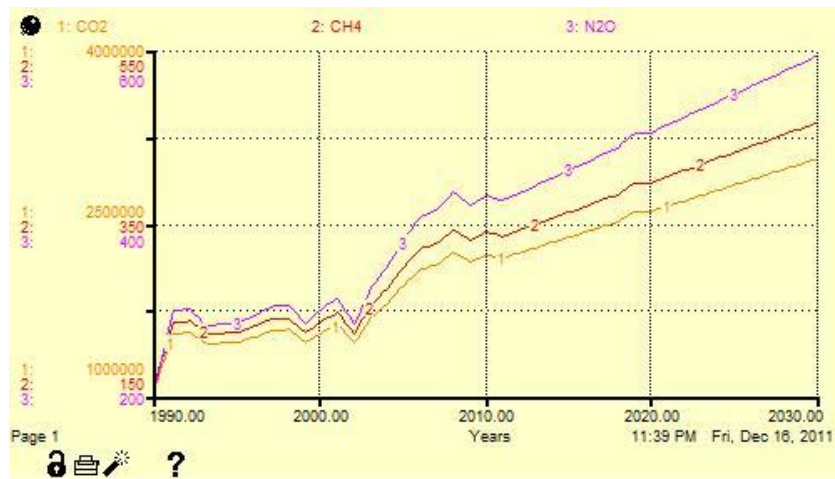
En la figura 14 se aprecia una disminución de 3 a 2.9 ton/año/hab en las emisiones de CO₂e, respecto al escenario base, la figura 15 muestra el mismo patrón de crecimiento de cada tipo de GEI que en el escenario base, es decir, la pendiente de crecimiento del N₂O es mayor que la del CH₄ y esta a su vez, es mayor que la del CO₂ a partir del año 2005.

Figura 14. Proyección de GEI per cápita en Mexicali al 2030 considerando el 90% de vehículos a gasolina



Fuente: Elaboración propia en el programa informático Stella.

Figura 15. Proyección de GEI por tipo en Mexicali al 2030 considerando el 90% de vehículos a gasolina



Fuente: Elaboración propia en el programa informático Stella.

5.3.- Escenario B: basado en la disminución de kilómetros recorridos por automóvil

En este escenario se ha considerado la propuesta de disminución de GEI por el transporte basado en la disminución de la cantidad de kilómetros que recorre anualmente en promedio un automóvil particular, esta acción esta relacionada con una mayor utilización del

transporte público, una disminución en la cantidad y longitud de viajes realizados en automóvil particular o un aumento en la ocupación vehicular.

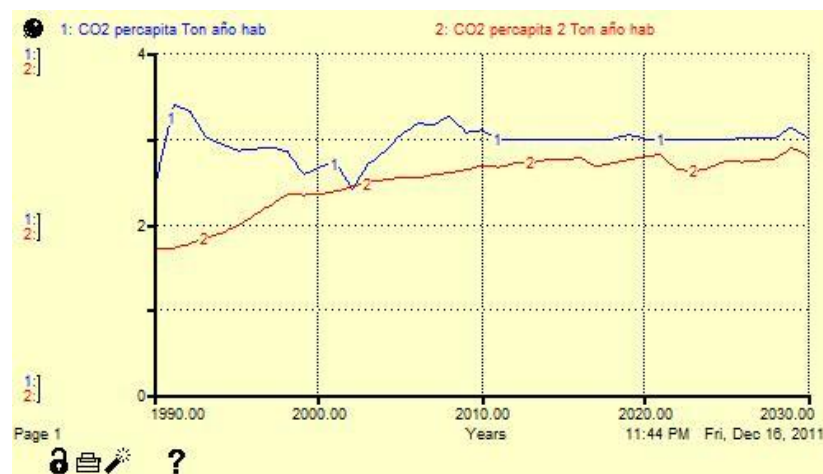
En la figura 16 se observa que, si se logra una disminución en la cantidad de kilómetros recorridos se tendría una reducción de CO₂e de 3.9 a 3.8 MT respecto del escenario base. En la figura 17 se aprecia una disminución de 3 a 2.9 ton/año/hab en las emisiones de CO₂e, respecto al escenario base, la figura 18 muestra el mismo patrón de crecimiento de cada tipo de GEI que en el escenario base, es decir, la pendiente de crecimiento del N₂O es mayor que la del CH₄ y esta a su vez, es mayor que la del CO₂ a partir del año 2005.

Figura 16. Proyección de GEI en Mexicali al 2030 considerando una disminución en la cantidad de kilómetros recorridos por cada vehículo



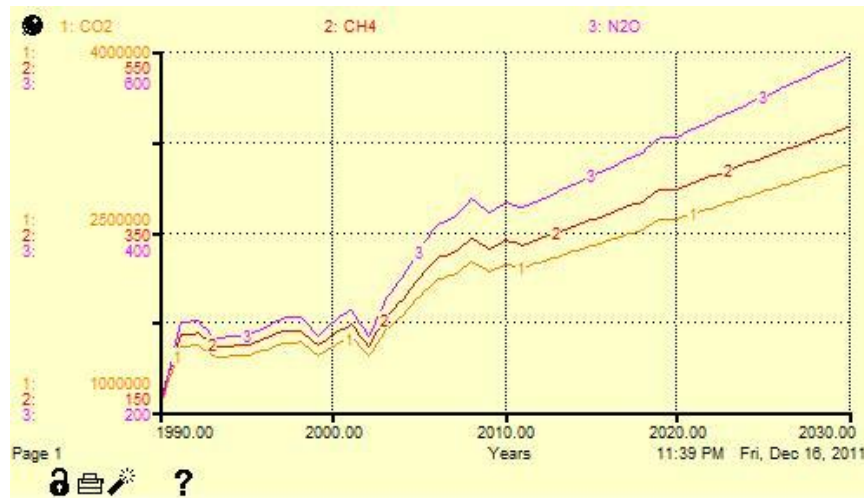
Fuente: Elaboración propia en el programa informático Stella.

Figura 17. Proyección de GEI per cápita en Mexicali al 2030 considerando un aumento en el rendimiento de los motores de vehículos



Fuente: Elaboración propia en el programa informático Stella.

Figura 18. Proyección de GEI por tipo en Mexicali al 2030 considerando un aumento en el rendimiento de los motores de vehículos



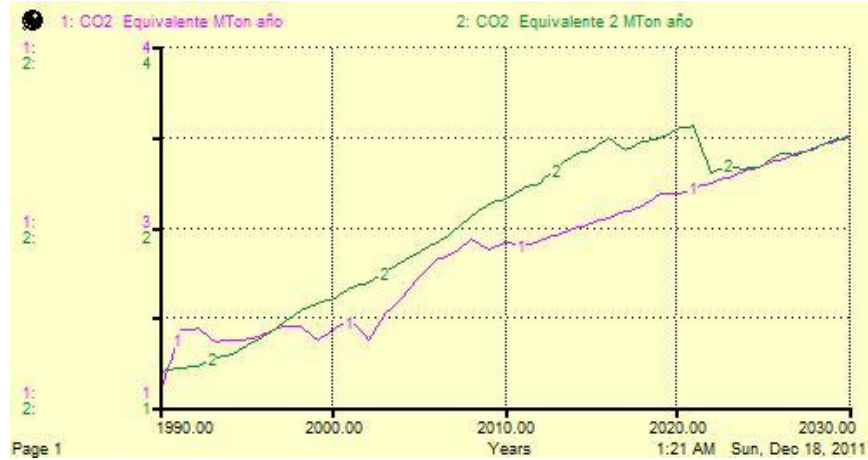
Fuente: Elaboración propia en el programa informático Stella.

5.4.- Escenario C: basado en mejorar el rendimiento de los motores de vehículos

En este escenario se evalúa la propuesta de mejorar la tecnología utilizada para la operación de vehículos autopropulsados, consistente en mejorar el rendimiento promedio de los motores de vehículos, es decir, que sea posible recorrer mayores distancias con la misma unidad de combustible, por ejemplo, Km/litro. Esto puede ser posible a través del establecimiento de normas que obliguen a los fabricantes de automóviles a que realicen cambios periódicamente en los motores o sistemas de combustión para lograr lo antes mencionado, así como con un cambio gradual en la edad de los vehículos en circulación con programas de apoyo económico o financiero para la sustitución de vehículos con antigüedad mayor a 10 años.

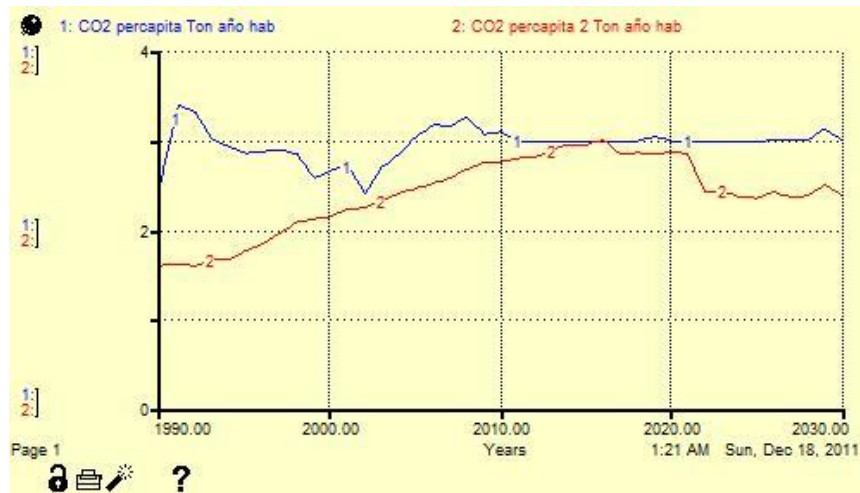
En la figura 19 se observa una reducción de 3.9 a 3.5 en las emisiones de CO₂e, respecto al escenario base, mientras que en la figura 20 se aprecia una disminución de 3 a 2.5 ton/año/hab en las emisiones de CO₂e per cápita respecto al escenario base, la figura 21 muestra el mismo patrón de crecimiento de cada tipo de GEI que en el escenario base, es decir, la pendiente de crecimiento del N₂O es mayor que la del CH₄ y esta a su vez, es mayor que la del CO₂ a partir del año 2005.

Figura 19. Proyección de GEI en Mexicali al 2030 considerando un aumento en el rendimiento de los motores de vehículos



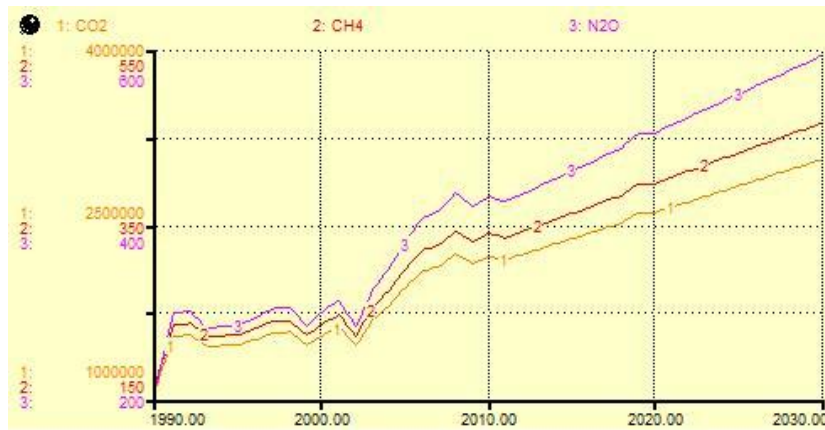
Fuente: Elaboración propia en el programa informático Stella.

Figura 20. Proyección de GEI per cápita en Mexicali al 2030 considerando un aumento en el rendimiento de los motores de vehículos



Fuente: Elaboración propia en el programa informático Stella.

Figura 21. Proyección de GEI por tipo en Mexicali al 2030 considerando un aumento en el rendimiento de los motores de vehículos



Fuente: Elaboración propia en el programa informático Stella.

En la tabla 18 se presentan los resultados de la simulación de los escenarios descritos anteriormente, donde se observa la cantidad de CO₂e total en MT y de CO₂e per cápita en ton/año/hab disminuyen con respecto al escenario base al evaluar la implementación de acciones de reducción de emisiones de GEI. Por otro lado, el CO₂

Tabla 18. Resumen de los resultados de la simulación de los escenarios en base a los kilómetros recorridos

Escenario	CO ₂ e	
	Total (MT)	Per cápita (ton/año/hab)
Base	3.9	3.0
A	3.8	2.9
B	3.8	2.9
C	3.5	2.5

Fuente: Elaboración propia a partir de los Resultados en Stella

El planteamiento de modelos y el uso de simulación son herramientas para el cálculo y proyección de GEI, 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 mitigación de dichas emisiones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos nos arrojan diferencias en la estimación de los gases efecto invernadero en ton/hab. de CO₂e, según la información utilizada para ello, por ejemplo, a partir de las ventas de gasolina fue de 2.69 ton/año/hab. para la ciudad de Mexicali, mientras que, cuando se calcularon partir de los kilómetros recorridos el resultado fue 2.31 ton/año/hab., lo que representa una incertidumbre para el cálculo de este tipo de emisiones, pues la información no es consistente o no se encuentra a la misma escala o nivel de desagregación. Lo mismo sucede cuando se realizan proyecciones de GEI pues nos arroja resultados muy diferentes dependiendo de las variables que se involucren en este proceso.

De la evaluación de los diferentes escenarios de emisiones se puede deducir que es posible disminuir la cantidad de GEI generados por el sector transporte, con acciones como la utilización de energías limpias para la operación de los vehículos, la disminución de la cantidad de kilómetros recorridos por cada unidad o el mejoramiento de la tecnología de combustión de los motores a través del aumento en el rendimiento de los combustibles utilizados o la disminución de la antigüedad de vehículos en circulación, lo cual puede servir de base para el establecimiento de políticas públicas o la propuesta de acciones de mitigación de GEI y su consecuente abatimiento de los efectos del cambio climático.

Debido a que no existe una normatividad o legislación que establezca límites en la cantidad de GEI, se debe recurrir a otros mecanismos de evaluación, como es el de comparar la cantidad de GEI que son generados por cada país, pero no siempre se tiene la disponibilidad de información en iguales circunstancias para enfrentar los resultados obtenidos, lo que representa una desventaja para algunos de ellos. Por otro lado, el hecho de que se utilice la cantidad de emisiones per cápita para reportar y comparar los GEI puede significar un perjuicio debido a que, en algunos casos, los patrones de crecimiento de la población son mayores a las tasas de generación de GEI, como se pudo observar en la figura 2 de este trabajo, o bien la densidad de población cambia significativamente los resultados, como se pudo observar en la tabla 16 de este trabajo, donde se aprecia la generación de CO₂e para la ciudad y el municipio de Mexicali.

No existe información desagregada en nuestro país para la estimación de este tipo de emisiones, además, a nivel internacional la información disponible para realizar

comparativos de estas emisiones no siempre se encuentra estandarizada, de tal manera que no es posible realizar comparaciones entre la generación de GEI, por otro lado, algunos países desarrollados tienen industrias establecidas en países en desarrollo, por lo que las emisiones generadas se atribuyen a los países donde se lleva a cabo la producción de insumos.

Es necesario llevar a cabo acciones que desincentiven el uso del automóvil particular para mitigar la generación de gases efecto invernadero por esta fuente, así como su acumulación en la atmósfera, o bien, proponer medidas tendientes a optimizar los viajes que realice la población a través de mejoras tecnológicas, de infraestructura y medios de transporte alternativos a través de la inserción del tema de mitigación del cambio climático en las políticas públicas.

Existen acuerdos y compromisos firmados por México como país para luchar contra el cambio climático, los cuales se encuentran contenidos en diversos instrumentos de planeación que amparan políticas públicas encaminadas al cumplimiento de las obligaciones adquiridas, sin embargo, es necesario el diseño de acciones locales y regionales que permitan enfrentar los posibles efectos del cambio climático de la mejor manera posible, en un contexto particular, de acuerdo a la vulnerabilidad identificada en cada región para cada uno de los sectores que lo integran.

Las investigaciones y estudios que se han llevado a cabo sobre este tema han sido a escala nacional pero a nivel estatal y local han sido escasas. A nivel municipal en Baja California es poco lo que se ha hecho para integrar este tipo de políticas en sus instrumentos de planeación aun cuando la legislación establece que los ayuntamientos deben tomar los planes nacionales y estatales de desarrollo como base para la elaboración de los propios, no existen tampoco Agenda 21 local para ninguno de los cinco municipios que lo integran, a pesar de ser un compromiso adquirido a nivel nacional.

En Baja California, aunque en el PED-BC 2008-2013 ya se contempla la necesidad de realizar un inventario de gases efecto invernadero, es necesario resaltar la importancia de su elaboración ya que está relacionado con aspectos tan importantes como las actividades productivas, el mejor aprovechamiento de la energía, el desarrollo urbano, el transporte, la calidad de vida y salud de la población así como el cuidado y protección de los recursos

naturales y el ambiente; sin embargo, para que dicho inventario pueda llevarse a cabo en forma minuciosa y adecuada debe estar contemplado en forma detallada en instrumentos de planeación como lo son los planes estatales de desarrollo e incluidos en la normatividad para que las acciones propuestas tengan validez y fuerza jurídica.

La cuantificación de emisiones tipo GEI es una herramienta para la toma de decisiones ya que permite identificar y contabilizar las principales emisiones, distinguir sus aportaciones por fuente de emisión para orientar las medidas de mitigación a considerarse en los programas de gestión de la calidad del aire, estimar la calidad del aire futura a través de modelación y datos sobre distribución espacial y temporal de las emisiones, determinar tendencias, evaluar los efectos de las medidas de control en las tasas de emisiones de una región, apoyar el establecimiento de programas de intercambio de emisiones así como dar a conocer el reporte de emisiones de las fuentes ya que en México se tiene un compromiso internacional para integrar inventarios de emisiones GEI.

Por otro lado, se recomienda la creación de una base de datos estadísticos a nivel local, relacionados con el patrón de viajes, kilómetros recorridos y consumo energético por el parque vehicular que sea accesible para estudios de investigación acerca de la contaminación con la finalidad de establecer medidas de adaptación y mitigación ante este fenómeno, así como establecer parámetros para la realización de comparativos y medición de metas alcanzadas dentro y entre países por la generación de GEI.

Es necesaria una mayor coordinación entre los tres niveles de gobierno en nuestro país para lograr incluir el tema de la mitigación y adaptación al cambio climático en los instrumentos de planeación del estado de Baja California, propiciando la participación y colaboración de los sectores sociales y productivos.

Es necesario incentivar la promulgación de políticas estatales y locales de mitigación y adaptación al cambio climático, pues tienen mejores oportunidades de éxito si se diseñan e instrumentan en los niveles estatal o local.

La realización de estudios para analizar la causa del aumento en el parque vehicular privado, por motivo del funcionamiento del sistema de transporte público, la forma urbana y su crecimiento, la distribución de usos de suelo.

BIBLIOGRAFÍA

Banco de Desarrollo de América del Norte (2010). Pagina web consultada en mayo del 2010 en:

http://www.nadb.org/espanol/pdfs/cartera_de_proyectos/FS%20Baja%20California%20AQ_%2007-03%20_Span_.pdf.

Banco mundial. (2010). Climate change and the World Bank. Consultado en mayo del 2010 <http://beta.worldbank.org/climatechange/overview>.

Bazant, J. (1998). Manual de diseño urbano. Trillas. México

Boarnet, M. y Sarmiento, M. (2001). Travel by design. The influence of urban form in travel. Oxford University Press.

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.

Cal y Mayor R. y Cárdenas J. 2007. Fundamentos y Aplicaciones de Ingeniería de Tránsito. Alfaomega. México.

Cárdenas, L. (1999). Definición de un marco teórico para comprender el concepto de desarrollo sustentable. Revista de Urbanismo. Chile.

Carter, T. (2007). General Guidelines on the use of escenario data for climate impact and adaptation assessment. Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment (TGICA).

Cervero, R. (1988). America's suburban centers. Land Use Transportation Link. Rotledge. USA.

Cervero R. y Kockelman K. (1997). Travel demand and the 3D'S: density, diversity and design. In Transportación Research Part D: transport and environment. Volumen 2, Issue 3. P. 199-219.

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.

Dahiya, B. y Pugh, C. (2000). The location of Agenda 21 and the sustainable cities programme, en Pugh, C. 2000. Sustainable cities in developing countries. pp. 152-184. Earthscan, UK.

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>.

EPA. (1999). Inventario de emisiones de Mexicali. Consultado en <http://www.epa.gov/ttn/catc1/dir1/mexicali.pdf> en mayo del 2009.

Galindo et Al. (2009). Escenarios, evaluación y propuestas de adaptación y mitigación en transporte terrestre de Baja California, primer reporte. Instituto de Ingeniería UABC. Mexicali, B. C., México.

Gallopín, G. (2003) Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. Chile, 2003. United Nations Publications.

Gibson, R. (2005). Sustainability assesment: criteria, processes and applications. Earthscan. London.

Gobierno del Distrito Federal. (GDF). (2011). Consultado en 2011 en: <http://www.setravi.df.gob.mx/wb/stv/programas>

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>.

Gómez, C. (2000). Población, Medio Ambiente y Crecimiento Económico: ¿Tres Piezas Incompatibles del Desarrollo Sostenible?. En hacia un desarrollo económico y medioambiental sostenible. Vol. VII p. 243-260. España.

Gordon. (2004). Forecasting urban futures: a systems analitycal 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.

Grant William (1997). Ecology and natural resource management: Systems analysis and simulation. John Wiley & Sons, Inc.

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.

INEGI. (2005). I Censo de Población y vivienda. México.

INE. (2009). Página web del Instituto Nacional de Ecología. Consultado el 4 de octubre del 2009 en: http://cambio_climatico.ine.gob.mx.

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>

ISEE Systems. (1985). Stella, systems thinking for education and research. Consultado en 2011 en: <http://www.iseesystems.com/software/education/StellaSoftware.aspx>

Leitmann. J. (1999). Sustaining Cities Environmental Planning and Management in Urban Design. Capítulo 4, pp. 108-134. MacGraw Hill.

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.

Molina, M. (2007). Inventario de emisiones de gases efecto invernadero del estado de Baja California 2005.

Newman, P. (1996). Reducing Automobile Dependence. In Satterwaite, D. The Earthscan Reader in Sustainable Cities. Earthscan Publications, London.

Newman, P. y Kenworthy, J. (2000=). The ten myths of automobile dependence. In Word Transport Police and Practice. Vol. 6. No. 1. P. 15-25.

ONU (1998) Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas. Consultado el 04 de octubre del 2009 en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>).

ONU. (2009a). Consultado en octubre del 2009 en: <http://www.pnuma.org/ozono/Espanol/index.php>.

ONU. (2009b). Consultado en octubre de 2009 en: http://www.cinu.org.mx/ninos/html/onu_n5.htm.

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.

Ramirez, D. (2009). Publican reglas para la chatarrización de automóviles. Consultado en 2011 en : http://www.t21.com.mx/news/news_display.php?story_id=10905

Red de Energía. (2009). Cambio climático. Consultado en 2009 en <http://reddeenergia.com>

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.

Rodríguez, J. (2003). Desarrollo y sostenibilidad. Universidad de Gotemburgo. Suecia.

Salinas, E. y Middleton, J. (2007). “La ecología del paisaje como base para el desarrollo sustentable en América Latina”. Canadá.

Satterwaite, D. (2004). *The Earthscan Reader in Sustainable Cities*. Earthscan Publications, London.

SEMARNAT. (2006). *Hacia una Estrategia Nacional de Acción Climática*. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. México.

SENER. (2009). *Metodologías para la cuantificación de emisiones de GEI y de consumos energéticos evitados por el aprovechamiento sustentable de la energía*. México.

SIEE. (2011). *Volumen de ventas internas de petrolíferos por entidad federativa*. Consultado en 2011 en: <http://sie.energia.gob.mx/sie/bdiController?action=login>

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/>

UN- Hábitat. *Página web de Hábitat*. Consultada en mayo del 2010 en: <http://www.onuhabitat.org>.

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.

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.