

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN

*Energías alternativas y Desarrollo: El Sector  
Transporte en la Zona Metropolitana del  
Valle de México (1990-2006)*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTOR EN ECONOMÍA**

P R E S E N T A:

ERIC URIAS ROMERO

DIRECTOR DE TESIS: DR. CÉSAR ADRIÁN RAMÍREZ MIRANDA

*México D.F., Junio de 2010.*



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# ***Agradecimientos***

## *Agradecimientos*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México*

*Por la educación integral que me proporcionó a lo largo de mis estudios.*

*A la Facultad de Estudios Superiores Aragón*

*Porque a través de sus aulas me fui formado como Doctor de profesión y espíritu.*

*Al Programa de Becas Para Estudios de Posgrado de La UNAM*

*Porque sin su soporte económico no hubiera sido posible la conclusión de esta investigación.*

*Al Dr. César Adrián Ramírez Miranda*

*Por la guía que me ha brindado tanto en la realización de este trabajo, así como en mi formación integral.*

*Al Dr. Darío Ibarra Zabala*

*Por sus consejos y respaldo en la elaboración de este trabajo.*

*Al Dr. José Luis Martínez Marca*

*Por su apoyo durante toda el doctorado.*

*A mis sinodales*

*Muchas gracias por sus sabios consejos en la elaboración de este trabajo.*

*A Alejandra mi madre*

*Por darme la vida y brindarme tanto amor a lo largo de mi vida.*

*A Francisco y Oscar mis hermanos*

*Por estar presentes en todos los momentos de vida*

*A mis abuelos Pedro y Raquel*

*Por trato amoroso de hijo que me dieron en todo momento.*

*A mi tía Verónica*

*Por el apoyo que jamás olvidaré.*

*A todos mis tíos y familiares*

*Por acompañarme en los éxitos y en las situaciones difíciles.*

*A mis amigos*

*Por brindarme su Amistad y compartir tantos momentos de alegría.*

*Por ser parte de mi vida*

*Gracias*

*Eric*

---

# *Índice*

**Índice**

<i>Introducción</i>	9
<i>Capítulo I.- Metrópolis: Ecosistemas Urbanos</i>	16
1.1 Crecimiento en las metrópolis: Consecuencias para su desarrollo sustentable	17
1.2 Modelo de ciudad Sustentable	38
1.3 Evolución de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)	67
1.4 Posturas del pensamiento económico sobre la problemática ambiental	86
<i>Capítulo II.- Situación Legal y Atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México</i>	102
2.1 Leyes que regulan el medio ambiente en la Zona Metropolitana	103
2.2 Situación ambiental en México	116
2.3 La problemática de la contaminación en la ZMVM	130
<i>Capítulo III.- Combustibles Alternativos y Uso Eficiente de la Energía</i>	155
3.1 Combustibles Alternativos	156
3.2 Medidas para hacer más Eficiente el Uso de la Energía en el transporte	176
3.3 Comparación entre los combustibles tradicionales y los Combustibles Alternativos	193
<i>Capítulo IV.- Reciclaje: Fuente de Energía y de Reducción de la Contaminación</i>	210
4.1 Costos Sociales de los biocombustibles	211
4.2 Materias primas recicladas para producir biocombustibles	223

***Energías alternativas y Desarrollo: El Sector Transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México (1990-2006)***

---

4.3 Modelo continuo de Solow con reciclaje	243
Conclusiones	258
Bibliografía	263



---

# ***Introducción***

## ***Introducción***

En la actualidad por la naturaleza de las actividades económicas el espacio en que estas se desarrollan es predominantemente urbano y esto conjetura la congregación de los factores productivos, de las unidades económicas y en sí de la actividad productiva en las grandes metrópolis, trayendo como consecuencia la expansión de las zonas urbanas como efecto directo del incremento de la densidad poblacional y la inherente acumulación territorial. Es en estas ciudades donde se da la concentración y acumulación de la riqueza y consecuentemente de los lazos con la globalización económica, y en la que al mismo tiempo se presentan severas inequidades y exclusiones sociales resultando en una creciente pobreza urbana, todo esto aunado a un patrón de consumo energético irracional con grandes implicaciones en la degradación ambiental por el incremento de la contaminación (Rocha, 2008; Winchester, 2006).

El transporte de pasajeros y mercancías destaca entre los innumerables retos que enfrentan los administradores de las metrópolis, ya que es de vital importancia porque implica la movilidad de la población y de los bienes que satisfacen sus necesidades. La forma de acceder a los mercados de trabajo y vivienda, así como a los de bienes y servicios, se realiza a través del sistema de transporte en sus diversos modos disponibles en la ciudad, tanto público como privado (Graizbord, 2005).

El fenómeno de la expansión metropolitana también está delineando retos a los sistemas viales y de transporte, más específicamente en lo correspondiente a su viabilidad económica y sus efectos regresivos respecto a tiempo de traslado así como su costo y acceso para los sectores poblacionales de escasos recursos. En América Latina el funcionamiento del transporte urbano requiere del 3.5% del PIB; así mismo el costo del tiempo que se invierte en cada viaje equivale a otro 3% (Winchester, 2006).

El capitalismo contemporáneo enfrenta uno de sus principales desafíos en el consumo de energía fósil. Este sistema económico mundial fundó nuevas estructuras comerciales, estructuras que a su vez han originado una transformación importante del carácter de los

procesos y condiciones en el transporte, cuya relación espacio-tiempo se ha modificado considerablemente. En este sentido, y en el marco del sistema económico predominante, el transporte constituye la base del comercio y de un sin número de actividades cotidianas.

El transporte es una actividad, que además de su obvio beneficio en el traslado de personas y mercancías, ha estado siempre ligada a algún tipo de externalidad en contra de los habitantes que sirve. Uno de los mayores problemas que enfrentan las grandes ciudades de los países con economías emergentes, como la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es el de la contaminación ambiental. Estas megalópolis socialmente excluyentes y polarizadas enfrentan problemas de ineficiencia comunes y de amenaza a la salud pública, provocadas por el transporte ya que esta diligencia tiene una profunda influencia en la calidad de vida de sus habitantes. Destacando que el uso de energía en el sector transporte es el principal causante de las emisiones contaminantes a la atmósfera en la ZMVM.

Con el transcurso del tiempo, se ha incrementado paulatinamente la dependencia del hombre por los recursos energéticos. Para el ser humano de la época actual, no es concebible la vida cotidiana sin iluminación, calefacción, refrigeración o transporte. Esta necesidad energética, se ha transformado en un exceso de demanda, especialmente de combustibles fósiles, los cuales son recursos no renovables (Isgro, 2006).

Hoy por hoy, el planeta se encuentra en un periodo de crisis energética, ya que en las próximas décadas, la producción global de petróleo comenzará a decaer, al haber alcanzado en la actualidad el límite de producción, mientras la demanda mundial no deja de aumentar. El conflicto resultante de este consumo excesivo de petróleo aunado a la disminución de la producción, es ineludible, como resultado de la importante dependencia de nuestras economías respecto del petróleo.

En los próximos años, en México se incrementará el consumo de energía en un 110 %, y con ello aumentará en un 50 % las emisiones totales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), lo que supondrá un incremento en la demanda de recursos naturales. Ante este panorama, en el ámbito público y privado deben estar vigentes las cuestiones de la sustentabilidad, y la

observación de aspectos técnicos, económicos y del medio ambiente, vinculados a los sociales (Palafox, 2008).

Respecto del consumo de los productos petrolíferos, se distingue el caso del transporte nacional, sobre todo en lo que respecta a la gasolina y a el diesel, donde su participación es de 93.9% y de 67%, respectivamente. Por ello cobra relevancia realizar acciones sobre este sector para disminuir la demanda que se han incrementado de manera importante en los últimos años (Montiel, 2008). Bajo esta perspectiva, la crisis energética es sobre todo una crisis del sistema de transporte.

La contaminación atmosférica tiene efectos a nivel local, regional y global. México enfrenta problemas de calidad del aire en sus principales zonas metropolitanas, destacando el Valle de México como el caso más conocido y documentado. La calidad del aire es una preocupación permanente, ya que los signos más notorios de la disminución en su calidad, como la afectación a la visibilidad y el incremento en las molestias y enfermedades asociadas a la contaminación, son ya cotidianos en las principales ciudades del país (Urias, 2006).

En la ZMVM se han desarrollado inventarios cada dos años, desde 1994 hasta la fecha, lo que permite realizar una descripción secuencial de los cambios en las emisiones. La información de referencia fue la publicada en el inventario de emisiones de la ZMVM 2002. En este inventario, se observa una reducción de 1994 a 1998, del total de contaminantes emitidos, con un leve incremento en los siguientes años. Consistentemente el CO ha sido el contaminante que más se ha emitido durante todo este periodo, con casi dos terceras partes del total de emisiones. (SEMARNAT, 2005).

El inventario de emisiones en la ZMVM de 2002 también incluye los volúmenes de gases de efecto invernadero (GEI) generados por los sectores: transporte, industria, residencial/comercial y servicios. Para dicha estimación se emplearon los factores de emisión propuestos por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. Conforme con este inventario, las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en 2002 para el Valle de México

ascendieron a 35.9 millones de toneladas, de las cuales 35.5 millones de toneladas (99%) fueron generadas por el proceso de ignición de combustibles fósiles por los cuatro sectores considerados y 0.4 millones de toneladas (1%) por el proceso de degradación de residuos sólidos municipales (SEMARNAT, 2005)

Las cifras muestran que el transporte es el mayor emisor, de los cuatro sectores, generando el 57% del CO<sub>2</sub> y que el 44% de dichas emisiones son producidas por la combustión de gasolina; el sector industrial representa una tercera parte de las emisiones, acentuando por la quema de gas natural con un 28%; el restante 10% es expulsado por los sectores residencial/comercial y de servicios (SEMARNAT, 2005).

En síntesis el inventario nos permite ver que el uso de energía en el sector transporte es el principal fuente de las emisiones contaminantes a la atmósfera de la principal ciudad del país.

En esta zona metropolitana el escenario para el 2010 de las emisiones del transporte proyecta un considerable crecimiento hasta llegar a casi 30 MTCO<sub>2</sub>, por lo que es indispensable enfocarse en soluciones eficientes para este sector (Osnaya, 2003).

Necesitamos encontrar una estrategia de salida de la era de los combustibles fósiles, para asegurar el futuro de la civilización. Es fundamental que el Estado, a través de una participación substancial de la investigación académica, reconozca la importancia de este fenómeno y genere decisiones, para enfrentarlo de la mejor manera, conciliando los intereses de desarrollo nacional con los de mitigación de contaminantes y compromisos internacionales.

Esto conlleva a la necesidad de establecer disposiciones que conduzcan a la reducción de emisiones contaminantes provenientes del sector transporte. Estas medidas deben enfocarse en hacer más eficiente y limpio el uso de la energía en este sector y en la promoción de programas de energía alternativa para el transporte. Subrayando el uso de los

biocombustibles como bioetanol y el biodiésel que son en los que se basará este documento.

El Objetivo Principal de la investigación es:

Analizar las condiciones técnicas, sociales e institucionales para impulsar la sustitución de los combustibles tradicionales por combustibles alternativos, así como el uso más eficiente de la energía en el transporte en la ZMVM, mostrando sus impactos económicos y medioambientales posibles.

Además se tienen como Objetivos Específicos:

- Analizar los beneficios económicos y medioambientales del uso de combustibles renovables en el transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México.
- Analizar los beneficios económicos y medioambientales del uso eficiente de la energía en el transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México.
- Analizar las condiciones tecnológicas, sociales e institucionales, para impulsar la producción y consumo de energía alternativa en la ZMVM, con base en un proyecto regional de reciclaje, basado en la producción de biodiésel con aceite quemado.

La hipótesis a demostrar es: La utilización de energías alternativas y el uso eficiente de la energía en el transporte en la ZMVM, reducen los costos operativos en esta área de la economía y originan una disminución de las emisiones contaminantes a la atmósfera en la Zona Metropolitana del Valle de México potenciando los beneficios medioambientales y económicos con el desarrollo de proyectos de reciclaje.

La comprobación hipotética estará reflejada en el desarrollo de la investigación en cuatro capítulos.

En el capítulo I se desarrollará el marco teórico de esta investigación, abordando las modificaciones que han sufrido las metrópolis en los últimos tiempos y como esto ha

afectado el desarrollo sustentable de las mismas, así como una revisión del Modelo de Ciudad Sustentable (todo esto sin pretender hacer un estudio exhaustivo de Economía Urbana), además de hacer una revisión de la postura del Marxismo, del Keynesianismo y de los Modelos Neoclásicos de Crecimiento sobre la problemática ambiental actual, inquiriendo los puntos de coincidencia de dichas posturas en la búsqueda de una visión holística y ecléctica, en el capítulo II se hace una recapitulación de las leyes que regulan el medioambiente, así como una revisión de la problemática atmosférica a nivel nacional y en la Zona Metropolitana del Valle de México, en el capítulo III se realiza una comparación entre los combustibles tradicionales y los combustibles alternativos, haciendo énfasis en sus beneficios, aunado a una revisión de las medidas para eficientar el uso de la energía en el transporte y finalmente en el capítulo IV se hace una revisión de los perjuicios que pueden traer a la sociedad los biocombustibles y como el reciclaje puede ser una fuente de Energía y de reducción de la contaminación ambiental, al mismo tiempo que beneficia al crecimiento económico.



# *Capítulo I*

## *Metrópolis: Ecosistemas Urbanos*





## **Capítulo I.- Metrópolis: Ecosistemas Urbanos**

### **1.1 Crecimiento en las metrópolis: Consecuencias para su desarrollo sustentable**

El crecimiento de las grandes urbes da lugar a importantes procesos que afectan tanto a sus habitantes como a los distintos elementos naturales, culturales y técnicos que la conforman, siendo estos a su vez actores y factores activos del fenómeno. La especificidad de estos procesos tiene particular importancia para múltiples ramas del conocimiento estableciendo con ello que la ciudad se conciba como el principal objeto de estudio (Montaño, 2006).

El estudio de la ciudad se puede plantear desde distintas orientaciones. A partir de la Historia universal, Paúl Vidal de la Blache apunta que "*la naturaleza prepara el sitio, y el hombre lo organiza de tal manera que satisfaga sus necesidades y deseos*"; para Aristóteles, bajo la visión de la política, "*la ciudad es un cierto número de ciudadanos*". En la perspectiva del arte y la arquitectura, Alberti señala que "*la grandeza de la arquitectura está unida a la de la ciudad, y la solidez de las instituciones se puede medir por la solidez de los muros que la cobijan*" (Navarro, 2003:1-2). Para la sociología urbana no es el espacio, ni la organización espacial de la sociedad, sino los procesos sociales adscritos en una área estipulada su objeto de estudio (Lamy, 2006). Un enfoque que es de nuestro interés abordar es el de la ciudad caracterizada como ecosistema urbano.

La principal característica de los ecosistemas es la interacción de distintos seres vivos, estas interacciones se dan de manera parasitaria y simbiótica estableciendo complejos esquemas de cooperación y competencia. La mejor forma de entender esto es basándonos en un ciclo de extracción energética donde los animales adquieren energía de forma metabólica por haber consumido vegetales u otros animales, a su vez las plantas y los animales han recibido energía solar mediante la radiación y es así como la energía emana a través de un ecosistema. Pero este proceso no termina ahí, debido a que nada en la naturaleza es cerrado y distintos ambientes se entrelazan intercambiando materia y energía. Es así que los flujos de agua y viento trasladan materia orgánica y energía calorífica respectivamente (Ezcurra, 2000).

Estos procesos antes referidos acaecen de manera análoga en las ciudades, donde estas constituyen un complejo ambiente ecológico que podemos llamar ecosistema urbano. Las fuentes de energía para el consumo de la metrópoli son tanto de origen solar como provenientes de los combustibles fósiles. Así mismo la distribución de agua, alimentos y productos manufacturados (de forma sintetizada: materia), se realiza de manera semejante a como lo hace en la naturaleza. Al igual que los ecosistemas tradicionales las urbes poseen una flora y una fauna que las define y caracteriza. Una compleja variedad de especies dominan los nichos del ecosistema urbano (Ezcurra, 2000).

Es así que las ciudades especificadas como ecosistemas urbanos están condicionadas a la interacción con el exterior, ya que demandan insumos y generan desechos. Aunado a el consumo inmoderado de recursos como el agua y la energía, la necesidad de recursos provenientes de orígenes cada vez más distantes, el incremento progresivo de la contaminación y degradación de suelo y aire, el acrecentamiento de la magnitud de los residuos y el manejo de la disposición final, sumado a las formas restringidas de gestión, nos conducen a grandes dificultades con consecuencias regionales que no pueden ser independientes al crecimiento urbano (Rocha, 2009).

Para la investigación urbano-regional el fenómeno metropolitano es uno de los grandes temas, ya que constituye la máxima manifestación territorial de los procesos de urbanización. Por la magnitud de la actividad económica y la de sus pobladores que centralizan las zonas metropolitanas se vuelve indiscutible la importancia de su estudio, subrayando los esfuerzos y recursos que son necesarios para proveerla de la infraestructura y de los servicios públicos necesarios para su funcionamiento cotidiano y su desarrollo adecuado, sumado a los retos que conlleva su gobierno y administración, enmarcando todo en la dinámica del crecimiento demográfico (Aguilar, 2004).

La principal distinción entre los procesos que se sobrevienen dentro de los ecosistemas naturales y los urbanos es la autorregulación. Ya que en el primer tipo de ambiente la selección natural ha modulado durante miles de años las cuestiones referentes al crecimiento población, interacciones entre especies, flujo de la materia y ciclo de la

energía; ya que las condiciones de este tipo ambiente tienden a eliminar aquellas especies que generan procesos insostenibles en el largo plazo<sup>1</sup>. Debido a que los ecosistemas urbanos son evolutivamente de reciente creación tienen menor habilidad para autorregularse. Es así que en el ambiente urbano “*los procesos de importación y exportación ecológica*” poseen un mayor significado que el de los movimientos de materia y energía al interior. Si la importación de recursos naturales se efectúa sobrepasando la capacidad a cual los ecosistemas externos pueden generarlos, el sistema urbano se convierte en un ecosistema insustentable en la pauta en que no puede renovar los recursos que consume (Ezcurra, 2000).

Aunque el crecimiento de las grandes ciudades en general ha disminuido en los últimos dos decenios, el alto grado de concentración económica se mantiene y esto conlleva a la continua agregación de nuevos municipios adyacentes a las ya de por sí inmensas metrópolis. Según Aguilar (2002:123): “*En términos territoriales, de un espacio metropolitano relativamente compacto, la mega-ciudad contemporánea presenta una expansión más policéntrica, creando un patrón más asociado con redes y con límites y fronteras menos precisas difícilmente definibles*”. Como consecuencia se forja una pauta de expansión de tendencias de dispersión urbana que añade paulatinamente pequeñas periferias y poblaciones rurales, dentro de un complejo y cada vez más extenso sistema metropolitano. Como consecuencia, las “*mega-ciudades*” experimentan nuevas dinámicas, que derivan en nuevos retos espaciales y organizacionales dentro de un mundo globalizado.

### **1.1.1 La expansión de las periferias en las metrópolis**

En la segunda mitad del siglo pasado las principales ciudades de los países en vías de desarrollo presentaron un rápido y dramático incremento en su población estimulando un número considerable de dificultades sin solución. Destacándose por su total importancia el transporte, el medio ambiente, la vivienda y la seguridad. La explosión demográfica fue tan precipitada que los gobiernos vieron sobrepasada su capacidad de planeación, por lo tanto no pudieron dar una respuesta adecuada a las renovadas necesidades de una urbe en

---

<sup>1</sup> Según Ezcurra (2000:448) “*A esta característica de los ecosistemas se la ha llamado equilibrio ecológico*”

crecimiento expansivo. No obstante a partir de la década de los setenta las tendencias de crecimiento poblacional se presentaba muy por abajo de las experimentadas en las décadas anteriores, y es por ello que los actuales gobernantes de estas grandes urbes tienen en sus manos un horizonte más alentador que sus predecesores, aunque de forma diferenciada. Sin implicar este hecho que las consecuencias de sus políticas o de sus disposiciones administrativas sean más eficientes o efectivas, esto se explica por el crecimiento proporcional de la demanda de bienes y servicios, tanto públicos como privados, respecto al aumento exacerbado de la dimensión de la ciudad y el volumen de su población; aunado a la actual complejidad de la vida metropolitana (Graizbord, 2005).

En los últimos diez años la investigación urbana ha determinado el surgimiento de nuevas formaciones territoriales asociadas de forma específica a las grandes urbes de los países en desarrollo. Dichas estructuras han sido primordialmente la consecuencia de lo que llamaremos una urbanización de base regional, con una mayor capacidad territorial que una urbanización de base urbana, todo esto en la medida en que la zona de influencia de la ciudad se ve incrementada a una región más extensa, lo cual se ve potenciado por los avances tecnológicos. Entre los rasgos más pertinentes habrá que mencionar tasas de crecimiento metropolitano más bajas, que se entrelazan con una más intensa circulación de mercancías, población y capital entre el centro de la ciudad y su periferia regional en el mismo periodo; límites que dificultan cada vez más la diferenciación entre lo urbano y lo rural; y una desconcentración de la industria manufacturera en dirección de áreas periféricas contenidas en una franja metropolitana externa que rodea a las mega-ciudades. En América Latina, tales formas territoriales emergentes ya se han identificado para las más grandes metrópolis. Para la Ciudad de México se ha descrito como mega-urbanización con estructura policéntrica.

Con el surgimiento de este nuevo y emergente orden espacial inscrito a las mega-ciudades, varios puntos de análisis han estado siendo escasamente atendidos; concretamente se pueden identificar tres trascendentales aspectos: a) primeramente la acelerada y creciente expansión de las actividades económicas y de la población urbana en la periferia metropolitana regional, con esto nos referimos, a las zonas que antes se consideraban los suburbios; b) en

segundo lugar la urgente necesidad de nuevos criterios y métodos que apuntalen a establecer una delimitación más clara de las fronteras metropolitanas y del área de influencia inmediata de la mega-metrópoli; y c) por último la abundancia excesiva de jurisdicciones y gobiernos locales que tienden a formar una desmembración de la estructura administrativa dentro de la región mega-urbana, aunado con la ausencia de un único órgano de gobierno metropolitano que comprenda la mayor parte de la ciudad como un todo. Para concebir la naturaleza cambiante de las mega-ciudades, y sobre todo para generar políticas urbano-regionales que aseguren un mayor desarrollo sustentable<sup>2</sup> de las áreas metropolitanas cada vez más difusas y expandidas en las periferias urbanas de los contornos de estas grandes ciudades que se han tornado sumamente substanciales (Aguilar, 2002).

Las mega-ciudades presentan, en términos territoriales, una expansión más policéntrica por medio de centros y subcentros urbanos, siguiendo un patrón de red que tiende a aumentarse a lo largo de las principales carreteras y/o vías férreas que en forma radial salen del centro de la gran ciudad. Una nueva arquitectura y configuración espacial del desarrollo metropolitano emerge a consecuencia de este proceso. En los resquicios de este patrón surge una mezcla de usos del suelo en una región expandida, donde la agricultura tradicional se puede encontrar al lado de nuevos proyectos de vivienda urbana, parques industriales, desarrollos corporativos, sitios de recreación y toda clase de desarrollos suburbanos.

Haciendo hincapié en que la periferia regional del área metropolitana, lo que debemos entender como una especie de halo o nimbo que se extiende a zonas urbano-rurales más allá de lo que se establece como el límite o frontera metropolitano. Estas son áreas que presentan algunas de las características metropolitanas, o presentan varias de ellas pero con una menor graduación. Lo relevante, en todo caso, es que para estos espacios existe una clara difusión de población y modos de vida urbanos en zonas con un panorama tal vez preponderantemente rural; es por ello su denominación de áreas metropolitanas expandidas.

---

<sup>2</sup> El desarrollo sustentable para Gabaldón (2006:57) es "... un curso de progreso humano capaz de satisfacer las necesidades y aspiraciones de la generación presente, sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades".

Es una variedad de región contigua o adyacente sobre y dentro de la cual la mega-ciudad impacta e interactúa.

Dentro de este espacio, consecuentemente, existen grandes posibilidades de encontrar tanto sitios en expansión como en declive, que representan áreas que por una u otra razón han acelerado su desarrollo o se han rezagado respecto a la dinámica promedio circundante, lo cual generalmente surge como resultado de los lazos o de a las relaciones que se instauran con el núcleo urbano. Es así que la influencia de la ciudad se despliega en diferente graduación más allá de la frontera metropolitana a lo largo de una gradiente (o series de gradientes) que para que sean definidos se tiene que hacer un estudio particular para cada mega-ciudad. Tenemos que inspeccionar la inoculación que hacen las municipalidades metropolitanas interiores hacia aquellas más remotas, fuera del límite metropolitano, de los cambios sociales, económicos y territoriales, de los cuales a su vez han sido influenciados por sus vínculos con la ciudad central (Aguilar, 2002).

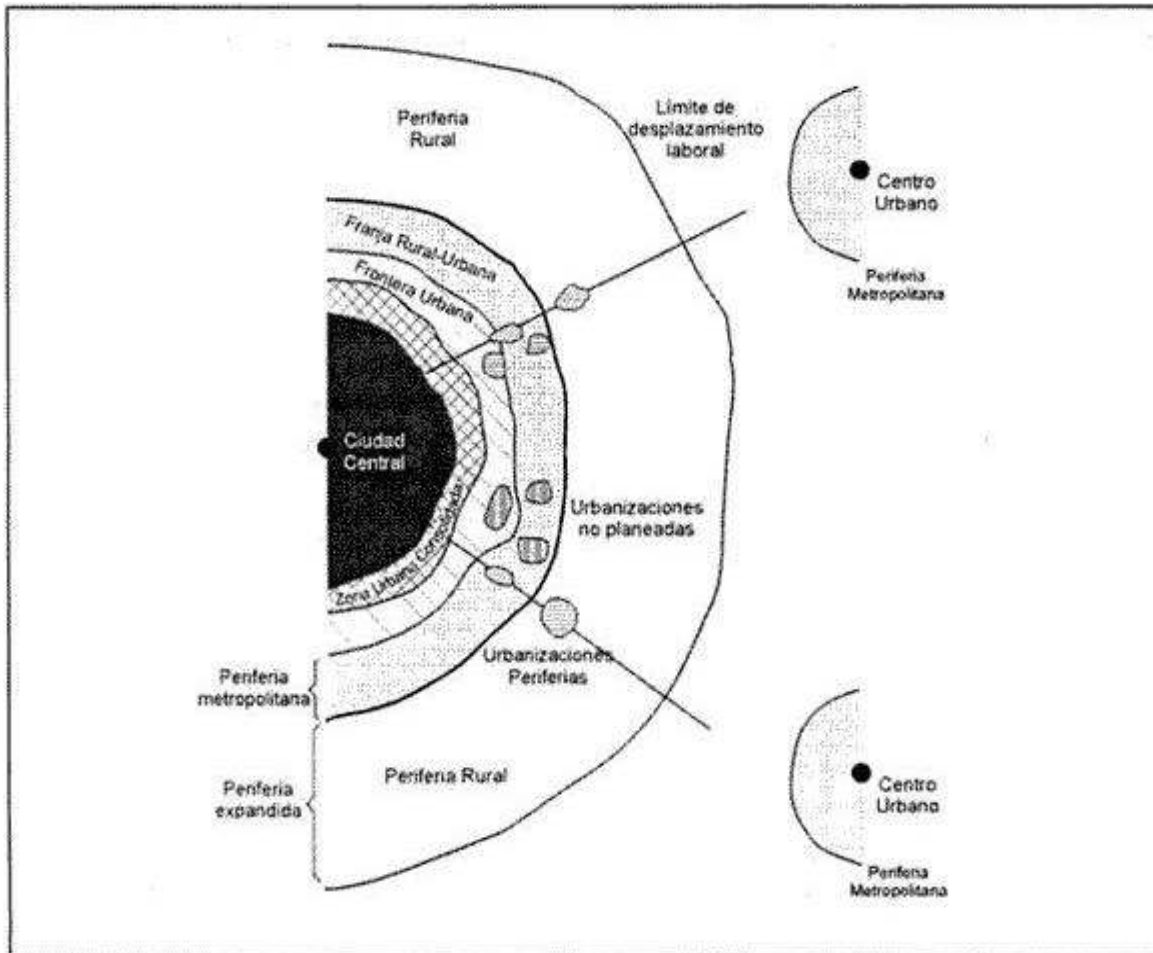
La figura 1.1 permite identificar de manera esquemática los componentes territoriales básicos de una urbanización territorialmente expandida. Primeramente, la ciudad central, que generalmente corresponde a los límites de la ciudad histórica que existía antes de la fase de expansión; en segundo lugar, los anillos urbanos construidos, que generalmente se pueden dividir en dos, el intermedio o interior y el suburbano o exterior; tercero, la zona metropolitana<sup>3</sup>, que además del área construida, abarca una franja rural-urbana funcionalmente vinculada a la ciudad central por distintos factores como los son los flujos de población, el uso del suelo, o por los vínculos económicos, todo esto permite hacer una delimitación para cada país; y cuarto, una periferia expandida que como hemos revisado se extiende más allá de la frontera metropolitana formal, y que la ciudad central tiene aún una influencia directa sobre ella, y que basándose en los flujos poblacionales diarios de carácter laboral se puede definir su límite. En esta representación debemos destacar la presencia de otras ciudades más pequeñas en la región de influencia de la gran ciudad, en dirección de

---

<sup>3</sup> De acuerdo con la SEDESOL (2007:9) “El término zona metropolitana se acuñó y desarrolló en Estados Unidos a partir de los años veinte del siglo pasado y se utiliza la mayoría de las veces para referirse a una ciudad grande cuyos límites rebasan los de la unidad político-administrativa que originalmente la contenía; en el caso de México, dicha unidad es el municipio”.

las cuales se logra apreciar el desarrollo de corredores y subcentros urbanos (Aguilar, 2002).

**Figura 1.1. Esquema de Zona Metropolitana y Periferia Expandida**



**Fuente: (Aguilar, 2002)**

Al mismo tiempo la estructura básica del policentrismo en la periferia metropolitana está constituida por todos estos subcentros, y cumplen con distintas obligaciones inherentes como núcleos urbanos emergentes: suministran mano de obra barata, proporcionan un amplio rango de servicios, y en diversos niveles, sirven de ciudades dormitorio o satélites a la gran urbe y su economía metropolitana.

En esencia, los núcleos de reproducción social de la fuerza de trabajo se están trasladando hacia la periferia, y ya no sólo existen, como en años anteriores, en los suburbios de bajos ingresos. La mayoría de estas zonas son habitadas predominantemente por grupos de clase trabajadora, representando concentraciones de mano de obra barata, usualmente con mala calidad de la vivienda, deficiente dotación de servicios y bajos niveles de consumo. La población actual, sus comunidades y sus municipios casi metropolitanos, están indirectamente vinculados a la globalización económica; a pesar de ello, parecen recibir muy pocos beneficios de ello (Aguilar, 2002).

La generación de centros urbanos múltiples en la década de los noventa redujo la importancia de los viajes dentro y fuera del tradicional distrito central de actividad económica en favor del movimiento hacia subcentros ubicados alrededor de la periferia urbana.

La proliferación de este tipo de objetos urbanos habilitados por la mayor y más activa participación del sector privado es un rasgo de este nuevo patrón. La mayor ocupación del suelo urbano periférico ha sido la consecución lógica que genera la actividad económica entre los mismos. De hecho, la ciudad está ahora concurrendo en los alrededores. Una parte de los flujos fuera y dentro del habitual distrito central de actividad económica en la actualidad se ha reducido o bien, están menguando. Dichas transformaciones están sucediendo a lo largo de las vías congestionadas. Los estímulos locales que se levantan del mercado de la superficie urbana están localizados o re-localizados en los lugares de trabajo más allá de la periferia urbana. Una proporción creciente de los cambios de movimiento se encuentran distantes del habitual distrito central de actividad económica. Es así que *“el área metropolitana se ha extendido más allá de los límites urbanos reconocidos y más allá de las áreas urbanas continuas, a lo largo de las carreteras principales, en donde las actividades urbanas ahora han podido generar empleo en barrios periféricos”* (Becerril-Padua, 2000:1).

El sector privado ha asumido una participación activa en los procesos territoriales, mediante la adquisición de grandes extensiones de suelo, invirtiendo cuantiosas sumas de



capital en este renglón. Lo que ha sobrevenido, en el surgimiento de un nuevo patrón de espacios integrados a complejos residenciales, industriales y de comercio.

Bajo este contexto, las metrópolis latinoamericanas continúan con la dinámica concentradora tanto productiva como demográfica, y con una expansión en constante evolución, en donde la característica más evidente es la tendencia a la instauración de centros múltiples de distinta naturaleza a partir de los núcleos urbanos originales dando lugar a la metrópoli policéntrica y discontinua. Bajo estas circunstancias, diversas actividades se han ido dispersando a zonas específicas en el halo metropolitano motivando nuevos focos de crecimiento para el establecimiento de actividades de alta tecnología y servicios especializados y simultáneamente, la generación de una serie de actividades como servicios comerciales a gran escala. Convirtiéndose en la expresión territorial consecuente con la dinámica económica profesada en la gran urbe (Becerril-Padua, 2000).

Se pueden diferenciar dos variedades de policentrismo. Primeramente el interurbano que comprende en términos espaciales más de una ciudad (relaciones funcionales entre dos o más ciudades) y que se contraste del intraurbano por que este segundo caso se relaciona a una escala más pequeña en términos demográficos, económicos y territoriales. Al pertenecer la Ciudad de México al primer caso ahondaremos en el tratamiento de sus tres dimensiones.

La forma física es la primera dimensión. La concentración de población, empleo y modelos comunitarios puede ser del tipo radial, lineal, a lo largo de corredores o aros, como consecuencia de la forma histórica de la ciudad. Las metrópolis comunes como es el caso de la Ciudad de México usualmente prosiguen el tipo histórico radial. Lo que es más, el transporte público tiende a acrecentarse mayormente en ciudades individuales en donde cualquier ruta de automotor compone el vínculo substancial entre los diversos componentes de la región urbana policéntrica que pueden alentar a traspasar comunidades por medio del transporte. En suma, modificando la proporción de una ciudad común también cambia la forma de uso de suelo, por uso mixto. En discrepancia con un modelo monocéntrico donde existe un claro descenso en su gradiente de densidad del centro hacia sus extremos, una las

regiones policéntricas circunscribirían amplias áreas agrícolas y diversas áreas verdes (Becerril-Padua, 2000).

La entidad política es la segunda dimensión. Se pueden aprovechar los desarrollos de este tipo en una ciudad para generar una identidad política. Si un número de ciudades históricamente distintas e independientes son ensambladas juntas en un sistema urbano. La inclusión de cambios de suburbios y de imagen, generara una negociación entre unos y otros, aunque resaltando uno usualmente dominante (por lo general el tradicional distrito central de actividad económica).

Las relaciones funcionales tienen que ver con la tercera dimensión. Ya que las nuevas regiones comienzan a desarrollarse, el cambio hacia la policentralidad en el contexto de una ciudad implica una división espacial del trabajo. En el caso del interurbano, la división espacial del trabajo puede ser fuertemente funcional (como en la Ciudad de México) en donde diversas ciudades muestran diferentes funciones como centro financiero o el asiento de gobierno o conjuntan diversas funciones (Becerril-Padua, 2000).

El surgimiento gradual de una estructura policéntrica interurbana instalará un fin a su última configuración, su impacto en cualquiera de sus relaciones funcionales es menos cierta y puede ser eventual sobre lo que las actividades económicas son tomadas en cuenta. La distribución funcional puede ser debilitada como región urbana policéntrica llegando más a un ambiente económico homogéneo donde la gente puede moverse fácilmente, desplazándose de un lugar a otro, creando un gran esquema de empleo o podrían reforzarse como ciudades que pueden especializarse en funciones específicas para toda una región policéntrica.

En síntesis, la dimensión económica está llegando a tener gran relevancia en el estudio del policentrismo. Gran parte de estas estructuras son vistas como regiones que poseen ventajas económicas competitivas, como derivación de su aglomeración económica. Para el caso interurbano se destacan la Ciudad de México, Buenos Aires y Caracas, debido a que son urbes que se expanden más allá de su límite político administrativos y su área de influencia

abarca incluso una o varias ciudades, lo que podemos llamar regiones urbanas (Becerril-Padua, 2000).

### **1.1.2 Economía, crecimiento urbano y medio ambiente**

En la actualidad por la naturaleza de las actividades económicas el espacio en que estas se desarrollan es predominantemente urbano y esto conjetura la congregación de los factores productivos, de las unidades económicas y en sí de la actividad productiva en las grandes metrópolis, trayendo como consecuencia la expansión de las zonas urbanas como efecto directo del incremento de la densidad poblacional y la inherente acumulación territorial (Rocha, 2008).

Es así que a nivel internacional el contorno urbano-regional se convierte en el ambiente habitual para el desenvolvimiento de la actividad económica, donde dicho entorno se define por un conjunto espacial estructurado de grandes metrópolis, las cuales constituyen el modo establecido de la interacción entre sociedad y territorio y a su vez el espacio preponderante del desarrollo económico, político y cultural del presente (Rocha, 2008).

Los grandes centros metropolitanos se establecen a manera de espacios primordiales para la generación de empleo e ingreso es decir como un gran mercado, instaurándose como distritos centrales del fomento económico y cultural de toda una nación. No obstante, con el incremento en el nivel de consumo e ingreso de los pobladores de las urbes, del aumento de la tecnificación del espacio socioeconómico, y del mejoramiento en todas las circunstancias de la vida material de estos destacados distritos metropolitanos de las sociedades modernas, esto viene aparejado a la exacerbación de los inconvenientes urbanos esencialmente adscritos a la dotación de servicios básicos, a la disminución de la calidad de vida, y fundamentalmente los coligados al detrimento del medio ambiente, condición especialmente destacable en la dinámica de la expansión urbana de los países en vías de crecimiento conjuntamente con el atributo peculiar, que son las marcadas desigualdades socioeconómicas en dichas localidades (Rocha, 2006).

Bajo esta mirada el medio ambiente de las ciudades acoge el fenómeno de la expansión metropolitana caracterizado por su desarrollo espacial y territorial teniendo como grave resultado de este proceso el deterioro del medio ambiente y el detrimento del ámbito regional en su conjunto (Rocha, 2006).

Además, el imprudente uso de los recursos medioambientales irreversiblemente reducirá la capacidad para generar la producción de materia en el futuro. Sumado a que los recursos naturales, base sobre la cual toda la actividad económica depende en última instancia, incluyendo la amplia variedad de servicios que producen los ecosistemas, son finitos. Todo esto implica que hay límites a la extracción de recursos a los ecosistemas<sup>4</sup>. Es posible, por supuesto, que las mejoras en la gestión de los ecosistemas, acompañado por la conservación de los recursos por medio de cambios estructurales en la economía, permita el crecimiento económico y demográfico que tendrá lugar a pesar de la limitada cantidad de recursos naturales, por lo menos durante un cierto periodo. Sin embargo, para que esto sea posible, hay señales claras que reflejan que para suavizar la creciente escasez de los recursos básicos, estos recursos tienen que ser generados en el sistema económico<sup>5</sup> (Arrow, 1995).

### **1.1.3 El problema de la sustentabilidad en las ciudades**

La noción de sustentabilidad ambiental nos debe remitir a un examen crítico del modelo de desarrollo en uso y según Iracheta (2001:10) *“a la promoción de una propuesta: crecimiento económico, sí, pero no a cualquier costo”*. En estos términos el desarrollo sustentable debe ser tomado como una perspectiva alterna a la visión economicista dominante, a la preeminencia imperiosa del intercambio comercial de todo por medio del mercado libre, sin poder escaparse, evidentemente, los recursos naturales y las condiciones ambientales del territorio.

---

<sup>4</sup> Según Arrow (1995:520-521) *“esta limitación se define como la capacidad de carga del planeta”*. Este límite fue definido inicialmente en el marco de la ecología, a partir de los modelos logísticos de crecimiento poblacional (García, 2008). Cabe señalar que las capacidades de carga en la naturaleza no son fijas, estáticas, o simples relaciones. Ellas dependen de la tecnología, las preferencias y la estructura de producción y consumo. Sin embargo, un índice general de la actual escala o intensidad de la actividad humana en relación con el de la biosfera es de gran utilidad. Así tenemos que, Vitousek calcula que del total neto de la producción primaria terrestre de la biosfera alrededor del 40% está consignado para el consumo humano (Arrow, 1995).

<sup>5</sup> Un ejemplo de esto sería el reciclaje.

Por eso cobran importancia las disposiciones que se realicen obedeciendo a los aspectos económicos-ecológicos ya que estas están enlazadas a la última cruzada por subsistir a largo plazo, es decir por el desarrollo sustentable. A través de la ejecución de conceptualización se busca conciliar el crecimiento económico (medido en términos monetarios), la equidad (medida en parámetros sociales) y la sustentabilidad ambiental (medido en capacidad de carga<sup>6</sup>) (CEPAL, 1994; Romano, 2003).

El elemento esencial de la sustentabilidad desde la perspectiva del ámbito natural, se adscribe a la capacidad de regeneración de los ecosistemas naturales, pese a que diversas fuerzas se inmiscuyen o intervienen, en el proceso natural.

Evidentemente la fuerza con mayor representación ha sido el ser humano, quien ha percibido a la naturaleza como un territorio que requiere ser subyugado y explotado para satisfacer las necesidades que le impone el modelo económico actual con sus pautas implantadas de producción y consumo (Iracheta, 2001).

Bajo la visión de la economía neoclásica, el hombre percibe una capacidad ilimitada e inagotable de los ecosistemas naturales para regenerarse y poder restablecerse de las transformaciones y transgresiones que el mismo le ha infringido con el paso del tiempo, derivado de la falta de aceptación de barreras para el desarrollo del sistema. De no haber sido por el encuentro con las consecuencias que se evidenciaron en el Informe *Stern* sobre

---

<sup>6</sup> Los ecologistas la definen como la población de una especie dada que es soportada indefinidamente en un hábitat definido, sin dañar permanentemente el ecosistema del que dependen. Sin embargo, debido a nuestra cultural variable tecnológica y diferentes patrones de consumo y de comercio, un simple, conteo de individuos vinculados a un territorio no es aplicable a los seres humanos. La capacidad de carga humana debe ser interpretada como la tasa máxima de consumo de recursos y la adecuada gestión de residuos que se puede sostener progresivamente, sin menoscabo de la integridad funcional y la productividad de los ecosistemas, sin importar dónde se encuentren estos últimos. La correspondiente población humana es una función de las tasas per cápita de consumo de materiales y residuos de la producción o la productividad neta dividida por la demanda per cápita. Esta formulación es un ajuste sencillo de la '*Tercera Ley de la Ecología Humana*', de Hardin: (Impacto humano total sobre la ecosfera) = (Población) x (impacto per capita) (Rees, 1994). Versiones anteriores de esta ley son de Ehrlich y Holdren, quienes reconocen también que el impacto humano es un producto de la población, del consumo y de la tecnología:  $I = PCT$  (Impacto = Población · Consumo · Tecnología). El punto importante aquí es que una determinada tasa de rendimiento de recursos puede mantener a pocas personas con un buen nivel de bienestar o bien un número mayor a niveles de subsistencia (Rees, 1994).

la Economía del Cambio Climático y que ponen en riesgo al propio ser humano como parte del globo terráqueo visto como un ecosistema global no se hubiera reconocido que en diversos puntos se ha quebrantado el umbral de la sustentabilidad (CEPAL, 1994; Stern, 2007).

En cada espacio territorial, sean regiones o ciudades, el concepto de sustentabilidad debe integrar al proceso de aprovechamiento y dominio del hombre sobre la naturaleza, una sucesión de determinantes que desde el modelo de crecimiento vigente, han sentado las pautas del asentamiento humano.

Descansando en el planteamiento que instituye una relación estructural entre la sociedad y la naturaleza, en la que la primera establece las transformaciones y aprovechamientos de la segunda, basándose en las pautas de consumo y producción que impone el modelo económico vigente y en la que la segunda, influye las conductas sociales, se puede construir una conceptualización de la sustentabilidad urbana (Iracheta, 2001).

Este enfoque requiere adicionar, la noción integral del fenómeno “*socio-espacial*”, con base en el concepto de “*totalidad social*”, en el que la mega urbe es vista como un poliedro de con varias caras y relaciones que no es posible vislumbrar en toda su complejidad en un solo momento y que, pese a todo, residen ahí formulando y apuntando que cada metrópoli enfrenta múltiples contradicciones e inconvenientes.

Con la finalidad de ser afrontados, debemos tener clara concepción de los poliedros como un todo y no sólo de alguna de sus facetas. Simultáneamente, requiere una visión de lo “*local-concreto*”; refiriéndonos con esto, a una apreciación de la acción cotidiana de las comunidades rurales o urbanas y las formas como se relacionan con su medio ambiente (Iracheta, 2001).

Además exige incluir la figura creciente de la tecnología, plasmada en entes y procesos que sustituyen y reproducen bienes y ambientes naturales, pero que no han sido capaces de renovar lo extraído a los ecosistemas naturales para la producción y el consumo.

Conjuntando estos componentes, se tiene una primera visión aunque simplificada, del cuestionamiento del fenómeno de la sustentabilidad en las economías de los países en desarrollo, esto es que en la “*relación sociedad-naturaleza*” la acción del hombre ha sobrepasado el umbral de la sustentabilidad, quebrantado las reglas fundamentales de la manutención y regeneración de los ecosistemas naturales, sobre todo en las regiones donde se asientan grandes urbes (Iracheta, 2001).

Este quebrantamiento, ha sido dominado por el actual modelo de desarrollo con tres preeminencias:

- La primera es que las consideraciones basadas en beneficios económicos están por encima de cualquier otra, al momento de establecer disposiciones -públicas o privadas- para el desarrollo.
- La segunda, es que las externalidades negativas, promotoras de los desequilibrios ecológicos, generados durante el proceso de producción y consumo no han sido incorporados al propio modelo, manteniéndose como variables exógenas.
- La tercera, es que en los procesos de generación tecnológica se minimiza los efectos nocivos al medio ambiente y sus repercusiones ambientales ha alcanzado un límite como lo muestra el caso de la industria automotriz.

El traslado de inquietudes que en décadas anteriores solo se estudiaban para ecosistemas naturales y que por la problemática actual hace imperioso se establezcan en los ámbitos regional y urbano nos remonta los avances acordados en Río de Janeiro en 1992 y la adopción del Protocolo de Kyoto en diciembre de 1997 con sus respectivos compromisos de reducción de contaminación<sup>7</sup> (Urias, 2006). En donde la materia de las relaciones medio ambiente y desarrollo, quedaron circunscritas al ambiente natural, al argüir que casi la mitad de la población mundial reside en la actualidad en ciudades o en regiones altamente reformadas por la acción del ser humano (Iracheta, 2001).

Basándose en las proyecciones de las Naciones Unidas, el 65% de la población de América Latina vivía en zonas urbanas en 1980, logrando alcanzar, de acuerdo con esas mimas

---

<sup>7</sup> Con la aclaración de que se refiere a contaminación generada por los gases de efecto invernadero.

proyecciones, el orden de 83% en el año 2000. Lo que se distingue no es sólo el índice de urbanización alcanzado, sino todavía más la rapidez del crecimiento urbano y la propensión a la concentración de la población en grandes ciudades (Iracheta, 2001).

La situación que comprende a la gran mayoría de las regiones conurbadas y a las grandes ciudades de los países con economías emergentes, las mega-urbes, y que también se presenta en algunas del los países industrializados, al igual que en las denominadas ciudades mundiales o globales, es la tendencia creciente a la degradación de su ambiente natural y la sobreexplotación de sus recursos naturales.

Las acciones emprendidas desde los distintos órdenes de gobierno para hacerle frente al ordenamiento de la progresiva expansión de las metrópolis han mostrado escasa eficiencia en lo general, posiblemente como consecuencia a un par de factores fundamentales:

- El primero es la baja valoración y valía político que se le han dado a los procesos territoriales, especialmente a la urbanización y a él detrimento del medioambiente, en contraparte a la relevancia política establecida para al crecimiento económico o a la disputa por el poder.
- El segundo es sencillamente la incomprensión e ignorancia de la importancia social de los fenómenos regionales, de urbanización y más recientemente, la sustentabilidad urbana.

Como resultado se ha tenido la inscripción del fenómeno espacial, substancialmente metropolitano, en leyes, reglamentos e instituciones públicas y, discordantemente, con muy exiguas acciones con resultados favorables para proporcionarle un carácter de mayor eficiencia y socialmente equilibrado (Iracheta, 2001).

Es por eso, que en la actualidad más que alternativas teóricas, son cambios políticos actuales los que influyen con mayor impulso por un entendimiento diferente de la realidad urbana. La desilusión del economicismo como sustento principal de las políticas públicas, los movimientos sociales en las urbes, el temor de las clases medias respecto a la violencia urbana, la ingobernabilidad y difícil administración de las aglomeraciones metropolitanas y



la veloz transmisión de una conciencia pública de la degradación medioambiental, son nuevos factores que se anexan a la demanda general por políticas públicas transparentes y al advenimiento, como una realidad viable e inmediata, de una democracia efectivamente participativa.

Bajo este contexto se hace más nítido que las soluciones actuales están más en lo político que en lo técnico, pero si se quiere avanzar en soluciones más completas habrá que dar un mayor énfasis a las visiones holísticas<sup>8</sup> e interdisciplinarias que a las parciales y sectoriales, lo que hace necesario ver los fenómenos de las mega-ciudades de una manera más global, ni solamente burocrática, ni solamente académica y mucho menos retórica, pero si orientada a la práctica social.

Aunque hay que ser muy claros, la visión de la totalidad del fenómeno, no debe entenderse como la necesidad de relacionar todo con todo, para concebir políticas públicas para afrontar el desarrollo regional, la urbanización, la metropolización y sus secuelas, sencillamente porque en la práctica esto no es viable (Iracheta, 2001).

Es por ello que el fenómeno exige una visión integrada desde el punto de vista teórico y de planeación, pero simultáneamente sectorial y regional a partir de la concepción de las políticas. Más concretamente, tenemos que plantear la problemática en su totalidad, procurar entenderla y explicar sus relaciones y facetas, sus estatutos de creación y ejecución, para ulteriormente a partir de la planeación y las políticas atenderlo de forma fragmentada, sin dejar de ubicar los vínculos de cada elemento con el todo.

Bajo esta argumentación, la sustentabilidad ambiental, traducida en políticas públicas, demandará de significativos esfuerzos desde la teoría, la metodología y la tecnología, hacia la concepción de una herramienta útil en el proceso del desarrollo y de la urbanización de este nuevo siglo, ya que más que un elemento ecológica es un elemento socioeconómico, espacial y político, en donde la crisis ambiental está dada por la sobreexplotación y la degradación de la naturaleza, generada por la pauta de producción y consumo del modelo

---

<sup>8</sup> Pertenciente al holismo. Doctrina que propugna la concepción de cada realidad como un todo distinto de la suma de las partes que lo componen.

vigente, y complementada por la crisis social, política y económica a nivel nacional y mundial, principalmente, en los países en vías de desarrollado (Iracheta, 2001).

Es así que conforme a Barton (2006:42-43) podemos describir que *“cuando nos referimos al desarrollo sustentable, hablamos fundamentalmente de una nueva idea de desarrollo, y nos acercamos cada vez más al concepto de desarrollo humano, que cada día tiene más peso en la humanidad. Cuando hablamos poniendo énfasis en lo ambiental, nos referimos a un desarrollo que tenga como centro el ser humano y su calidad de vida”*

La particularidad de la reflexión, que aspiramos concebir como una política adecuada, es la unificación, armonización y optimización de los factores económicos, sociales y ambientales. Es por ello que el desarrollo sustentable debe yacer bajo la aceptación de que el desarrollo es viable y obligatorio; de que debe formarse sustentable, perdurable y factible a lo largo del tiempo, y de que la sustentabilidad debe ser triple: económica, social y ambiental (Pérez, 2002).

Es por eso que mediante el énfasis en los objetivos compartidos, las responsabilidades compartidas y las oportunidades compartidas, compromete la posibilidad de transitar en dirección de un fortalecimiento de la sustentabilidad urbana para mejorar la calidad de vida actual y consérvala en el futuro (Barton, 2006).

#### **1.1.4 Energía: Desafíos para el desarrollo sustentable de las Metrópolis**

En nuestros días las grandes metrópolis se observan como una matriz tanto física como simbólica resultado de la modernidad de nuestras sociedades y es por eso donde mayormente se evidencian las contradicciones y tensiones del desarrollo urbano no-sustentable en los países con economías emergentes. Es en estas urbes donde se da la concentración y acumulación de la riqueza y consecuentemente de los lazos con la globalización económica, y en la que al mismo tiempo se presentan severas inequidades y exclusiones sociales resultando en una creciente pobreza urbana, todo esto aunado a un

---

patrón de consumo energético irracional con grandes implicaciones en el incremento de la contaminación (Winchester, 2006).

En los últimos 20 años se ha presentado un aumento sostenido en el consumo de energía per cápita en América Latina y el Caribe, en correspondencia lógica de la adopción de modelos de desarrollo con pautas de producción y consumo más intensivos en términos de consumo energético. Como lo muestran estudios efectuados por la CEPAL, la zona evidencia deficiencias en la transformación y utilización de la energía debido a: i) la inapropiada incorporación de tecnologías de consumo eficiente de energía; ii) un arcaico parque industrial; y iii) más importante aun un elevado e ineficiente consumo de combustible en todo tipo de vehículos. En esta región se ha limitado seriamente la incorporación de tecnologías eficientes en el uso y la renovación de energía debido a obstáculos económicos, financieros y políticos. La que hace que sean prácticamente nulas las políticas energéticas de la zona que toman estos aspectos en consideración (Winchester, 2006).

Para complementar esto tenemos que Winchester (2006:17) nos describe que: *“Los problemas vinculados al consumo de energía de los pobres urbanos parecen ser muy distintos a los que se registran en las zonas rurales, las cuales han sido objeto de una atención relativamente mayor (electrificación rural, adopción de tecnologías alternativas)”*. Esto se ve determinado porque en el ámbito urbano las tecnologías alternativas son menos aplicables, además el acceso a la energía se asocia a la reducción de la pobreza caracterizándose como una necesidad básica y un insumo ineludible para fomentar actividades productivas.

Un planteamiento objetivo y amplio de la problemática de la energía tiene que completar que un tercio de la población mundial carece hoy de abastecimiento de energía eléctrica y no solamente de esta sino de ninguna forma avanzada de energía, también tiene que vislumbrar el aseguramiento de suministro para las generaciones venideras y asumir conscientemente las secuelas en el impacto medioambiental que la producción y el

consumo de energía están originando en el planeta que heredaremos a nuestros predecesores (Pérez, 2002).

El transporte de pasajeros y mercancías destaca entre los innumerables retos que enfrentan los administradores de las metrópolis, ya que es de vital importancia porque implica la movilidad de la población y de los bienes que satisfacen sus necesidades. La forma de acceder a los mercados de trabajo y vivienda, así como a los de bienes y servicios, se realiza a través del sistema de transporte en sus diversos modos disponibles en la ciudad, tanto público como privado. Es así que *“la oferta insuficiente, las malas condiciones en que operan los distintos modos de transporte, el congestionamiento, entre otros, son factores que inciden en los costos sociales, que deben ser sufragados pública y privadamente en detrimento de la calidad de vida que ofrece la ciudad y del nivel de vida que alcanzan sus ciudadanos”* (Graizbord, 2005:72-73).

En América Latina el funcionamiento del transporte urbano requiere del 3.5% del PIB; así mismo el costo del tiempo que se invierte en cada viaje equivale a otro 3%. Desde el inicio de la década de los 90's, el incremento de la demanda de transporte y uso vial ha conducido a un acrecentamiento de la congestión, los atrasos, los accidentes y la degradación ambiental en las grandes urbes de la región. Destacándose que la causa principal de la contaminación en las zonas metropolitanas es provocada por el uso de automóviles. A pesar de que el transporte público sigue siendo el medio primordial que utiliza para trasladarse los habitantes ciudadanos, es la generalización del uso y abuso de automóviles privados por parte de los sectores de ingresos medios y altos la que ha impactado la calidad de los servicios de transporte público incidiendo seriamente en la congestión. El fenómeno de la expansión metropolitana también está delineando retos a los sistemas viales y de transporte, más específicamente en lo correspondiente a su viabilidad económica y sus efectos regresivos respecto a tiempo de traslado así como su costo y acceso para los sectores poblacionales de escasos recursos (Winchester, 2006).

Es importante resaltar que, ante la problemática de las grandes externalidades ambientales que emanan del transporte, la mayor parte de las urbes han fracasado en reducir la polución;

no obstante, debe ser edificante que los avances obtenidos se han dado mejorando el transporte público masivo<sup>9</sup> (Iracheta, 2001).

Las disposiciones acogidas para constreñir la congestión se han encaminado tanto al suministro de servicios de transporte, como lo son carriles separados, autobuses de mejor calidad, organización de confluencias, coordinación de semáforos, como a su demanda respecto a restricción de lugares para estacionamiento, educación, restricciones de uso<sup>10</sup>. La instauración de alicientes para disminuir el uso automóviles privados representa un desafío de la actualidad, ya que involucra una evolución en la cultura y el comportamiento de la ciudadanía, aunado a significativas mejoras en el transporte colectivo, que por lo general es controlado por el sector privado (Iracheta, 2001).

Desde hace algunos años ha quedado establecido tanto para a las grandes agrupaciones de transporte público urbano como para los administradores de las grandes ciudades de numerosos países, que las soluciones no planificadas, como las que provienen de la proliferación de vehículos de baja capacidad, en rutas no diseñadas, basado en arquetipos públicos o privados no actualizados y con unidades y trabajadores incompetentes, constituyen una fracción muy significativa de las restricciones para avanzar en el desarrollo de las metrópolis.

En consecuencia el modelo económico vigente debe aceptar que existen unos límites al crecimiento y que esos límites deben estar cimentados en la limitada capacidad del planeta para renovar sus recursos naturales, así como en su capacidad para absorber las emisiones contaminantes (Iracheta, 2001).

Es necesario poner énfasis en que los responsables primarios del desarrollo sustentable los son gobiernos. Es su obligación concebir planes nacionales, regionales y locales que conduzcan a la definición de estrategias y políticas, idóneos para lograr una extensa

---

<sup>9</sup> En épocas recientes para el caso de la Ciudad de México, con los proyectos y establecimiento de líneas de metrobús, la construcción en marcha de la nueva línea de metro y el fomento del uso de motores más eficientes para taxis y autobuses.

<sup>10</sup> Un ejemplo de este punto es el programa hoy no circula.

colaboración de la sociedad y el sector privado. Por ello, para alcanzar un consenso referente a las estrategias a seguir la clave es la contribución de la comunidad y el sector empresarial (Romano, 2003).

## **1.2 Modelo de ciudad Sustentable**

### **1.2.1 Sustentabilidad Urbana**

El acelerado crecimiento urbano y la proliferación de ciudades es, tal vez, uno de los fenómenos sociales y demográficos más sobresalientes de la segunda mitad del siglo XX y lo que va del actual; estos espacios reducidos se caracterizan por concentrar una alta densidad de población, sustentada por la inmigración, del campo a la ciudad, y de poblados y urbes pequeñas a centros y metrópolis importantes, a esto se debe sumar el incremento por crecimiento natural. En el año 2000, había 402 ciudades cuya población oscilaba entre 1 y 5 millones de habitantes y 22 urbes albergaban entre 5 y 10 millones. Cabe recordar solamente que en 1950, Nueva York era la única ciudad con más de 10 millones de habitantes, mientras que para el año 2015 se estima serán 23 las ciudades con este número de pobladores, 19 de ellas pertenecientes a países en desarrollo. Así al promediar el siglo XX, menos de una de cada tres personas vivían en un pueblo o ciudad. En la actualidad, cerca de la mitad de la población mundial es urbana y para el 2030, la dimensión será de más del 60% (Alberto, 2005).

En la actualidad es ampliamente reconocido que las ciudades hacen una importante contribución al desarrollo económico y social, tanto a nivel nacional como local. Ya que son importantes motores de crecimiento económico, ofrecen importantes economías de escala en la provisión de empleos, vivienda y servicios, son importantes centros de productividad y progreso social, además de que absorben dos tercios del crecimiento demográfico en los países en desarrollo (UNCHS, 2000).

La organización socio-espacial de la vida humana ha sufrido una transformación radical que tiene un sustento en el territorio, específicamente en el proceso de urbanización. Los grupos urbanos al concentrarse en pueblos y ciudades van modificando totalmente el

ambiente dejando como impronta profundas huellas en él, las que están sujetas a su uso intensivo y continuo en el tiempo y el espacio. Este implica, desde el punto de vista ecológico, la ocupación de un territorio y la modificación de las relaciones bióticas que mantienen entre sí los diferentes componentes de los ecosistemas involucrados. Dicho de otra manera, la intervención del hombre modifica todas las variables ecológicas y la dinámica del sistema natural, cambiándola por otra y ambas producen procesos y fenómenos que alteran la estabilidad del sistema socio espacial, generando riesgos y sometiendo a diferentes grados de fragilidad a los diferentes componentes del espacio construido y por ende a las poblaciones, además de que constituyen sistemas altamente dependientes en su reproducción y mantenimiento (Schteingart, 1998; Alberto, 2005).

Las ciudades son sistemas abiertos que impactan en los ecosistemas que la rodean y en la tierra en su conjunto. El crecimiento urbano implica una tasa de intercambio entre las economías de aglomeración (o externalidades positivas) como las economías de escala y sueldos más altos y externalidades negativas como, por ejemplo, la densidad de la población y el decaimiento medioambiental. En la búsqueda de minimizar las externalidades negativas y maximizar las positivas debemos establecer una sustentabilidad urbana. Entendiendo a la sustentabilidad como la búsqueda de un desarrollo urbano que no degrade el entorno y proporcione calidad de vida a los ciudadanos especialmente en aspectos de salud. El desarrollo sustentable permite satisfacer las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Este paradigma se extiende a todos los aspectos del desarrollo humano, también a los aspectos locales y a la planificación. Es probable que los problemas de calidad medioambientales sean más severos con el crecimiento de una ciudad; sin embargo, factores como el uso de la tierra, el sistema de transporte y la planificación espacial de una ciudad también son factores críticos para determinar la capacidad de carga urbana. Al tratar con sistemas complejos que operan en varios niveles jerárquicos, la existencia simultánea de valoraciones científicas correctas pero en conflicto entre ellas, tiene que ser aceptada (González, 2005; Munda, 2003).

Es así que debemos buscar que los espacios urbanos sean sustentables o mejor dicho establecer líneas de acción hacia una sustentabilidad urbana establecida bajo los siguientes criterios:

- Basándose en una gestión racional de los recursos escasos en las áreas urbanas, a través de la cual la actividad humana puede continuar desarrollándose sin comprometer unos recursos que son limitados, como es el caso de los combustibles fósiles, controlando la emisión de residuos, y permitiendo que la naturaleza se regenere en base al respeto de los ciclos naturales.
- Teniendo como objetivo mejorar las condiciones de vida y de trabajo en las áreas urbanas. Constituyéndose a la vez en concepto y en estrategia que abogue por un desarrollo económico respetuoso con el medioambiente y la calidad de vida de los ciudadanos. El desarrollo sustentable constituye el marco a través del cual los recursos son utilizados de manera eficiente, creando infraestructuras racionales, protegiendo y mejorando la calidad de vida y reforzando la actividad empresarial y la economía local.
- Promoviendo el desarrollo de programas que faciliten la interacción social y cultural enriqueciendo las ciudades. La sustentabilidad urbana no consiste únicamente en retener empresas, puestos de trabajo y servicios, sino también en mantener la identidad, la cultura y los valores propios de las ciudades.
- Al mismo tiempo se obliga a asegurar un futuro igualitario para todos los ciudadanos, creando una sociedad justa e inclusiva y en igualdad de oportunidades, ahora y en el futuro. Así, debe centrarse en proteger lo más vulnerable en las ciudades, respetando la diversidad social y asegurando que las prioridades estén puestas en el capital social.

La mayor parte de estos lineamientos de sustentabilidad urbana se sustentan en planteamientos integrados que consideran los tres pilares de la sustentabilidad a través del establecimiento de objetivos medioambientales, sociales y económicos integrados: erradicación de la pobreza, protección de los recursos naturales, establecimiento de patrones sustentables de producción y consumo. Es así que, la sustentabilidad urbana debe



perseguir, de manera simultánea, la prosperidad económica, la calidad medioambiental y la igualdad o cohesión social<sup>11</sup>.

Tenemos que identificar que este tipo de sustentabilidad depende, por lo menos, de cinco tipos de capitales: el capital artificial, el natural, el humano, el cultural y el social, y en la manera en que estos capitales se combinan, es decir en su relación mutua. El desafío del desarrollo sustentable urbano es el de coordinar esta dinámica co-evolutiva. Por consiguiente, se necesitan los indicadores monetarios pero también se necesitan indicadores que pueden expresarse en unidades físicas y ordinales diferentes (Munda, 2003).

Una lección fundamental tiene que aprenderse: es imposible encontrar factores de conversión científicos que puedan transformar las dimensiones ecológicas, económicas y sociales en tierra así como en energía, dinero o cualquier medida común se quiera utilizarse. Los indicadores ecológicos no abordan los problemas socio-económicos. Al otro lado, los instrumentos económicos ponen el énfasis en la eficiencia, olvidándose así, de las dimensiones medioambientales, distributivas y culturales. Consecuentemente, un marco multidimensional es de importancia vital para abordar los problemas complejos que conllevan las políticas para el desarrollo sustentable (Munda, 2003).

### **1.2.2 Vulnerabilidad Urbana**

Simultáneamente hay que tomar en cuenta que el tipo de relaciones que establecen las personas entre si y las que establecen con el medio físico determinan el nivel de vulnerabilidad de una comunidad o sociedad determinada. La vulnerabilidad, en otras palabras, es la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir daños en caso que un fenómeno desestabilizador de origen natural o antrópico se manifieste. Esto vincula la vulnerabilidad con las diferentes dimensiones del desarrollo (económica, ambiental, social y política), así como de las condiciones de la población, confiriéndole al concepto un carácter multidimensional. Se

---

<sup>11</sup> [http://www.eukn.org/espana/news/2007/10/no36\\_UrbanSustainability-URBAN-NET\\_1005.html](http://www.eukn.org/espana/news/2007/10/no36_UrbanSustainability-URBAN-NET_1005.html), consultada 17 de diciembre de 2009

propone, desde esta perspectiva, que el entorno que caracterizan el subdesarrollo (marginalidad social, expropiación, explotación, opresión política y otros procesos asociados con el colonialismo y el capitalismo) han hecho, particularmente que las comunidades pobres sean más vulnerables a los desastres y hayan sido forzadas a degradar su medio ambiente. (Patiño, 1999; Cardona, 2001b).

En la escala urbana, por ejemplo, la vulnerabilidad como factor interno de riesgo, debe relacionarse no solamente con la exposición del contexto material o la susceptibilidad física de los elementos expuestos a ser afectados, sino también con las fragilidades sociales y la falta de resiliencia de la comunidad propensa; es decir, su capacidad para responder o absorber el impacto. La vulnerabilidad puede tener varias dimensiones dependiendo del aspecto que se esté teniendo en cuenta para su análisis (Cardona, 2001a):

*Dimensión física.* Expresa las características de ubicación en áreas propensas y las deficiencias de resistencia de los elementos expuestos, de los que depende su capacidad de absorber la acción del suceso que representa la amenaza.

*Dimensión económica.* Los sectores económicamente más deprimidos son los más vulnerables. La pobreza aumenta la vulnerabilidad. Al nivel local e individual este aspecto se expresa en desempleo, insuficiencia de ingresos, dificultad o imposibilidad de acceso a los servicios.

*Dimensión social.* Cuanto más integrada esté una comunidad, superando los inconvenientes que suelen presentarse, le resultará más fácil absorber las consecuencias de una afectación y podrá reaccionar con mayor rapidez que una comunidad que no lo esté. Las sociedades pueden ser más o menos vulnerables en el sentido que pueden reaccionar como grupo organizado, mediante procesos de auto organización, ó con intereses particulares primando sobre los grupales, con relaciones más estrechas entre sus integrantes, ó relaciones meramente circunstanciales.

*Dimensión educativa.* Se expresa en una educación deficiente o que no tiene una buena cobertura en una comunidad propensa. La ausencia de conocimiento sobre las causas, los efectos y las razones por las cuales se presentan desastres, el desconocimiento de la historia

y la falta de preparación y desconocimiento del comportamiento individual y colectivo en caso de desastre son aspectos que hacen que una comunidad sea más vulnerable.

*Dimensión política.* Se expresa en el nivel de autonomía que tiene una comunidad con respecto a sus recursos y para la toma de decisiones que la afectan. La comunidad se hace más vulnerable bajo esquemas centralistas en la toma de decisiones y en la organización gubernamental. La debilidad en los niveles de autonomía para decidir regional o localmente impide una mayor adecuación de las acciones a los problemas sentidos en estos niveles territoriales. En la medida que la comunidad participa más en las decisiones que le atañen es menos vulnerable.

*Dimensión institucional.* Está relacionada con las dificultades que tienen las instituciones para hacer la gestión del riesgo. Situación que se refleja en la falta de preparación para responder ante un suceso, o cuando aún sabiendo que existe el riesgo no llevan a cabo acciones eficientes y efectivas para reducirlo o mitigarlo. Se expresa en la falta de flexibilidad de las instituciones, en el exceso de burocracia, en el hecho de que prevalecen la decisión política y el protagonismo.

*Dimensión cultural.* Esta dimensión de la vulnerabilidad está referida a la forma en que los individuos se ven a sí mismos en la sociedad y como colectividad, lo que influye en ocasiones de manera negativa debido a estereotipos perniciosos que no se cuestionan y que se consolidan. Al respecto juegan un papel crucial los medios de comunicación, puesto que contribuyen a la utilización sesgada de imágenes o a la transmisión de información ligera o imprecisa sobre el medio ambiente, la misma sociedad y los desastres.

*Dimensión ambiental.* Hay un aumento de la vulnerabilidad cuando el modelo de desarrollo no está basado en la convivencia sino en la explotación inadecuada y la destrucción de los recursos naturales. Esta circunstancia necesariamente conduce al deterioro de los ecosistemas y a aumentar la vulnerabilidad debido a la incapacidad de auto ajustarse para compensar los efectos directos o indirectos de la acción humana o de sucesos de la misma naturaleza.

Así mismo, la creciente escala de la actividad urbana-industrial está exacerbando la degradación ambiental en las ciudades de países en desarrollo, e incrementando la vulnerabilidad de pobladores urbanos tanto a desastres naturales como tecnológicos. El

desarrollo sustentable de áreas urbanas requiere una aproximación balanceada basada en criterios económicos, sociales y ambientales. Se necesita una estructura analítica integrada para analizar las uniones principales entre desarrollo urbano sustentable y vulnerabilidad, especialmente en grandes ciudades. Se necesita determinar los impactos físicos y sociales de los desastres y su valor económico. El balance entre proyectos de inversión, incentivos de mercado y medidas reglamentarias para mejorar el manejo ambiental y reducir la vulnerabilidad, requiere la evaluación de los costos y beneficios relativos de esas acciones. Juegan un rol importante, tanto la existencia de información y educación de los pobladores urbanos, como las percepciones del riesgo y motivaciones políticas. Son problema de importancia las limitaciones en todos los niveles de gobiernos locales, especialmente aquellos que obstruyen la participación y acción de la comunidad local. Se requiere un mayor esfuerzo para impulsar a que los administradores urbanos fortalezcan los preparativos, prevención y mitigación de desastres, reorientar el gasto municipal: y aprender de la experiencia de otras comunidades urbanas (Munasinghe, 1994).

De acuerdo con Huertas (2004) la Vulnerabilidad Global está dada por: *“La incapacidad de un individuo o comunidad para absorber mediante los mecanismos de autorregulación los efectos de un determinado cambio interno o en su medio ambiente. Refleja su nivel de inflexibilidad o incapacidad para adaptarse al cambio.”*

La vulnerabilidad como concepto expresa la mayor propensión a experimentar riesgos por parte de los grupos que van quedando por fuera de los flujos globales de integración económica. Si el espacio de la integración de los procesos productivos en tiempo real a escala planetaria es un espacio de flujos, el espacio de lugares es el único referente de las poblaciones sociales y grupos desaventajados que se incorporan de forma desigual a ese proceso, dado que se trata de una dinámica que solo integra aquello que tiene valor para el mercado. La creciente vulnerabilidad de grupos cada vez más amplios de la población deviene de la gran volatilidad del entorno, la ausencia de sistemas de protección social y la mayor fragilidad en la inserción a la estructura social a través del trabajo (Merlinsky, Gabriela, 2006).

En el contexto urbano, el problema de la apropiación y uso del agua, el aire y la tierra que conduce a la degradación y, en consecuencia, al riesgo, comprende tres niveles espaciales de análisis: procesos rurales y su impacto en el área urbana (uso de fertilizantes, pesticidas, etc., y contaminación de ríos y acuíferos); procesos urbanos y su impacto en regiones circundantes (contaminación atmosférica y lluvia ácida; uso de aguas contaminadas en la agricultura, etc.); y procesos urbanos con impacto en lo urbano (contaminación atmosférica, etc.) (Lavell, 1996).

La vulnerabilidad en el entorno urbana se relaciona tanto con la estructura, forma y función de la ciudad, como con las características de los diversos grupos humanos que ocupan el espacio y sus propios estilos o modalidades de vida. En lo que se refiere a la capacidad de disminuir la vulnerabilidad urbana, más importancia se debe asignar a los procesos que contribuyen a su crecimiento, que a la expresión fenomenológica de su existencia, o sea, las condiciones concretas de inseguridad que existen. Solamente interviniendo en los procesos de conformación de la vulnerabilidad tendremos oportunidad real de garantizar futuros más seguros. Operar sobre las señales externas de la vulnerabilidad, significa reparar daños ya hechos y consolidados, lo cual termina siendo un proceso sin fin y mayor esperanza de éxito (Lavell, 2001).

Es indudable que el gigantismo mismo de la ciudad, las variaciones naturales y las inducidas artificialmente sobre su espacio, así como la transformación de la ecología de sus innumerables zonas o la simple alteración constante de los usos y destinos del suelo urbano, son causa de los incrementos sensibles en sus índices de vulnerabilidad. Cuando los procesos de urbanización han rebasado ciertos parámetros en el ritmo de expansión de la Ciudad de México, los riesgos y vulnerabilidades se diversifican y se convierten en una constante a considerarse en el diseño y ejecución de las políticas de desarrollo urbano. Vivimos en un complejo urbano que desde hace más de 400 años inicio su proceso de deterioro ecológico, desde que el conquistador español inicio el fatigoso y prolongado esfuerzo de desecación del lago de Texcoco, culminado apenas a principios del siglo pasado. Esta acción es todavía hoy fuente de muchas de nuestras vulnerabilidades. Actualmente, la ciudad vive bajo un conjunto de riesgos permanentes: terremotos

deslizamientos de tierra, inundaciones, explosiones de oleoductos o tanques de gas, exceso de contaminantes en la atmósfera y el suelo (Aguilera, 1990).

En las grandes urbes, como la ZMVM, la vulnerabilidad proveniente de la degradación ambiental, incide directamente en los estándares de calidad de vida de los habitantes y la torna menos competitiva, ya que se vuelve menos atractiva para la inversión nacional y extranjera.

### **1.2.3 Competitividad urbana**

La palabra competitividad es cada vez más utilizada en la literatura económica y en la vida cotidiana; su concepto ha crecido significativamente para referirse no sólo al desempeño de las empresas, sino también al comportamiento económico de países, ciudades y regiones (Sobrino, 2004).

Los países compiten por inversiones productivas, y la competitividad para un país es el grado en el cual, en condiciones libres y claras de mercado, puede producir bienes y servicios que aprueban el examen de los mercados internacionales, manteniendo y aumentando, simultáneamente, el ingreso real de sus habitantes a largo plazo; en otras palabras, la competitividad de un país consiste en sostener y expandir su participación en los mercados internacionales, al tiempo de elevar la calidad de vida de su población (Sobrino, 2004)

La competitividad urbana se refiere al proceso de generación y difusión de competencias, a la capacidad de las ciudades para participar en el entorno globalizado, a la posibilidad de las ciudades de crear ambientes propicios para el desarrollo de competitividad de sus agentes económicos (Cabrero, 2007).

Las Ciudades competitivas son aquellas que logran participar en el mercado internacional y nacional, atraer inversión, generar empleo, ofrecer una mejor calidad de vida a quienes la habitan e incluso una mayor cohesión social. La competitividad es un proceso de

generación y difusión de competencias el cual depende no sólo de factores micro-económicos sino también de las capacidades que ofrece el territorio para facilitar las actividades económicas. Es decir, se trata de generar en el espacio un entorno físico, tecnológico, social, ambiental e institucional propicio para atraer y desarrollar actividades económicas generadoras de riqueza y empleo (Cabrero, 2003).

Una estrategia de competitividad para el conjunto de las actividades económicas y en particular para los servicios, los cuales se han expandido marcadamente en la década de los noventa en las ciudades, no sólo debe tener en cuenta las características de la localización espacial sino de la capacidad para crear un entorno económico-social, tecnológico ambiental e institucional propicio, que impulse mejoras regulatorias, promoción de redes y cooperación empresarial, planeación estratégica, vínculos entre universidades y empresas. Es decir, la competitividad reclama cooperación (Cabrero, 2003).

La competitividad urbana implica incorporar en las agendas de los gobiernos de las ciudades cuestiones tales como: i) atraer y retener no sólo capital sino mano de obra de alta calificación para lo cual debe promoverse una nueva relación entre gobierno-empresas-universidades, ii) facilitar el comportamiento de las empresas que actúan en red en diferentes sectores económicos, iii) crear nuevas infraestructuras requeridas por las nuevas tecnologías de la información, iv) regular las nuevas formas de ocupación del territorio, en particular las actividades del capital inmobiliario sobre el espacio urbano, v) ofrecer disponibilidad de suelo para los denominados nuevos artefactos urbanos (centros comerciales)<sup>12</sup> que son los símbolos de la actual modernización urbana y vi) impulsar la adopción de tecnologías innovadoras que cuiden la protección del medio ambiente (Ziccardi, 2009).

La competitividad entonces se convierte en un factor determinante en el desarrollo urbano y regional, ya que a través de acciones y políticas implementadas por los gobiernos locales se puede lograr que estos espacios participen en el mercado nacional, regional e internacional

---

<sup>12</sup> Lo fundamental es que estos nuevos artefactos urbanos, se localizan allí donde existe cierta capacidad de consumo y un mercado que pueda justificar su existencia (Ziccardi, 2009).

de bienes y servicios, incrementen su ingreso real y el bienestar de sus ciudadanos, y promuevan un desarrollo sustentable (Cabrero, 2007).

Un sistema urbano eficiente y competitivo propicia beneficios para la economía nacional y la competitividad urbana será algo más que un simple juego de suma cero. Para lograr lo anterior es necesaria la instalación de políticas territoriales desde una óptica de coordinación entre los niveles central y local. Por último, es necesario recordar que competitividad económica y calidad de vida no deben ser dos objetivos independientes, sino elementos interrelacionados de una pirámide que se propugna en la eficiencia microeconómica y se ve reflejada en mejores condiciones de vida para la población (Sobrino, 2004).

En México el desarrollo local y la competitividad urbana han adquirido especial relevancia en los inicios del siglo XXI. Esta orientación hacia la competitividad ha sido propiciada por el creciente dinamismo de los gobiernos locales a partir de la década de los noventa. Los municipios urbanos son un nuevo actor económico en México. Este surgimiento de los gobiernos urbanos ha sido impulsado por la creciente pluralidad política y alternancia de partidos en el gobierno, por el incremento de los recursos fiscales disponibles para los municipios y por una competencia por atraer la inversión externa (Pineda, 2008).

En el contexto actual de economía global, el desarrollo y la competitividad local es resultado de la capacidad de liderazgo del gobierno local para propiciar relaciones recíprocas mutuamente benéficas con el sector de los negocios y el sector de la sociedad civil organizada, así como entre esos dos sectores entre sí. La clave en este caso no es un solo sector sino la conjunción y sinergia que se da entre los tres sectores: gobierno, iniciativa privada y sociedad civil. Las comunidades y las organizaciones que adoptan este enfoque promueven lo que se puede llamar la iniciativa cívica, es decir buscan transformar la cultura orientada al bienestar social en un modelo de operación orientado a los negocios y al crecimiento de los capitales financiero, físico, humano, cultural y social. La idea es que en una ciudad competitiva, el trato del gobierno a el sector privado y a la sociedad civil no



sea hostil ni escéptico sino que se les trata como socios donde ambas partes esperan alcanzar su propia rentabilidad (Pineda, 2008).

El manejo constante de las variables de Sustentabilidad permite hacer una gestión de riesgos de largo plazo, cuestión que en los tiempos volátiles en que nos encontramos se convierte en una de las herramientas de competitividad más potente que una compañía, una región o incluso un país puede implementar. Todas estas prácticas apuntan directamente a fortalecer, en el largo plazo, la competitividad de los distintos agentes económicos, superan ampliamente la filantropía y establecen una relación sólida y sustentable con el entorno social y medioambiental. Fomentando el comportamiento medioambiental correcto, que es innovador por naturaleza, generando amplias oportunidades en desarrollo de nuevos productos, acceso a mercados desarrollados y altos márgenes por eficiencia energética de la producción. Esto al mismo tiempo otorga reputación, liderazgo y rentabilidad. Sólo de esta manera se puede, como empresas y como países, avanzar hacia el desarrollo y lograr al mismo tiempo permanencia en los mercados. Es así que, la competitividad entendida como la capacidad de una organización pública o privada, lucrativa o no, de mantener sistemáticamente ventajas comparativas que le permitan alcanzar, sostener y mejorar una determinada posición en el entorno socioeconómico, solo puede verse fomentada si se aplican prácticas sustentables (Núñez, 2009).

### **1.2.3.1 Prácticas sustentables**

Cuando pensamos en sustentabilidad, frecuentemente pensamos en duración, longevidad y respeto por el medio ambiente. En general, una práctica sustentable es una práctica que toma en consideración la salud a futuro. Una práctica no sustentable tiene un balance con efecto negativo, el cual a lo largo del tiempo afectará adversamente a una persona, a la sociedad y al medio ambiente. Un caso clásico es nuestro actual uso del petróleo como medio de energía. Este puede ser considerado como no sustentable debido al hecho de que el petróleo es ampliamente irrenovable y, cuando es quemado, daña al medio ambiente. Cualquier práctica que cause un agotamiento irreversible de recursos o una degradación ambiental a largo plazo es una práctica no sustentable. Igualmente, si una empresa privada

en particular expelen grandes cantidades de desperdicios durante su proceso de producción, corrompiendo al medio ambiente, esto será considerado también una práctica no sustentable, sin importar lo que estén produciendo.

La inherente ineficiencia del sistema económico eventualmente crea multiplicidades innecesarias, desperdicio y contaminación. Eso nos lleva a ideologías no sustentables. Este tipo de pensamiento es el que de manera inherente conduce a un individuo o a una comunidad a prácticas insustentables. En un sistema económico vigente, no hay retribución por la sustentabilidad, ya que este está construido sobre la competencia y la regeneración. En tal circunstancia, la viabilidad ambiental está en un segundo plano respecto a la ganancia, ya que la supervivencia de una empresa está establecida en la rentabilidad económica, la cual está sustentada en parte sobre la reducción de costos y el crecimiento del ingreso. Por lo tanto, las prácticas insustentables que existen en todas las industrias son el resultado de un defecto subyacente en la misma estructura ideológica de la economía. La escasez y la obsolescencia planeada son recompensadas en el corto plazo porque crea un incremento de las ganancias, mientras crea más trabajos. Fundamentalmente, esta retribución a corto plazo tiene como consecuencia una degradación a largo plazo".<sup>13</sup>

Las prácticas que se pretenden portadoras de sustentabilidad articulan, sobre todo, argumentos de eficacia eco-energética y de la calidad de vida. Mezclada a dichos modelos está una representación tecno-material de la problemática y de las soluciones para las ciudades. Se atribuye a la planificación urbana, entre otras cosas, el papel de minimizador de la degradación energética a través del desarrollo de tecnologías que buscan el reciclaje y la recuperación del ambiente. La trayectoria que evoluciona rumbo a la eficiencia ecológica conjuga proyectos de cambio técnico urbano y programas de educación ambiental, que se vuelcan a la ampliación de la llamada conciencia ecológica. Como efecto, en esos proyectos de ciudad se verifica una nítida despolitización de la cuestión ambiental, un rechazo al reconocimiento de conflictos entre medio ambiente, economía y producción del espacio (Moura, 2005).

---

<sup>13</sup> <http://chapters.thezeitgeistmovement.com/>, consultada el 17 de diciembre de 2009

Cada una de las llamadas buenas prácticas, en lo que se refiere a la sustentabilidad, se inscribe en los cuadros de un proyecto urbano, fundado en un aparente saber objetivo respecto a flujos y parámetros. Se nota, en esos casos, el reiterado recurso a una base técnica para presentar y legitimar indicadores de calidad de vida o de sustentabilidad urbana: metros cuadrados de área verde por habitante, toneladas de desechos reciclados, kilómetros de ciclovías. Y sobre todo, el recurso a la técnica que distingue las buenas prácticas de las malas. Se naturalizan así las representaciones y se construyen esquemas ordenadores de la vida urbana y definidores del orden que se intenta imponer (Moura, 2005).

#### **1.2.4 Transporte: eje del ordenamiento espacial**

Medio ambiente y sociedad es lo mismo cuando hablamos de áreas urbanas. Las políticas urbanas tienen que basarse en hacer la ciudad sustentable para las personas que viven en ella, y eso comprende un amplio abanico de actuaciones, muchas de ellas relacionadas con el medio ambiente. Los objetivos de la sustentabilidad urbana van desde la preservación y recuperación de los espacios verdes hasta la mejora de la movilidad o la calidad del paisaje en el medio urbano. De esta manera tanto competitividad (entendido como mejora económica) y creatividad (entendido como innovación) tienen que acompañar la sustentabilidad en la creación de políticas urbanas, que tienen que tener como principal objetivo la mejora de la calidad de vida de los habitantes (Pérez, 2008).

Hoy, en la mayoría de ciudades del mundo occidental, la movilidad es la actividad, del conjunto de actividades de la ciudad, que mayor consumo de energía arroja. Ello es así porque el transporte en la ciudad tiene en el vehículo privado el mecanismo que asume, cada día más, un número mayor de viajes. A medida que la urbanización difusa se expande por el territorio, el vehículo privado es el único medio de transporte que puede alimentarla y darle servicio. Son ya muchas las ciudades donde el porcentaje de viajes en automóvil privado llega a cifras cercanas al 80%. El resto de modos de transporte tiene cada vez menos sentido, en la medida que aumenta la separación entre los usos y funciones urbanas.

La potencia energética de un ser humano es cercana a los 150w, y la potencia energética media instalada en un vehículo es de 73kw, es decir, más de 600 veces la potencia energética de una persona. Cuando el funcionamiento de los sistemas urbanos se sustenta en el uso masivo del vehículo privado para realizar las funciones de la vida cotidiana, el consumo de energía se multiplica de manera exponencial, en proporción al número de viajes realizados, la distancia y la velocidad (Rueda, 1999).

La tendencia actual de producir urbanización consiste en la implantación de usos y funciones en el territorio de un modo disperso, buscando la compatibilidad entre los usos y la mejor ubicación de las actividades económicas en las redes que el nuevo urbanismo va dibujando (Rueda, 2002). Las ciudades y regiones urbanas dependen hoy para sobrevivir y crecer de una vasta y creciente cantidad global de territorios productivos. Los sistemas urbanos se apropian necesariamente de la producción ecológica y de las funciones de soporte de la vida de regiones distantes de todo el mundo a través del comercio y los ciclos bioquímicos de materia y energía. Bajo este contexto la capacidad de carga cobra relevancia<sup>14</sup>. Su cálculo nos permite tener una medida aproximada de las necesidades de capital natural de cualquier población, en comparación al suministro disponible (Rueda, 1999).

---

<sup>14</sup> Debido a la expansión del comercio y la tecnología, puede parecer que la capacidad de carga de un territorio no es demasiado relevante, puesto que se pueden importar recursos localmente escasos, exportando residuos o ir eliminando determinadas especies para aumentar nuestra capacidad de producción. Esto sería cierto si los recursos planetarios fueran ilimitados, pero esto no es así. Hoy el grado de explotación al que sometemos al conjunto de ecosistemas de la Tierra es de magnitud suficiente para afirmar que su capacidad de carga está comprometida en su conjunto. La tecnología puede reducir directamente la capacidad de carga incrementando el flujo de energía y materiales a corto plazo a través de los ecosistemas explotados. Esto parece mejorar la productividad de los sistemas mientras, realmente, lo que hace es erosionar la base de los recursos. El comercio puede liberar a una población local de las limitaciones de su propio territorio; pero solamente desplaza la carga a otro sitio. En efecto, las poblaciones locales incorporan excedentes de la capacidad de carga de otras. El comercio puede llevar a una disminución de la capacidad de carga global, pues al acceder a importaciones baratas (por ejemplo comida), no hace falta ya conservar el propio capital natural local (por ejemplo la tierra de cultivo) y además se acelera el agotamiento del capital natural en regiones explotadoras distantes. Lo grave es que el movimiento de mercancías es libre en todo el mundo, pero no así el de personas. El flujo neto de los materiales y energía sin degradar tiene una clara direccionalidad desde el Sur hacia el Norte y de las personas al revés. Las poblaciones del Sur tienen restringida la movilidad hacia los países del Norte aunque sean estos los que se aprovechen de los recursos de los países menos desarrollados (Rueda, 1999).

La movilidad horizontal es hoy la que provoca un mayor consumo energético que se disipará en forma de calor y de contaminantes atmosféricos y es, también, la incitadora de un mayor uso de suelo y la causante de una mayor simplificación de los sistemas naturales (Rueda, 2002).

La combinación entre la dispersión edificatoria que impone la ciudad difusa y la necesidad de transporte de personas, materia y energía da como resultado un uso masivo de los medios de locomoción. La red de movilidad se satura y los intentos para liberarla de la congestión con más kilómetros de red, desembocan en un aumento de la congestión y de las variables que están relacionadas con ella. En efecto, en la ciudad difusa aumenta, necesariamente, la emisión de gases a la atmósfera, la superficie expuesta a niveles de ruido inadmisibles, el número de accidentes y el número de horas laborales perdidas en desplazamientos (Rueda, 2002).

Los efectos más adversos de esta forma de desarrollo disperso basado en el uso elevado del automóvil particular: son congestión y pérdida correspondiente de productividad y de tiempo de desplazamiento; mayor coste del transporte para la comunidad; pérdida de espacios verdes valiosos; mayor consumo de energía para el transporte de pasajeros; contaminación y sus consiguientes problemas para la salud; menor calidad de vida urbana; problemas de salud provocados por la falta de ejercicio físico; exclusión social de quienes no pueden permitirse vivir cerca del centro urbano y no tienen acceso a un automóvil particular (UITP, 2009).

Con base en esta visión, la resolución de los conflictos de transporte que genera la ciudad difusa, se pueden abordar, únicamente, aumentando la infraestructura para restituir la velocidad perdida o para resolver la saturación de la red. Esto representa ocupar más espacio, consumir más energía y más materiales, para acabar haciendo, diariamente, lo mismo. Este proceso que es dinámico, es complementario y, generalmente, el precursor de nuevos asentamientos urbanos dispersos que se encargarán de hacer insuficiente cualquier ampliación de la red, desplazando el problema de la congestión y las variables que lo acompañan, a superficies cada vez mayores (Rueda, 2002).

En el centro urbano, la congestión provoca estrés ambiental que dificulta el uso del espacio público para el contacto y la comunicación. El automóvil es el responsable principal de la degradación de la calidad ambiental del espacio público y de la ciudad, provocando que la calidad de vida de los ciudadanos se reduzca hasta el punto de considerar la circulación y sus efectos como los principales problemas de vivir en ella. El tránsito masivo de vehículos automotor, que ocupa gran parte del espacio público, arremete contra la esencia de la ciudad y predispone al ciudadano a creer que la ciudad se ha hecho intolerable (Rueda, 2002).

No tiene mucho sentido el despilfarro energético que el sistema de transporte actual genera, en especial cuando se instala la congestión, así como la irracionalidad que representa dotarse de medios mecánicos para hacer trayectos en el menor tiempo posible y conseguir, gradualmente, los resultados contrarios. La velocidad media del transporte en superficie, en nuestras ciudades, es cada día menor. El tráfico masivo de vehículos se revela como el mayor generador de disfunciones del sistema urbano. En este momento, el deterioro del medio ambiente urbano es, en gran parte, consecuencia de la presencia y el uso asfixiante de los vehículos privados. A igualdad del resto de condicionantes físicos que caracterizan a un determinado fenómeno de movimiento, la energía requerida para desplazar un móvil crece necesariamente con la distancia y la velocidad. El crecimiento de la velocidad del transporte únicamente puede conseguirse con mayores consumos de energía, y también de los diversos materiales utilizados en la construcción de los vehículos e infraestructuras (Rueda, 2002).

El desarrollo tecnológico puede ir perfeccionando el marco físico en que se produce el transporte, pero dentro de cada marco físico-tecnológico, el incremento de la distancia y la velocidad seguirán requiriendo mayores consumos de energía y materiales (Rueda, 2002).

La proliferación de las redes de movilidad por carretera, en especial las redes de vías segregadas, es causa de una profunda insularización<sup>15</sup> de los sistemas naturales, ya que la

---

<sup>15</sup> Proceso de aislamiento ecológico de un área que es ocupada por uno o más ecosistemas. Causa el aislamiento geográfico de subpoblaciones de especies. Comparar con fragmentación (Kappelle, 2004).

mayoría de organismos vivos no pueden atravesar las barreras que las vías les imponen. La reducción de la superficie natural de un hábitat o su aislamiento comporta una pérdida de especies ya que la extinción supera a la inmigración. La consecuencia de todo ello es una simplificación y degradación de los ecosistemas naturales (Rueda, 2002).

En un contexto de internacionalización de la economía y de competitividad entre los sistemas urbanos, la explosión urbana de las últimas décadas y la compartimentación del territorio provocada por la red de movilidad, la separación de funciones y la degradación urbana provocada por la congestión y el estrés ambiental, la pérdida de estabilidad y cohesión social derivadas de la separación espacial de grupos segregados socialmente según su renta, el consumo y despilfarro del suelo, energía y recursos naturales, la explotación sin límites de los ecosistemas locales, regionales y globales para mantener la organización y la complejidad de la ciudad, son, como hemos podido comprobar, algunas de las disfunciones en la ciudad actual, claramente diferentes a las conocidas anteriormente (Rueda, 2002).

La expansión urbana hace que el transporte público y otras formas alternativas al automóvil resulten menos viables, creándose así un círculo vicioso. La menor demanda de transporte público hace que éste reciba una cantidad menor de recursos, lo que, a su vez, genera una reducción de los servicios, etc. Para romper este círculo vicioso, es urgente que los planificadores urbanos y de transporte, los responsables de la toma de decisiones (a nivel local, regional y nacional) y los promotores inmobiliarios adopten un nuevo enfoque con respecto a la relación entre la planificación urbana y el transporte público. Para la economía urbana general, los costos del transporte suelen ser inferiores cuando se produce un desarrollo compacto entorno al transporte público y no cuando se da un desarrollo disperso y dependiente del automóvil (UITP, 2009).

Se comprueba, pues, que los conflictos no son únicamente internos al sistema urbano, ya que los problemas han traspasado sus límites impactando sobre los ecosistemas locales, regionales y globales superando, en ocasiones, su capacidad de carga y su viabilidad en el tiempo. El modelo urbano, los criterios y objetivos que se escojan han de buscar, pues, la

obtención de una ciudad sustentable social, económica y ambientalmente, reduciendo las disfunciones de la ciudad existente y evitando las disfunciones potenciales en la ciudad de futura construcción (Rueda, 2002).

El modelo actual de ciudad difusa es claramente insustentable y que es necesario promover el modelo de ciudad compacta y compleja, como modelo de referencia, incorporando las mejoras necesarias (reequilibrio del uso del espacio urbano, modificación del actual modelo de movilidad, promoción de la autosuficiencia urbana en agua y energía, etc.), en los procesos de los sistemas urbanos hacia la sustentabilidad (Rueda, 1999).

El modelo de implantación urbana en el territorio puede ser responsable de buena parte de las emisiones generadas, ya que de él dependen el modelo de movilidad, el transporte es el factor que mayor contaminación genera en la mayoría de sistemas urbanos, las tipologías edificatorias y los tipos de actividad industrial compatible o no con otros usos urbanos (se supone que actividades compatibles con otros usos, por ejemplo los residenciales, son poco contaminantes). El modelo de ciudad compacta puede, en principio, reducir sustancialmente las emisiones respecto a los modelos urbanos dispersos y extendidos sobre el territorio (Rueda, 1999).

La ciudad difusa, originada en el funcionalismo, como aceleración del individualismo, genera proceso de exclusión social y presenta disfunciones territoriales. La ciudad compacta posibilita el encuentro, integra usos, aumenta la accesibilidad la movilidad y el intercambio, consumiendo el mínimo de territorio (Bartorila, 2005).

En la ciudad compacta, las soluciones a un aumento de los intercambios como resultado de un mayor número de contactos físicos, es posible idearlos en sentido contrario al que viene obligado el modelo disperso. El número de viajes a pie, el más utilizado en la ciudad compacta, se puede acrecentar incrementando la calidad urbana, mejorando el diseño de la vía incluidas las partes más pequeñas (aceras, uso de materiales nobles como la piedra, etc.), mejorando y ampliando los itinerarios peatonales y el mosaico de plazas y zonas verdes (en ocasiones, no es necesario que sean grandes plazas, ni grandes parques;



pequeñas plazas y perspectivas con puntos de verde entrelazados es suficiente), aumentando la diversidad de actividades en las plantas bajas de manera concatenada, etc. Crecerá, todavía más, el número de viajeros a pie, cuando se liberen de vehículos privados amplias zonas de la ciudad de la ocupación actual, que someten a la mayor parte del espacio público a niveles de ruido, de contaminación atmosférica y visual y riesgo de accidentes, cuando menos innecesarios. El transporte público puede ser racionalizado y conseguir, con voluntad de hacer un servicio eficiente que atienda a la práctica totalidad de la ciudad compacta, a un costo entrópico menor que el derivado de una movilidad equivalente en transporte privado. Un transporte público eficiente obliga a reducir el número de automóviles que circulen y liberar de tráfico privado la mayor parte de las vías. Esto no quiere decir que se prohíba el uso del vehículo privado en la ciudad; se le ha de dar, no obstante, otro papel con un peso específico menor (Rueda, 2002).

La calidad ambiental, que es uno de los componentes básicos de la calidad de vida, aumenta sustancialmente, ya que la ciudad mediterránea liberada del transporte privado permite mejorar el paisaje urbano y el espacio público, al mismo tiempo que se reduce el estrés ambiental. La ciudad compacta, al contrario que la ciudad difusa, puede aumentar, con un menor consumo energético y de espacio, el número potencial de contactos o dicho de otra manera, puede aumentar la complejidad de la ciudad disminuyendo el número de vehículos que circulen por ella. Las alternativas de transporte en la ciudad compacta son el medio que permite, para un consumo energético menor respecto a la ciudad dispersa, obtener una mayor complejidad del sistema que, en términos de información, implica hacer más próximos los entes del sistema urbano con relación potencial y poder acceder a los intercambios con medios de menor consumo energético y un menor impacto sobre los sistemas naturales (Rueda, 2002).

Por otra parte, la separación espacial de funciones, de manera similar al problema que padecen los transportes públicos, complica la red de servicios técnicos para suministrar a los asentamientos urbanos dispersos, gas, agua, alcantarillado, teléfono, electricidad y, ahora, fibra óptica. Los servicios soterrados son prisioneros de un derroche exagerado, pues los espacios urbanizados se han implantado sin orden ni armonía. Los servicios al aire libre,

además del impacto visual, consumen considerables franjas espaciales, aunque no lo parezca<sup>16</sup>. En la ciudad compacta es factible ordenar el desorden, pues la proximidad y la mayor regularidad formal de las piezas urbanas lo facilitan. Aunque actualmente el desarrollo de los corredores de servicios es limitado, se debería hacer un esfuerzo de consenso entre las compañías de servicios y la administración para habilitarlas en el subsuelo de la totalidad del territorio construido. Además de la facilidad de poner orden, la ciudad compacta permite eliminar del territorio esta telaraña de cables aéreos y sus impactos (Rueda, 2002).

La densidad de la estructura permite planificar el almacenamiento subterráneo de recursos y bienes de consumo, conectándolo con la superficie, pudiéndose sustraer de la superficie y permitiendo una reducción del impacto y las fricciones de ciertos usos actuales. Del mismo modo puede planificarse el subsuelo para la realización de ciertos servicios: residuos, aguas, etc. Además de los conocidos servicios de estacionamiento. La construcción del subsuelo tiene sentido en la ciudad compacta que, de nuevo, tiene en la densidad estructural de usos y funciones, la masa crítica para acomodar una propuesta como esta. En la ciudad difusa, al igual que ocurría con el transporte público, el uso del subsuelo no tiene demasiado sentido (Rueda, 2002).

La nueva planificación con el objeto de un uso más racional de un recurso tan escaso como es el suelo, debería repensarse dotando a cada m<sup>2</sup> de suelo sustraído a los sistemas de soporte del mayor valor añadido, es decir que contuviera la máxima información incorporada, sea en usos, funciones o tecnología (Rueda, 2002). El mejoramiento de la ciudad como espacio habitable constituye un recurso de desarrollo de la economía pos industrial. Este atributo del espacio urbano es condición indispensable para la atracción, generación y mantenimiento de las empresas de alta tecnología, pues son condiciones que desean y necesitan sus trabajadores y empresarios. Es además condición merecida por los residentes de la ciudad (Navas, 2001).

---

<sup>16</sup> Ejemplo de esto, es la red de alto voltaje (66.000 voltios) en la Región Metropolitana de Barcelona, la cual ocupa 100 kilómetros cuadrados, espacio equiparable a el municipio de Barcelona en su conjunto (Rueda, 2002)

Estamos viviendo en una sociedad de riesgo que se caracteriza por la fragilidad de los ecosistemas, por la insuficiente capacidad de las instituciones para ofrecer protección social y ecológica ante los efectos de la modernización capitalista en su fase actual, por la debilidad de los mecanismos políticos de la democracia para asegurar una gestión que asegure el acceso a bienes públicos globales (como el agua) hoy disputados por la lógica mercantil y por la incertidumbre que genera a nivel cultural e intelectual las tendencias que pueden adquirir estos fenómenos globales, entre ellos el cambio climático (Trímboli, 2008).

La sustentabilidad de las ciudades, en cuanto espacios de la habitabilidad y de la convivencia humana, y la forma de enfrentar desde ellos el cambio climático es una buena prueba para implementar estrategias de empoderamiento, tales como que (Trímboli, 2008):

1. Los municipios deben incorporar en sus acciones prioritarias su contribución al cumplimiento de los acuerdos de Kyoto.
2. La política de transporte público son un eje clave necesario para enfrentar el cambio climático, asegurando acceso social y mitigación ecológica a la vez.
3. Es preciso desarrollar a nivel de los gobiernos locales y regionales una re-conceptualización de los temas de planificación energética
4. Toda política de expansión y de integración urbana sustentable debe definir sus indicadores de mitigación del cambio climático
5. Definir acciones que combinen las políticas energéticas generales y la incorporación de energías renovables con las políticas de transporte público y privado
6. Sistematizar y difundir los aprendizajes sobre la puesta en práctica e impacto de micro medidas, en ámbitos como energía, gestión de residuos, transporte, que pueden llegar a ser eficaces a nivel general.
7. Se deben implementar políticas públicas para incentivar el consumo vecinal y familiar responsable de la energía, generando a través de ellas un valor agregado en el ámbito cultural y educativo.
8. Desarrollar medidas en el ámbito de la edificación para garantizar la calidad de las instalaciones y la certificación de las prácticas como acordes a la mitigación del cambio climático.

9. Desarrollar políticas de vivienda y de suelo urbano para combatir el cambio climático regenerando zonas urbanas ecológicamente saludables e impidiendo que la especulación inmobiliaria ponga en jaque la calidad de vida de las ciudades

### **1.2.5 Ciudades sustentables**

Consideraciones sobre la sustentabilidad son inevitables para el planeamiento urbano, a tal punto que hoy son herramientas de negociación en la mesa de promotores inmobiliarios y organismos reguladores: pero la mitigación está dando paso a otras figuras, más complejas y de alcances no calculados. Las primeras experiencias al respecto ya están en marcha: una intervención de escala urbana transforma en bienes de cambio las condiciones de ahorro energético determinadas por su diseño, reflejándose en la formación de una Ciudad Sustentable (Gutiérrez, 2005).

Una ciudad sustentable es donde se integran al proceso de proyecto e implementación aspectos sociales, económicos, físicos y ambientales simultáneamente. Una ciudad vista no sólo como una estructura física o de relaciones económicas. Por otro lado es una ciudad donde los logros alcanzados en el desarrollo social, económico y físico son perdurables. Además posee una oferta continua de los recursos naturales en los que basa su desarrollo (y los utiliza a un nivel de sustentabilidad). Al mismo tiempo que mantiene una seguridad permanente frente a los riesgos ambientales que pueden amenazar su desarrollo (permitiendo sólo niveles de riesgos aceptables) (Gutiérrez, 2005; UNCHS, 2000).

Como ya lo hemos mencionado la eficiencia y el ahorro de la energía en la ciudad sustentable entre otras variable se considera la ecuación entre transporte público y crecimiento. La eficacia de los transportes urbanos no solo tiene en cuenta la velocidad tecnológica, sino nuevos paradigmas como sustentabilidad, accesibilidad o exclusión social. Así un medio más eficiente, de más bajo costo y de mayor accesibilidad. Ya que el derecho a la ciudad tiene que ver también con adecuado acceso de los habitantes al conjunto del territorio urbano (Bartorila, 2005).

Un litro de combustible puede transportar un pasajero sobre 48 kilómetros en Metro, 39.5 kilómetros en Autobús y sólo un promedio de 18.6 kilómetros en Auto Privado. El metro o metros ligeros son los modos de transporte más rentables en términos de consumo energético, sus ventajas y eficacia serán más atractivas y sustentables a medida que se produzca más energía eléctrica a partir de energías renovables (Colmenares, 2007).

Prever el crecimiento urbano e introducir el transporte como guía de ello es la clave del proyecto de Curitiba en la coevolución urbana y el transporte público. Una ciudad intermedia que debía crecer, las líneas de transporte sirvieron como grandes ejes de desarrollo. La relación de crecimiento futuro, transporte público y densidad anticiparon en la capital de Paraná un armónico desarrollo, el planeamiento tuvo aquí la oportunidad de previsualizar, proyectar la ciudad, desde uno de los lineamiento centrales: el transporte (Bartorila, 2005).

Curitiba, una ciudad de aproximadamente 2 millones de personas se localiza en el sur de Brasil. Durante la última parte de la década pasada, la ciudad vio crecer su población a una tasa asombrosa que la hizo pasar de las 150 mil en los años 50s a las 1.6 millones de personas en 1971. El año de 1971 marcó la elección de un nuevo alcalde, el arquitecto Jaime Lerner y, el inicio de la transformación de Curitiba de una ciudad latinoamericana promedio que sufría de problemas asociados con el rápido crecimiento poblacional, a un ejemplo exitoso de sustentabilidad y planeación estratégica urbanas reconocido internacionalmente (Thicke, 2005).

Como otras ciudades latinoamericanas de mediados y finales del siglo XX, Curitiba sufría de problemas relacionados con el rápido crecimiento poblacional y la acelerada urbanización que éste conlleva. Las consecuencias se sintieron en Curitiba al igual que en toda América Latina en forma de congestiones viales y los problemas de contaminación del aire asociados a éstas, el hacinamiento residencial causante de condiciones de vida desiguales, grandes cantidades de desperdicios generados por la población urbana y una resultante crisis ecológica, así como la disminución de la calidad de vida en la ciudad, y, específicamente en Curitiba, las inundaciones generadas por la ocupación de planicies

ecológicamente sensibles. Estos son algunos de los retos que esta urbe modelo tuvo que enfrentar conforme crecía rumbo al siglo XXI. A diferencia de otras ciudades latinoamericanas – y de otras ciudades del mundo que enfrentaban y enfrentan estos y otros varios problemas relacionados- Curitiba escogió confrontar estos problemas aplicando soluciones creativas en un marco de desarrollo sustentable (Thicke, 2005).

La clave del modelo de Curitiba es su elaborado sistema de transporte público, interpretado como columna vertebral del funcionamiento de la ciudad. El buen funcionamiento del sistema se basa en el carril para autobuses con semáforos sincronizados y en las paradas continuas en las que se dispone anticipadamente del boleto y se ingresa a la altura del autobús de manera inmediata (Montaner, 2006).

Las estrategias para un sistema de transporte sustentable deben centrarse en reducir el uso vehicular e incrementar el transporte público y otras alternativas amigables al ambiente. Tales alternativas pueden promoverse a través de la creación de ciclistas y, como en Curitiba, zonas exclusivamente peatonales dentro del centro urbano. El sistema vial que compone los ejes estructurales está basado en una calle central con carriles exclusivos para el transporte colectivo y dos pistas laterales para el tránsito lento del comercio local, y dos calles paralelas al eje, de un solo sentido, con direcciones opuestas, centro/suburbio y suburbio/centro, para el tránsito rápido de vehículos (Thicke, 2005; Vallicelli, 2002).

El ejemplo en Curitiba de una red de transporte público sustentable ha sido ampliamente reconocido como muy exitoso. De hecho, el sistema de transporte público no sólo proporciona a la ciudad un ingreso extra, sino que además, es reconocido por la población local por su eficiencia, lo que se hace evidente en las estadísticas, que muestran que para 1991 un cuarto de los conductores habían dejado su coche, y aun más allá, que el 28% de aquellos que poseían un carro preferían no usarlo. Este rechazo al uso del automóvil y el uso del transporte masivo es fomentado y complementa con una red de ciclovías de aproximadamente 150 km de extensión, utilizada para transporte individual y esparcimiento. Todo este sistema proporciona un menor consumo de combustible, pues el

28% de los usuarios de vehículos particulares pasó a utilizar el transporte colectivo, contribuyendo así para mejorar la calidad del aire (Thicke, 2005; Vallicelli, 2002).

Este altamente exitoso sistema de transporte no es revolucionario en cuanto a su tecnología, sino en cuanto a su aplicación. El sistema depende de camiones estándar con algunas modificaciones para incrementar su eficiencia como una plataforma de abordaje elevada y cubierta que disminuye el tiempo de abordaje, y la eliminación de los boletos confiando en que los usuarios satisfechos con el servicio, lo pagarán. Estos autobuses viajan a lo largo de ejes estructurales, otra técnica de planeación urbana y transporte que también se estableció en Curitiba. Estos ejes, cinco en total, se extienden desde el centro hacia la periferia. La ciudad ha zonificado el área urbana directamente adyacente a estos ejes y allí se encuentra una alta densidad de servicios y comercios. Cada eje contiene dos rutas exclusivas para camiones y dos vías rápidas, una para tráfico local y otra para tráfico no local. El resultado de estas medidas ha sido la reducción de la congestión vial en el centro y un sistema de transporte colectivo altamente eficiente que transporta 3 veces más pasajeros, 3 veces más rápido que otros sistemas de transporte comparables (Thicke, 2005).

La Red Integrada de Transporte (RIT), actualmente en pleno funcionamiento, consolidó el sistema con la implantación de las estaciones de transferencia que permiten la utilización de tarifa y boleto únicos para todas las líneas. Esta modalidad favorece los usuarios de la periferia (generalmente de menor poder adquisitivo) que realizan diariamente trayectos más largos, pues son subsidiados por aquellos del área céntrica que efectúan trayectos más cortos (Vallicelli, 2002).

Curitiba, en la década del 70, fue pionera en la transformación de calles comerciales del Centro de la ciudad en calles exclusivas para peatones. De ello fue emblemática la rápida acción llevada a cabo en el invierno de 1972, cuando un grupo de ciudadanos, durante la noche, de manera organizada y no prevista por las autoridades, destruyeron el asfalto de la calle principal, con picos, perforadoras y palas mecánicas, consiguiendo robar espacio al automóvil para convertirlo en la primera calle peatonal. Un precedente de lo que iba a ser Curitiba en el futuro. El proceso de descongestionamiento iniciado con la implantación de

las calles peatonales y los ejes estructurales, ha tenido continuidad con la construcción de las Calles de la Ciudadanía. Son instalaciones que ofrecen a la población la oportunidad del ejercicio de la ciudadanía, descentralizando los servicios públicos administrativos en cada una de las ocho Administraciones Regionales y favoreciendo el fortalecimiento del desarrollo de los barrios (Montaner, 2006; Vallicelli, 2002).

Otra gran característica de Curitiba es el inmenso sistema de parques, los cuales tienen la función de servir de drenaje de todo el territorio. En uno de sus primeros actos como alcalde, Jaime Lerner distribuyó 1.5 millones de árboles a los ciudadanos con la idea –que ha demostrado ser correcta- de que plantando árboles, la población no solo se beneficiaría a largo plazo sino que la ciudad se beneficiaría a corto plazo por el renovado sentido de responsabilidad que los ciudadanos experimentarían. Los procesos de desarrollo participativo a pequeña escala como los llevados a cabo de forma exitosa en Curitiba, pueden ofrecer mayores resultados con un menor costo inicial (Thicke, 2005). La política de creación de áreas verdes ha sido tan intensa que se pasó en 20 años de 0,5 m<sup>2</sup> de área verde por habitante a 50 m<sup>2</sup>. Una parte importante de estos parques se ha situado en antiguas canteras y recintos industriales, lo cual ha permitido unas intervenciones mínimas y graduales para irlos regenerando y haciendo utilizables por la ciudadanía (Montaner, 2006).

El manejo de la infraestructura de la ciudad es un asunto complejo que algunas veces ignora los caminos para implementar las medidas sustentables que son por lo general consideradas como más costosas y más difíciles de emprender que las prácticas habituales. Este no tiene porque ser el caso, como lo prueba Curitiba, con su innovadora solución al problema de la basura con programas específicos como el Cambio Verde que atiende a 55 comunidades carentes y la Basura que no es Basura. Los ciudadanos de Curitiba separan su basura en dos categorías: orgánica e inorgánica (reciclable) para que sea recogida por dos tipos diferentes de recolectores. A las familias que viven en colonias donde los servicios de recolección no llegan, se les ofrece el incentivo de cambiar su basura por boletos del sistema de transporte, huevos, leche, naranjas o papas, que se cultivan en zonas agrícolas locales o por cuadernos, libros y juguetes en Navidad. La basura inorgánica va a una planta



en la que los trabajadores separan las botellas de vidrio y los materiales plásticos. La mayoría de los trabajadores de dicha planta son alcohólicos en recuperación, inmigrantes o personas discapacitadas. Los materiales reciclables que se obtienen se revenden a las industrias locales. Esta práctica de intercambiar los productos locales por basura y material reciclable mantiene el capital generado localmente dentro de los límites de la ciudad y con esto se busca desarrollar la conciencia ambiental de los ciudadanos. Al manejar así los desperdicios, Curitiba logra reciclar 2/3 de su basura y al mismo tiempo emplea a aquellos que requieren de un trabajo estable y proporciona a los agricultores locales una venta segura. Es así que la preocupación por el medio ambiente no se traduce solamente en los 52 m<sup>2</sup> de área verde por habitante ni en los 20 parques y 9 bosques municipales, sino en el esfuerzo permanente de educación ambiental de toda la población (Thicke, 2005; Vallicelli, 2002).

Además del caso de Curitiba tenemos el ejemplo de Dongtan, proyecto emprendido por el Gobierno de Shanghai, China para un desarrollar una nueva ciudad satélite en un terreno de 8.400 hectáreas. Proyectos como este, que proponen disminuciones en el consumo energético y en las emisiones de CO<sub>2</sub> pueden financiarse a través del mercado del carbón. Dongtan propone un diseño de su infraestructura física que comparado con un proyecto convencional es capaz de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Dongtan propone un diseño de su infraestructura física que comparado con un proyecto convencional es capaz de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Después de un proceso de evaluación, un comité de UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), le otorga CERs (Certified Emissions Reduction) a Dongtan por un monto equivalente a esta reducción. Los CERs son equivalentes a acciones, y pueden ser transados en cualquier bolsa o mercado financiero del mundo; los compradores son proyectos o países que no pueden cumplir con las reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub> acordadas en el protocolo de Kyoto (Gutiérrez, 2005; Urias, 2006).

Una ciudad de 500.000 habitantes como la que proyectamos, puede reducir emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes a US\$ 22 millones al año. Esto en un período de 25 años se convierte en aproximadamente US\$ 500 millones –valor presente–. Estos nuevos recursos serán

utilizados para financiar los costos incurridos en la ciudad para obtener mejores estándares en edificios, plantas generadoras de energía, plazas, parques, infraestructura de transporte público y caminos. Proyectos de infraestructuras físicas sustentables, que puedan actuar como soporte de las otras infraestructuras, serán incentivados por este mecanismo (Gutiérrez, 2005).

Con todo ello, advertimos que para evaluar la ciudad y planificar su desarrollo sustentable debemos observar los procesos que han tomado parte en el pasado en el crecimiento y desarrollo de la ciudad, y comprender como estos procesos han contribuido a la insustentabilidad social y urbana (Thicke, 2005).

Es claro que el aumento de la demanda de transporte no puede ser absorbido por la infraestructura existente de transporte. Se ha expuesto que el desarrollo de la red vial no constituye en sí la respuesta adecuada y los servicios de transporte público no son confiables ni atractivos en razón de los altos niveles de congestión vial. Muchas personas prefieren el vehículo particular, que resulta ser más lento y más caro, pero más cómodo. La tendencia indica que se deben desarrollar sistemas que puedan transportar un elevado número de personas como los tipo metro, trenes ligeros, trolebuses, autobuses y ahora los metrobuses, siempre circulando en vías exclusivas (Colmenares, 2007).

Cambiar las pautas y las formas de hacer urbanismo, incorporando criterios de sustentabilidad, debe generar espacios urbanos y pueblos en los que sea compatible la mejora del bienestar y calidad de vida de los habitantes y el respeto al medio ambiente con una buena economía local y un tejido social equilibrado. La sustentabilidad debe conseguir soluciones adecuadas a las condiciones de cada lugar y situación. No se pueden aplicar tipos de intervención homogéneos o estándar a todo tipo de lugares. No puede esperarse que la misma combinación de elementos de intervención genere resultados similares en diferentes lugares. La sustentabilidad en ningún caso implica uniformidad ni renuncia a la identidad propia de cada ciudad o territorio, entendida la identidad como elemento de construcción colectiva. En definitiva, el planeamiento debiera tener entre sus objetivos conseguir una ciudad compleja, diversa y accesible, que facilite la multiplicidad de

oportunidades y la facilidad de contactos, con el menor consumo de recursos y emisión de residuos posible (IHOBE, 2003).

Las políticas urbanas del siglo XXI tendrían que ser todavía más ambiciosas y tendrían que ser capaces de recoger las diferentes sensibilidades presentes en el territorio y desarrollar formas más democráticas y transparentes con el fin de reconocer a la ciudadanía como actor, el cual también tiene espacio en el proceso de elaboración de las políticas territoriales. Sólo entonces podrían llegar a ser ciudades verdaderamente competitivas, sustentables y creativas (Cruz, 2008).

### **1.3 Evolución de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)**

Durante la década de los cuarenta, con la conurbación entre la delegación Miguel Hidalgo en el Distrito Federal y el municipio de Naucalpan en el Estado de México da comienzo el proceso de metropolización en México, como consecuencia de la edificación de Ciudad Satélite. Desde esa época, se han realizado diversos esfuerzos por definir y delimitar las zonas metropolitanas del país tanto en el ámbito académico como en el gubernamental, esto con fines de planeación y de contribución al debate científico sobre el fenómeno (SEDESOL, 2007).

A pesar de que desde los años cuarenta México cuenta con zonas metropolitanas, las diferentes reformas económicas, políticas y en especial las constitucionales relacionadas a las facultades de los municipios en la regulación del suelo, no tomaron en cuenta la predisposición hacia la metropolización de varios centros urbanos; predisposición que habría de precipitarse y consolidarse en las décadas subsiguientes. Efectivamente, si para 1940 se aceptaba la existencia de cinco zonas metropolitanas, estas no han dejado de incrementarse, hasta cuantificarse 56 zonas metropolitanas en 2005, en las cuales se concentra 56 por ciento de la población total del país, 79 por ciento de la población urbana y 75 por ciento del producto interno bruto nacional, esto ha significado la transformación hacia un carácter predominantemente metropolitano del perfil demográfico y económico de México (véase cuadro 1.1) (SEDESOL, 2007).

Desgraciadamente, el fenómeno de metropolización que se transita en el país no ha sido proseguido de un marco normativo adecuado que avive el diseño y la aplicación de herramientas eficaces de planeación metropolitana (SEDESOL, 2007).

**Cuadro 1.1. Indicadores del proceso de metropolización, 1960-2005**

Indicador	1960	1980	1990	2000	2005
Zonas metropolitanas	12	26	37	55	56
Delegaciones y municipios metropolitanos	64	131	155	309	345
Entidades federativas	14	20	26	29	29
Población total (millones)	9.0	26.1	31.5	51.5	57.9
Porcentaje de la población nacional	25.6	39.1	38.8	52.8	56.0
Porcentaje de la población urbana	66.3	71.1	67.5	77.3	78.6

**Fuente: (SEDESOL, 2007)**

### **1.3.1 La Región Centro de México**

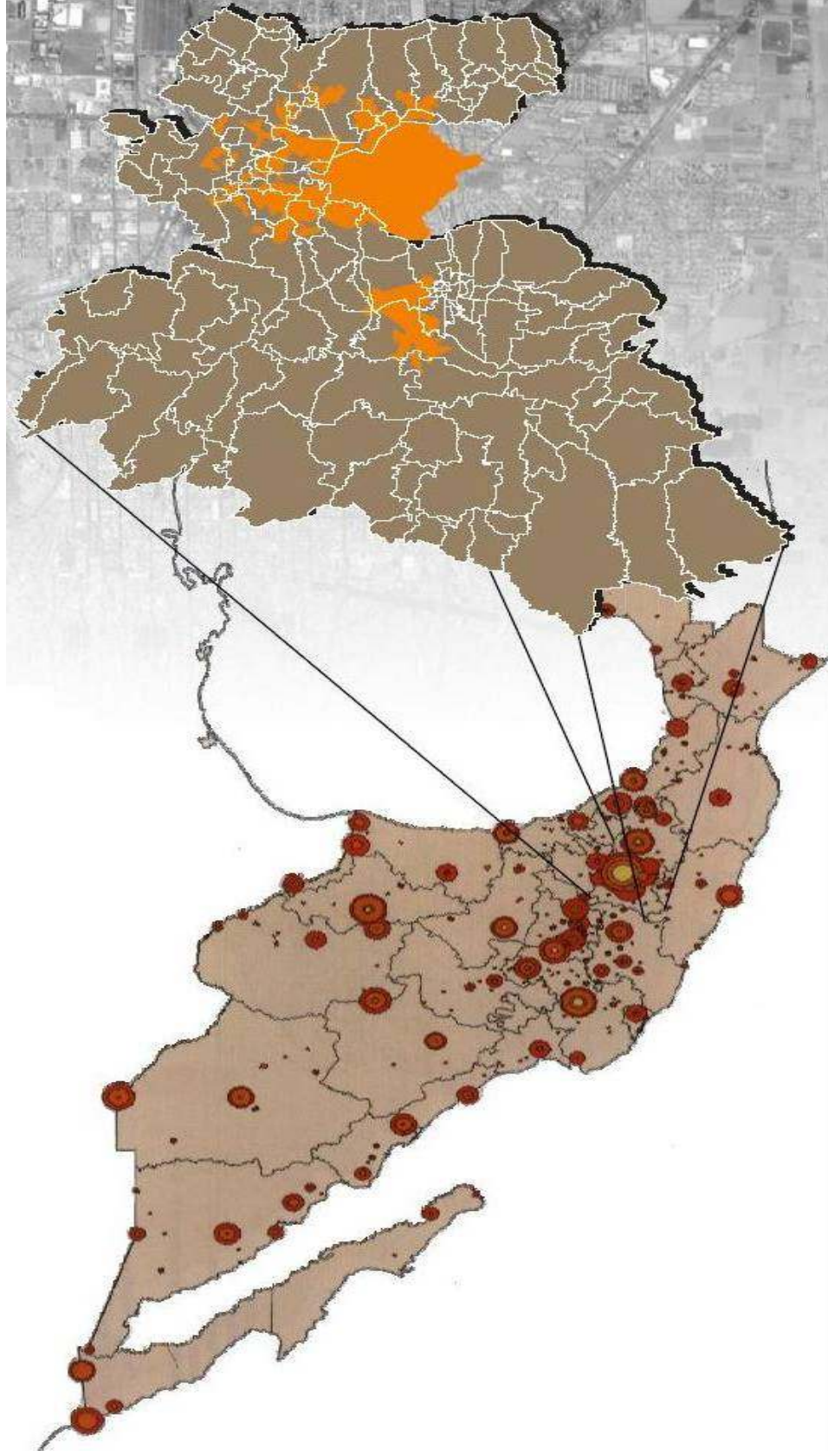
La Región Centro está integrada por siete estados: Distrito Federal, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala<sup>17</sup>; aunque constituye una pequeña porción del territorio total del país es sumamente trascendental debido a su concentración de población. Esta región, que representa el 5 por ciento del territorio nacional, comprende una área de 97,964 kilómetros; en 1995 su concentración poblacional era de 30.5 millones de habitantes, que conformaban el 33.4 por ciento del total de la población del país en ese año (véase figura 1.2) (Aguilar, 2003).

Respecto del país, la Región Centro ha acrecentado tenuemente su aportación relativa en el total de la población, pues en 1950 congregaba el 30 por ciento del total nacional y desde 1970 se ha mantenido próximo al 33 por ciento ya indicado. A pesar de esto, si vemos la cuestión del porcentaje de la población urbana respecto al total del país, ésta se contrajo de 48 por ciento en 1950 a 41 por ciento en 1990, manifestando un leve acrecentamiento en 1995 con un 43 por ciento (véase cuadro 1.2) (Aguilar, 2003).

---

<sup>17</sup> Con base a la propuesta hecha por Ángel Bassols a finales de la década de los setenta se establece esta delimitación regional (Aguilar, 2003).

Figura 1.2. Región Centro del País



Fuente: (SDUV, 2005)

**Cuadro 1.2**  
**Participación de la Región Centro en el Total Nacional, 1950-1995**

	1950	1970	1990	1995
Población total	30.1	33.0	33.3	33.48
Población urbana	48.3	45.1	40.7	42.84
Producto interno bruto	n.d.	43.0	42.9	41.03
Producto interno bruto en manufactura	n.d.	56.5	53.2	n.d.

**Fuente: (Aguilar, 2003)**

n.d. no disponible

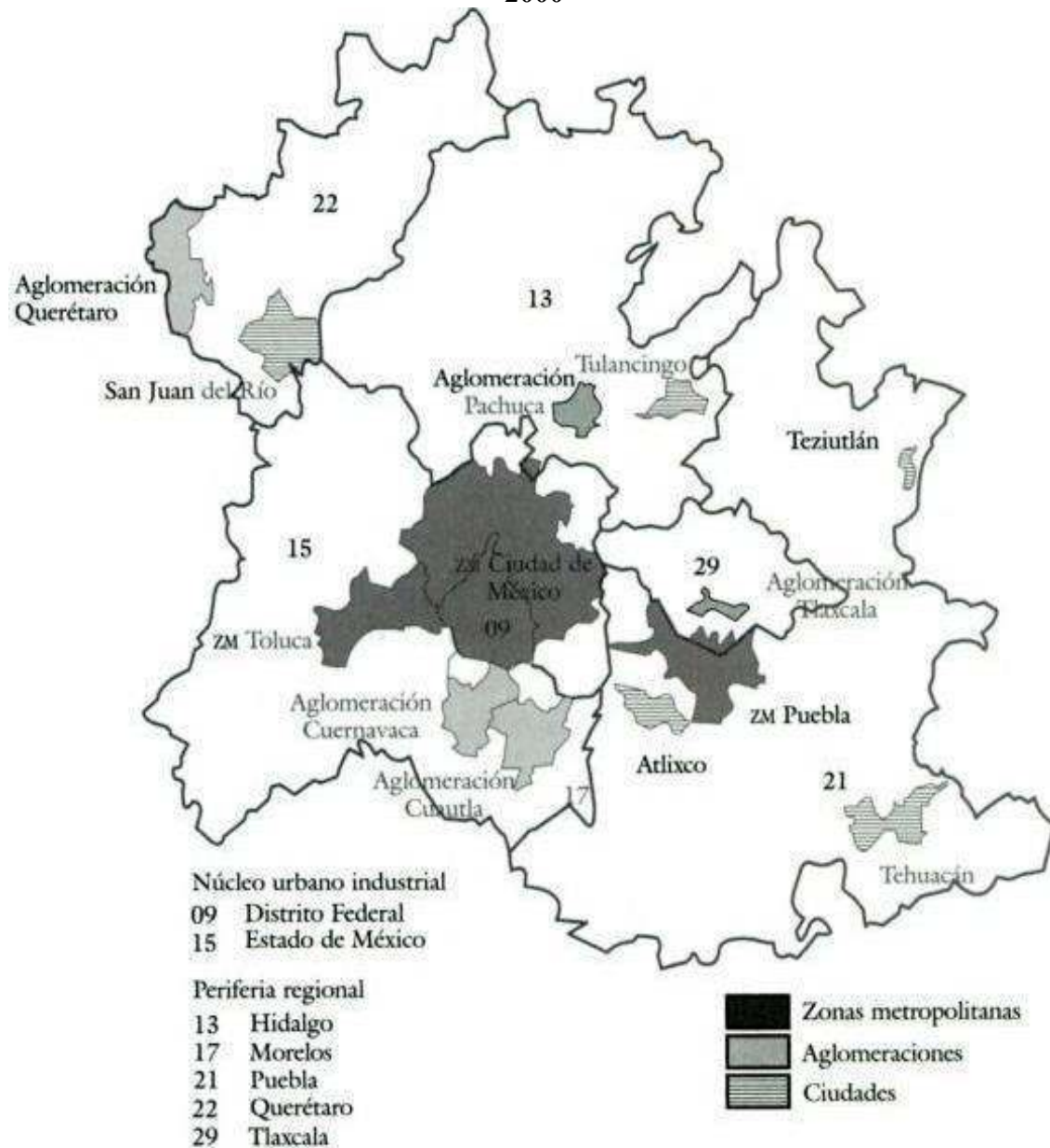
Tomando en cuenta estas cifras y especialmente el periodo 1970-1990, en la Región Centro se dio un proceso de desconcentración del crecimiento urbano en dirección de otros destinos urbanos en el resto del país, reflejado en la pérdida de peso relativo en la concentración urbana, si bien en los próximos cinco años aparecen en esta región ligeras tendencias a la reconcentración urbana (Aguilar, 2003).

La contribución de la Región Centro, en términos económicos reflejado en el producto interno bruto, ascendió para 1970 hasta un 43 por ciento del total del país; posteriormente a la crisis económica de principios de la década de los ochentas, la aportación de la región en el PIB cayó a 40 por ciento en 1985; en 1990 esbozo signos de recuperación, alcanzando otra vez casi un 43 por ciento; para esta participación cayó a 41 por ciento para 1995. En el mismo lapso, las actividades manufactureras figuraron como la principal aportación de la región al PIB del país; no obstante, esta participación disminuyó, de 57 por ciento en 1970, a 53 por ciento en 1990 (Aguilar, 2003).

Dentro de la región, las ciudades que más se destacan son las zonas metropolitanas de México, Puebla y Toluca, las aglomeraciones urbanas de Cuernavaca, Querétaro, Cuautla, Pachuca y Tlaxcala, así como Tehuacán, San Juan del Río, Tulancingo, Atlixco y Teziutlán. El Distrito Federal y el Estado de México conforman el "*núcleo urbano industrial*", ya que son las entidades sobre las que se ha expandido la Zona Metropolitana del Valle de México. Conjuntamente, la "*periferia regional*" incluye a los estados contiguos de Puebla, Morelos,

Querétaro, Hidalgo y Tlaxcala, cuyo dinamismo económico y migratorio está indudablemente influenciado por el accionar del núcleo (véase figura 1.3) (Chávez, 2004).

**Figura 1.3. Región Centro. División Política por Estados y principales ciudades en 2000**

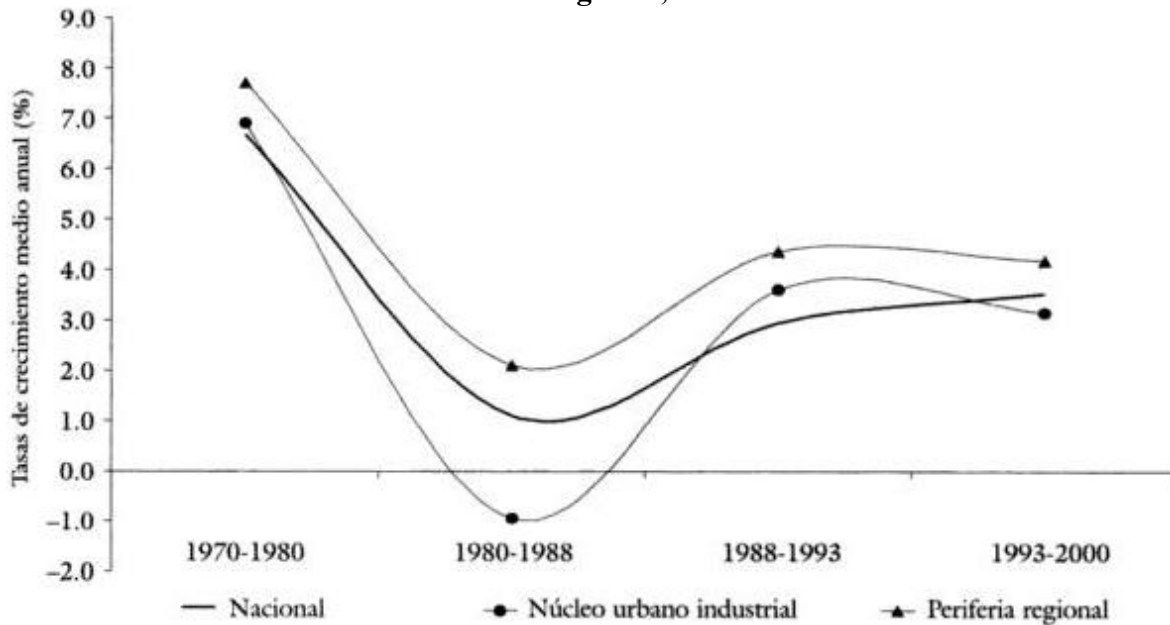


Fuente: (Chávez, 2004)

La propensión del PIB mostrada en la figura 1.4 tiende a manifestar que, mayormente en los últimos veinte años, ha acaecido una desconcentración económica de la Región Centro

hacia el resto del país, lo cual ha sido sumamente patente en lo que respecta a las actividades industriales (Chávez, 2004).

**Figura 1.4. Región Centro. Crecimiento del PIB Total en el Núcleo Urbano industrial y la Periferia Regional, 1970-2000**



**Fuente: (Chávez, 2004)**

En la actualidad esta región presencia un proceso de desconcentración urbana dentro de sus límites, con la Zona Metropolitana de la Ciudad de México como el centro predominante, presentándose un proceso de "*dispersión concentrada*" en dirección de ciudades medias y pequeñas que se comenzó a apuntalarse en los años ochentas. A este proceso se le ha designado como "reversión de la polaridad". La urbe como sistema se ha tornado más complejo en cuanto a las interacciones entre sus componentes, y la mayor intensidad de los flujos inter e intrarregionales permitiendo el establecimiento, cada vez más consolidado, de subsistemas regionales. Esto conlleva que la región centro acrecentará en los años venideros su densidad poblacional, sus necesidades sociales, su base productiva y sus tramas de intercambio, lo que sitúa la alta prioridad para atender su reestructuración interna (Aguilar, 2003).

Como ya hemos señalado, dentro de esta región se encuentra la ciudad de México, cuya zona metropolitana se extiende en los estados del Distrito Federal, el Estado de México e



Hidalgo, y cuya número de habitantes en 1995 era de 16.5 millones, por ello no sólo es la capital del país sino su principal metrópoli. Es indiscutible la relevancia de la ciudad de México en la Región Centro ya que en 1995 representaba el 54 por ciento de la población de la región y, en relación con Puebla (la segunda ciudad de importancia) era ocho veces mayor. El 50 por ciento de todos los establecimientos industriales están concentrados en la ciudad de México además del 70 por ciento de la fuerza laboral de toda la región; con esto se muestra su destacada importancia económica sumado a su gran poder concentrador (Aguilar, 2003).

### **1.3.2 La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)**

Según COMETAH (1998:34) la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se define como: *“el ámbito inmediato de influencia socio-económica y físico-espacial de la Zona Urbana del Valle de México. Por lo tanto, constituye un espacio de carácter estratégico para el ordenamiento urbano de la región”*.

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) establece sus límites con base en las características urbanas de las delegaciones y municipios que la instituyen, a diferencia de la ZMVM que aglutina un espacio más amplio, que circunscribe un número substancial de municipios que exhiben características rurales, pero que están sujetos a fuertes presiones de poblamiento debido a su localización, así mismo se han tomado como base la delimitaciones estatales (política-administrativas), que se estiman claves con fines de planificación.<sup>18</sup> Es así que, la ZMVM esta integrada por las 16 delegaciones del Distrito Federal, 59 municipios del Estado de México y un municipio del estado de Hidalgo (ver cuadro 1.2) (COMETAH, 1998; SEDESOL, 2007).

La delimitación de la ZMVM está dada por el estado de Hidalgo al norte, los estados de Tlaxcala y Puebla al este, por el estado de Morelos al sur, mientras que los municipios de Tepetzotlán, Nicolás Romero, Isidro Fabela, Jilotzingo, Naucalpan, Huixquilucan, Villa del

---

<sup>18</sup> Para formular el límite territorial de la ZMVM, se hizo coincidir con el límite de la *“Cuenca Económica de México”*, enunciado por Ángel Bassols y cuyas referencias datan de 1966 (COMETAH, 1998).

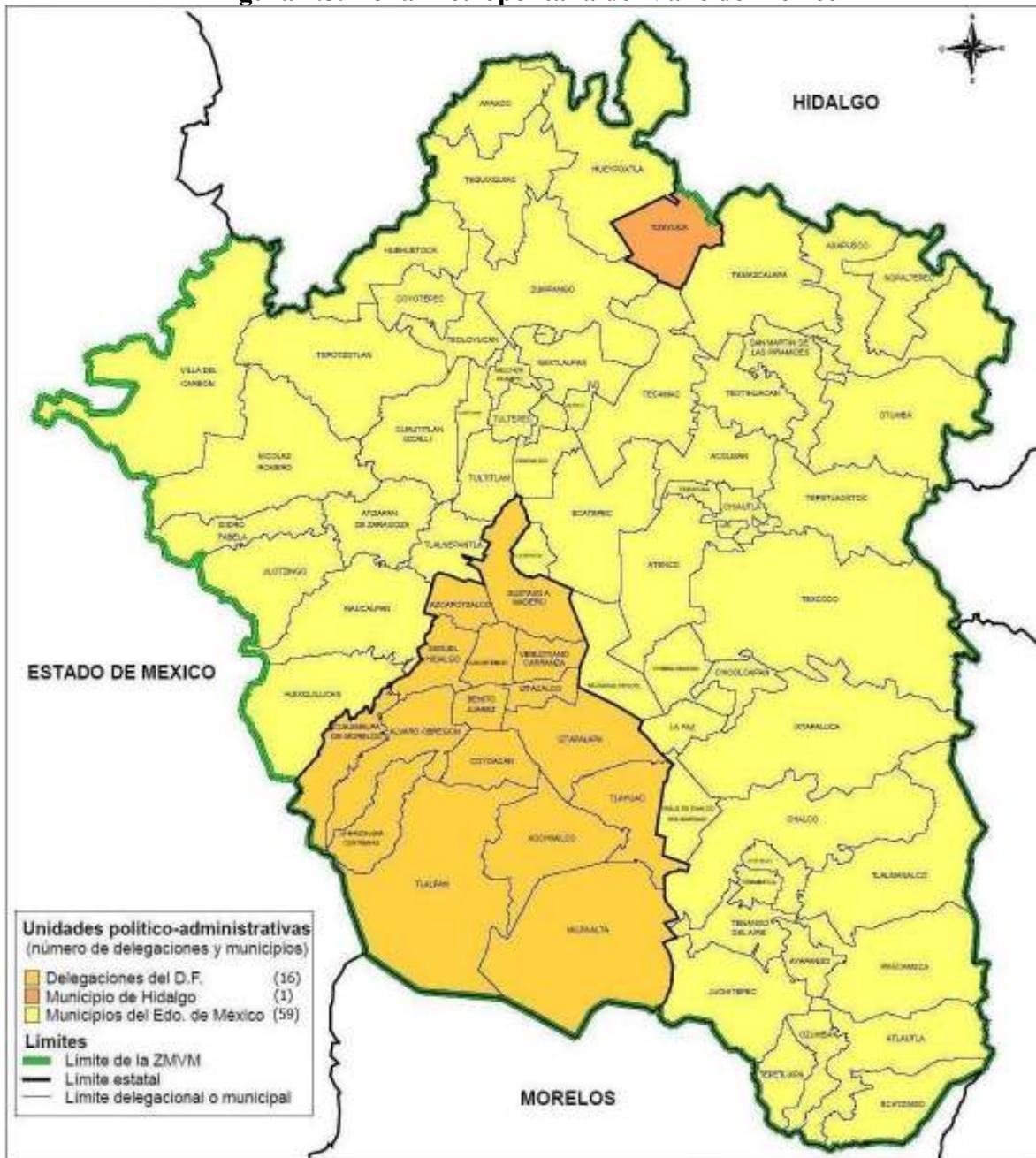
Carbón y el propio Distrito Federal definen la frontera al oeste que coincide con el de la Cuenca de México (ver figura 1.5) (COMETAH, 1998).

**Cuadro 1.2. Zona Metropolitana del Valle de México, 2005**

<b>Distrito Federal</b>	Amecameca	Huixquilucan	Tenango del Aire
Azcapotzalco	Apaxco	Isidro Fabela	Teoloyucán
Coyoacán	Atenco	Ixtapaluca	Teotihuacán
Cuajimalpa de Morelos	Atizapán de Zaragoza	Jaltenco	Tepetlaoxtoc
Gustavo A. Madero	Atlautla	Jilotzingo	Tepetlixpa
Iztacalco	Axapusco	Juchitepec	Tepetzotlán
Iztapalapa	Ayapango	Melchor Ocampo	Tequixquiac
Magdalena Contreras	Coacalco de Berriozábal	Naucalpan de Juárez	Texcoco
Milpa Alta	Cocotitlán	Nezahualcóyotl	Tezoyuca
Alvaro Obregón	Coyotepec	Nextlalpan	Tlalmanalco
Tláhuac	Cuautitlán	Nicolás Romero	Tlalnepantla de Baz
Tlalpan	Chalco	Nopaltepec	Tultepec
Xochimilco	Chiautla	Otumba	Tultitlán
Benito Juárez	Chicoloapan	Ozumba	Villa del Carbón
Cuauhtémoc	Chiconcuac	Papalotla	Zumpango
Miguel Hidalgo	Chimalhuacán	La Paz	Cuautitlán Izcalli
Venustiano Carranza	Ecatepec	San Martín de las Pirámides	Valle de Chalco Solidaridad
	Ecatzingo	Tecámac	Tonanitla
<b>Municipios Estado de México</b>	Huehuetoca	Temamatla	<b>Municipios Estado de Hidalgo</b>
Acolman	Hueypoxtla	Temascalapa	Tizayuca

FUENTE: Elaboración propia con base en (SEDESOL, 2007).

Figura 1.5. Zona Metropolitana del Valle de México



Fuente: (FEECIME, 2000)

El proceso histórico de la acción social que ha unificado en su cimentación la colaboración de cuantiosas generaciones, tanto de sus pobladores originales como de los inmigrantes oriundos de diversas culturas a lo largo de varios cientos de años, da como resultado la actual ZMVM. La evolución de la ciudad se ha gestado partiendo de fundamentos e impulsos económicos, sociales y políticos, en adición al entorno geográfico que ha

contribuido en su expansión. Bajo este contexto, es la consecuencia de los vínculos entre el entorno social y el natural, trayendo consigo contradicciones y desequilibrios que envuelven grandes retos presentes y futuros (Sánchez, 2004).

El proceso de reestructuración interna de la Ciudad de México y su periferia metropolitana se viene gestando desde la década de los setentas, esto ha generado nuevos patrones de crecimiento, que se manifiesta en la desconcentración poblacional y productiva que origina la ampliación de la periferia urbana, expandiéndola rápidamente en términos de habitantes y extensión territorial; lo que ha conducido a un desarrollo desigual de la periferia en general (Montaño, 2006).

El lapso que va de 1970 a 1990, establece una fase de transformación en el ritmo de expansión de la ciudad de México, ya que hasta 1970 estaba integrada por las 16 delegaciones y ocho municipios conurbados del Estado de México y se identificaba como el destino predilecto de los migrantes nacionales que procedían de zonas rurales de alta marginación en su mayoría, con número de habitantes cercano a los 8.6 millones de personas y con un crecimiento casi del doble 2 décadas después, a pesar de que la migración se contrajo notablemente hacia la urbe ( ya que se distribuyó en las otras ciudades del país) y se originó una inmigración intermetropolitana que incluía a los pobladores que mudaban de residencia dentro de la misma ZMVM, hacia la periferia de la misma, engendrando con ello el desarrollo y afianzamiento urbano de Ecatepec, Naucalpan y Tlalnepantla, asimismo de Chimalhuacán, Coacalco, Atizapán de Zaragoza; además se propician asentamientos irregulares sobre zonas ejidales en el sur y oriente de la ciudad destacándose el caso de Chalco por su rápido avance en este proceso (Santos, 2004). Asimismo este proceso migratorio favoreció la agregación de nuevas áreas, como el municipio de Tizayuca, situado en el estado de Hidalgo (Montaño, 2006).

Conforme con los censos de población, los habitantes de la ZMVM, se cuadruplicaron entre 1950 y 1980, de 3.5 millones a 14.5 millones, en tanto los del resto de la nación únicamente se incrementaron de 22.3 a 52.4 millones, es decir 2.4 veces, así que la concentración total nacional en la ciudad ascendiera de 13.7 a 21.6 por ciento. Para el año 2000, la población

de la urbe eran 18.4 millones, los del resto del país 79.1 millones, los habitantes de la capital había multiplicado 1.3 veces y los de la provincia 1.5 veces en el transcurso de los dos decenios previos, y la contribución de la capital en el total nacional se había disminuido a 18.9 por ciento (Partida, 2003).

Se pueden identificar tres subprocesos en la distribución de los habitantes de la ZMVM intrínsecos a su proceso de expansión hacia la periferia; primeramente, se establece una redistribución de la población urbana, dentro y fuera de la región centro del país, a ciudades medias y pequeñas; en segundo lugar, se advierte que las delegaciones y municipios centrales contienen cada vez menor proporción de los habitantes de la zona,<sup>19</sup> mientras que la superficie erigida en la periferia se densifica rápidamente, ejemplificado en los desarrollos residenciales de las últimos veinte años; finalmente, concurren migraciones internas del centro a la periferia, expulsando amplios sectores de población, con lo que los municipios limítrofes a la ciudad se tornan en los receptores de estos habitantes; la emigración y la progresión natural sumada a otros elementos acrecentaron la población y reubicaron las actividades económicas que antes se situaban en la ciudad central y que en la actualidad sitúan mayores ventajas en la periferia (Montaño, 2006).

En el correr de las tres últimas décadas se percibe cómo se ha modificando la estructura económica de la ZMVM, la cual se estableció, por su alta concentración y desarrollo del sector industrial, como el eje de la economía; en la época actual ha modificado su preeminencia en actividades manufactureras por una en actividades de servicios, induciendo una disminución en los empleos industriales y un crecimiento en los empleos del sector terciario; esencialmente en el comercio, servicios financieros, de telecomunicaciones, informáticos, transporte, entre otros (Montaño, 2006).

---

<sup>19</sup> Las delegaciones y municipios del centro al ser las de más antigua urbanización dan vestigios de saturación demográfica, ya que sus tasas medias anuales de crecimiento poblacional han transitado a ser negativas o nulas. Así tenemos que los habitantes contenidos en este contorno, aumentaron perennemente de 2.9 millones a 9.4 millones, de 1950 a 1980, para en 1990 empezar a menguar progresivamente a 8.1 millones y en 2000 a 7.9 millones, reflejándose en un descenso de las tasas medias anuales de crecimiento de 4.69 y 4.62 por ciento en los años cincuentas y sesentas respectivamente, a 2.51 por ciento en los setentas, para volverse negativas, -1.42 por ciento, en los ochenta y -0.31 por ciento y -0.28 en los dos lustros de la década pasada (Partida, 2003).

En síntesis se identifican dos procesos: 1) la relocalización espacial de las actividades productivas más dinámicas e influenciadas por la globalización de la economía, y propias de las metrópolis, hacia la periferia de la ZMVM donde encuentra mayores ventajas y 2) como consecuencia el traslado y asentamiento de la población hacia los lugares próximos a su centro de trabajo (Montaño, 2006).

### **1.3.3 Desarrollo, medio ambiente y sustentabilidad de la ZMVM**

Con el acelerado crecimiento de la ZMVM, a través de los años, se han planteado enormes retos que en el presente se revelan como grandes desafíos metropolitanos que exigieran de decisiones con un alto costo social y económico.

Como ya lo hemos indicado, esta enorme aglomeración urbana se ha derivado por el proceso de crecimiento demográfico y económico que ha conducido a la población a centralizarse en el sitio donde las expectativas y servicios son mayores, formando al mismo tiempo, graves dificultades que se exhiben como desequilibrios territoriales, sociales y ambientales (CAM, 2004).

A nivel nacional, la aceptación de la necesidad de restituir las externalidades negativas provenientes del detrimento y uso irracional de los recursos naturales, así como de la polución ambiental, tiene menos de diez años, con la consecuente anexión de la dimensión ambiental al análisis y perspectivas de la evolución del proceso productivo a cualquier nivel nacional, regional o local. La factibilidad de alcanzar una sustentabilidad urbana en conjunción con un proceso productivo equitativo, debe estar fundamentada bajo la explotación racional de los recursos naturales y establecida como parte de una política de planeación territorial en relación a la preservación de los ecosistemas naturales (Rocha, 2008).

Hay opiniones concurrentes de que la contaminación ambiental encarna una problemática multisectorial y que su solución demanda de la intervención de cuantiosas instituciones gubernamentales, sumadas a entidades del sector privado, laboral, académico y de

investigación y representantes de la sociedad. No obstante, la evolución de la metropolización ha prosperado más precipitadamente que los intentos por acondicionar la planeación urbana para enfrentar estos desafíos (Roccatti, 2007).

Es así que la influencia de las manejos económicos, sociales, culturales y ambientales de una sociedad traen como consecuencia la redistribución de un territorio, que simultáneamente que acoge consideraciones de eficiencia entre el espacio físico y las actividades productivas, trata de alcanzar un principio de equidad expresado en el equilibrio de las condiciones de calidad de vida entre los diferentes espacios territoriales, en adición a un manejo racional de los recursos naturales y la protección de los ecosistemas de donde provienen. Consecuentemente, esta disposición de planeación requiere un enfoque multidisciplinario en su planteamiento, puesta en marcha y análisis de resultados, así como concertar los esfuerzos de todos los actores involucrados; económicos, políticos, académicos y sociales (Rocha, 2008).

Para la ejecución exitosa de una gestión holístico de la ZMVM, es necesario la plena incorporación de una visión regional y metropolitano en las relaciones intergubernamentales (Rocha, 2008).

La cuenca del Valle de México se encuentra en una crítica y compleja situación ambiental, empeorada por fallas en el manejo público y carencias en el diseño institucional de los tres órdenes de gobierno. Por esta razón, se requiere dar garantías para un continuo mejoramiento de la calidad ambiental, en favor de la calidad de vida y de la salud pública, para los más de veinte millones de pobladores de la ZMVM (Roccatti, 2007).

La finalidad debe ser una gestión integrada sobre recursos comunes públicos. Para ello debe privilegiarse un soporte científico, un gran esfuerzo social y una coordinación institucional adecuada. Sólo con estos elementos se lograrán alcanzar políticas públicas consensuadas y consolidadas, con los correspondientes apoyos jurídicos e institucionales que aseguren su continuidad (Roccatti, 2007).

Tomando en cuenta la dinámica demográfica de la ZMVM, se debe valorar la inserción de otras entidades federativas de la región centro del país en la elaboración de la planeación ambiental de esta zona, respaldado en un esquema de sustentabilidad y resguardo a la salud, conforme con objetivos y metas comunes (Roccatti, 2007).

Bajo estas circunstancias, es apremiante que tanto en el orden estatal como municipal se establezca una planeación regional con la finalidad de adoptar políticas, programas y proyectos ejecutivos, así como un fomento selectivo de inversiones. Fundándose en las condiciones sociales y económicas identificadas, las políticas de desarrollo de las localidades deberán acordarse bajo los objetivos y necesidades regionales para instituir más y mejores fuentes de empleo, originando el contexto que coadyuve a elevar la calidad de vida de sus habitantes. Dichas políticas tendrán que estar enfocadas a conseguir la estabilidad entre el desarrollo económico y la preservación de los ecosistemas naturales, para que de forma eficaz se logre incidir en la disminución de las desigualdades regionales (Rocha, 2008).

### **1.3.3.1 Sustentabilidad en ZMVM**

Las actuales circunstancias sociales, económicas y ambientales de la ZMVM, se hacen muy significativas por el agravamiento de sustentabilidad que enfrenta debido al grado de concentración económica, poblacional y de consumo energético que la identifican y principalmente por la devastación progresiva a su medio ambiente. La progresión histórica en adición con la prospectiva al año 2020 revela que las tendencias actuales de la expansión de la ZMVM propenden a robustecer estas características tornando apremiante la necesidad de un reordenamiento territorial en relación de la conservación del medio ambiente para alcanzar un mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes que residen en esta zona (Rocha, 2008).

El vigente modelo de crecimiento económico ha transformado a la naturaleza en un objeto, una mercancía; donde la disyuntiva se hace patente cuando la producción de la mercancía favorece al extracto social que se adjudica a la propia naturaleza, por los medios



económicos, políticos, científicos y tecnológicos; lo que discrepa con el impacto del empobrecimiento ambiental en los otros extractos sociales. Con ello, se tiene cada día una disyunción de la capacidad renovadora y proveedora para el bienestar del desarrollo humano en su forma más explícita de desarrollo social, económico y cultural, ya que la actual generación pone en constante peligro la reproducción y conservación de la naturaleza, deparando una incertidumbre a nuestras futuras generaciones (Lina, 2005).

Los tres factores que inciden a la magnitud del deterioro ambiental son: la tasa de crecimiento poblacional; la demanda creciente de energía y recursos naturales por parte de estos pobladores; y por último, el crecimiento de las concentraciones urbanas y su conformación en megalópolis, en las que su sello característico es un progresivo deterioro de la calidad de vida. Este último elemento depende a su vez, de la dimensión geográfica de los procesos ambientales; del tamaño de las repercusiones sobre sus habitantes y su crecimiento, sobre las actividades productivas, así como de los recursos disponibles y la pericia de las instituciones para afrontar la complejidad de dichos procesos (Rocha, 2008).

Es por ello, que se requiere concebirse a el medio ambiente como un sistema que provee múltiples servicios que deben ser usufructuados de forma integral: como proveedor de energía natural, agua, minerales, biomasa, y de productos agrícolas; de recepción de actividades urbanas, industriales, de infraestructura, de actividades recreativas y de paisaje; como fuente de conocimiento e investigación para el fomento educativo y cultural; de regulación atmosférica, del suelo, impulsor del ciclo del agua. Únicamente tomando conciencia de estos hechos yacerá la posibilidad de conciliar la preservación ambiental y el desarrollo socioeconómico cuyo sentido final es el de invertir en el mejoramiento de la calidad de vida de la población (Rocha, 2008).

Es conveniente resaltar nuevamente que los gobiernos son los responsables principales del desarrollo sustentable. Su obligación, como ya lo hemos señalado, es la promoción y elaboración de planes nacionales, regionales y locales que conduzcan a la definición de políticas y estrategias, capaces de alcanzar una amplia participación de la comunidad, que incluya a las organizaciones no gubernamentales y al sector privado (Romano, 2003).

### **1.3.4 Transporte Metropolitano**

El transporte de la ZMVM se delinea como un intenso flujo, origen-destino, de bienes y personas, que facilitan la interconexión entre las diversas entidades de la metrópoli, para la realización de las actividades básicas. Por ende, las actividades de la población y su ubicación en la zona metropolitana, crea la necesidad de la movilidad, la cual no reconoce límites administrativos; pero como competencia de las autoridades, estas deben facilitar los desplazamientos que se realizan tanto en transporte público como en automóviles particulares (Cerbón, 2006).

Conforme con los resultados de la Encuesta Origen-Destino,<sup>20</sup> en la ZMVM se efectúan un total de 20.57 millones de viajes por persona al día de estos el 74.1% se realiza en algún modo de transporte público, el transporte privado representa el 24.7%, el mixto el 0.2% y otras modalidades el 1% (COMETAH, 1998). A sí mismo, el Distrito Federal agrupa el 66.5% del total de viajes; en tanto que los viajes de los municipios conurbados del Estado de México representan sólo el 33.5%, situación que se manifiesta en la menor generación de viajes, a pesar de que la proporción de habitantes en los municipios conurbados del Estado de México es muy semejante a la del Distrito Federal (CAM, 2004).

Estos números se traducen en un índice de 1.6 viajes por persona al día en el Distrito Federal y de 0.83 en los municipios conurbados del Estado de México, implicando en un promedio general de 1.23 viajes por persona al día en toda la zona (CAM, 2004).

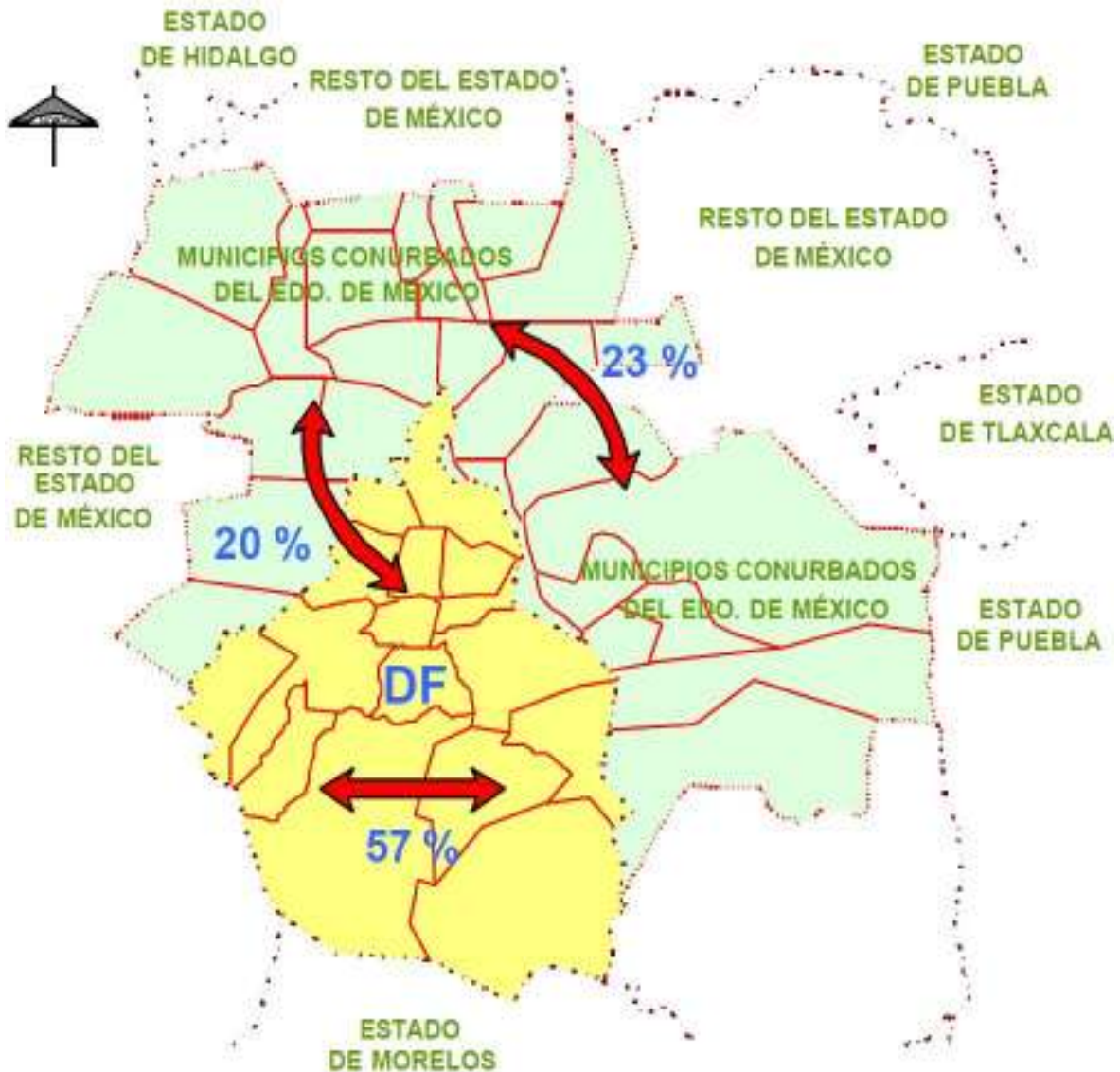
Acentuando que a nivel metropolitano, ocho unidades administrativas, incorporando delegaciones y municipios (Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo, Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco, Benito Juárez, Ecatepec y Naucalpan), concentran el 53% del total de los traslados de la ZMVM (CAM, 2004). En el Distrito Federal la Delegación Cuauhtémoc registra el 10.6% de todos los viajes (Cerbón, 2006).

---

<sup>20</sup> Elaborada en 1994 por el INEGI

Dentro del Estado de México, los municipios metropolitanos que concentran el mayor número de desplazamientos, además de Ecatepec y Naucalpan, son Tlalnepantla y Nezahualcóyotl, que representan en conjunto una proporción trascendental de los movimientos en el área con 19.5% del total de viajes metropolitanos (Cerbón, 2006).

**Figura 1.6. Movilidad en la ZMVM, 1994.**



Fuente: (CAM, 2004)

Los movimientos metropolitanos entre el Distrito Federal y los municipios conurbados del Estado de México, representan el 20.6% del total de viajes, con 4.2 millones de ellos diariamente. De éstos el 19% se realizan en automóvil particular, con un volumen de 793

mil viajes al día; cuatro millones de tramos de viaje se efectúan en vehículos de baja capacidad (microbuses y combis) complementándose con otras modalidades de transporte; y alrededor de 1.7 millones se realizan en el Metro, lo cual se refleja en la concentración de usuarios en las estaciones terminales, principalmente: Pantitlán, Indios Verdes y Cuatro Caminos (CAM, 2004).

En la participación general y porcentual de los viajes de la ZMVM, sobresale la jerarquía que tiene el autotransporte colectivo, que comprende un 52.9% del total, lo que equivale a 8.7 millones de viajes por persona al día, en tanto que el Metro, dispuesto como único modo de transporte, difícilmente llega al 2.4%. Esta cifra aumenta cuando se consideran los transbordos para el uso de dos o más modalidades, ya que el porcentaje se incrementa a un 21.2%, que sumado a lo que se traslada en Metro en único viaje, equivale en total a casi cinco millones de viajes por persona al día (COMETAH, 1998).

El mayor elemento de la movilidad se presenta en el sistema de transporte público de pasajeros suministrado por microbuses y autobuses, que son brindados por un número considerable de organizaciones independientes que operan con recorridos tortuosos y redundantes por vías primarias que se encuentran saturadas (COMETAH, 1998).

Únicamente en el Distrito Federal el sistema que transporta al 52% de los usuarios, lo componen más de 61,000 microbuses y casi 3,000 autobuses urbanos que al mismo tiempo dan servicio en el Estado de México. Esto acentúa la circunstancia de que el desarrollo urbano de la ZMVM deberá seguirse apoyando con gran prioridad en el transporte automotor y en la red vial troncal (COMETAH, 1998).

Es preponderante la necesidad de atender esencialmente con transporte masivo, los traslados entre las delegaciones que forman el núcleo central de la ciudad y los municipios conurbados, que representan más de 50% del total de viajes en la zona. Desde la perspectiva de la eficiencia del sistema de transporte, preocupa el hecho de que un volumen tan elevado de viajes se realicen en medios colectivos de baja capacidad tanto en el Distrito Federal, donde se efectúan cerca de ocho millones de tramos de viaje en estos medios,

como en los movimientos entre el Distrito Federal y el Estado de México, que agregan cuatro millones de tramos de viaje adicionales (CAM, 2004).

Tal y como se ha señalado, el sistema de transporte de Curitiba está a la altura de los mejores del mundo y ha sido precursor del que se ha puesto en marcha en el Distrito Federal. Este se ha iniciado con la construcción del sistema de transporte con carriles confinados conocido con el nombre de Metrobús. Iniciando por las rutas en la Avenida Insurgentes y en el Eje 8 (Ermita-Iztapalapa), ampliándose en un futuro a 33 corredores. Para redimensionar y capitalizar sus potencialidades, es necesario insertar al Metrobús en un sistema de planeación más amplio, que dé lugar a una propuesta urbanística y que se sitúe como parte de la planeación urbana, ambiental y del transporte (Lezama, 2005).

Curitiba, es un ejemplo exitoso que aporta grandes experiencias, el sistema de transporte confinado fue llevado a cabo paralelamente con un proceso de recuperación y de reapropiación del espacio público en el cual el ciudadano, en su faceta de peatón y usuario de la calle en general, fue reivindicado con la transformación del espacio en lugar de placer y de reencuentro con la ciudad. Curitiba es quizá un ideal demasiado lejano para la magnitud del esfuerzo requerido para hacer más humana y habitable la Ciudad de México. No obstante, como todo modelo, no sirve necesariamente para que su experiencia sea reproducida a cabalidad, sino para enseñar con el ejemplo y generar esperanza de lo que el ingenio y la voluntad humana pueden hacer, así como para medir de qué manera nuestras ciudades se acercan o se alejan de un modelo que asegura una mejor calidad de vida a sus ciudadanos (Lezama, 2005).

En consecuencia se propone ir hacia un transporte que toma en consideración elementos ambientales, económicos y sociales, para implantar sistemas de transporte público de alta calidad y no contaminantes, para la movilidad de los habitantes de esta gran urbe (Cerbón, 2006).

Lo que conlleva al planteamiento de un transporte sustentable cuyos indicadores sean: Menor consumo de combustibles fósiles y emisiones de GEI, disminución de la tasa de

automóviles por habitante, disminución del congestionamiento de las vías primarias y abatimiento de accidentes de tránsito. Sumado a un reparto modal de transporte público es decir entre mayor sea el número de viajes con transporte masivo es mejor (Cerbón, 2006).

Identificando al transporte como una actividad indispensable para el desarrollo socio-económico de los residentes de la ZMVM, pero a su vez ligada íntimamente a la desagradable externalidad que son las emisiones contaminantes que afecta a todos los habitantes que sirve. Trae como consecuencia un replanteamiento de esta importante actividad para la sociedad en su conjunto; requiriendo un análisis de las distintas opciones, como lo son el uso de fuentes de energía alternativas y el uso eficiente de las mismas.

#### **1.4 Posturas del pensamiento económico sobre la problemática ambiental**

Entre los multitudinarios retos que afrontan las sociedades contemporáneas, está el de hallar los mecanismos institucionales para que el crecimiento económico y la conservación del medio ambiente coexistan armónicamente (Scioli, 2007).

En transcurso de los años la senda del crecimiento ha acarreado consigo grandes ventajas para la humanidad. No obstante, su desarrollo no ha sido tan idílico como pudiera parecer. Un modelo de crecimiento pensado únicamente para satisfacer necesidades humanas, que no tiene en cuenta las limitaciones del planeta que se acentúa por los elevadas tasas de crecimiento demográfico, y que su vez no toma en cuenta ningún tipo de restricción ambiental o de equidad social en la acogimiento de decisiones, no puede perdurar por siempre (Carballo, 2005).

Con el correr del siglo XX la ciencia y la tecnología progresaron sin considerar los límites de los ecosistemas y recursos del planeta. Se pensó que la tecnología podría reemplazar a los bienes y recursos provenientes de la naturaleza, así que fueron explotados de manera irracional. El desarrollo económico fue perturbando al ambiente produciendo la contaminación área y de cauces de agua potable, mermando la capa de ozono, fomentando la deforestación, y el cambio climático entre otras (Scioli, 2007).

Los perjuicios al medio ambiente en conjunción con las desigualdades sociales amenazan con alterar el modo de vida de los seres humanos, los cuales de no enfrentar severamente la problemática que se interpone en su desarrollo, se podrán encontrar en un plazo no muy prologado con inconvenientes mayúsculos de escasez de los recursos más básicos (alimentos, agua, aire respirable, etc.) viendo mermada su salud seriamente (Carballo, 2005).

Actualmente, los desafíos más importantes que la humanidad está obligada a superar son las desigualdades sociales y los relacionados con al deterioro medioambiental que afecta a nuestro planeta (Carballo, 2005).

La coexistencia entre los procesos económicos y ecológicos conduce a la indagación de soluciones específicas. Con este fin, parece apropiado medir la capacidad de carga “*de la biosfera y la sociosfera*”, instaurar indicadores de la conservación del capital natural, y examinar bajo este marco el mecanismo de asignación de precios; para de este modo lograr cubrir las necesidades presentes y futuras (Scioli, 2007).

Por ello es preciso establecer un modelo económico compatible con el medio ambiente y apto para subyugar las desigualdades, sin que haya acaecido hasta el momento un debate, que integre a los distintos extractos sociales, en el que se defina el modelo de sociedad al que queremos avanzar (Carballo, 2005).

#### **1.4.1 El marxismo y la sobreexplotación del medio ambiente**

Es imprescindible hablar de la situación del medio ambiente y de la urgencia de conectar la crítica por su manejo irracional, fundamentado ya a estas alturas por la ciencia, con la formulación de políticas. Sí, hablar de la situación del medio ambiente se torna ineludible por la razón fundamental de que adquirir conciencia de ella y de nuestras condiciones de vida y adjudicarle el lugar central en la discusión política actual es algo ya inaplazable, dados el alcance y magnitud de los indicadores de deterioro e insustentabilidad actuales.

Si continuamos así en un par de generaciones, la economía global habrá excedido lo que el planeta puede tolerar. Sin acceso a otros planetas, el crecimiento económico exponencial no debe continuar incesantemente. Es simple, los recursos finitos no pueden ser empleados con infinitos incrementos para favorecer nuestros niveles de vida. *“Un día chocaremos con un muro de ladrillos. Nuestros insaciables estilos de vida son un riesgo para nosotros mismos e incluso más para las generaciones futuras”* (Diab, 2008:1).

La orientación teórico que Marx fue marcando a su obra en los últimos años de su existencia terminó por transformar su propia teoría de los modos de producción y las formaciones socioeconómicas, adjudicando en ella una diversidad de facultades de actuación al trabajador rural. El análisis acucioso de Marx sobre la producción en el periodo de 1,870 a 1,883 y la interpretación de las cartas y manuscritos de este lapso en el contexto de las lecturas de los autores populistas (máxime de Chernyshevski) que Marx fue realizando, revelan una progresión de su pensamiento que convergió en un notorio replanteamiento del rol del campesinado en el proceso histórico, concediendo a este último una manifiesta dimensión multilínea. Chayanov expuso la cuestión con mayor acritud, ya que por la segunda década del siglo pasado expuso que *“solo raramente encontramos en la vida económica un orden económico puro. Lo usual es que los sistemas económicos existan unos al lado de otros formando conglomerados muy complejos”* (Sevilla, 2008:31).

Es por ello que hay revisar una vertiente *“ecológica de Marx”*, que nos conduzca a un concepto más amplio de sustentabilidad, referente primordial para la sociedad presente pero sobre todo futura, y que el propio Marx presenta en el tomo I de *El Capital* como el *“trato consciente y racional de la tierra como propiedad comunal permanente que es, además, la condición inalienable para la existencia y reproducción de la cadena de las generaciones humanas”*. Esta vertiente, debe emerger del reconocimiento de la *“verdadera cuestión terrenal”* de la alienación en relación a la tierra, como condición para el restablecimiento de la interacción equilibrada entre la humanidad y medioambiente (Castillo, 2005:3).

En un pasaje del tomo I de *El Capital*, Marx expone el asunto de las devastaciones inducidas por el capital al ambiente natural. En este pasaje señala: *“La producción capitalista destruye no sólo la salud física del obrero urbano y la vida espiritual del*



---

*trabajador rural, sino que vuelve un problema el intercambio material entre el hombre y la tierra, así como la eterna condición natural de la fertilidad duradera de la tierra, haciendo más difícil la restitución de la tierra porque los ingredientes que requiere le son quitados y usados bajo la forma de alimentos, de ropa, etc. Al trastornar las condiciones en que este intercambio se ajusta espontáneamente, esta circulación se ve obligada a restablecer de una manera sistemática, bajo una forma adecuada al desarrollo humano integral y como ley reguladora de la producción social. Por otro lado, cada progreso de la agricultura capitalista no sólo es un progreso en el arte de explotar al trabajador, sino también en el arte de despojar a la tierra; cada progreso en el arte para aumentar fertilidad de ella por un tiempo, es un progreso en la ruina de sus fuentes duraderas de fertilidad. La producción capitalista desarrolla la técnica y la combinación de los proceso de producción social mientras va minando, al mismo tiempo, las dos fuentes de donde sale toda riqueza: la tierra y el trabajador” (Lowy, 2003:5).*

La abolición del capitalismo, transita en consecuencia, no sólo en rescindir sus definidas relaciones de explotación del trabajo, sino también trascender la alienación con respecto a la tierra, a través de la regulación racional de las relaciones entre los seres humanos y la naturaleza por medio de la ciencia y la tecnología (Castillo, 2005).

Bajo esta visión el actual sistema capitalista no puede regular la crisis ambiental que él mismo ha originado, ni mucho menos superarla. El capitalismo no puede solucionar esta crisis, porque efectuarlo precisa fijar límites a la acumulación, lo cual es una opción inadmisibile para un sistema respaldado sobre el imperativo de crecer o morir. Y no puede remediar la crisis planteado por el temor y otras formas de insurrección violenta porque hacerlo encarnaría el abandono de la lógica de esta ideología, lo que a su vez impondría límites inaceptables al crecimiento y en conjunción al estilo de vida que el modelo defiende. Lo que conlleva, a que el sistema capitalista global se ha tornado obsoleto e incapaz de adaptarse, cuyo “*gigantismo extremo*” pone de manifiesto la fragilidad de sus fundamentos (Castillo, 2005).

En el tomo III de El Capital Marx señala: “*De una parte, los grandes propietarios financieros reducen la población agrícola a un mínimo en declive constante, de otra, ello se opone una población industrial en crecimiento, apilada en las grandes ciudades: crea en consecuencia las condiciones que provocan una ruptura irreparable en la conexión del metabolismo social, un metabolismo prescrito por las leyes natural de la vida; de ello resulta el agotamiento de la tierra, gracias al comercio que va más allá de los límites de cada país... La gran industria y la gran agricultura industrializada actúan en común. Mientras en su origen se distinguieron en eso, que la primera agotaba y arruinaba la fuerza de trabajo y, por consiguiente, la fuerza natural de los seres humanos, mientras la segunda hacen lo mismo directamente con la fuerza natural de la tierra en su desarrollo posterior uniendo sus esfuerzos, en la medida que el sistema industrial en el campo debilita al obrero mientras la industria y el comercio mantienen a los medios de la agricultura que agota a la tierra*” (Lowy, 2003:4-5).

Por ello bajo este punto de vista, la crisis ambiental y las crisis de ruptura social están fuertemente interconectadas y deben reconocerse como manifestaciones diversas de las mismas fuerzas estructurales. La primera surge como consecuencia directa de una industrialización desenfrenada que abruma la capacidad de la Tierra para amortiguar y contener la desestabilización de sus ecosistemas. La segunda procede de la globalización, con sus efectos desintegradores de las sociedades que interfieren en su avance. En cuanto lo restante, esas fuerzas subyacentes son fundamentalmente atributos distintos del mismo impulso que es el motor central que estimula al conjunto: la expansión del sistema capitalista mundial (Castillo, 2005).

Concluyendo, un socialismo que toma en cuenta al medioambiente conlleva una radicalización de la ruptura con la actual civilización capitalista. Bajo ese argumento, “*el proyecto socialista apunta no sólo una nueva sociedad y a un nuevo modo de producción, sino también a un nuevo paradigma de civilización*”. Lo que no sólo significa la substitución de modos nocivos de energía por fuentes de energía renovables y menos contaminantes, sino más que nada una transformación a fondo del sistema productivo

heredado por el capitalismo, así como del sistema del hábitat urbano y del sistema de transporte (Lowy, 2003:10).

#### 1.4.2 Keynesianismo verde

La actual crisis económica ha puesto de moda a John Maynard Keynes, ya que existe capacidad industrial desaprovechada en las economías desarrolladas. Ante el aumento del desempleo, un mayor gasto público parece la solución adecuada (Martínez, 2009). Ya sea en etapas de expansión como de crisis económica, es primordial evitar valorar si la situación van bien o mal en términos de si hay o no crecimiento económico, lo que se debe es valorar selectivamente qué actividades económicas deben crecer y cuáles decrecer para mejorar el bienestar de la sociedad en su conjunto. La crisis actual y el papel revalorizado del sector público podría ser una buena oportunidad para reorientar la economía hacia sendas más sustentables y socialmente deseables (Roca, 2009b).

A manera de comparación analizamos la postura keynesiana sobre la crisis económica y las respuestas a la misma en el contexto de una crisis ambiental con una dimensión diferente y de mayor dificultad para solucionarse.

La raíz de los problemas de degradación ambiental está en que empresas y consumidores se preocupan de sus costos y beneficios privados pero se desentienden de los impactos ambientales que generan, los cuales recaen sobre el conjunto de la sociedad (Roca, 2009).

Integrando los efectos de la crisis en la que está inmersa la economía mundial, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) ha divulgado la actualización anual de su estudio de prospectiva energética a 2030. Para ese año se estima un aumento de la demanda energética mundial del 45% tomando como base el año 2006, siendo responsables del 87% de dicho incremento los países que no son miembros de la OCDE. En épocas no muy lejanas, dichas cifras se hubiera vislumbrado como un indicio del desarrollo de estos países y del subsiguiente crecimiento económico mundial. Sin embargo, en la actualidad debe tomarse como cautela debido a los enormes retos y oportunidades que lo acompañan. Ya que *“las decisiones que se tomen marcarán el perfil energético y ambiental de los próximos 50 años*

*y movilizarán más de 26 billones de dólares entre 2007 y 2030 en infraestructuras energéticas” (Ribera, 2008:1).*

Para lograr suministrar esta nueva demanda de los países en vías de desarrollo, debido a la actual situación de emisiones provenientes de la producción y consumo de energía, se amenazaría peligrosamente al sistema climático, independientemente del vigoroso esfuerzo que tienen que hacer los países industrializados, esto conjeturaría una substancial presión sobre los precios de las materias primas para generar energía. Como consecuencia es fundamental robustecer una gestión mundial comprometida, que opte por un modo tecnológico bajo en carbono, donde el ahorro y la eficiencia, así como las energías renovables ocupen un papel destacado (Ribera, 2008).

La crisis no se origina por problemas ambientales, ya que las estructuras de retroalimentación entre complicaciones ambientales y dinámica económica son escasas y por lo general muy diferidas. Consideremos que, los ecosistemas naturales no pueden absorber las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que no tiene por qué perturbar a la industria privada (y lo que es peor la degradación ambiental crea oportunidades de negocio en nuevas actividades). Por otro lado, si la demanda de vivienda no puede acoger una oferta desmesurada, el mercado se acaba hundiendo (Roca, 2009).

En el transcurso de las últimas décadas ha cobrado importancia las críticas a la tipificación de que éxito económico es igual a crecimiento del Producto Interno. Las cuales tienen su origen en muy diversos frentes. Por un lado, la feminista que subraya que todo el trabajo no remunerado relacionado a las labores domésticas no se ve reflejado en los cálculos del PIB. Por el otro, la social que destaca que la distribución del ingreso o el nivel de prestaciones públicas son tan o más relevantes que el ingreso per cápita para establecer el nivel de vida de mayor parte de la población. Y finalmente la de la economía ecológica que evidencia que la destrucción de recursos naturales y de servicios ambientales no aparecen en absoluto en el PIB (Roca, 2009).

Todas estas discusiones han concebido una pujante línea de disensión acerca del objetivo del crecimiento económico. Es revelador que más allá del comportamiento del PIB, lo verdaderamente importante es el bienestar de las generaciones actuales y la perspectiva de bienestar de las generaciones futuras. Por ello, dado el actual nivel de consumismo en los países desarrollados, se debe hacer una seria reflexión de la conveniencia de una economía estacionaria o con decrecimiento en la que aumente el bienestar del conjunto y no solo de unos cuantos (Roca, 2009).

Por supuesto, del mismo modo que el crecimiento no siempre es lo mejor, no quiere decir que el decrecimiento sea siempre lo adecuado, ejemplo de esto son las nefastas consecuencias que la actual crisis económica ha acarreado para muchísimas personas. Bajo esta postura el punto central de discusión no es crecer o no crecer sino analizar y planificar qué actividades deben fomentarse y cuáles desincentivarse, y cómo establecer una mejor distribución de los ingresos, los servicios públicos y el trabajo (Roca, 2009).

Y en este contexto de crisis, la cuestión es si ante las actuales dificultades económicas es prioritario o no invertir en acciones contra el cambio climático. La respuesta debe ser afirmativa. Las propuestas del G-20 demandan orden y control en los sistemas financieros; certidumbre para bancos tras una fuerte inyección de liquidez que garantice su entereza; y redescubren a Keynes y el círculo virtuoso que pueden tener el gasto de gobierno en infraestructuras, generando empleo y riqueza, y sobre todo activando la capacidad de innovación, al invertir en investigación científica y tecnológica (Ribera, 2008).

El modelo energético tendrá que ser un elemento fundamental del diagnóstico y del éxito en la solución del problema, situándose como prioridad de la inversión pública de hoy. Las claves para superar la crisis son el ahorro, la eficiencia y el cambio de modelo tecnológico. Habitualmente contempladas como estrategias en el mediano y largo plazo, pero que cada día más se convierten en prioridades urgentes. Hoy pueden y deben formar parte de las disposiciones de coyuntura que nutren la corrección propicia para orientar un nuevo modelo de desarrollo. Las tres grandes líneas de acción, son un cambio de modelo en el transporte,

la adaptación de nuestros hogares para promover el ahorro de energía y un mayor peso del uso de energías renovables (Ribera, 2008).

Asimismo, muchos han visto como un componente fundamental de una estrategia keynesiana frente a la actual crisis el gasto en energías menos contaminantes y en preservación ambiental; lo que ha llevado a la formulación del término keynesianismo verde. Es necesario señalar que hay reacciones ambivalentes ante este resurgimiento del keynesianismo. En primer lugar, hay que celebrar el cambio de ambiente ya que hasta hace poco toda la ortodoxia económica defendía las virtudes del mercado y de un desvalorización del papel del sector público. En segundo lugar, hay que apuntalar que ante esta coyuntura hay aumentar de forma significativa el gasto de gobierno en protección social, para disminuir los efectos nocivos de la crisis sobre la sociedad; en infraestructura, para proveer mejores servicios públicos; y en una reestructuración total de la economía, para hacerla más sustentable. Los puestos de trabajo que ello genere por supuesto muy bien acogidos serán (Roca, 2009).

No obstante, el keynesianismo verde también tiene sus riesgos. Es alarmante pensar que se defienden las inversiones en lo que podríamos llamar el sector “*energético-ambiental*” no tanto por la apremiante necesidad de una mayor sustentabilidad sino vislumbrándola como el nuevo motor de crecimiento económico; para retornar al irrenunciable objetivo del crecimiento económico (Roca, 2009).

Es ahí donde se hace presente la actual crítica de la Economía Ecológica. Hasta la fecha el crecimiento económico se ha cimentado en la energía del carbón, el petróleo y el gas natural. Por ello es aconsejable un keynesianismo verde que aumente la inversión pública para el fomento de proyectos de conservación de energía y que promuevan el uso de energías alternativas, en transporte público urbano y rehabilitación de viviendas. Pero no lo es continuar en el convencimiento del crecimiento económico como máxima prioridad (Martínez, 2009). Cuando éste es el caso, fácilmente puede plantearse que el argumento verde es oportunista, meramente una justificación de una actuación determinada sin analizar a fondo su pertinencia desde el punto de vista de la sustentabilidad. Un claro

ejemplo es la apuesta por la industria automovilística como sector del futuro; está bien que este sector investigue en medios de transporte más eficientes y en vehículos que utilicen combustibles alternativos pero un futuro más sustentable acaece inevitablemente por una reducción del uso de vehículos en todo el mundo (Roca, 2009).

Como ya lo hemos señalado, en los países industrializados debe darse un ligero decrecimiento económico que sea socialmente sustentable. Debemos entrar en una etapa de conciencia social y ambiental, donde la economía ha de decrecer en términos de consumo energético. Existe ya un pacto establecido en el protocolo de Kyoto para que las emisiones de dióxido de carbono se disminuyan un 20% con respecto a las de 1990, pero lo que no se advirtió fue que al decrecer el PIB mundial como consecuencia de la crisis esas emisiones ya están disminuyendo (Martínez, 2009).

Lo que puede ser una consecuencia de la reestructuración ecológica de la economía, como es el fomento de nuevas actividades productivas y su respectiva demanda de trabajo, no puede considerarse como el objetivo final, puesto que la ruta hacia una mayor sustentabilidad ha de contemplar incluso transformaciones, como son mayor durabilidad de los productos, disminución del consumo, mayor austeridad; que no generen actividad económica ni requerimientos de trabajo sino por el contrario que los reducen. (Roca, 2009).

Finalmente bajo esta visión lo que es nuevo no es el Keynesianismo ni tan poco el Keynesianismo verde. Lo nuevo es el movimiento social hacia un decrecimiento sustentable. La crisis genera expectativas para nuevas instituciones y hábitos sociales. El objetivo social en los países desarrollados debe centrarse en vivir bien pero dejando de lado el imperativo del crecimiento económico (Martínez, 2009).

### **1.4.3 Modelos Ecológicos de Crecimiento Económico**

El modelo de crecimiento económico vigente no considera las restricciones ecológicas de nuestro planeta, procediendo como si éste fuera ilimitado. En ese mundo que solo existe en la teoría, no hay ningún límite a las actividades humanas ya que los recursos naturales son

prolíficos. Sin embargo, el mundo real es limitado, con recursos igualmente limitados y con una tasa demográfica en crecimiento, lo que conlleva a la exigencia de un modelo de crecimiento que contemple restricciones ambientales en su toma de decisiones (Carballo, 2005).

En la mayor parte de los modelos de crecimiento económico establecen como un hecho que la materia prima (recursos naturales), está dada en la economía, que es abundante e inagotable. En efecto, conocidas obras como la de Sala-i-Martin consideran modelos con tasas de ahorro en inversión constantes como la parte medular de su análisis, en esquemas de optimización dinámica y hasta con crecimiento endógeno, pero dejan completamente de lado la cuestión de los recursos naturales (Ibarra, 2008).

El mismo caso se presenta en la publicación de Robert J. Barro y Xavier Sala-i-Martin (1995), todo un clásico de la literatura del crecimiento económico. Donde plantean modelos con ahorro e inversión constante, con optimización intertemporal, crecimiento endógeno, en economías abiertas y cerradas, y cuya principal aportación se enfoca en la incorporación de Capital Humano. Pero nuevamente los recursos naturales y el medio ambiente quedan en el olvido (Ibarra, 2008).

Así de manera reiterada nos encontramos con escritos que abordan la Teoría del crecimiento económico pero que desprecian la relevancia del medioambiente y la afectación del mismo. Esto es claro en el caso de La Revista española Cuadernos Económicos de ICE, que dedica el número 58 (1994) a el crecimiento económico y donde múltiples autores puntualizan los modelos de crecimiento endógeno, afrontan la cuestión de la convergencia económica, el papel de los mercados financieros en el crecimiento de la economía, la importancia del sector público, el análisis de la población, así como, el equilibrio político-económico y el crecimiento económico. (Ibarra, 2008).

Tomando como base las premisas de Adam Smith y David Ricardo, Duncan Foley y Thomas R. Michl (1999) desarrollan modelos de crecimiento económico con un enfoque clásico, y cuyos resultados no contrastan significativamente de los propuestos por Solow y



Ramsey. Enfatizándose, el modelo Ricardiano formulado por estos autores, el cual percibe a la tierra como un factor productivo escaso. Esta postura sirve de preámbulo al caso más general de crecimiento económico con recursos agotables, en este caso, el modelo propone que, en la proporción que los recursos se agoten, se eleve su precio hasta que se haga rentable el uso de otras tecnologías (Ibarra, 2008).

En 1986 Robert M. Solow efectúa una fuerte crítica a los modelos de crecimiento económico justamente por no tomar en cuenta a los recursos naturales. Propone a los modelos de generaciones traslapadas como la mejor opción para abordar la problemática, estableciendo que las utilidades de las generaciones futuras deben ser por lo menos igual a la utilidad de la generación actual y que el capital natural por lo menos debe mantenerse constante (Ibarra, 2008).

Para tratar la sustentabilidad en sus tres dimensiones económica, social y ambiental, el modelo de generaciones traslapadas es substancialmente adecuado. Ya permite incluir las externalidades ambientales en un entorno dinámico. Conjuntamente permite un análisis de equidad intergeneracional muy enriquecedor, asentándose en la estructura básica con dos tipos de agentes (jóvenes y viejos) que coexisten en un mismo periodo. Es por ello que este modelo, ha manifestado ser eficaz para incorporar restricciones y variables ambientales (Aguar, 2008).

Por estas razones más autores se suman a la propuesta de Solow en términos de modelar mediante generaciones traslapadas. Pierre-Andre Jouvét, Philippe Michel y Jean-Pierre Vidal (2000), aluden a la existencia de un altruismo intergeneracional, pero éste solo se hace evidente cuando las externalidades negativas alcanzan niveles críticos.<sup>21</sup> Señalan que dejar de lado a las generaciones futuras supondría un aumento en el consumo de la generación actual (viejos) en menoscabo del capital natural para las generaciones futuras (jóvenes) (Ibarra, 2008).

---

<sup>21</sup> Principalmente la contaminación ambiental.

En 1990 se formulan un modelo con tres generaciones por parte de los autores Richard B. Howarth y Richard B. Nogaard. En el subrayan la imperiosa necesidad de que los derechos de propiedad sobre los recursos naturales sean para las generaciones jóvenes, con la finalidad de impedir que las generaciones maduras y viejas se los acaben (Ibarra, 2008).

A. Andrew John y Rowena A. Pecchenino (1997), exponen que la problemática de las externalidades ambientales no sólo es intertemporal, sino también internacional, con lo que ponen de manifiesto la necesidad de la edificación de un organismo internacional e intergeneracional cuya labor principal sea regular el manejo de los recursos naturales y la restricción de emisiones contaminantes (Ibarra, 2008).

Otros modelos de crecimiento económico con conciencia ambiental, como el de Jacobus A. Doeleman y Todd Sandler, 1998, así como el de Jeffrey A. Krautkraemer y Raymond G. Batina, 1999, convergen en la estudio sobre equidad intergeneracional, mercados incompletos y altruismo. Usado el modelo de generaciones traslapadas, con diferentes variantes y supuestos, como el esquema base (Ibarra, 2008).

William A. Brock y M. Scout Taylor (2004) desarrollan lo que lo que ellos llaman el “*Green Solow Model*”.<sup>22</sup> Incorporando en su planteamiento los factores tecnología, contaminación y los costos asociados al abatimiento de la misma. Los resultados obtenidos son alentadores ya que en el largo plazo el cambio tecnológico ayudará a abatir la contaminación. La aportación de mayor relevancia de este ejercicio teórico es la inserción de la contaminación al modelo de Solow, la cual sirve de sustento a lo que se designa como “*Curva ambiental de Kuznets*”, la cual postula una relación inversa entre la contaminación y el desarrollo económico. En la primera etapa de la industrialización, la contaminación aumenta rápidamente porque las personas están más interesadas en la generación de empleos e ingresos que en la preservación del agua y el aire puro, las comunidades son demasiado pobres para invertir en la reducción de esta, y sumado a esto la reglamentación ambiental es escasa. El balance cambia al ir aumentando los ingresos. Los principales sectores industriales se vuelven más limpios, las personas valoran más el medio ambiente, y

---

<sup>22</sup> Donde la traducción más adecuada sería: Modelo Ecológico de Solow.

las instituciones reguladoras se hacen más eficaces, de modo tal que, cuanto mayor sea el desarrollo económico de un país, menor será la emisión de contaminantes (Ibarra, 2008; Dasgupta, 2002).

Con todo esto, podemos ver que los escritos y trabajos acerca del crecimiento económico con una conciencia ambiental han evolucionado. Los modelos han incorporado variables que antes se dejaban de lado, tornándose más complejos pero con ello más apegados a la realidad. Cuando damos un repaso general de los trabajos sobre el tema nos encontramos con una constante: *“generalmente se aborda una característica determinada (como el capital humano) y se dejan de lado otros factores (como el capital natural o la contaminación)”*. Esto es así porque al incrementar el número de elementos considerados en un modelo, se eleva la dificultad para su tratamiento y discernimiento (Ibarra, 2008:6).

Algo que debemos mencionar es que la mayor parte de los textos que hacen referencia de esta cuestión centra su análisis en el modo de aprovechamiento de los recursos naturales y la consecuente sustentabilidad de la Economía basándose en la adecuada disponibilidad de capital natural para continuar produciendo. Pero existe una visión que no ha sido adecuadamente atendida, esta es la inclusión del reciclaje como factor de análisis y los efectos que este puede generar en pro del abatimiento de la contaminación y como propulsor en el crecimiento económico (Ibarra, 2008).

En conclusión el crecimiento de la ZMVM esta aparejado con importantes procesos que afectan tanto a sus habitantes como a todo el entorno que la conforman. Donde al especificar a esta gran urbe como ecosistema urbano observamos que está condicionada a la interacción con el exterior, donde los procesos de importación y exportación ecológica poseen un mayor significado que el de los movimientos de materia y energía al interior, distinguiéndose de los ecosistemas naturales por la falta de autorregulación. Si la demanda de insumos se realiza excediendo la capacidad de carga de los ecosistemas externos, el sistema urbano se convierte en un ecosistema insustentable en el sentido en que no puede renovar los recursos que consume.

Sumado a esto el área metropolitana ha crecido más allá de los límites urbanos reconocidos y más allá de las zonas conurbadas, ya que al mantenerse el alto grado de concentración económica conlleva a la continua agregación de nuevos municipios adyacentes en donde las actividades urbanas ahora han podido generar empleo, conduciendo a la población a centralizarse en el sitio donde las expectativas y servicios son mayores. Pero al mismo tiempo este proceso conduce la exacerbación de los inconvenientes urbanos, principalmente referido al suministro de servicios básicos, a la disminución de la calidad de vida, y primordialmente los coligados a la detrimento del medio ambiente. Subrayándose que la fuente principal de la contaminación en las zonas metropolitanas es provocada por el uso de vehículos automotor.

El fenómeno de la expansión metropolitana también está delineando retos a los sistemas viales y de transporte, más específicamente en lo correspondiente a su viabilidad económica y sus efectos regresivos respecto a tiempo de traslado así como su costo y acceso para los sectores poblacionales de escasos recursos. Es importante resaltar que, ante la problemática de las grandes externalidades ambientales que emanan del transporte, la mayor parte de las urbes han fracasado en reducir la polución.

Debemos identificar al transporte como una actividad indispensable para el desarrollo socio-económico de los residentes de la ZMVM, pero a su vez ligada íntimamente a la desagradable externalidad que son las emisiones contaminantes que afecta a todos los habitantes que sirve. Como consecuencia de esto nos obliga a hacer un replanteamiento de esta importante actividad para la sociedad en su conjunto; requiriendo un análisis de las distintas opciones, como lo son el uso de fuentes de energía alternativas y el uso eficiente de las mismas, sin descartar otras opciones.

Teniendo que estar todo esto adscrito al planteamiento de un modelo de crecimiento económico compatible con el medio ambiente y apto para subyugar las desigualdades, ya que el modelo vigente no considera las restricciones ecológicas de nuestro planeta, procediendo como si éste fuera ilimitado. Desde una visión marxista, se plantea un nuevo paradigma de civilización, expresado como una transformación a fondo del sistema

productivo heredado por el capitalismo, así como del sistema del hábitat urbano y del sistema de transporte. Partiendo del Keynesianismo verde, donde la ruta hacia una mayor sustentabilidad contempla transformaciones, como son mayor durabilidad de los productos, disminución del consumo, mayor austeridad; que no generen actividad económica ni requerimientos de trabajo sino por el contrario que los reducen es decir un movimiento social hacia un decrecimiento sustentable. O desde los modelos ecológicos de crecimiento económico los cuales deben contener un mayor número de variables que incluyan la capacidad de carga del planeta, la contaminación como subproducto del solo hecho de producir, el reciclaje, entre muchas otras, lo cual nos acercaría cada vez más a la realidad.

---

# *Capítulo II*

*Situación Legal y Atmosférica en la  
Zona Metropolitana del Valle de México*

---

## **Capítulo II.- Situación Legal y Atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México**

### **2.1 Leyes que regulan el medio ambiente en la Zona Metropolitana**

#### **2.1.1 Legislación ambiental en México**

La política ambiental en México tiene una breve historia, de poco más de tres décadas, a pesar de que ya desde la Constitución de 1917 vigente, en su Artículo 27, se establecían las bases para su planteamiento, al condicionar el manejo de los recursos naturales al interés de la nación. Bajo esta base legal, tenemos que, el 17 de octubre de 1922, fue decretada la reserva natural en la Isla Guadalupe, seguida, el 14 de septiembre de 1937, por el Cajón del Diablo. Desde la década de los treinta se fueron desarrollando instrumentos que hoy consideramos que tienen un marcado significado ambiental, tales como los decretos que establecen parques nacionales, la Ley de Caza, entre otros (PEF, 1996)

Sin embargo, no es sino hasta los años setenta en que adquiere un carácter propio, al instituirse la Subsecretaría de Protección al Ambiente, adscrita a la Secretaría de Salubridad y Asistencia, y que se enmarca jurídicamente en la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, de 1971 (PEF, 1996).

Cabe señalar que en México ha habido un desfase entre la presentación de la legislación ambiental y la creación de instituciones que tengan como prioridad la aplicación de esta legislación. Como ejemplo de esto se tiene la ley de carácter ambiental publicada en 1971, cuya administración estaba a cargo de la Secretaría de Salubridad y Asistencia como ya se menciono (INIFAP, 2002).

En cuanto lo que atañe a la planeación ambiental, su antecedente más remoto, en términos del manejo de los recursos naturales, fue el Plan Nacional Hidráulico, elaborado por la Secretaría de Recursos Hidráulicos en 1975, en el se incorpora por primera vez la visión de conjunto entre la disponibilidad del recurso agua y la demanda del mismo en términos de balances hidráulicos regionales. Se detectaron los grandes usuarios y sus problemas, junto a los requerimientos de infraestructura para solventar sus necesidades. Sumado a esto, en un

apartado distinto se registraban ya los problemas prioritarios de contaminación, identificando las veinte cuencas hidrológicas más contaminadas aún vigentes (INE, 2000).

Posteriormente, en lo fue el primer instrumento de planeación nacional, el Plan Global de Desarrollo 1980-1982, se mencionan ya estrategias de prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo. La protección del ambiente y su gestión cobró importancia creciente, tal como se manifestó en los Planes Nacionales de Desarrollo de los sexenios 1983-1988 y 1989-1994. En forma correspondiente se elaboraron el Programa Nacional de Ecología 1984-1988 y el Programa Nacional de Protección al Medio Ambiente 1990-1994 (PEF, 1996).

En el Diario Oficial de la Federación del 11 de enero de 1982 se publica la Ley Federal de Protección al Ambiente. Esta ley era aplicada y administrada por la ex Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) (INIFAP, 2002).

Mediante la reforma del Artículo 25 de la Constitución, en 1983, se introdujo el concepto del cuidado del medio ambiente. A partir de este año fue la Subsecretaría de Ecología, de la SEDUE la encargada de esta temática, habiéndose modificado la ley anterior para convertirse en la Ley Federal de Protección al Ambiente, con una visión más amplia de protección ambiental (PEF, 1996).

En 1984 se reforma la Ley Federal de Protección al Ambiente, con lo cual se faculta a la extinta SEDUE, para efectuar diligencias de inspección y vigilancia a fuentes fijas, facultades que más tarde fueron vigorizadas con la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) (SMA-GDF, 2008).

En 1987, con la reforma de los Artículos 27 y 73 de la Constitución, se precisaron las facultades del Estado para asignar modalidades a la propiedad privada tendientes a la protección, preservación y restauración del equilibrio ecológico. Al mismo tiempo, se facultó al Congreso de la Unión a fin de expedir leyes que favorezcan la coordinación entre los tres órdenes de gobierno para la atención de los problemas ambientales (PEF, 1996).



Tomando como base esta última reforma en 1988 fue promulgada la LGEEPA, en conjunto con 31 leyes locales para el mismo número de entidades federativas y cinco reglamentos a la Ley General, a saber: Evaluación de Impacto Ambiental; Residuos Peligrosos; Transporte Terrestre de Residuos Peligrosos; Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera; y Contaminación Generada por Vehículos Automotores que Circulan en el D.F., Municipios y Zona Conurbada; adjuntamente, se le otorgó vigencia jurídica al Reglamento para la Protección y Control del Medio Ambiente contra la Contaminación Originada por la Emisión de Ruido, a estos reglamentos se adicionaron otros, emanados de múltiples ordenamientos legales, como son: Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias (1979), Reglamento de la Ley Forestal (1988), Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar (1988) y el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (1994) (PEF, 1996).

La LGEEPA estableció avances muy significativos, ya que integró los instrumentos de acción, precisó de una mejor forma los principios y orientaciones, instauró las bases para la interacción entre órdenes de gobierno, introdujo nuevos elementos sobre control, seguridad y participación, entre otros importantes cambios. Como ley general mantiene cierta vigencia, y aunque requiere ajustes substanciales, sigue siendo el resguardo que da coherencia a los esfuerzos públicos y privados en la materia (PEF, 1996).

A partir de la fecha de publicación de esta ley se ha modificado en concordancia con los cambios en la Ley de la Administración Pública, con las necesidades de ampliar, profundizar y hacer más eficiente las acciones en materia de protección ambiental y con el objetivo de reforzar el proceso de federalización a través de la descentralización de las funciones de la administración pública (INIFAP, 2002).

La LGEEPA tiene cuatro reglamentos:

- 1) En Materia de Impacto Ambiental
- 2) En Materia de Residuos Peligrosos
- 3) En Materia de Evaluación del Impacto Ambiental
- 4) En Materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica

La última reforma de la LGEEPA fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 5 de julio de 2007 (CDDHCU, 2007).

Con excepción del recurso agua, la función de inspección y fiscalización del cumplimiento de la LGEEPA recae en la PROFEPA. En el caso de las leyes ecológicas estatales, esta función está a cargo de las procuradurías estatales (INIFAP, 2002).

Además de la LGEEPA, existían otros ordenamientos jurídicos que vinculaban a diversas dependencias con la vigilancia en materia de impacto ambiental. Tal era el caso del antiguo reglamento interior de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), que dejaba asentado que ésta tenía la obligación de vigilar los lineamientos y normas de impacto ambiental en las obras que realizara. Esto teóricamente, debió obligar a dicha secretaría a que todos los proyectos que ejecutara tuvieran una evaluación de los impactos que generarían, pues en ocasiones se consideraba que algunos proyectos, por ser públicos, no deberían de observar el procedimiento de impacto ambiental (INE, 2000).

También la Ley Forestal, publicada el 30 de mayo de 1986, obligaba a la emisión de dictámenes generales de impacto ambiental para poder aprovechar recursos forestales; además, dejaba sentado que la SARH aportaría criterios y estudios que apoyaran los dictámenes. Esta ley, publicada durante la vigencia de la LFPA, reflejaba la dispersión de la política ambiental que existía en ese momento y que era ocasionada por una visión parcial de la problemática ambiental (INE, 2000).

Para 1992 surgen las siguientes organizaciones institucionales, en un contexto de escrutinio de la política en el área. Las facultades normativas y de definición de política fueron asignadas al Instituto Nacional de Ecología (INE), y las de vigilancia y fiscalización a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), ambos como organismos desconcentrados de la Secretaría de Desarrollo Social (PEF, 1996).

La inclusión del INE en una secretaría encargada de atender los problemas emanados del crecimiento industrial y demográfico en las grandes metrópolis, pone de manifiesto la orientación urbano industrial de los planteamientos ambientales: calidad del aire en las

grandes ciudades y contaminación del agua por descargas industriales y municipales (INIFAP, 2002).

En 1994 se instaura la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), con lo cual se congregan bajo el mismo sector los recursos naturales, la biodiversidad, la atención a los residuos peligrosos y a los problemas ambientales urbano industriales (INIFAP, 2002).

La SEMARNAP publica el Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 1995-2000 cuyo objetivo general fue frenar las tendencias de detrimento del medio ambiente y suscitar el desarrollo económico y social bajo criterios de sustentabilidad. Se planeaba hacer operacional y factible este Programa a partir de un conjunto de instrumentos de “*política ambiental*”.

Los instrumentos de política ambiental se traducían en quince estrategias que incluían: 1) protección de áreas naturales, 2) regulación directa de la vida silvestre, 3) ordenamiento ecológico del territorio, 4) evaluación del impacto ambiental, 5) estudios de riesgo, 6) normas oficiales mexicanas, 7) regulación directa de materiales y residuos peligrosos, 8) evaluación de riesgo, 9) regulación directa de actividades industriales, 10) autorregulación, 11) auditorías ambientales, 12) instrumentos económicos, 13) criterios ecológicos, 14) información ambiental, educación e investigación y 15) convenios, acuerdos y participación (SEMARNAP, 1996).

En el Programa de Medio Ambiente 1995-2000 se menciona diez *instrumentos económicos* a los cuales se les atribuyen una serie de ventajas que contrastan con su inexistencia o con la pobreza de su aplicación en la práctica.

Los instrumentos mencionados son: 1) impuestos y derechos ambientales, 2) mercados de derechos transferibles, 3) sobrepagos para generar fondos en fideicomiso, 4) sistemas de depósito-reembolso, 5) fianzas y seguros, 6) derechos de uso de recursos e infraestructura, 7) contratos privados, 8) licitaciones en el sector público, 9) derechos de propiedad y 10) concesiones (SEMARNAP, 1996).

Casi un año después de haber entrado en funciones la administración de Vicente Fox (2000-2006), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) publica en septiembre de 2001 el Programa de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006.

Este programa contiene un diagnóstico de la situación ambiental en el país, una propuesta de cambio en la política y la gestión ambiental e incorpora, por primera vez, los programas operativos de los órganos desconcentrados de la SEMARNAT, la Comisión Nacional del Agua (CNA), la Comisión Nacional Forestal y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SEMARNAT, 2001).

Según el Programa 2001-2006, la principal innovación de la política ambiental consiste en haber logrado que secretarías de estado e instituciones del gobierno federal incorporen la sustentabilidad en sus respectivos programas sectoriales.

Lo que se puede apreciar en la práctica es que no hay tal incorporación de la variable ambiental en los programas de otras dependencias del gobierno federal y tampoco la SEMARNAT tiene el peso político o presupuestal que le permitiera influir en este sentido.

De acuerdo con el Programa 2001-2006, las tareas de la SEMARNAT son de carácter normativo, de fomento y de gestión y sus objetivos están orientados a la conservación de la biodiversidad, la protección del ambiente y los recursos naturales y la promoción del desarrollo sustentable (SEMARNAT, 2001).

En el diagnóstico que hace el Programa 2001-2006 de la gestión ambiental se puede destacar lo siguiente (SEMARNAT, 2001):

- 1) La política ambiental ha tenido un ámbito de acción limitado y los instrumentos promovidos poca efectividad para modificar las principales tendencias de degradación del ambiente y de los recursos naturales debido, principalmente al presupuesto relativamente escaso dedicado a los asuntos ambientales.

- 2) No obstante el desarrollo institucional observado, la cuestión ambiental ha continuado al margen de la toma de decisiones de la política económica y de los principales sectores productivos.
- 3) Las políticas agropecuaria y agraria han inducido procesos que favorecen la deforestación y el uso irracional del suelo.
- 4) Después de treinta años de gestión ambiental en México, sectores productivos completos continúan desregulados o no contemplados por la normatividad y la política ambiental.
- 5) La regulación del manejo de los residuos sólidos es una de las más rezagadas.
- 6) No se han diseñado instrumentos de fomento para la aplicación de tecnologías limpias.
- 7) La política ambiental se ha restringido a regulaciones de carácter coercitivo, lo que impone obligaciones, restricciones, sanciones y gran cantidad de trámites.
- 8) Existen compromisos internacionales que aún no se aplican en nuestro país, como el intercambio de bonos por emisiones a la atmósfera y el desarrollo de etiquetas verdes.

Así como sucedió con sus antecesores hubo un retraso en cuanto al nuevo programa, once meses después de haber entrado en funciones la nueva administración (2006-20012), la actual SEMARNAT publica en noviembre de 2007 el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012.

En el programa (2007-2012) se subraya que la sustentabilidad ambiental es cada vez más relevante para nuestro desarrollo porque el agotamiento y la degradación de los recursos naturales renovables y no renovables representan crecientemente una restricción para la realización adecuada de las actividades productivas, y por tanto para la generación de oportunidades de empleo y generación de riquezas. También, porque los impactos ambientales sobre las aguas, los suelos, el aire y en general sobre nuestro entorno, afectan la calidad de vida por la generación de enfermedades, la destrucción de paisajes naturales, la alteración de los ciclos ecológicos, y el desarrollo de los servicios ambientales y los diferentes soportes vitales.

Debido a esto se requiere intensificar el esfuerzo de conservación y protección de los ecosistemas, y restaurar algunos ecosistemas críticos para la provisión de agua, regulación climática y dotación de recursos. En el horizonte de la presente y futuras generación, por lo

menos, continuarán al alza las necesidades de dotación de agua y recursos naturales, de espacio urbano, de utilización de energía y materiales, entre otras, lo que seguirá provocando una mayor presión sobre los ecosistemas. También continúa al alza la producción de residuos urbanos e industriales, la generación de emisiones a la atmósfera y de diversas formas de impacto ambiental que en conjunto nos ubican ante la necesidad de ampliar y acelerar las respuestas que hasta ahora hemos dado como sociedad (SEMARNAT, 2007).

Es importante señalar que el programa (2007-2012), no contiene un diagnóstico, y solo se centra en objetivos y líneas acción para alcanzar los mismos.

La principal adición en este programa es el análisis de la problemática del cambio climático en el entorno nacional, la cual se ve reflejado entre los principales objetivos del mismo (SEMARNAT, 2007):

- Conservar y aprovechar sustentablemente los ecosistemas, para frenar la erosión del capital natural, conservar el patrimonio nacional y generar ingresos y empleos en las zonas rurales en especial, y contribuir a la sustentabilidad ambiental del desarrollo nacional.
- Lograr un adecuado manejo y preservación del agua en cuencas y acuíferos para impulsar el bienestar social, el desarrollo económico y la preservación del medio ambiente.
- Consolidar el marco regulatorio y aplicar políticas para prevenir, reducir y controlar la contaminación, hacer una gestión integral de los residuos y remediar sitios contaminados para garantizar una adecuada calidad del aire, agua y suelo.
- Coordinar la instrumentación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático para avanzar en las medidas de adaptación y de mitigación de emisiones.
- Generar la información científico-técnica que permita el avance del conocimiento sobre los aspectos ambientales prioritarios para apoyar la toma de decisiones del Estado mexicano, y consolidar políticas públicas en materia de educación ambiental para la

sustentabilidad, tanto en el plano nacional como local, para facilitar una participación pública responsable y enterada.

Para alcanzar el objetivo respecto del Cambio Climático, las líneas de acción más importantes son (SEMARNAT, 2007):

- Continuar con la promoción y el desarrollo de proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).
- Fortalecer el Programa GEI México de reporte voluntario de emisiones.
- Desarrollar proyectos de mitigación en la vegetación y uso del suelo a través de Manejo Forestal Sustentable, ampliación de la cobertura de los programas Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) y Pago por Servicios Ambientales por Captura de Carbono, Conservación de la Biodiversidad y Derivados Agroforestales (PSA-CABSA), SUMA, tratamiento fitosanitario, reforestación y restauración forestal.

Lo mas destacado de estos puntos es lo que no esta, debido a que estas acciones carecen de obligatoriedad ya que se basan en promoción de programas voluntarios y no en una reglamentación y normatividad vinculatoria.

### **2.1.1.1 Bases constitucionales de la legislación ambiental**

Como todas las disciplinas y leyes jurídicas, el Derecho Ambiental tiene sus bases en nuestra Constitución Federal, en varios artículos que en lo conducente, dicen (Bastida, 2007):

El artículo 3, fracción II, inciso b), señala que uno de los aspectos que asumirá la educación básica será el instruir a las nuevas generaciones la adecuada utilización de nuestros recursos naturales. Esta finalidad es ratificada por el artículo 39 de la LGEEPA.

El artículo 4, párrafo quinto, consigna el Derecho intrínseco que todo individuo tiene a un medio ambiente apropiado para su desarrollo y bienestar, con lo que la protección del medio ambiente y los recursos naturales es de tal importancia que simboliza el interés social.

El artículo 25, párrafo sexto, establece la obligación del Estado de promover empresas de los sectores social y privado pero siempre conservando el interés social de protección y conservación del medio ambiente.

El Plan de Desarrollo por el Gobierno Federal contempla el desarrollo sustentable de nuestro país, reflejado en, el apoyo a las empresas para la explotación de recursos naturales y su conservación para no provocar daños a los distintos ecosistemas de nuestro país (Bastida, 2007).

El artículo 27, párrafo 4, puntualiza que la Nación es propietaria de todo tipo de Recursos Naturales, tanto de ríos y aguas, recursos del suelo y subsuelo etc., posibilitando al gobierno federal regular en materia Ambiental y decretando las leyes respectivas.

El artículo 73, fracción XXIX, inciso G, puntualiza las facultades del Congreso de la Unión como la aprobación de leyes en materia Ambiental con la concurrencia de los tres niveles de gobierno: Federal, Estatal y Municipal.

De lo anterior, se advierte el Derecho supremo de las personas a un medio ambiente sano, propicio para su desarrollo y bienestar, el correcto uso y explotación de los recursos naturales, la preservación y restauración del equilibrio ecológico y el desarrollo sustentable (Bastida, 2007).

Sin olvidar que la protección del ambiente natural es además una responsabilidad con las generaciones futuras para que hereden un nación que pueda ser aprovechable para el desarrollo humano.



Hay que señalar que el Derecho a desarrollarse en un medio ambiente adecuado, debe ser una garantía social de todos los mexicanos, por lo tanto cualquier lesión a ese Derecho en la que intervenga una omisión pero sobre todo un acción de la autoridad del Estado, se convierte en una responsabilidad para el mismo (Bastida, 2007).

El Estado es responsable de los daños que cause con motivo de su administración irregular, de conformidad con lo establecido por el artículo 133, párrafo segundo de la Constitución.

Estas base constitucionales se ocupa de tres perspectivas: En primer lugar la conservación de los recursos naturales susceptibles de apropiación, además de la prevención y control de la contaminación ambiental que afecta a la salud humana y finalmente el cuidado del medio ambiente frente al uso de los recursos productivos por los sectores social y privado (Cantú, 2004).

### **2.1.2 La Legislación Ambiental del Distrito Federal**

Como ya lo hemos señalado en 1971 surge la primera ley ambiental en México denominada, Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación, que a pesar de ser federal, auténticamente se trataba de un ordenamiento cuyo primer ámbito de aplicación era el Distrito Federal. Es decir que era una ley diseñada para el Distrito Federal y cuya aplicación era nacional con una extraña interpretación de su carácter federal (Carmona, 2006).

Esto continuo así hasta el 10 de agosto de 1987, con la reforma constitucional a los artículos 27 y 73 XXIX G, cuando se modifico este esquema, a pesar de esto al no haberse elaborado una reforma constitucional integral, dejó al Distrito Federal en un espacio indefinido, ya que no era evidente quién iba a ejecutar las facultades para legislar en materia ambiental y si la concurrencia que establece la fracción XXIX G era aplicable al Distrito Federal, como entidad federativa o como municipio (Carmona, 2006).

Desde entonces y hasta el 28 de enero de 1988, fecha en que se publicó, la LGEEPA, éstos fueron los delineamientos que se siguieron. A partir de la entrada en vigor de ésta ley, el

tratamiento ambiental es de mayor interacción entre las entidades federativas y la federación, con la salvedad que dentro de este sistema no se incluye al Distrito Federal. Bajo este contexto se condujo a una indeterminación del ámbito local de aplicación de la ley federal en el Distrito Federal (Carmona, 2006).

También la ley establece los principios para que opere la coordinación entre las diferentes dependencias y los diferentes niveles de gobierno. En el Distrito Federal, es la figura de la coordinación entre las dependencias y entidades de la administración pública federal. En general esta situación se encuentra en los artículos 9 y 10 de la LGEEPA (Carmona, 2006):

- El artículo 9 establece las atribuciones en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente bajo el siguiente esquema:
  - a) Asignaciones que le corresponden a la secretaría. Fracciones I a XVI.
  - b) Atribuciones que le corresponden al Departamento del Distrito Federal. Fracciones I a XIX.
  - c) Facultades que la secretaría y el Departamento del Distrito Federal tendrán de manera coordinada. Fracciones de la I a la V.
  
- El artículo 10 señala la relación entre el Distrito Federal y los estados contiguos sujetos a un proceso de conurbación, en los que la SEMARNAP funge como ente de coordinación.

Una de las más relevantes consecuencias de la LGEEPA, ha sido la que forjó, en la elaboración de un marco legal en lo referente a la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, en la esfera local, tanto a nivel estatal, como municipal. En la actualidad, todas las entidades federativas cuentan con un ley en la materia (Carmona, 2006).

Consecuentemente, por acuerdo Presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación el 8 de enero de 1992, se erigió la Comisión para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en la Zona Metropolitana del Valle de México, cuya tarea

principal ha sido definir y coordinar las políticas, programas y proyectos ambientales, así como verificar la ejecución de las acciones que las Dependencias y Entidades de la Administración Pública deben originar contra la contaminación del medio ambiente. Esta Comisión fue asistida técnica y administrativamente por el entonces Departamento del Distrito Federal, para éste efecto se apoyó en primera instancia de la Coordinación General para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, integrada por la Dirección General de Ecología y la Dirección General de Proyectos Ambientales, autorizándose dicha estructura por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, el 1º de agosto de 1994(SMA-GDF, 2008).

Para conseguir el propósito de una atención integral a la problemática ambiental de la ciudad y robustecer las acciones en materia de prevención y control de la contaminación, conjuntamente con la preservación y adecuado aprovechamiento de los recursos naturales del Valle de México, fue necesaria la instauración de una nueva Secretaría que reflejara y atendiera la importancia y prioridad que el Gobierno de la Ciudad da a dichos problemas (SMA-GDF, 2008).

En respuesta a dicha necesidad y ante la demanda ciudadana, la nueva Ley Orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal, crea la Secretaría del Medio Ambiente, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre de 1994: establece que el Jefe del Distrito Federal, se auxiliaría en el ejercicio de sus atribuciones en materia ecológica, de esta Secretaría (SMA-GDF, 2008).

En 1995 con la publicación del Reglamento Interior de la Administración Pública del Distrito Federal, se confiere a la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, atribuciones para vigilar el cumplimiento de la Normatividad en materia ambiental y tramitar sus procedimientos e imponer sanciones administrativas (SMA-GDF, 2008).

El 13 de enero del año 2000 se publicó en la Gaceta Oficial del Distrito Federal la nueva Ley Ambiental del Distrito Federal y fue reformada en enero de 2002 (ALDF, 2000).

## **2.2 Situación ambiental en México**

La contaminación atmosférica tiene efectos a nivel local, regional y global. México enfrenta problemas de calidad del aire en sus principales zonas metropolitanas, destacando el Valle de México como el caso más conocido y documentado. La calidad del aire es una preocupación permanente, ya que los signos más notorios de la disminución en su calidad, como la afectación a la visibilidad y el incremento en las molestias y enfermedades asociadas a la contaminación, son ya cotidianos en las principales ciudades del país (Urias, 2006).

Las emisiones en México de los GEI para 2002, en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente y con cifras preliminares de la categoría Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS), se estimaron en 643,183 Gg<sup>1</sup> tomando en cuenta los seis gases enunciados en el anexo A del Protocolo de Kyoto<sup>2</sup> (INE, 2006).

En la Figura 2.1 se presenta la contribución por categoría de emisión (lado izquierdo) y por gas (lado derecho). La generación de las emisiones de los GEI de las diferentes categorías en términos de CO<sub>2</sub> equivalente para 2002 fue la siguiente: energía representó 61% (389,497 Gg); le siguen las categorías de USCUSS 14% (89,854 Gg); desechos 10% (65,584 Gg); procesos industriales 8% (52,102 Gg) y agricultura 7% (46,146 Gg) (INE, 2006).

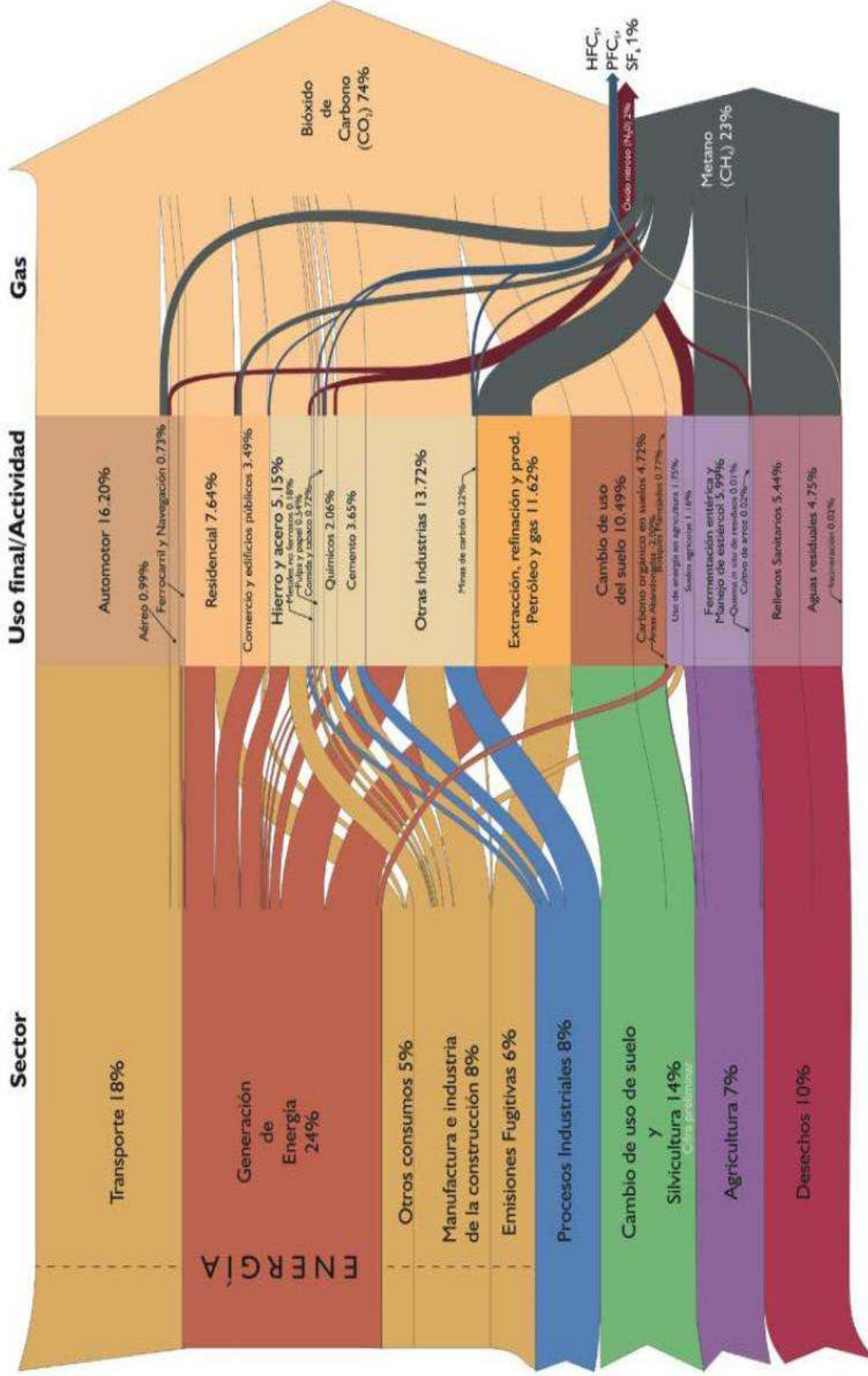
Al interior de la categoría de energía, como principal fuente de las emisiones, la contribución fue la siguiente: generación de energía, 24% de las emisiones totales del país; transporte, 18%; consumo de combustibles fósiles en la manufactura y la industria de la construcción, 8%; consumo en los sectores residencial, comercial y agrícola, 5%; emisiones fugitivas de metano, 6%. En conjunto, las fuentes fijas y de área (que incluye generación de energía, manufactura e industria de la construcción y otros sectores de la energía, sin contar el transporte, representaron 37% del total (ver figura 2.2) (GCSC, 2008).

---

<sup>1</sup> Gg: Giga gramos (10<sup>9</sup> gramos, mil toneladas)

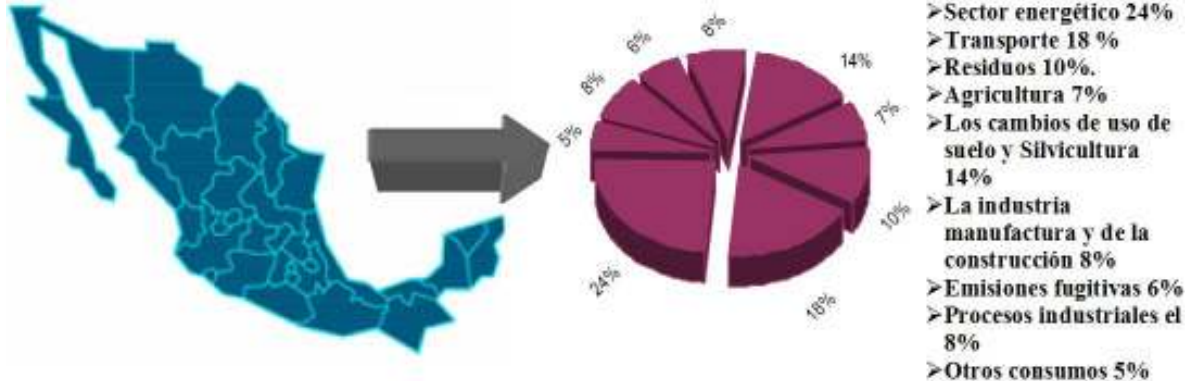
<sup>2</sup> Los cuales son: Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) (Urias, 2006).

Figura 2.1. Diagrama de Emisiones de GEI para México



Fuente: (INE, 2006)

**Figura 2.2. Contribución de emisiones de GEI's por Sector en México**



**Fuente: (GCSC, 2008)**

Las emisiones nacionales de GEI por gas en CO<sub>2</sub> equivalente, son las siguientes: 480,409 Gg (74%) corresponden a Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 145,586 Gg (23%) son de Metano (CH<sub>4</sub>), 12,343 Gg (2%) corresponden a Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), y el restante 1% se compone por 4,425 Gg de los Hidrofluorocarbonados (HFCs), 405 Gg de los Perfluorocarbonados (PFCs) y 15 Gg del Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) (INE, 2006).

La categoría que es la más importante en los inventarios nacionales de GEI de México, es Energía y se subdivide en consumo de combustibles fósiles y en emisiones fugitivas de metano (INE, 2006).

**Cuadro 2.1. Subcategorías de Energía**

Consumo de combustibles fósiles	Generación de energía
	Manufactura e industria de la construcción
	Transporte
	Otros (Comercial, residencial y agricultura)
Emisiones fugitivas de metano	Por el minado y manipulación del carbón
	Por las actividades del petróleo y gas natural

**Fuente: (INE, 2006)**

Para esta categoría en 2002 las emisiones de GEI, expresadas en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente, consiguieron un aumento de 312,027 Gg a 389,497 Gg con respecto a 1990 (año base), lo que significa un incremento de 25%; aunque, su contribución al volumen total de emisiones disminuyó en un 4% en el mismo periodo (Cuadro 2.2) (INE, 2006).

**Cuadro 2.2. Emisiones de GEI de la Categoría Energía (Gg).**

Categoría y subcategorías	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
Energía	312,027	321,836	342,900	349,431	394,129	398,627	389,497
Consumo de Combustibles fósiles	279,864	291,045	308,932	311,197	351,760	356,796	350,414
Emisiones fugitivas de combustibles	32,163	30,790	33,968	38,233	42,369	41,831	39,082

Fuente: (INE, 2006)

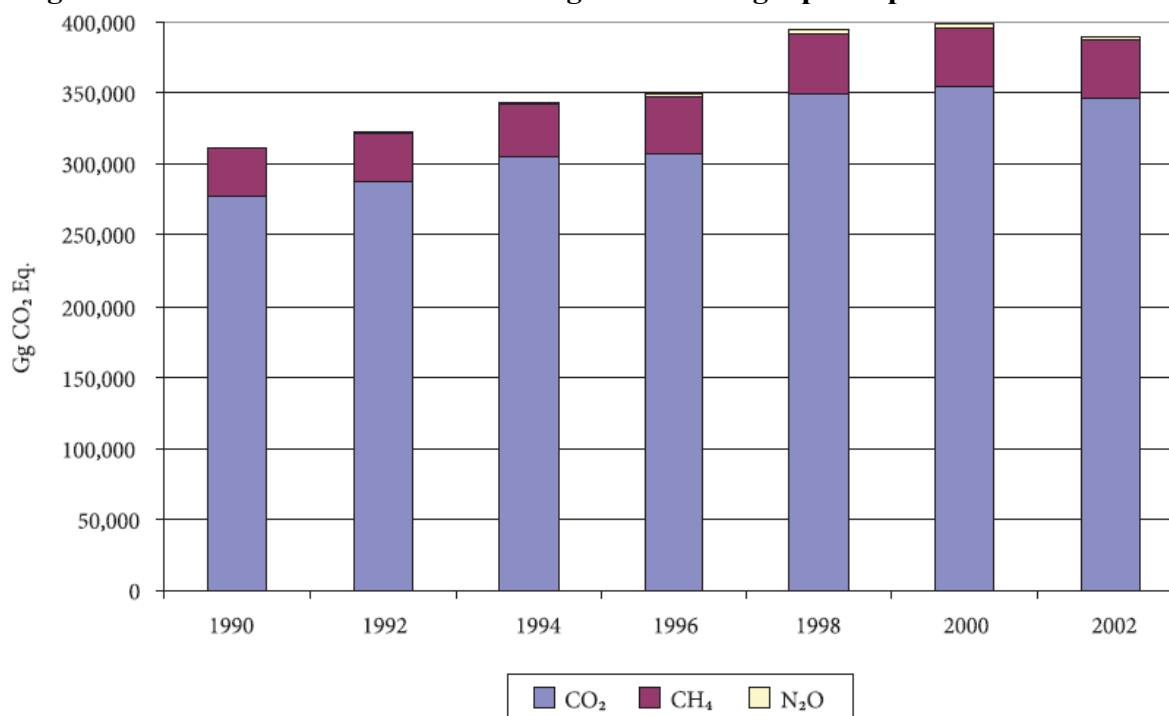
En el cuadro 2.3 y la figura 2.3 se observan las emisiones por tipo de gas, es así que en 2002, el CO<sub>2</sub> contribuyó con 89%, el CH<sub>4</sub> con 10% y el N<sub>2</sub>O con 1% de las emisiones nacionales de GEI de la categoría de Energía (INE, 2006).

**Cuadro 2.3. Emisiones de GEI de la Categoría Energía por Tipo de Gas en CO<sub>2</sub>e.**

Gas	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
CO <sub>2</sub>	276,490	287,518	305,152	307,889	349,233	353,868	346,361
CH <sub>4</sub>	34,371	33,086	36,280	39,964	43,005	42,605	40,634
N <sub>2</sub> O	1,166	1,232	1,467	1,578	1,891	2,155	2,501
Total	312,027	321,836	342,900	349,431	394,129	398,627	389,497

Fuente: (INE, 2006)

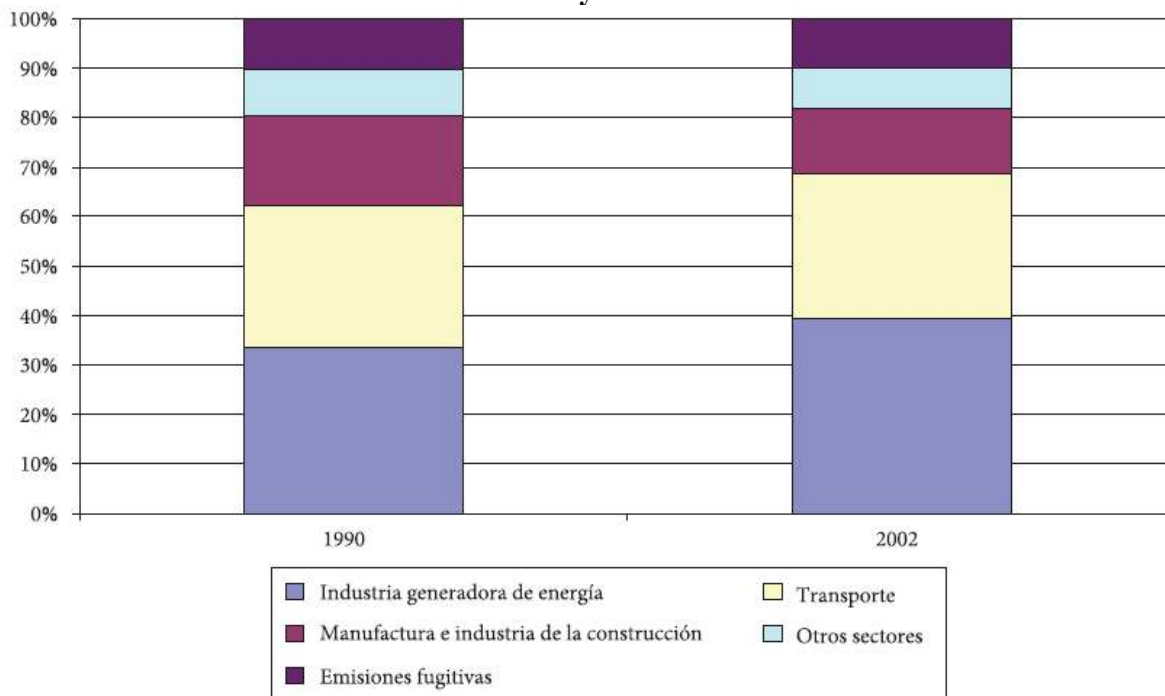
**Figura 2.3. Emisiones de GEI de la Categoría de Energía por Tipo de Gas 1990-2002.**



Fuente: (INE, 2006)

En lo que corresponde al caso de la subcategoría de consumo de combustibles fósiles Las se emisiones muestran variación en su contribución respecto a 1990. Así tenemos, que la contribución de la industria generadora de energía aumenta de 34% a 40%, a la vez que se reduce la participación de las emisiones provenientes de la manufactura e industria de la construcción y la de otros sectores. Aunque la contribución del transporte prácticamente no varía respecto al año base aportando alrededor del 30% (Figura 2.4) (INE, 2006).

**Figura 2.4. Contribución % por Sector a las Emisiones de GEI de la categoría energía, 1990 y 2002.**



**Fuente: (INE, 2006)**

En el 2002 las emisiones de GEI por consumo de combustibles fósiles fueron de 350,414 Gg de CO<sub>2</sub>, lo que significó un aumento del 25% respecto de las registradas para el año base (INE, 2006).

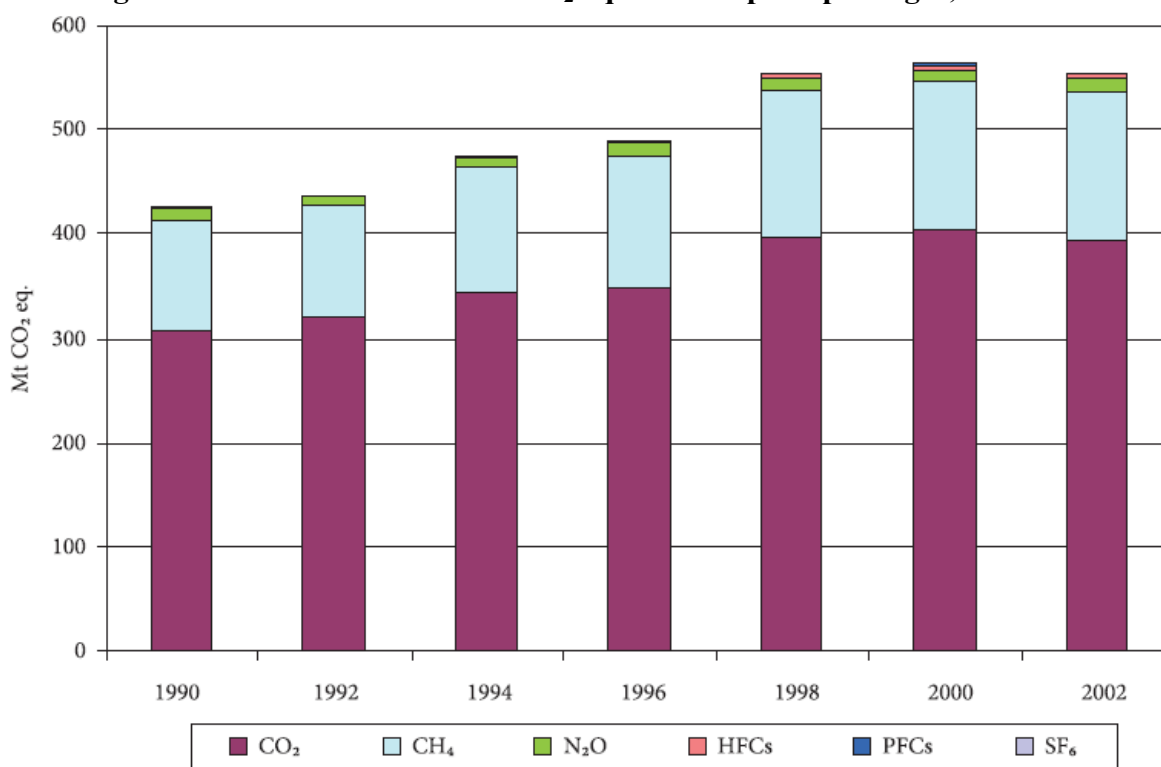
La contribución para el 2002 en lo que respecta a fuentes fijas y de área, que son parte de la subcategoría de consumo de combustibles fósiles, es como sigue:

- 64.7% del total de las emisiones de GEI son producidas las industrias de la energía, contendidas en las fuentes fijas de combustión.
- 21.7% son provocadas por los sectores de manufactura e industria de la construcción, y



- 13.6% restante lo generan los sectores residencial, comercial y agropecuario.

**Figura 2.5. Emisiones en Mt de CO<sub>2</sub> equivalente por tipo de gas, 1990-2002.**



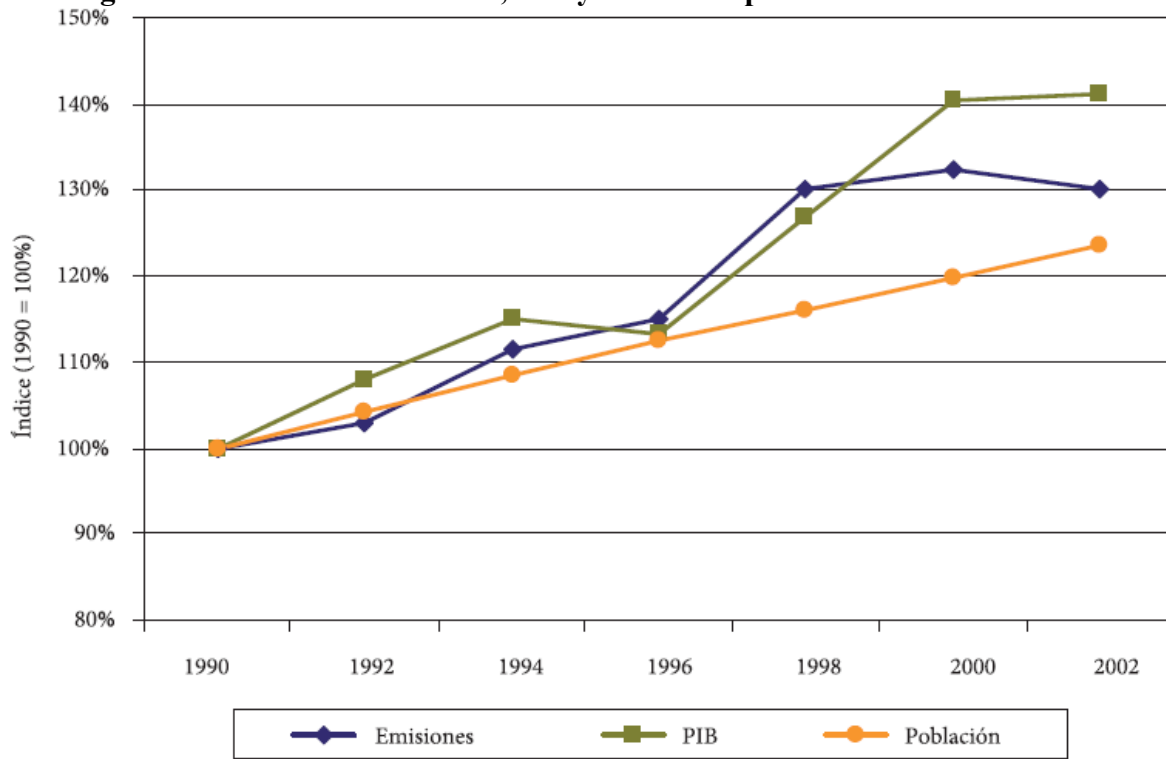
**Fuente: (INE, 2006)**

En 2002, las emisiones totales de GEI fueron de 553 millones de toneladas en CO<sub>2</sub> equivalente y registran un incremento de 30% comparadas con 1990. El CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub> son los principales gases, como sobresale en la figura 2.5. El CO<sub>2</sub> representa el 72% de las emisiones anuales en promedio, el CH<sub>4</sub> el 25%; el N<sub>2</sub>O el 2% y finalmente los gases fluorados el 1%. Sumado a esto el CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub> tienen un incremento respectivo de 28 y 34% entre 1990 y 2002 (INE, 2006).

Entre 1990 y 2002, las emisiones totales en CO<sub>2</sub> equivalente crecieron a una tasa promedio de 2.2% anual. Durante el mismo lapso el PIB del país creció en promedio 3.1% anual y la población nacional tuvo un incremento de 1.8% anual (Figura 2.6) (INE, 2006).

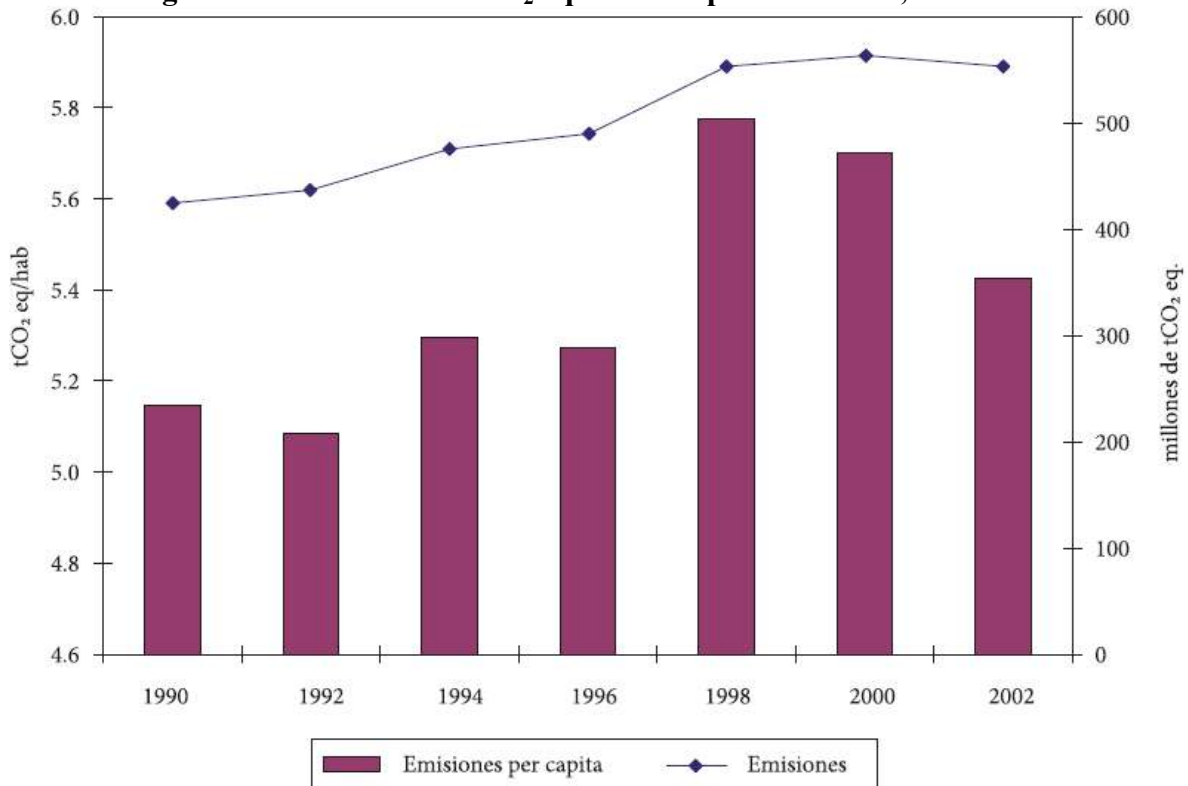
Las emisiones per cápita promedio para el país son de 5.4 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por habitante para el 2002, con un crecimiento medio anual de 0.4% en el periodo 1990-2002 (Figura 2.7) (INE, 2006).

**Figura 2.6. Índice de Emisiones, PIB y Población para el Periodo 1990-2002.**



Fuente: (INE, 2006)

**Figura 2.7. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por Habitante, 1990-2002.**



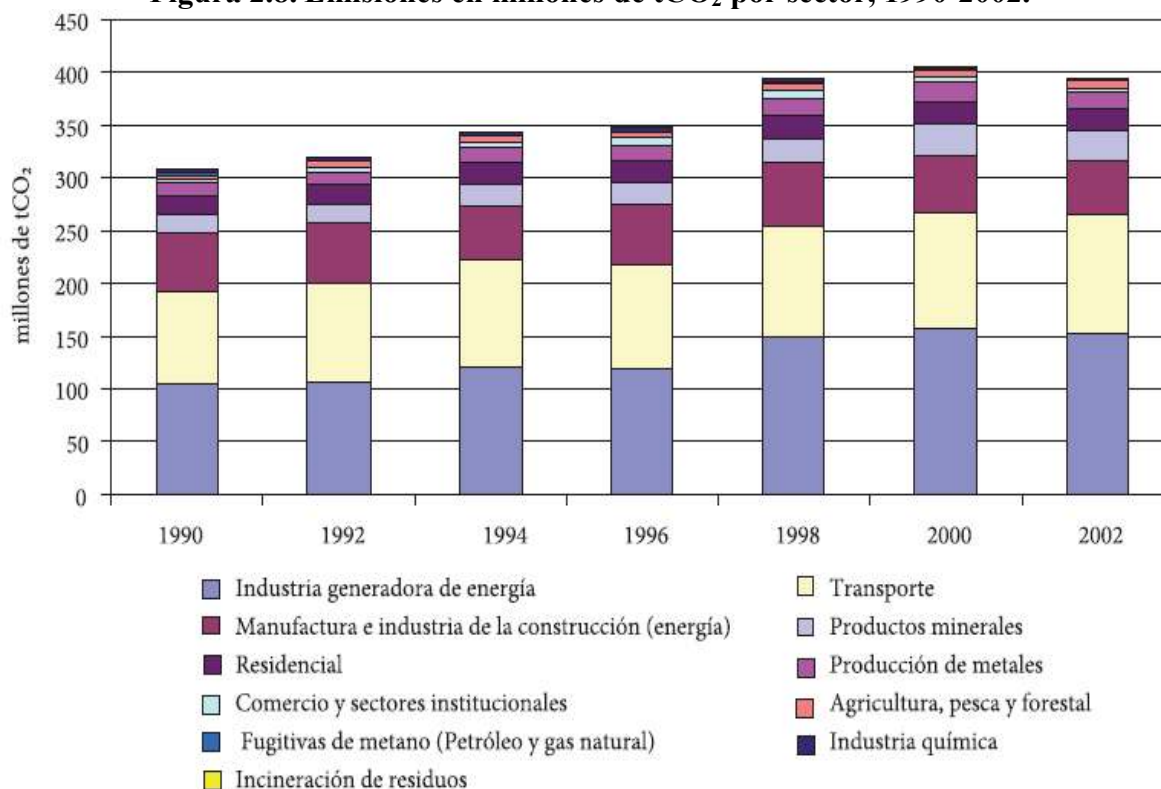
Fuente: (INE, 2006)

Con un comportamiento variable, ya que las emisiones por habitante tienen un aumento medio anual del 1.4% entre 1990 y 1998, para posteriormente decrecer 0.7% entre 1998 y 2000 y 2.4% entre 2000 y 2002, lo que indica que, a pesar del aumento de la población a una tasa de 1.8% anual, las emisiones tuvieron un crecimiento más lento entre 1998 y 2002, lo que puede reflejar un desacoplamiento entre el crecimiento poblacional y las emisiones de GEI, debido a la crisis económica por la que atravesó el país en el mismo periodo, que es el mismo caso de la actualidad (INE, 2006).

Destacaremos el caso de los principales gases en cuanto a la contribución de emisiones totales de CO<sub>2</sub> equivalente, que como ya hemos destacado, son el CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub>.

Para el caso del CO<sub>2</sub> las emisiones nacionales provienen principalmente de dos categorías de emisión: energía y procesos industriales. Para el 2002 habían alcanzado un incremento de 28% con respecto al año base, es decir las emisiones fueron de 393,532 Gg (INE, 2006).

**Figura 2.8. Emisiones en millones de tCO<sub>2</sub> por sector, 1990-2002.**



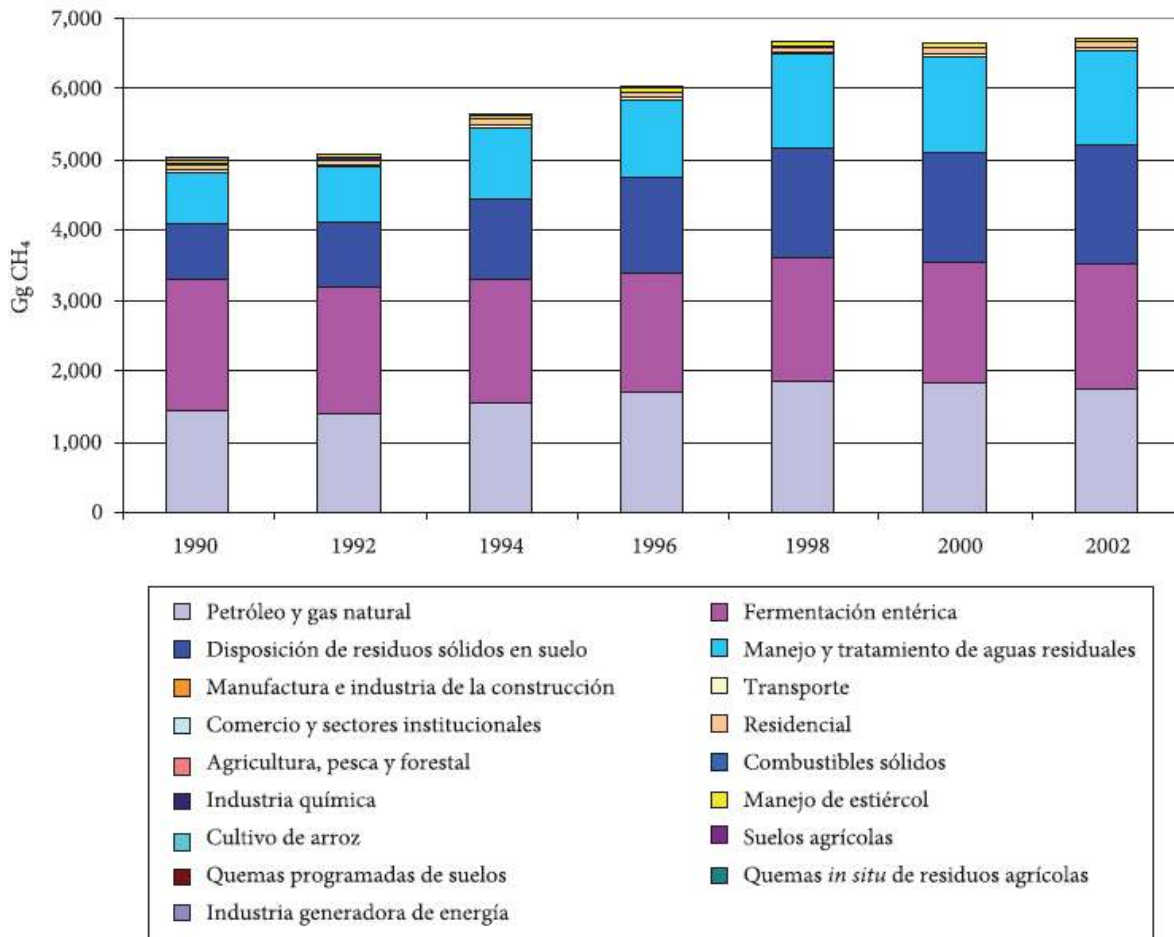
Fuente: (INE, 2006)

***Energías alternativas y Desarrollo: El Sector Transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México (1990-2006)***

En el 2002 los sectores con mayor contribución porcentual de emisiones de CO<sub>2</sub> e incremento porcentual respecto a 1990 son: la industria generadora de energía, con 39% del total y con un incremento de 46%; sector transporte, 28% y 28%, respectivamente. En menor medida, otras actividades como el consumo de combustibles fósiles en los sectores de manufactura e industria de la construcción y otros (residencial, comercial y agrícola), así como la producción de minerales y metales, contribuyen en conjunto con el 32% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>. El restante 1% lo conforman las emisiones fugitivas de metano por petróleo y gas, la industria química y la incineración de residuos (Figura 2.8) (INE, 2006).

Otro dato que es importante resaltar es que el principal generador de CO<sub>2</sub> en el país con 88% del total, proviene del consumo de combustibles fósiles de la categoría energía.

**Figura 2.9. Emisiones en Gg de CH<sub>4</sub>, 1990-2002.**



Fuente: (INE, 2006)

En lo que corresponde al CH<sub>4</sub> en 2002, las emisiones de fueron de 6,803 Gg, lo que establece un incremento de 34% con respecto al año base. Las fuentes más importantes de emisión en la categoría Energía pertenecen a las subcategorías de emisiones fugitivas por petróleo y gas natural, y en la categoría Agricultura a la fermentación entérica, con una 26% de la contribución cada una. Prosiguen las emisiones por la disposición de residuos en rellenos sanitarios con 24% y por último las emisiones del manejo y tratamiento de aguas residuales con 20% (Figura 2.9). Por su parte, el cultivo de arroz de la categoría Agricultura muestra un decremento de 60% con respecto a 1990, originado por una mayor importación de granos básicos con la correspondiente disminución en la producción nacional y (INE, 2006).

En el periodo 1990-2002, tuvieron incrementos significativos las emisiones por disposición de residuos sólidos (115%) y las provenientes del manejo y tratamiento de aguas residuales (85%), originados por el impulso a un mejor manejo de los residuos sólidos en nuestro país, específicamente en la disposición en rellenos sanitarios y al tratamiento de aguas residuales (INE, 2006).

Otro punto a revisar a nivel nacional son las emisiones antropogénicas de las emisiones de gases de efecto invernadero indirecto: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), compuestos orgánicos volátiles distintos al metano (COVDM) y bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) (INE, 2006).

Debido a que los gases de efecto invernadero indirecto no tienen correspondencia en términos de CO<sub>2</sub> no es posible compararlas con las emisiones de GEI, es por ello que se consignan en unidades de Gg emitidas para cada gas (INE, 2006).

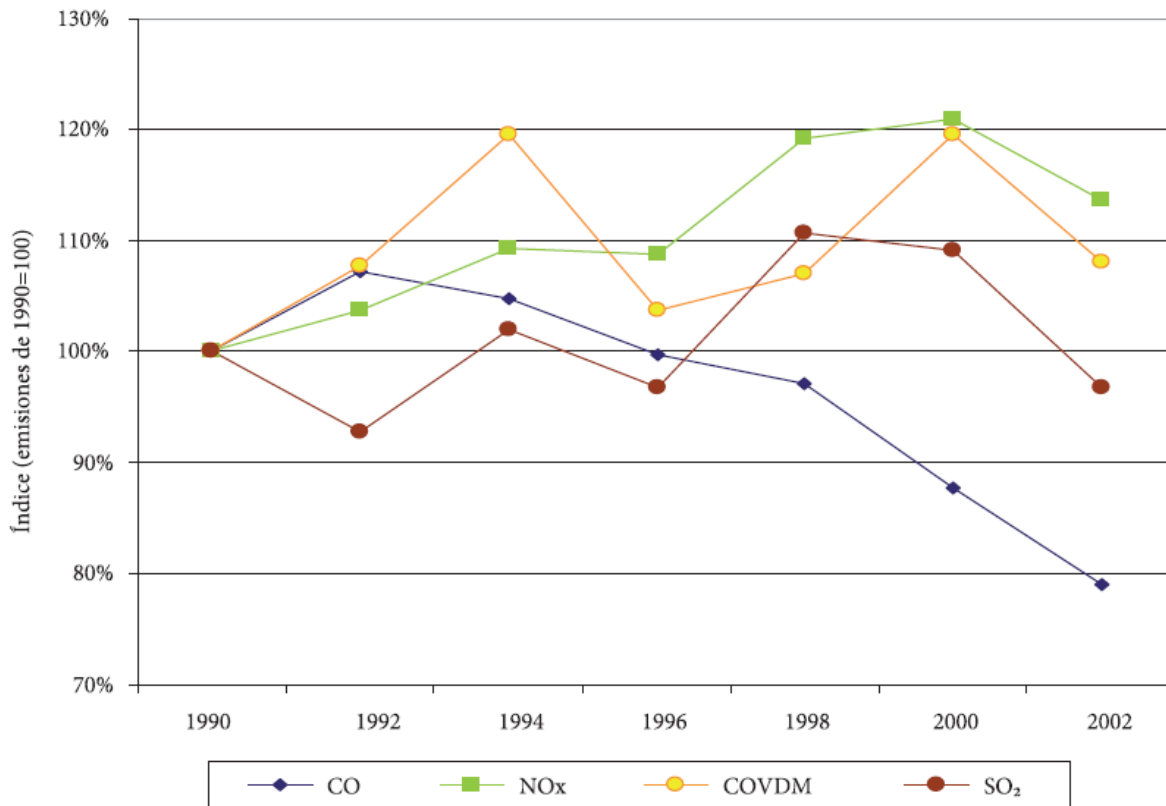
Entre 1990 y 2002, las emisiones de CO presentaron una disminución de 21%, las de SO<sub>2</sub> se redujeron 3%, las de NO<sub>x</sub> aumentaron 14% y las de COVDM crecieron 8% (cuadro 2.4 y figura 2.10) (INE, 2006). En lo que respecta al CO este decremento está relacionado con la innovación de los catalizadores.

**Cuadro 2.4. Emisiones en Gg de Gases de Efecto Invernadero Indirecto.**

Gas de Efecto Invernadero indirecto	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
CO	8,740.224	9,368.557	9,156.133	8,723.409	8,493.662	7,664.473	6,902.226
NO <sub>x</sub>	1,241.916	1,288.236	1,357.233	1,350.133	1,480.079	1,501.188	1,412.405
COVDM	1,461.709	1,574.162	1,747.699	1,516.207	1,564.972	1,748.744	1,579.915
SO <sub>2</sub>	2,697.432	2,501.492	2,750.202	2,612.574	2,985.017	2,945.017	2,612.912

Fuente: (INE, 2006)

**Figura 2.10. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Indirecto, 1990-2002.**



Fuente: (INE, 2006)

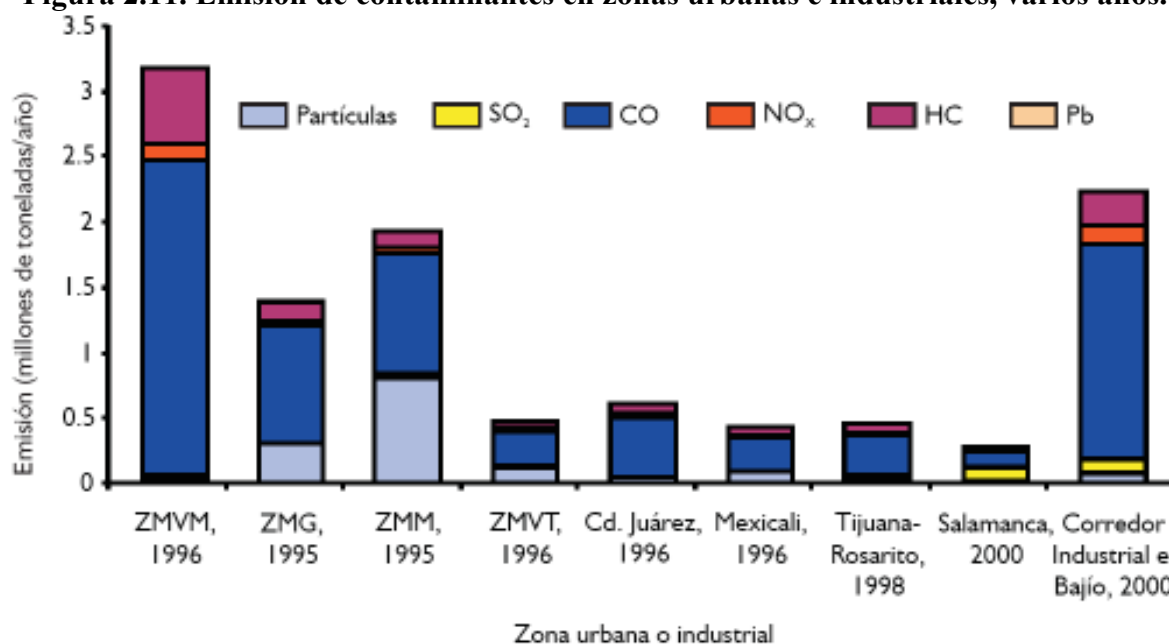
Bajo este contexto, se requiere de un diagnóstico de la situación de la calidad del aire en las principales ciudades y zonas urbanas del país, con información confiable y lo más actualizada posible de los temas más relevantes relacionados con la atmósfera. (SEMARNAT, 2005).

A mediados de la década pasada se elaboraron los inventarios disgregados de las principales zonas metropolitanas del país: Valle de México (ZMVM), Guadalajara (ZMG),

Monterrey (ZMM) y Valle de Toluca (ZMVT), y de algunas ciudades como Mexicali, Ciudad Juárez y Tijuana.

Conforme a estos inventarios de emisiones que pueden compararse entre sí, la zona que emitió a la atmósfera la mayor cantidad de contaminantes en 1996 fue la ZMVM con alrededor de 3.1 millones de toneladas<sup>3</sup>, que equivalen a 29% del total emitido por las nueve zonas. También se destacan el Corredor Industrial el Bajío con 2.2 millones de toneladas por año, la ZMM con 1.9 millones de toneladas por año y la ZMG con 1.4 millones de toneladas por año. A estas zonas les siguieron en magnitud de emisiones: Ciudad Juárez, ZMVT, Tijuana-Rosarito, Mexicali y, finalmente, Salamanca (SEMARNAT, 2005).

**Figura 2.11. Emisión de contaminantes en zonas urbanas e industriales, varios años.**



**Fuentes: (SEMARNAT, 2005)**

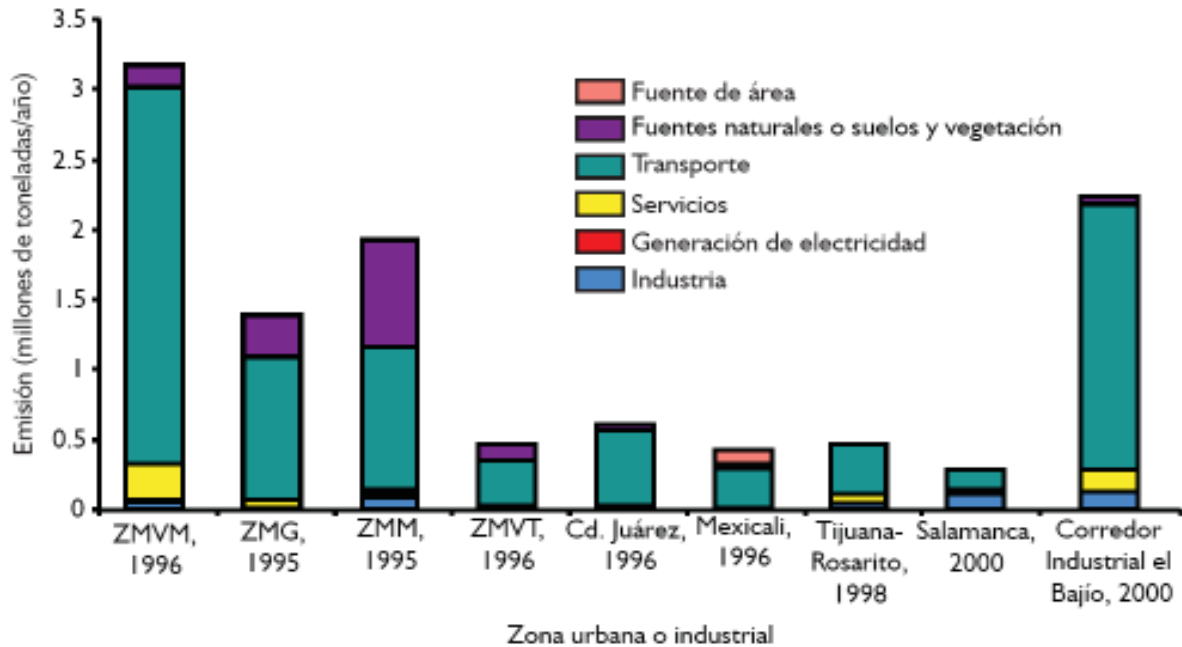
El CO fue el contaminante emitido en mayor proporción en todas las zonas, esto es entre 44 y 76%. El segundo contaminante más emitido en ZMG, ZMM, ZMVT y Mexicali fueron las partículas, mientras que en ZMVM, Ciudad Juárez, Tijuana Rosarito y Corredor

<sup>3</sup> De acuerdo con la metodología del inventario de 2002, la estimación de las emisiones en 1996 fue de 4.9 millones de toneladas (SEMARNAT, 2005)

Industrial el Bajío fueron los hidrocarburos (HC). En Salamanca el SO<sub>2</sub> fue el segundo contaminante más emitido con un 37% (SEMARNAT, 2005).

En la figura 2.12 observamos que el transporte es la principal fuente de contaminantes, en las nueve zonas urbanas o industriales examinadas, con 75% del volumen total de las emisiones a la atmósfera, con el CO como el principal contaminante emitido por este sector. Las fuentes naturales contribuyeron con alrededor de 13% del total de emisiones, constituidas básicamente por partículas suspendidas y en el caso de Salamanca de CO y el Corredor Industrial el Bajío óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). El sector servicios emitió cerca de 6% y la industria alrededor de 4% (SEMARNAT, 2005).

**Figura 2.12. Emisión de contaminantes en zonas urbanas e industriales por fuente, varios años**



**Fuentes: (SEMARNAT, 2005)**

El sector transporte fue responsable de la mayor parte del total de emisiones con 98% del CO, 68% del NO<sub>x</sub> y 54% de los HC, teniendo en los vehículos particulares la más importante fuente en la mayoría de las zonas metropolitanas; no siendo el caso en Salamanca y el Corredor Industrial el Bajío, donde lo fueron los camiones, tractocamiones y autobuses que utilizan diesel o gasolina como combustible (SEMARNAT, 2005).



En el caso de las partículas suspendidas, las fuentes naturales y específicamente el suelo desprovisto de vegetación fueron responsables de más del 80% de las emisiones de este contaminante. Por su parte, la industria aportó cerca de 90% del SO<sub>2</sub> y de alrededor del 12% de los NO<sub>x</sub> emitidos a la atmósfera, sobresaliendo por el volumen de emisiones la industria química, la mineral no metálica y la de productos metálicos. El sector servicios produce esencialmente HC, con más de 30% del total emitido, donde sus fuentes principales son el consumo de solventes y las fugas que ocurren tanto en las estaciones de servicio de combustibles como durante el almacenamiento y distribución del gas LP de uso doméstico. Los HC no completamente quemados también contribuyen de manera substancial a la contaminación del medio ambiente en la ZMVM (SEMARNAT, 2005).

Para la ZMG, el mayor volumen de emisiones corresponde a CO, con aproximadamente 900 mil toneladas anuales debido, como en las resto de las urbes, a la gran cantidad de vehículos de uso particular, de transporte de pasajeros y de carga. La emisión de partículas provenientes del suelo también alcanza valores considerables, representando cerca de 22% de las emisiones totales. Sumada a la gran cantidad de emisiones asociadas al transporte, la ZMM, tiene la mayor emisión de partículas, que se estableció en un poco más de 800 mil toneladas anuales, monto superior en más de 20 veces al estimado para la ZMVM y duplicando lo considerado para la ZMG. A si mismo la ZMM tiene la particularidad de que la contribución total de emisiones por la industria también supera al mostrado en la ZMVM y ZMG. En lo correspondiente, a la ZMVT, Ciudad Juárez, Mexicali y Tijuana-Rosarito tuvieron emisiones muy por debajo de las grandes ciudades, pero bajo la misma tendencia, esto es, voluminosas emisiones de CO, HC y NO<sub>x</sub> coligadas al transporte y de SO<sub>2</sub> a la industria donde ésta se encuentre localizada, como es el caso de la ciudad de Toluca. Con la elaboración de los inventarios de Salamanca y Corredor Industrial el Bajío se distingue la aportación de la industria en la emisión de SO<sub>2</sub>, lo cual ubica a dichas zonas en los primeros lugares de emisión de este contaminante, incluso por encima de las grandes zonas urbanas. En adición, de las nueve zonas aquí expuestas, el Corredor Industrial el Bajío emitió la mayor cantidad de NO<sub>x</sub> y después de la ZMVM fue la región con la mayor cantidad de emisiones a la atmósfera de CO y HC, siendo el transporte el principal origen en todos los casos (SEMARNAT, 2005).

### **2.3 La problemática de la contaminación en la ZMVM**

El problema de la contaminación atmosférica de la ZMVM, aunque es empeorado por una serie de características fisiográficas y climáticas propias de la zona, depende principalmente de las emisiones contaminantes que se liberan en ella. Por este motivo las autoridades ambientales para enfrentar el problema y dar respuesta a los altos niveles de contaminación que se presentan en la mayor parte del año, y particularmente en la temporada invernal, han desarrollado inventarios de emisiones para conocer el origen de la contaminación e implementar medidas de mitigación, al mismo tiempo de que en forma permanente y continua se miden las concentraciones de los contaminantes atmosféricos para conocer la calidad del aire y tener informada a la población (SMA-GDF, 2005).

La Ciudad de México y la zona conurbada del Estado de México producen el 30 por ciento de los residuos sólidos de todo el país. Al mismo tiempo, del total de basura, casi un cuarta parte (23 por ciento) no se recolecta por cuestiones geográficas o por ser arrojada a tiraderos clandestinos, baldíos y cuerpos de agua, entre otros agravando más la situación (Durán, 2009).

Aunado a esto la Ciudad de México rebasa el límite de los 100 imecas (establecidos por la Norma de Ozono) el 60 por ciento del tiempo (como se registró en 2006 y 2007). La norma dicta que estos niveles maximos no deben sostenerse por más de 60 minutos al día, pero en 200 fechas diferentes estos índices han superado 1.9 horas, lo que propicia que el aire sea insalubre (García, 2009).

Los principales contaminantes en el ambiente son el ozono, el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre, las partículas suspendidas y el plomo, elementos utilizados para evaluar la calidad del aire en una región específica y las consecuencias de exponerse a estos compuestos, como disminución de la capacidad pulmonar y alteraciones en el sistema cardiaco, vascular y nervioso (García, 2009).

En el ambiente también concurren agentes tóxicos como el benceno y el formaldehído que producen cáncer y no están legislados en el país, y compuestos mutagénicos o teratogénicos como pesticidas, solventes o materiales de construcción, dañinos a largo plazo (García, 2009).

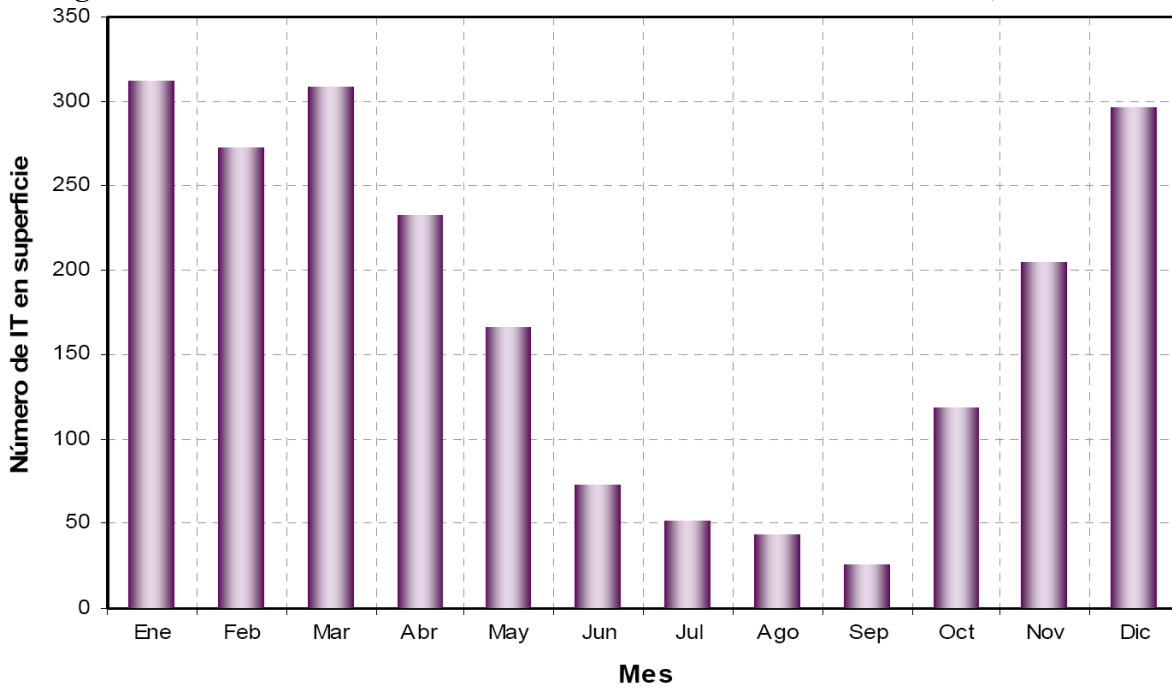
Según García (2009:1-2) *“Los efectos de estar en contacto con estas sustancias pueden ser agudos o crónicos. Los primeros, son inmediatos y reversibles, como dolor de cabeza, náuseas o mareos... y que desaparecen cuando se deja de respirar el aire saturado de solventes... Los segundos, provocan daño a largo plazo, perjudican los pulmones, generan cáncer, trastornan el sistema inmunológico y reproductivo y, en algunos casos, son letales”*.

Una más de las consecuencias de la contaminación atmosférica es la inversión térmica. Existen diversos tipos de inversión térmica, lo cual depende de las condiciones atmosféricas y los períodos de duración: Inversión por radiación, Inversión por subsidencia, Inversión frontal y Inversión por advección (SMA-GDF, 2006).

En la ZMVM es común la presencia de inversiones térmicas por radiación. La época seca fría (noviembre, diciembre, enero y febrero) se caracteriza por registrar un mayor número de inversiones térmicas y en la época de lluvias disminuye su presencia (Figura 2.13) (SMA-GDF, 2006).

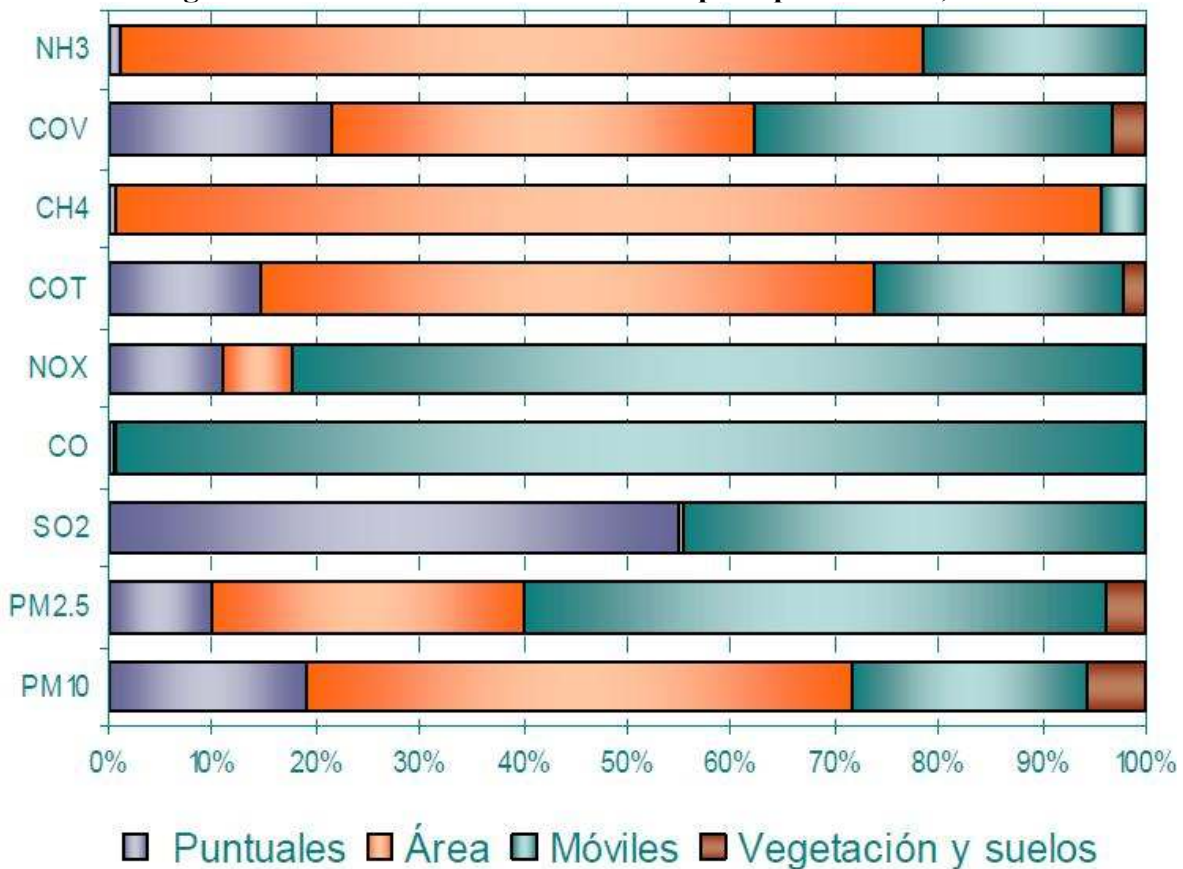
Las emisiones anuales de la ZMVM para 2004, en magnitud y porcentaje se presentan en la figura 2.14, en la cual se advierte que el contaminante más abundante en peso es el CO, emitiéndose a la atmósfera cerca de 1.8 millones de toneladas al año y principalmente es generado por las fuentes móviles; le sigue en orden de importancia las emisiones de los compuestos orgánicos totales (COT) con más de 822 mil toneladas por año, siendo las fuentes de área las que generan el 59%. Al mismo tiempo en esta figura, se puede apreciar la contribución de cada contaminante inventariado por tipo de fuente, observándose que el mayor emisor son las fuentes móviles, como ya lo hemos señalado reiteradamente (SMA-GDF, 2005).

**Figura 2.13. Número de inversiones térmicas mensuales en la ZMVM, 1990-2005**



Fuente: (SMA-GDF, 2006)

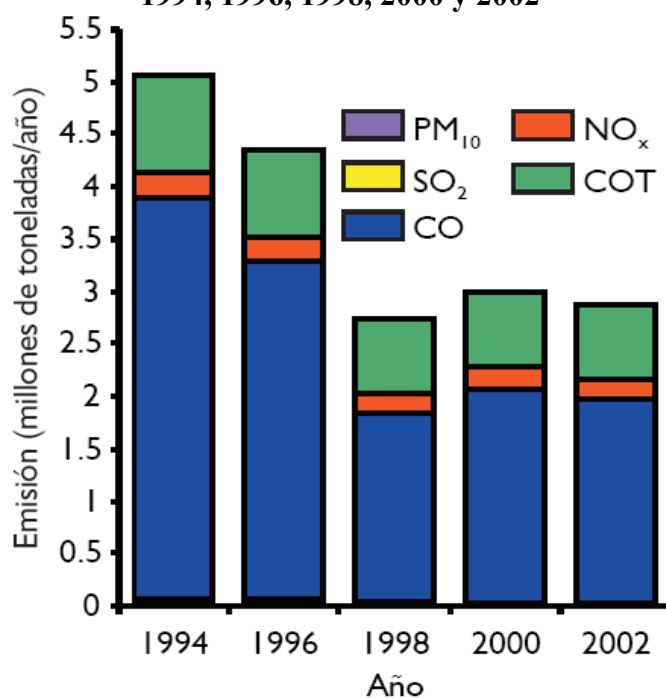
**Figura 2.14. Contribución de emisiones por tipo de fuente, 2004**



Fuente: (SMA-GDF, 2005)

Concerniente a la contaminación por NO<sub>x</sub>, se valúa que se liberaron al aire más de 179 Gg y que las fuentes móviles emitieron el 82%; de las PM<sub>10</sub><sup>4</sup>, que es otro de los contaminantes que representan mayor problema en la ZMVM, se tiene que de las 20,686 toneladas emitidas por año, el 42% se desprenden de las vialidades no pavimentadas debido al tránsito vehicular; del total de estas partículas, cerca de una tercera parte son PM<sub>2.5</sub><sup>5</sup>; y con respecto a la estimación del amoniaco (NH<sub>3</sub>) que se calcula en más de 17 mil toneladas, siendo las fuentes de área las principales emisoras, en particular por la categoría de emisiones domésticas (SMA-GDF, 2005).

**Figura 2.15. Emisión de contaminantes en la Zona Metropolitana del Valle de México, 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002**



Fuente: (SEMARNAT, 2005)

En la figura 2.15 se observa una reducción de 1994 a 1998, del total de contaminantes emitidos, con un leve incremento en los siguientes años. Consistentemente el CO ha sido el contaminante que más se ha emitido durante todo este periodo, con casi dos terceras partes del total de emisiones. Sin embargo, este gas es el contaminante que ha manifestado la

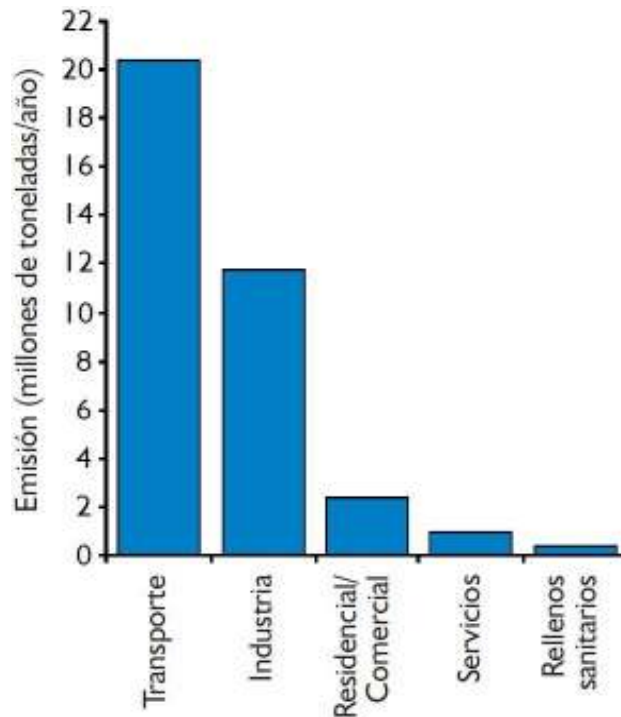
<sup>4</sup> Partículas menores a 10 micrómetros (PM10)

<sup>5</sup> Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>)

reducción más significativa al pasar de 3.8 millones de toneladas por año en 1994 a 1.9 millones de toneladas por año en 2002 (SEMARNAT, 2005).

El inventario de emisiones en la ZMVM de 2002 también incluye los volúmenes de GEI generados por los sectores: transporte, industria, residencial/comercial y servicios. Para dicha estimación se emplearon los factores de emisión propuestos por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. En adicción, el inventario toma en cuenta el CO<sub>2</sub> producido por la degradación de los residuos sólidos municipales (rellenos sanitarios). Conforme con este inventario, las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en 2002 para la ZMVM ascendieron a 35.9 millones de toneladas, de las cuales 35.5 millones de toneladas (99%) fueron generadas por el proceso de ignición de combustibles fósiles por los cuatro sectores considerados y 0.4 millones de toneladas (1%) por el proceso de degradación de residuos sólidos municipales (figura 2.16) (SEMARNAT, 2005)

**Figura 2.16. Emisión de CO<sub>2</sub> por sector en la Zona Metropolitana del Valle de México, 2002**



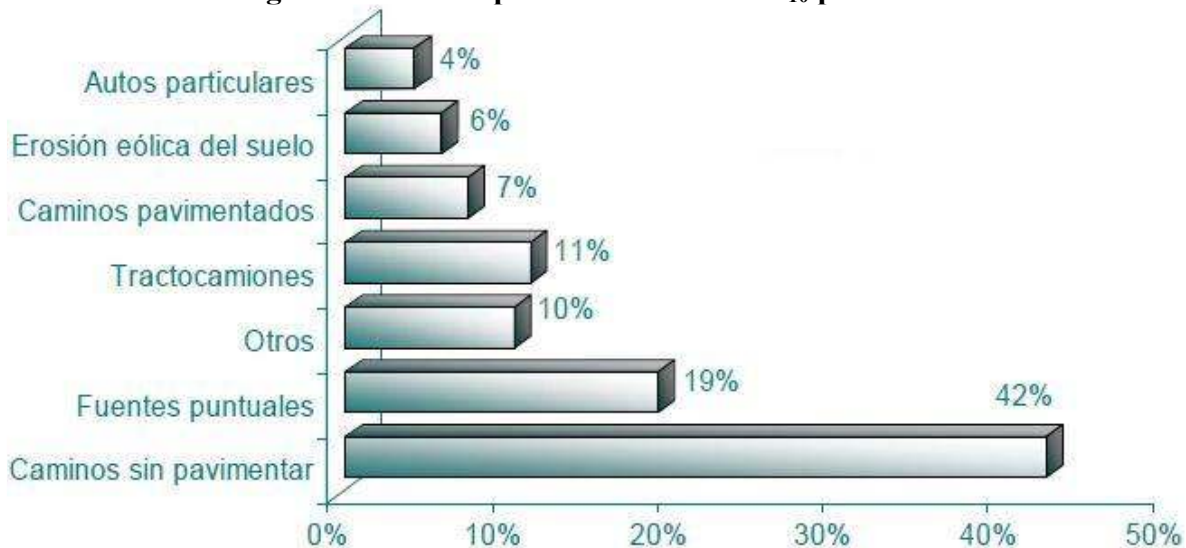
**Fuente: (SEMARNAT, 2005)**

Las cifras muestran que el transporte es el mayor emisor, de los cuatro sectores, generando el 57% del CO<sub>2</sub> y que el 44% de dichas emisiones son producidas por la combustión de

gasolina; el sector industrial representa una tercera parte de las emisiones, acentuando por la quema de gas natural con un 28%; el restante 10% es expulsado por los sectores residencial/comercial y de servicios. Por otro lado, se arrojaron 163 mil 904 toneladas de CH<sub>4</sub> en 2002; subrayando que esta cantidad se encuentra comprendida dentro de las emisiones antes indicadas de COT. Más de 152 mil 240 toneladas (90%) de metano se generó en los rellenos sanitarios de la ZMVM (SEMARNAT, 2005).

La generación de partículas en la ZMVM, se debe esencialmente a los caminos no asfaltados, sector que forma parte de las fuentes de área. Se tienen un total de 20,668 toneladas anuales de PM<sub>10</sub>, de éstas, los caminos sin pavimentar aportan el 42% y los caminos pavimentados tan solo el 7%. Otros emisores de importancia son las fuentes puntuales con el 19%, así como los tractocamiones con el 11% (Figura 2.17) (SMA-GDF, 2005).

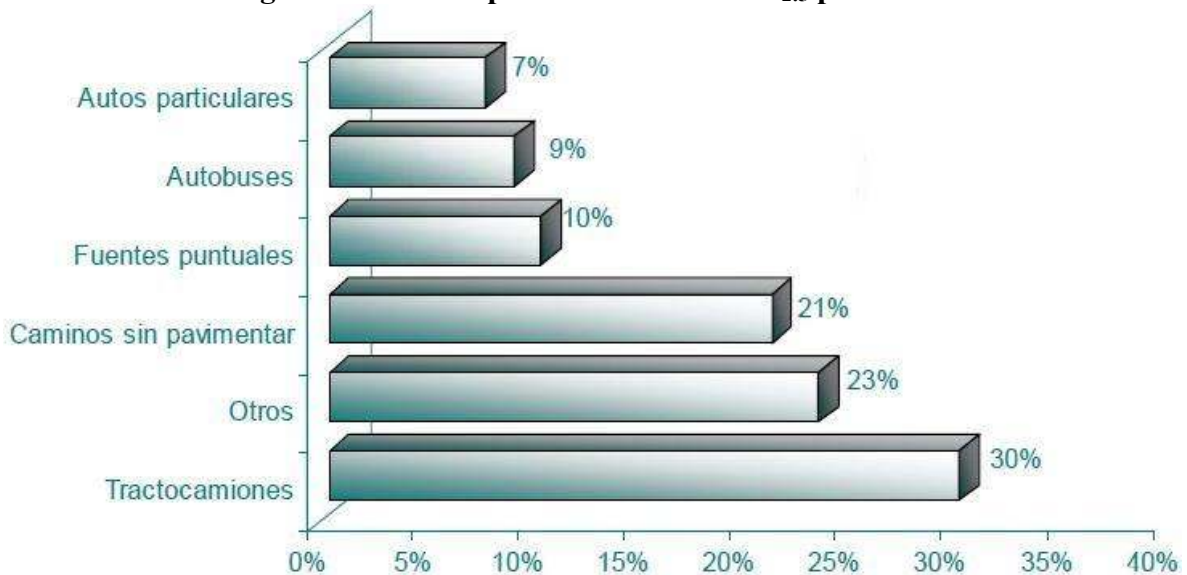
**Figura 2.17. Principales emisores de PM<sub>10</sub> por sector**



**Fuente: (SMA-GDF, 2005)**

Conjuntamente, se estimaron en 6,622 toneladas anuales de las PM<sub>2.5</sub>, siendo con 2,014 ton/año (30%) los principales generadores los tractocamiones. Le sigue en orden de importancia los caminos sin pavimentar, con una aportación de 1,362 ton/año (21%) y los autobuses con 600 ton/año (9%), en conjunto las fuentes puntuales generan el 10%, y los vehículos particulares el 7%. Resaltando que las producción de PM<sub>2.5</sub> de los tractocamiones y autobuses proceden de la combustión del diesel (Figura 2.18) (SMA-GDF, 2005).

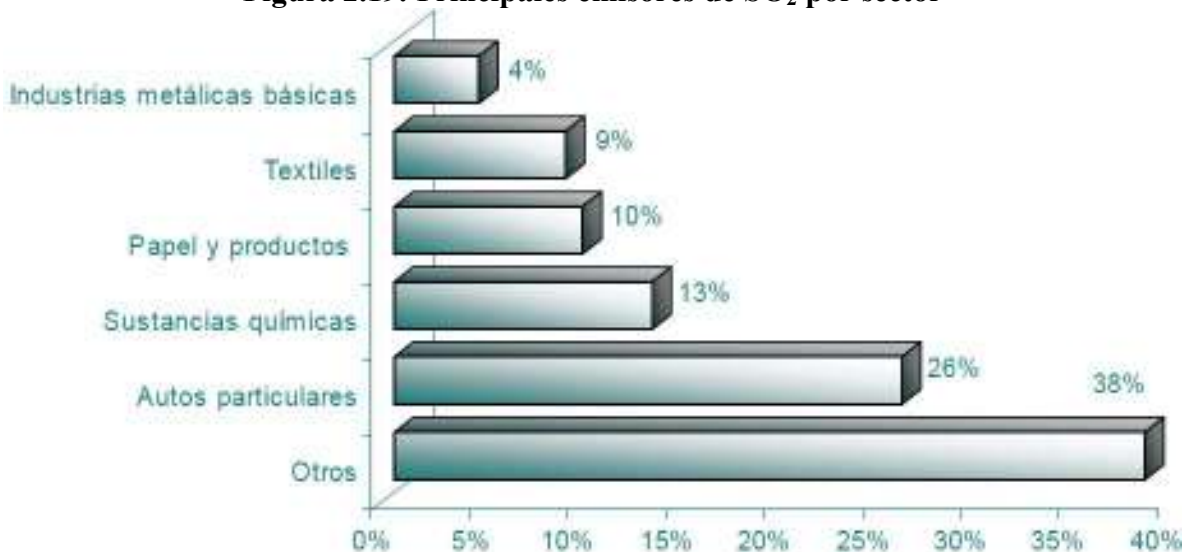
**Figura 2.18. Principales emisores de PM<sub>2.5</sub> por sector**



**Fuente: (SMA-GDF, 2005)**

Por otro lado la industria emitió 3,284 ton/año de las 6,646 toneladas totales de SO<sub>2</sub>, es decir el 55% de las generadas en la ZMVM, siendo las ramas más contaminantes, la industria de sustancias químicas y la del papel, que contribuyen en conjunto casi el 23%. Estos giros consumen cantidades importantes de combustible industrial líquido, con contenidos de azufre en un rango entre 0.04% a 4%. Las fuentes móviles en su categoría de autos particulares a gasolina participaron con 1,719 ton/año (26%) (SMA-GDF, 2005).

**Figura 2.19. Principales emisores de SO<sub>2</sub> por sector**

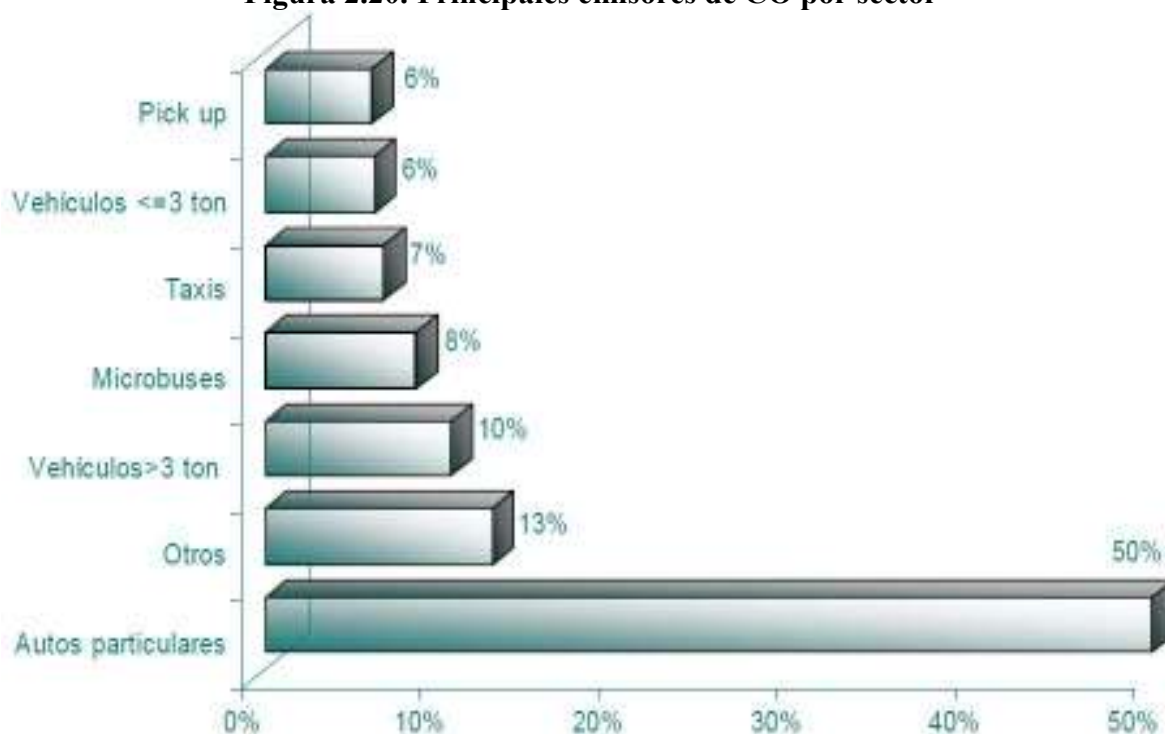


**Fuente: (SMA-GDF, 2005)**



Además, el 99% del CO fue emitido por las fuentes móviles, como se puede apreciar en la figura 2.20. Se tiene que de las 1'792,081 toneladas por año, las ramas de mayor importancia son los autos particulares con 50%, los vehículos mayores a 3 toneladas y los microbuses con el 10% y 8% respectivamente, así como los taxis con un 7%. Estas emisiones se generan debido a la baja eficiencia de la quema del combustible en los vehículos (SMA-GDF, 2005).

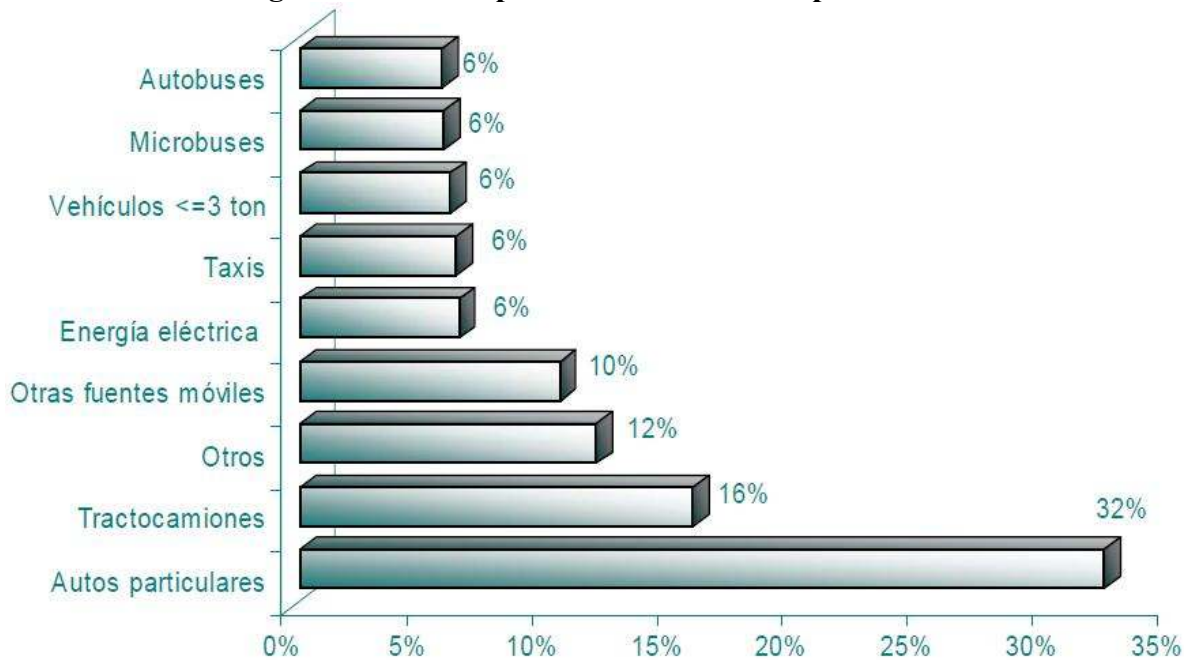
**Figura 2.20. Principales emisores de CO por sector**



**Fuente: (SMA-GDF, 2005)**

En el caso de los  $\text{NO}_x$ , al igual que el CO, fueron generados principalmente por las fuentes móviles, contribuyendo con el 82% de las 179,996 toneladas anuales que se emitieron de este gas, siendo los autos particulares los que más aportaron con el 32% (57,456 ton/año), le siguen en orden de importancia los tractocamiones que generaron el 16%, con una menor emisión se tiene a los taxis y a los vehículos menores a 3 toneladas, así como el industria de generación de energía que participan con aproximadamente el 6% cada uno. Los  $\text{NO}_x$  se generaron básicamente por la oxidación del nitrógeno del aire a altas temperaturas durante la ignición del combustible (SMA-GDF, 2005).

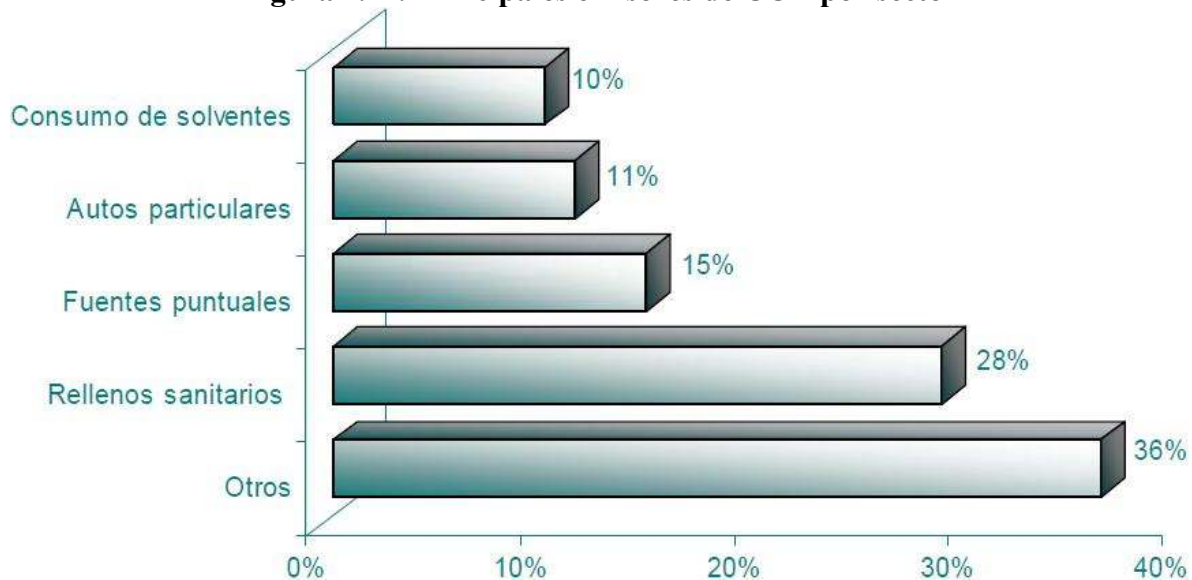
**Figura 2.21. Principales emisores de NOx por sector**



**Fuente: (SMA-GDF, 2005)**

Los COT en la ZMVM, los generan primordialmente las fuentes de área; dentro de éstas, los rellenos sanitarios es el sector que más contribuye con 232,947 ton/año (28%), por la descomposición de los residuos sólidos (desechos orgánicos) que ahí se depositan; seguidos por, las fuentes fijas con el 15% y los autos particulares con 11%; por último tenemos al consumo de solventes que emitió el 10% (SMA-GDF, 2005).

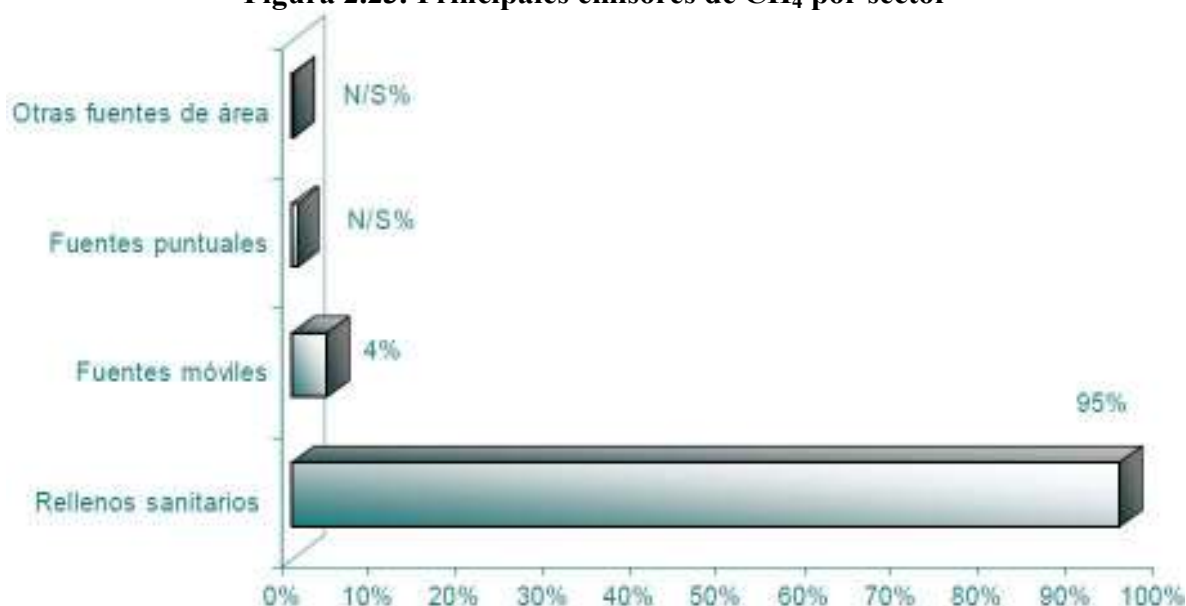
**Figura 2.22. Principales emisores de COT por sector**



**Fuente: (SMA-GDF, 2005)**

La relevancia de conocer la emisión de  $\text{CH}_4$ , radica en que es un gas que contribuye en gran medida al calentamiento global, como ya hemos visto es junto con el  $\text{CO}_2$  los GEI's principales y es más efectivo que este último para atrapar el calor en la atmósfera. La fuente antropogénica que más favorece a su generación son los rellenos sanitarios ubicados en la ZMVM, con 223,346 toneladas por año (95%). Las emisiones en las otras ramas son imperceptibles, siendo los autos particulares los más representativos con 3,931 ton/año (4%) (SMA-GDF, 2005).

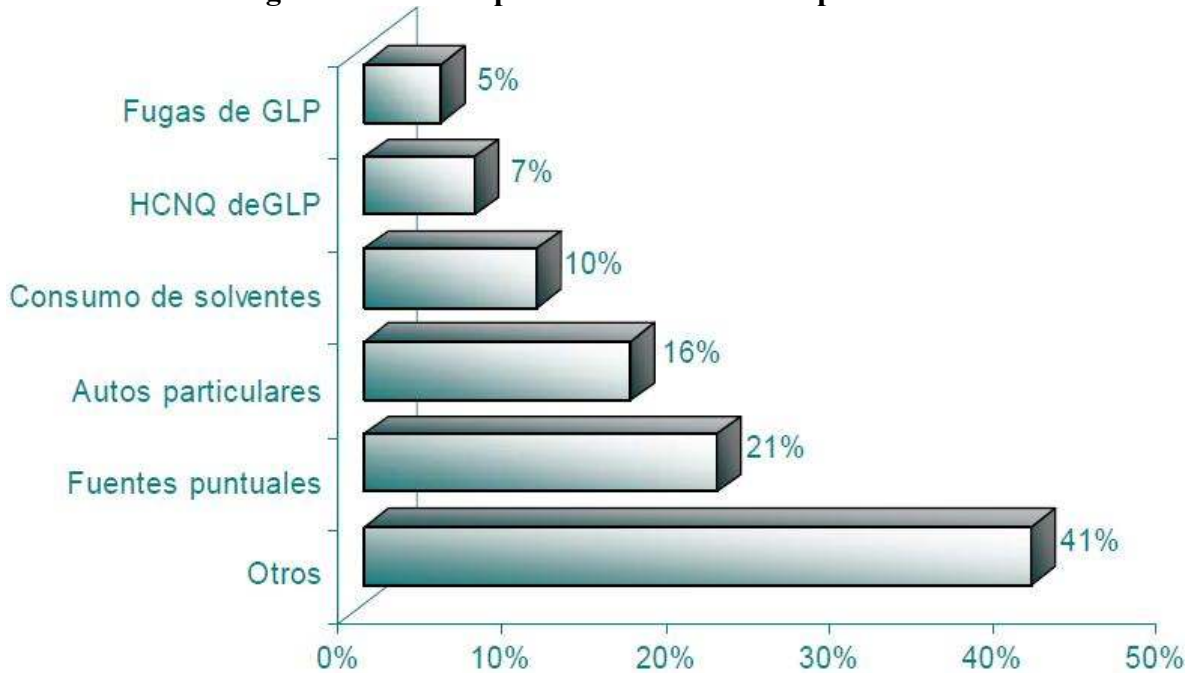
**Figura 2.23. Principales emisores de  $\text{CH}_4$  por sector**



**Fuente: (SMA-GDF, 2005)**

En lo que respecta a los compuestos orgánicos volátiles (COV), se calcularon 532,168 toneladas anuales de éstos contaminantes, donde las fuentes de área y móviles son las que produjeron las mayores emisiones, con 41% y 35% respectivamente. También se destacan las fuentes puntuales y a los autos particulares, lo cuales generaron el 21% y 16% del total respectivamente; también se puede mencionar al consumo de solventes y a los HC no quemados (HCNQ) de la combustión de gas LP, los que agregados generaron el 17%. Es relevante indicar que los COV, son un conjunto de compuestos con elevado índice de reactividad, que al reaccionar con los  $\text{NO}_x$  en presencia de energía solar favorecen la formación del ozono (SMA-GDF, 2005).

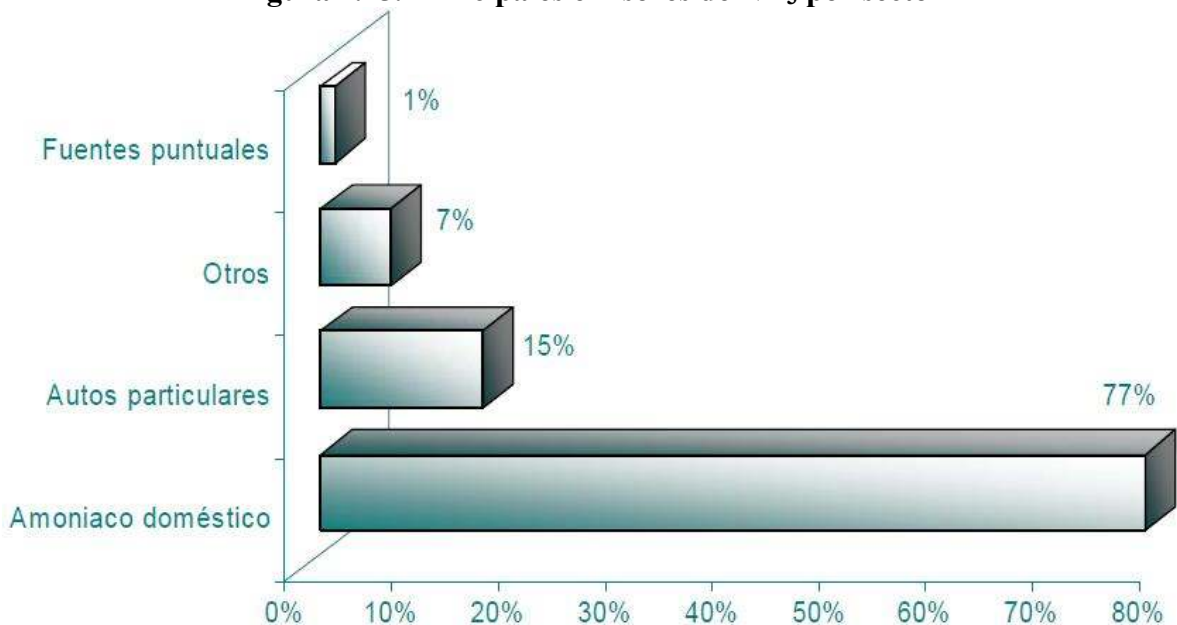
**Figura 2.24. Principales emisores de COV por sector**



**Fuente: (SMA-GDF, 2005)**

El  $\text{NH}_3$  mayormente fue producido por las fuentes de área, las cuales representaron el 77% (17,514 ton/año) del total, específicamente por las emisiones domésticas; exceptuando a los autos particulares que contribuyen con el 15%, el aporte de las otras fuentes no fue significativo (SMA-GDF, 2005).

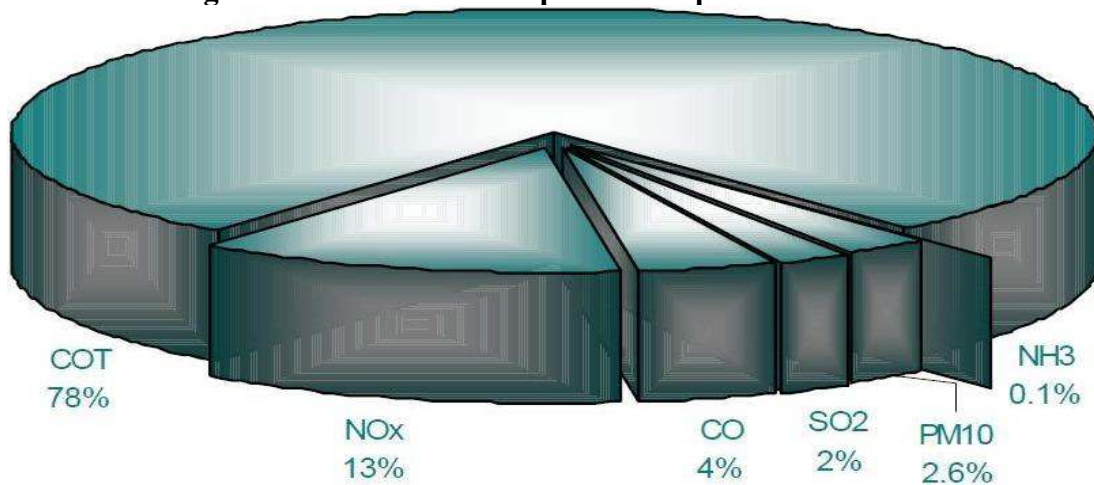
**Figura 2.25. Principales emisores de  $\text{NH}_3$  por sector**



**Fuente: (SMA-GDF, 2005)**

Toda, la industria de la ZMVM produce aproximadamente 153,322 toneladas anuales de contaminantes, de las cuales las emisiones de COT son el 78%, de NO<sub>x</sub> el 13 %, de CO 4%, de PM<sub>10</sub> 3%, de SO<sub>2</sub> 2%, y las de NH<sub>3</sub> corresponden al 0.1% (figura 2.27). Las fuentes puntuales o industriales emplean el 37% de la energía originada por la quema de combustibles fósiles en la ZMVM, esencialmente de gas natural, que en comparación con los demás combustibles utilizados, emiten menor cantidad de contaminantes al aire y al mismo tiempo son menos tóxicos (SMA-GDF, 2005).

**Figura 2.26. Contribución porcentual por contaminante**



Fuente: (SMA-GDF, 2005)

**Figura 2.27. Emisiones de la ZMVM por entidad en el 2004**



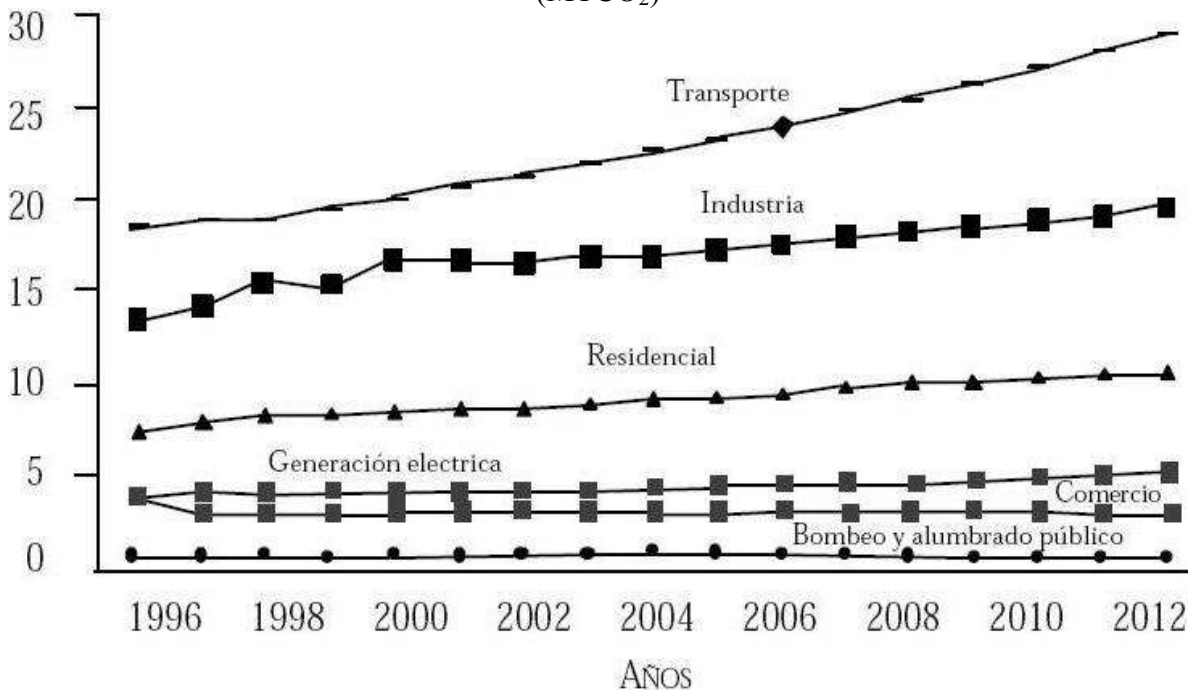
Fuente: (SMA-GDF, 2005)

Es fundamental tomar en cuenta el aporte de emisiones por entidad federativa, con la finalidad de poder elaborar medidas de control de emisiones acorde a la problemática de cada entidad, debido a que la generación de emisiones de cada uno de los sectores es diferente; en la figura 2.27, se presentan las emisiones por entidad, tipo de fuentes y se muestra el volumen de contribución, destacándose al Estado de México como el mayor emisor (SMA-GDF, 2005).

Todo esto aunado a que las emisiones del sector energético de Tula en el estado de Hidalgo, intervienen en la calidad del aire del ZMVM, ya que esa localidad emite 33 veces más  $\text{SO}_2$  que toda la metrópoli, de acuerdo a la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (García, 2008).

En esta zona metropolitana el escenario para el 2012 de las emisiones del transporte proyecta un considerable crecimiento hasta llegar a casi 30  $\text{MTCO}_2$  (figura 2.28), por lo que es indispensable enfocarse en soluciones eficientes para este sector (Osnaya, 2003).

**Figura 2.28 Proyección de Las Emisiones de  $\text{CO}_2$  Por Sector En La ZMVM, 2012**  
( $\text{MTCO}_2$ )



Fuente: (Osnaya, 2003)

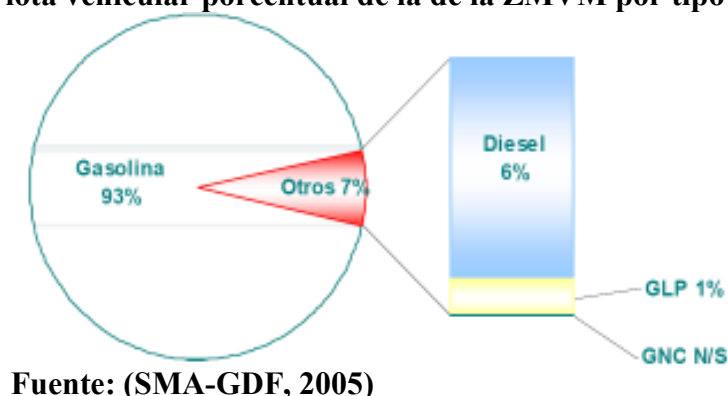
Debido a la conjunción de diversos factores que intervienen en la emisión de contaminantes, tales como el incremento continuo de la número de unidades en circulación, el volumen de combustible que consumen y las tecnologías de control integradas en los vehículos, las fuentes móviles aportan la mayor parte de las emisiones de toda la ZMVM. Como ejemplo de esto se tiene que, el 26% de los vehículos a gasolina generan el 50% de las emisiones de COV, al no contar con sistemas de control de emisiones (SMA-GDF, 2005).

Según SMA-GDF (2005:97) “*Se consideran como fuentes móviles carreteras a todas aquellas unidades motrices que sirven como medio de transporte*”. Lo que la convierte en la fuente de contaminación más relevante para nuestro análisis.

En el transcurso del año 2004, estas fuentes utilizaron el 54% del total de energía que se consumió en la ZMVM, para impulsarse mediante un proceso de combustión, donde la energía química del combustible se transforma en energía mecánica. Dichas unidades se distinguen por ir de un lugar a otro y por ello contaminan a lo largo de su recorrido. De los distintos contaminantes producidos durante este proceso, se consideraron los: PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, COT, CH<sub>4</sub>, COV y NH<sub>3</sub> (SMA-GDF, 2005).

El parque vehicular considerada para evaluar las emisiones del inventario 2004, se estimó en aproximadamente 3.7 millones de vehículos, de los cuales dos terceras partes corresponden a unidades registradas en el Distrito Federal y el tercio restante a unidades registradas en el Estado de México (SMA-GDF, 2005).

**Figura 2.29. Flota vehicular porcentual de la de la ZMVM por tipo de combustible**

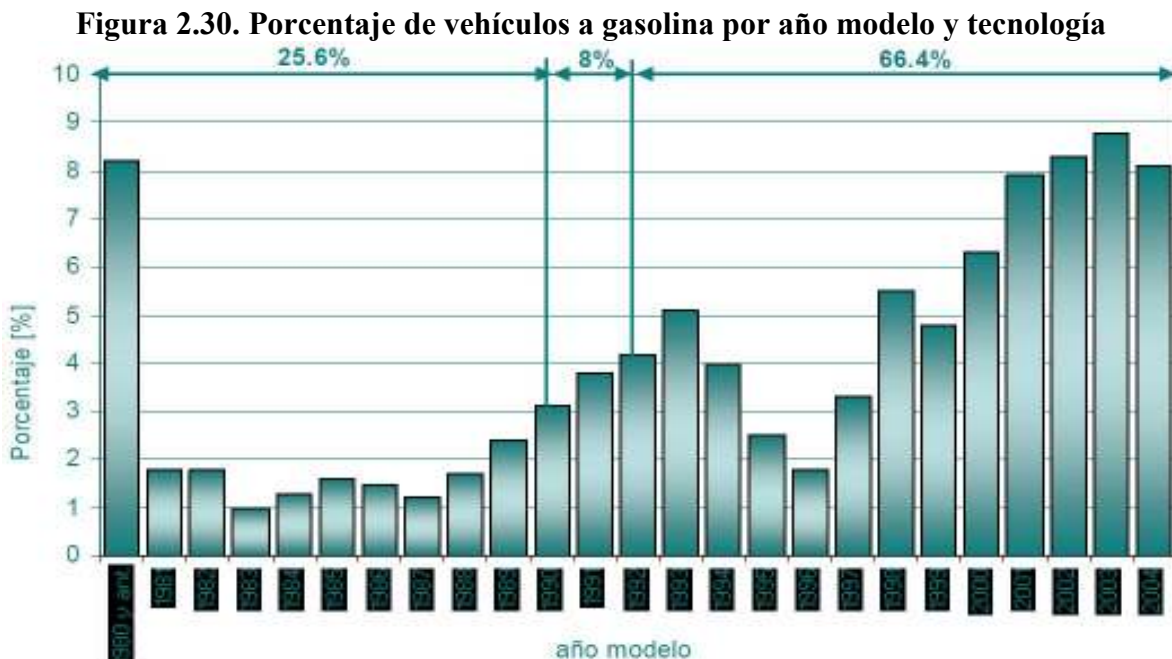


Fuente: (SMA-GDF, 2005)

Dividiendo por el tipo de combustible que utilizan las unidades que circulan tanto en las 16 delegaciones del Distrito Federal, como en los 59 Municipios del Estado de México considerados dentro de la ZMVM; se tiene que el 93% corresponden a vehículos que utilizan gasolina, el 6% son unidades a diesel y los vehículos restantes utilizan principalmente gas licuado de petróleo (GLP), las unidades a gas natural comprimido (GNC) representan un número no significativo en esta flota (figura 2.29) (SMA-GDF, 2005).

Es de gran importancia en el cálculo de las emisiones considerar el modelo de los vehículos, ya que esto nos permite saber mejor el volumen de emisiones generadas por estrato vehicular y con ello proponer acciones para reducir las emisiones en forma específica. A continuación se presenta la distribución para los dos combustibles más comunes del parque vehicular de acuerdo al año de los vehículos (SMA-GDF, 2005).

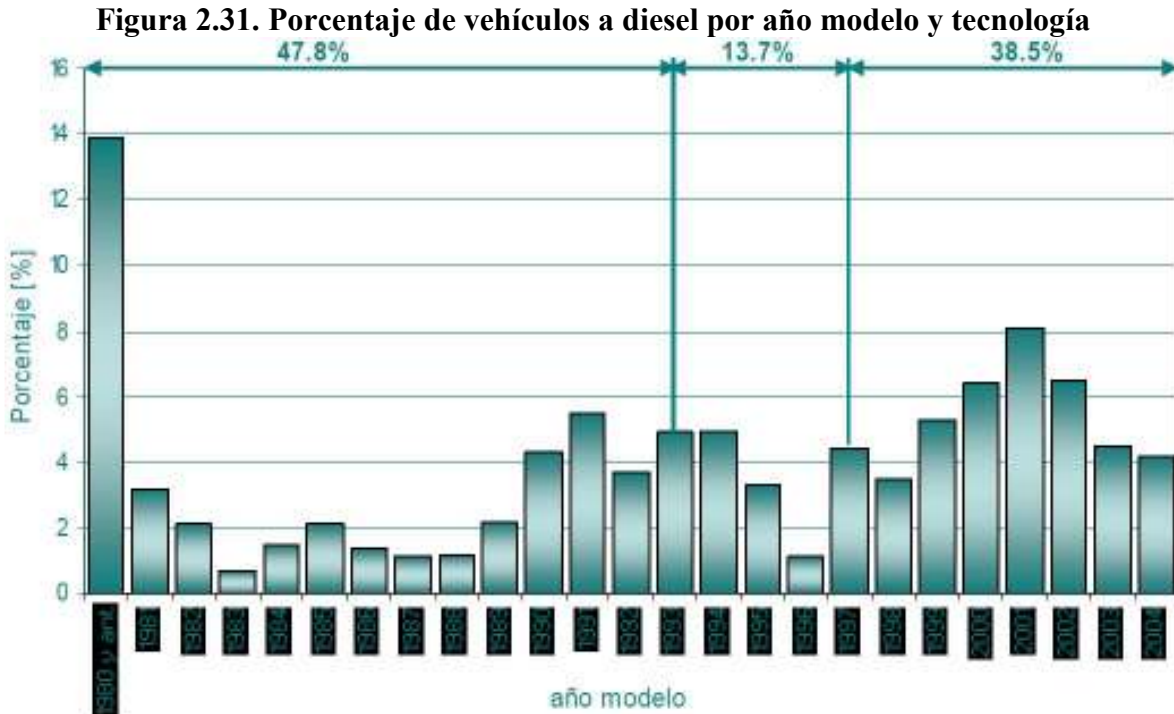
En la figura 2.30 se aprecia que para el caso de la gasolina cerca del 26% son modelos 1990 y anteriores, 8% corresponden a los años 1991 y 1992, y poco menos del 66% conciernen a modelos 1993 y posteriores, los cuales ya incluyen convertidores catalíticos y otros dispositivos que disminuyen las emisiones contaminantes (SMA-GDF, 2005).



Fuente: (SMA-GDF, 2005)

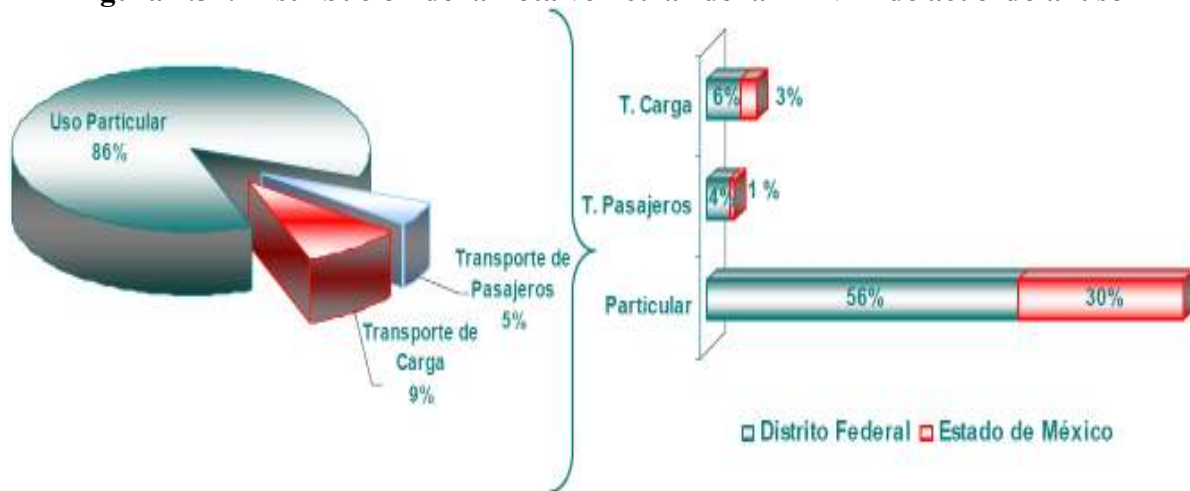


En lo concerniente a las unidades que utilizan diesel como combustible, haciendo una separación por estratos tecnológicos tenemos que las unidades corresponden a los años 1993 y anteriores son poco más del 47%, los vehículos modelo 1994 a 1997 que cuentan con la tecnología EPA<sup>6</sup> 94 son alrededor del 14%; y los vehículos modelo 1998 y posteriores, los cuales cuentan con tecnología EPA 98, el 38% restante (SMA-GDF, 2005).



Fuente: (SMA-GDF, 2005)

**Figura 2.32. Distribución de la flota vehicular de la ZMVM de acuerdo al uso**



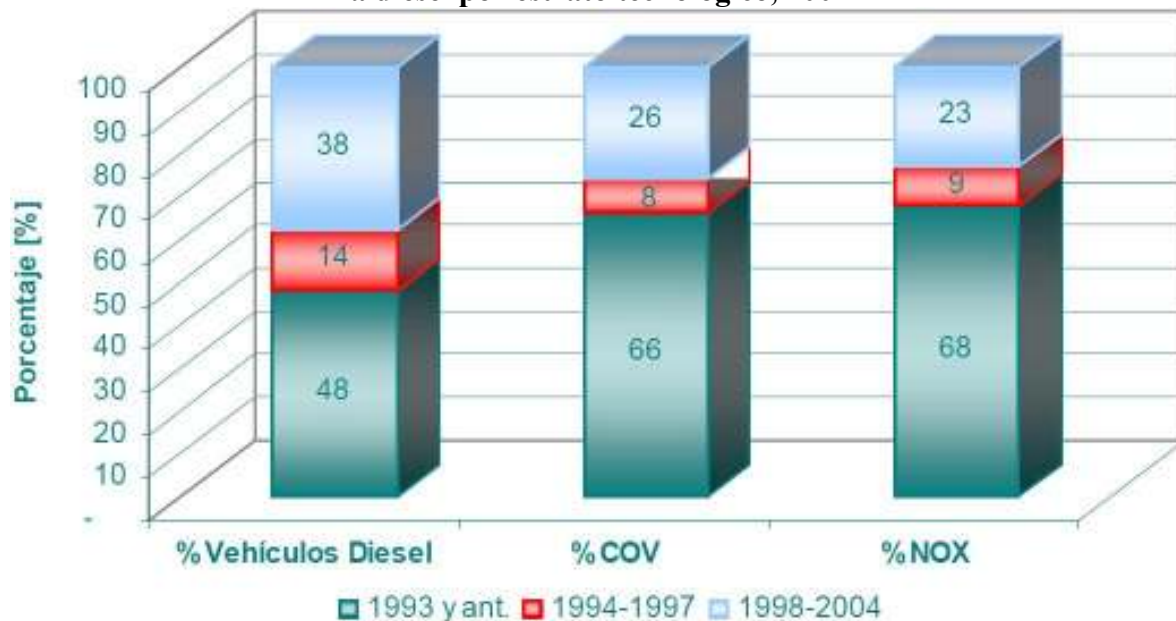
Fuente: (SMA-GDF, 2005)

<sup>6</sup> Environmental Protection Agency (EPA), la Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos

Es necesario hacer una subdivisión referente al uso que se le da a cada una de estas unidades vehiculares, para saber la intensidad de uso y el deterioro a que se somete cada una de ellas. En razón de esto se congregaron los tipos de vehículo en tres extractos, perteneciendo el 86% a vehículos de uso particular, 9% para transporte de carga y 5% para unidades de transporte de pasajeros (figura 2.32) (SMA-GDF, 2005).

En la figura 2.33, se presenta la correlación porcentual entre la emisión de los precursores de ozono (COV y NO<sub>x</sub>) y el porcentaje de vehículos a diesel, que se encontraban en circulación en el año 2004 en la ZMVM, de acuerdo al año. Se observa que los vehículos modelo 1993 y anteriores (48% del total), emite el 66% de los COV y el 68% de los NO<sub>x</sub>. Los vehículos de los años 1994 a 1997 (tecnología EPA 94) figuran como el 14% de este parque vehicular y generan el 8% y el 9% de los COV y NO<sub>x</sub>, respectivamente. Por último, los vehículos que pertenecen a los modelos de 1998 a 2004 (tecnología EPA 98) representan el 38% de la flota de vehículos a diesel y aportan el 26% de los COV y el 23% de los NO<sub>x</sub> (SMA-GDF, 2005).

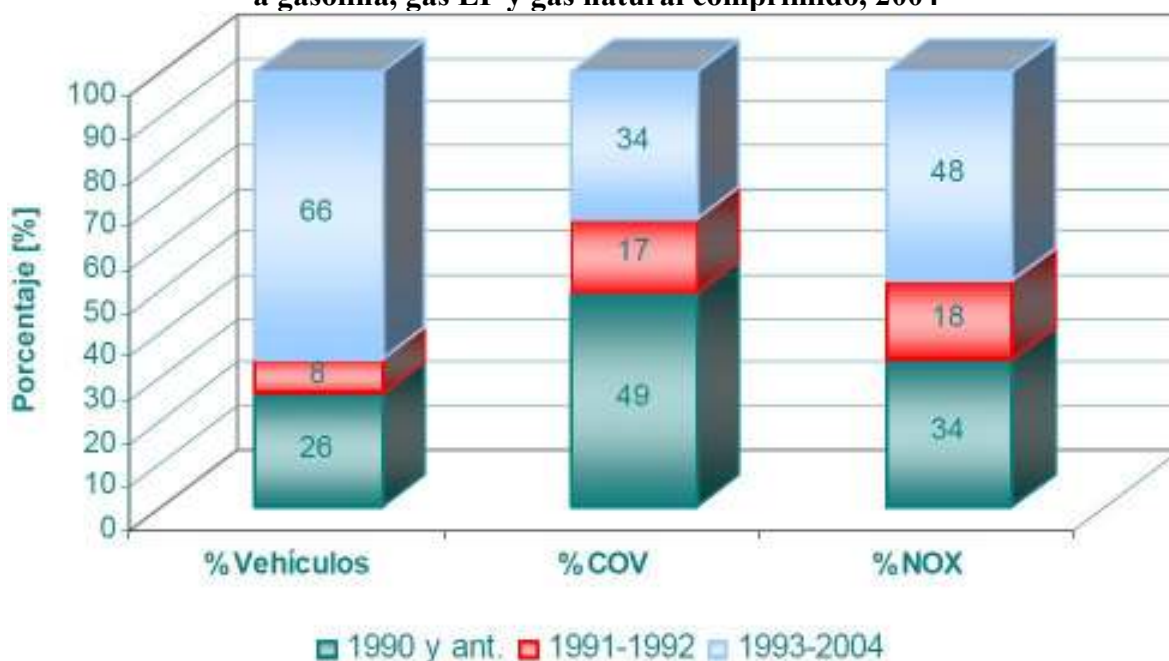
**Figura 2.33. Contribución porcentual a las emisiones de COV y NO<sub>x</sub> de los vehículos a diesel por estrato tecnológico, 2004**



Fuente: (SMA-GDF, 2005)

Para complementar esta reflexión, en la figura 2.34, se contempló el resto de la flota, esto es, los vehículos que utilizan gasolina, GLP o GNC como combustible; de acuerdo al modelo correspondiente a los estratos tecnológicos, y su aporte porcentual de emisiones de COV y NO<sub>x</sub>. En esta figura se observa que los vehículos modelo 1990 y anteriores, que no incluyen sistemas para disminuir emisiones, conforman el 26% de este parque vehicular y contribuyen con el 49% de las emisiones de COV y el 34% de las de NO<sub>x</sub>; el 8% de los vehículos se encuentran en los años 1991 y 1992, que ya tienen incluyen algunos sistemas de control de emisiones (como encendido electrónico y convertidor catalítico de dos vías), producen el 17% de COV y el 18% de NO<sub>x</sub>. Finalmente, el 66% de los vehículos (correspondientes a los modelos de 1993 a 2004), que se consideran los menos contaminantes, debido a que cuentan con sistemas de control de emisiones avanzados (como lo son convertidor catalítico de tres vías, canister para controlar las emisiones evaporativas, computadoras a bordo y sensores de oxígeno), generan el 34% y el 48% de los COV y los NO<sub>x</sub>, respectivamente (SMA-GDF, 2005).

**Figura 2.34. Contribución porcentual a las emisiones de COV y NO<sub>x</sub> de los vehículos a gasolina, gas LP y gas natural comprimido, 2004**

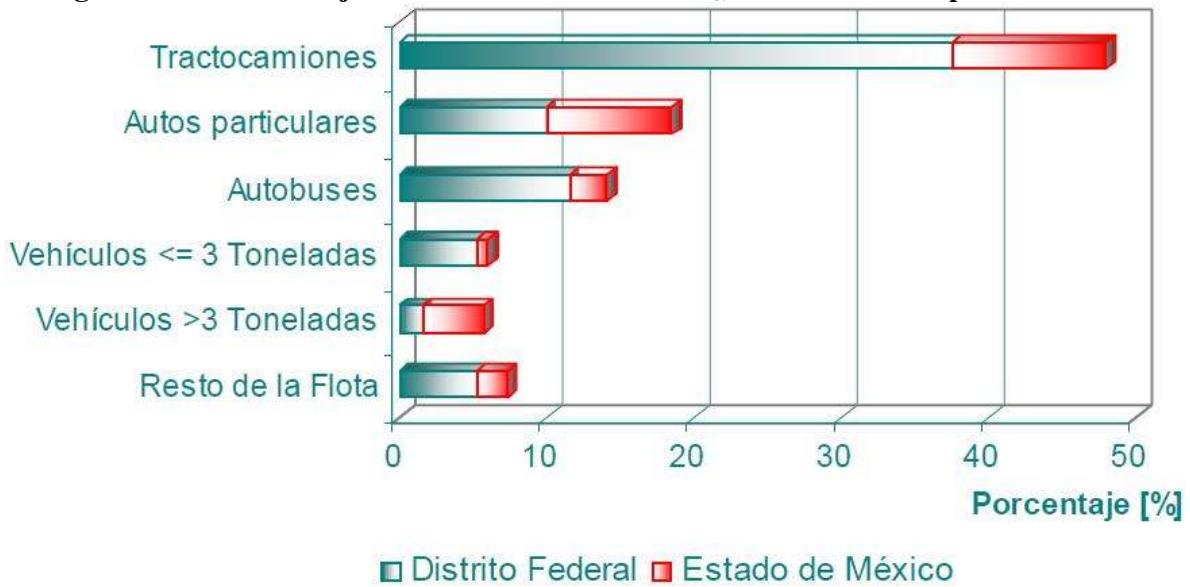


**Fuente: (SMA-GDF, 2005)**

Los porcentajes de las emisiones de PM<sub>10</sub> se muestran en la figura 2.35, de los cuales se tienen que casi la mitad de las emisiones de este contaminante son producto de los

tractocamiones, seguido de los autos particulares y los autobuses. Otra peculiaridad de la generación de estas partículas es que a excepción de los vehículos mayores de 3 toneladas, dentro de las categorías mostradas, la mayor parte de las emisiones pertenecen al Distrito Federal por tener un mayor cantidad de vehículos matriculados (SMA-GDF, 2005).

**Figura 2.35. Porcentajes de las emisiones de PM<sub>10</sub>, de acuerdo al tipo de vehículo**



Fuente: (SMA-GDF, 2005)

**Figura 2.36. Porcentajes de las emisiones de CO, de acuerdo al tipo de vehículo**



Fuente: (SMA-GDF, 2005)

En la figura 2.36, se presentan las emisiones de CO, donde aproximadamente el 50% de este gas pernicioso, se relaciona con los autos particulares, que es superior a cuatro veces lo que generan los vehículos menores de 3 toneladas. La mayor parte de las emisiones de las dos categorías con mayor aporte de CO provienen de unidades que están registrados en el Estado de México, esto es particularmente evidente para el caso de los autos particulares (SMA-GDF, 2005).

Observamos, que los autos particulares emiten 39% de los NO<sub>x</sub> en toda la ZMVM, con una participación tenuemente más elevada por parte de los vehículos que transitan en el Estado de México. En volumen de contribución siguen los tractocamiones, los taxis y los autobuses, en respecto de estas dos últimas categorías más del 70% de las emisiones provienen del Distrito Federal (figura 2.37) (SMA-GDF, 2005).

**Figura 2.37. Porcentajes de las emisiones de NO<sub>x</sub>, de acuerdo al tipo de vehículo**



Fuente: (SMA-GDF, 2005)

La distribución porcentual de las emisiones de COV se plasman en la figura 2.38, en la cual se expone que los vehículos que más participan a estas emisiones, con 47%, son nuevamente los autos particulares, y que casi el 60% de estas emisiones se originan en el Estado de México. Muy por debajo de este tipo de vehiculo, están los microbuses y los taxis, cuyas emisiones son ocasionadas principalmente dentro del Distrito Federal (SMA-GDF, 2005).

**Figura 2.38. Porcentajes de emisiones de COV, de acuerdo al tipo de vehículo**



Fuente: (SMA-GDF, 2005)

Los porcentajes para amoníaco, se presentan en la figura 2.39, en donde la categoría sobresaliente, son los autos particulares que contribuyen con el 70% de las emisiones de fuentes móviles, seguidos por el casi 13% y 5% que producen los taxis y los microbuses, respectivamente. Las emisiones en estas tres categorías son en su mayoría correspondientes al Distrito Federal (SMA-GDF, 2005).

**Figura 2.39. Porcentajes de las emisiones de NH<sub>3</sub>, de acuerdo al tipo de vehículo**



Fuente: (SMA-GDF, 2005)

En síntesis tenemos que los autos particulares participan notablemente en la generación de todos los contaminantes analizados, a excepción de las  $PM_{10}$ , donde los tractocamiones son los principales emisores (SMA-GDF, 2005).

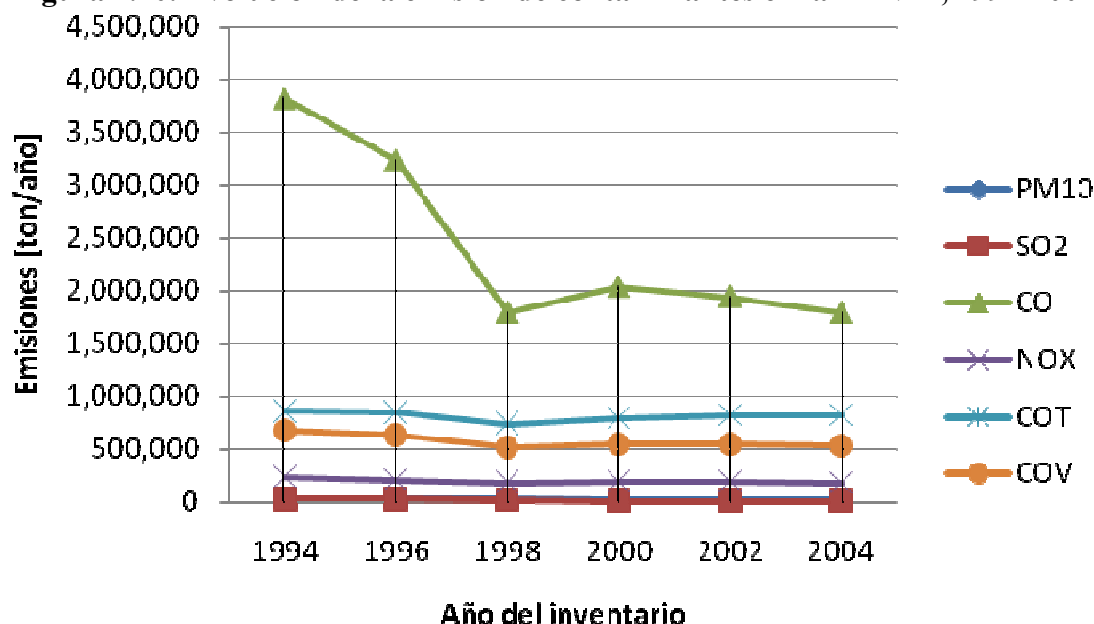
Las emisiones totales generadas en cada uno de los años de cálculo del periodo 1994-2004 en la ZMVM, se muestran a manera de resumen en el cuadro 2.5, en ella se reportan las toneladas de  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ , CO,  $NO_x$ , COT y COV (SMA-GDF, 2005).

**Cuadro 2.5. Evolución de la emisión de contaminantes en la ZMVM, 1994-2004**

Año del inventario	Emisiones [ton/año]					
	$PM_{10}$	$SO_2$	CO	$NO_x$	COT	COV
1994	30,212	26,676	3,820,866	234,872	859,108	674,195
1996	28,107	24,777	3,232,628	212,584	839,315	632,903
1998	32,520	14,780	1,792,964	185,013	737,419	513,127
2000	25,034	8,385	2,032,580	193,476	791,990	540,182
2002	23,473	8,548	1,941,656	188,262	821,014	542,572
2004	20,686	6,646	1,792,081	179,996	822,545	532,168

Fuente: (SMA-GDF, 2005)

**Figura 2.40. Evolución de la emisión de contaminantes en la ZMVM, 1994-2004**



Fuente: Elaboración propia con datos del cuadro 2.5

En el cuadro 2.5 y la figura 2.40, se puede apreciar la evolución de las emisiones totales por contaminante en periodo de 1994-2004, se observa una disminución en la generación de

casi todos los contaminantes. Es claro que en este lapso el gas más emitido y a la vez el que más se inhibió (con casi el 53% de disminución) fue el CO y esto se debe principalmente al cambio tecnológico del parque vehicular, ya que como resultado del programa Hoy no circula durante este lapso, se disminuyó en casi una tercera parte el número de vehículos particulares de modelo 1990 y anteriores (sin con control de emisiones), registrados en el Distrito Federal, sin embargo la flota vehicular total en este mismo periodo aumento en más de 666 mil unidades. Por otro lado la generación de SO<sub>2</sub> disminuyo 75% como consecuencia directa de la reducción del contenido de azufre en los combustibles; las partículas PM<sub>10</sub> también se ven disminuidas (32%) primordialmente por la reducción del contenido de azufre en las gasolinas y al aumento de los días con lluvias (de más de 0.254 mm de precipitación), ya que implica un aumento en la humedad del suelo y como resultado, un desprendimiento menor de partículas en los caminos no asfaltados, que es el principal depositario de las partículas geológicas presentes en el aire de la ZMVM (SMA-GDF, 2005).

Los autos particulares registrados en el Distrito Federal en el 2004, aumentaron en un 17%, respecto del año 2000, pasando de 1,649,371 unidades a 1,924,281, a pesar de esto las emisiones de CO disminuyeron 135 mil toneladas (29%), las de NO<sub>x</sub> 7.6 mil toneladas (22%) y las de COV 12.4 mil toneladas (27%), como consecuencia de la eliminación de más de la cuarta parte de los vehículos de uso privado más contaminantes y de mayor edad que no cuentan con convertidor catalítico para la disminución de emisiones (modelo 1990 y anteriores) (SMA-GDF, 2005).

En el Distrito Federal en el año 2000 se tenían registrados 103,694 taxis y en el 2004 106,642, que representa un crecimiento de menos del 3%, lo que nos indica que el parque vehicular de taxis en este lapso prácticamente se mantuvo igual, no así sus emisiones que en este disminuyeron, en un 42% las de CO, en un 42% las de NO<sub>x</sub> y las de los COV en un 31%.

La reducción de emisiones en la flota vehicular de taxis, se dio como resultado de los programas de apoyo económico que dio el Gobierno del Distrito Federal y la banca a los propietarios de taxis para renovar sus unidades por un vehículos nuevos, que ya integran



sistemas de control de emisiones y que fueron construidos bajo la concepción de eficiencia energética. Entre los años 2000 y 2004 se retiraron de circulación más del 90% de los taxis modelo 1990 y anteriores, con la consecuente reducción del 90% de las emisiones de CO, NOx y COV generadas por estos modelos (SMA-GDF, 2005).

Todo esto nos debe llevar a reflexionar que aunque es verdad que el clima está en constante evolución, también es cierto que los cambios que se originan de forma natural son mucho más lentos y progresivos, tardan siglos y en ocasiones milenios en incitar modificaciones como las que estamos palpando en unas cuantas décadas. La acción humana de vertido de GEI (como el uso de vehículos automotores, caso central de este capítulo) aunado a la explotación irracional de los ecosistemas naturales (ejemplo de esto es la deforestación ya que la vegetación ayuda a regular de manera natural el nivel de CO<sub>2</sub> en el ambiente), ha exacerbado este fenómeno (efecto invernadero) natural de retención del calor, hasta convertirlo en un peligro para el planeta y sus habitantes.<sup>7</sup>

Al respecto Stix (2006:9) señala que: *“Impedir que la atmósfera terrestre pase de invernadero a estufa representa tal vez el reto científico y técnico más imponente que jamás se le haya planteado a la humanidad. Habrá que echar mano, al menos durante un siglo, de todo lo que la ingeniería y la gestión política puedan ofrecer para frenar el aumento de las emisiones de carbono”*.

Hay que subrayar que México ocupa el lugar 14 en emisiones de GEI a nivel mundial; como ya hemos visto la mayoría provienen de la utilización de combustibles fósiles para generación y uso de energía. Para resolver esta cuestión, es importante señalar que conviene reducir las emisiones por las propias prioridades de desarrollo sustentable. Por ello, al hacer uso de vehículos o industrias eficientes, así como de fuentes renovables de energía, se mitiga la generación de gases contaminantes, al mismo tiempo que, se atenúa la modificación perjudicial del medio ambiente (Maser, 2009).

El desarrollo de este capítulo nos lleva a subrayar que tanto a nivel nacional como en la ZMVM, la principal fuente de partículas y gases contaminantes es el Sector Transporte y

<sup>7</sup> <http://www.marxismo.org/?q=node/392>, consultada el 5 de enero de 2009

dentro de este se distinguen los automóviles particulares. Es por ello que al disminuir las emisiones originadas por este tipo de vehículos y en conjunto de todas las fuentes móviles se obtendría una disminución significativa de los GEI arrojados a la atmósfera por todos los sectores, al ser este la segunda fuente en importancia a nivel nacional y la de mayor importancia en la ZMVM. Esto nos obliga a buscar y plantear alternativas, para abatir sus efectos perniciosos con la menor afectación a la sociedad en su conjunto al momento de transportarse y transportar satisfactorios, ya que como quedo de manifiesto en el capítulo anterior es una actividad indispensable para el desarrollo socio-económico de los habitantes del Valle de México.

Por ello, es imperioso un cambio en la forma de desarrollo y, en específico, fomentar una transición energética, que resida en abandonar, en medida de lo posible, los combustibles fósiles y sustituirlos por combustibles provenientes de fuentes renovables, sin olvidar el uso eficiente de los mismos (Masera, 2009).

---

# *Capítulo III*

## *Combustibles Alternativos y Uso Eficiente de la Energía*

### **Capítulo III.- Combustibles Alternativos y Uso Eficiente de la Energía**

#### **3.1 Combustibles Alternativos**

Con la necesidad de elaborar y utilizar carburantes que sean menos perjudiciales con el medio ambiente, nace el concepto de combustibles alternativos. Los cuales deben tener como principal característica la reducción de las emisiones de contaminantes dañinos para la salud y al mismo tiempo se persigue que tengan su origen en materias primas renovables (Aguilar, 2006).

En la actualidad, dentro de estos innovadores combustibles se destacan los siguientes:

- Biodiésel
- Biogás
- Bioetanol
- Hidrógeno
- Metanol
- Gas Natural
- Gas licuado de petróleo (GLP)
- Electricidad

A pesar de que varios de estos carburantes habitualmente se han elaborado a partir de recursos no renovables, no necesariamente tiene que ser de esta manera, la perspectiva de los combustibles alternativos ineludiblemente precisa de nuevas vías o formas alternas de producción, que aprovechen fuentes renovables de materias primas básicas es decir biocombustibles<sup>1</sup>. Aunque existen algunas excepciones como combustibles que se obtienen de la extracción y refinación del petróleo como un producto secundario o subproducto, y que conforman una fuente con grandes beneficios desde la perspectiva de generación de emisiones y el costo de los mismos, respecto de los carburantes tradicionales (Aguilar, 2006).

---

<sup>1</sup> De acuerdo con García (2006:14) “*Los biocombustibles son aquellos combustibles producidos a partir de la biomasa y que son considerados, por tanto, una energía renovable*”. La presentación de estos pueden variar desde la forma sólida (residuos vegetales, fracción biodegradable de los residuos urbanos o industriales) como la líquida (bioalcoholes, biodiésel) y la gaseosa (biogás, hidrógeno) (IDAE, 2005).

Según Aguilar (2006:1) *“De los combustibles alternativos que actualmente se conocen, solamente el Biodiesel y el Bioetanol son totalmente renovables, de aplicación directa, no requieren cambios sustanciales a los motores y son idóneos para desarrollarse en México debido a que favorecen la independencia tecnológica, mejoran la administración de los recursos petroleros, además de sus excelentes beneficios ambientales.”*

En los países industrializados se han realizado inversiones significativas en la investigación y desarrollo de los combustibles alternativos, así como de los vehículos aptos para su utilización, independientemente de los recursos petroleros con los que cuentan. Los gobiernos de estas naciones incentivan a través de créditos y disminuciones impositivas, a los consumidores y usuarios de estos combustibles, con la finalidad de estar preparados y bien situado cuando estos carburantes y vehículos sean una realidad de aplicación general, ante el amenazador agotamiento de los combustibles fósiles. En nuestro país es particularmente esencial la firmeza de las autoridades para la viabilidad de este tipo de proyectos, ya que comprenden a los sectores agrícola y energético (Aguilar, 2006).

En tiempos recientes, múltiples programas nacionales e internacionales están alentando y apoyando la mejora y desarrollo de formas de producción y usos de la biomasa como materia prima para la generación de energía. Los estímulos principales de los gobiernos de los países desarrollados son la reducción de las emisiones de los gases producidos en la combustión de las fuentes no renovables, en adición de la disminución de los residuos (Jiménez, 2005).

Una de las primeras fuentes de energía que conoció la humanidad fue la biomasa. Desde tiempos ancestrales hasta la fecha la madera o incluso los excrementos secos han sido usados como combustibles. La madera de los bosques bien administra puede convertirse en un recurso renovable (mal gestionada es un desastre ecológico). Es por ello que se plantea a la biomasa como una fuente de energía<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> <http://neofronteras.com/especiales/?p=27>, consultada el 1 de diciembre de 2008

Los biocombustibles son un importante modo de utilización de la biomasa. De acuerdo a la etimología de la palabra tendría que considerarse dentro de este concepto cualquier combustible de origen biológico, con lo cual incluso el petróleo lo sería, ya que como sabemos proviene de restos fósiles. Por lo que se delimita como biocombustible a un carburante de origen biológico derivado a partir de restos orgánicos de manera renovable<sup>3</sup>.

Por lo general la forma natural de los biocarburantes<sup>4</sup> es líquida, los cuales provienen de transformaciones biológicas y físico-químicas de materias primas vegetales. Hoy por hoy principalmente se encuentran desarrollados dos tipos: el biodiésel, derivado a partir de la transesterificación de aceites vegetales<sup>5</sup> y grasas animales con un alcohol ligero, como metanol o etanol; y el bioetanol, elaborado esencialmente de semillas prósperas en azúcares mediante fermentación (IDAE, 2005; García, 2006).

Estos combustibles ecológicos tienen que mostrar como principal característica un balance energético positivo, lo que significa, que debe generar más energía que la utilizada en su sistema de producción. Lo cual depende en gran medida de la materia prima que sea usada para producir el biocarburante. Según CRAN (2006:1) *“en general, los biocombustibles aportan más energía de la que se necesita para su producción: alrededor del doble en el caso del bioetanol y el triple para el biodiesel derivado de la colza”*.

Lo que es un hecho es que toda sustancia susceptible de ser oxidada produce energía. Si esta sustancia proviene de plantas, al momento de ser quemada (oxidada) restituye al medio ambiente el CO<sub>2</sub> que el vegetal ocupó del mismo tiempo atrás. En consecuencia, desde la perspectiva ecológica es un sistema que respeta a la atmósfera, ya que no hay un incremento neto de GEI (Barrientos, 2008).

---

<sup>3</sup> [http://www.biocombustibles.es/info\\_biocombustibles.htm](http://www.biocombustibles.es/info_biocombustibles.htm), consultada 7 de octubre de 2007

<sup>4</sup> Los biocarburantes son un subgrupo de los biocombustibles que se distinguen por la viabilidad de su aplicación a los existentes motores de combustión interna (diésel y Otto) (García, 2006).

<sup>5</sup> Bajo este contexto cobra relevancia lo dicho por Rudolf Diesel, a fines del siglo XIX: *“El uso de los aceites vegetales como combustible y fuente energética podrá ser insignificante hoy, pero con el curso del tiempo será tan importante como el petróleo y el carbón”* (Martínez, 2007:1).

El uso de estos biocarburantes exhibe ventajas medioambientales, como es el hecho de la reducción de emisiones de GEI, ya que estos biocombustibles aportan al aire entre un 40% y un 80% menos de CO<sub>2</sub> que los convencionales, como ya lo señalamos, esto se debe a que el CO<sub>2</sub> que estos carburantes liberan durante su combustión ha sido anticipadamente absorbido por la planta que constituye su materia prima, aunque esto no significa que las emisiones sean totalmente neutras, debido a que hay que contabilizar las emisiones generadas por la maquinaria agrícola, la planta de procesado, el transporte, etc. Por otro lado estos combustibles no inciden nocivamente en la degradación de suelos al ser fácilmente biodegradables. En el caso particular del biodiésel se disminuyen significativamente las emisiones de SO<sub>2</sub>, lo cual favorece la prevención de la lluvia ácida, y reduce la concentración de partículas en suspensión, de metales pesados, de CO, de HC aromáticos policíclicos y de COV. El bioetanol reduce las emisiones de CO e HC, en comparación con la gasolina (García, 2006; CRAN, 2006).

El empleo de biocarburantes, hace viable el aprovechamiento de los motores así como de las infraestructuras y conductos de distribución existentes sin que sea necesario modificarlos, especialmente si se mezclan con gasolinas y gasóleos. La principal desventaja de estos combustibles alternativos es que la demanda de los mismos potencia los monocultivos, y por lo tanto un mayor uso de plaguicidas y herbicidas, los cuales acarrear un nuevo costo social y ambiental (CRAN, 2006).

Es posible recurrir a esta clase de combustible como aditivo o para usufructuar ciertos recursos que sería de todos modos desaprovechados. Aunque solo abarque una pequeña participación del total de la producción de energía de cualquier forma aportaría su contribución (González, 2008).

Casi cualquier sustancia orgánica líquida o gasificable puede ser utilizada en un motor de explosión interna con la apropiada adaptación (González, 2008). Los motores que llevan nuestros autos son de dos tipos: de ciclo de Otto y de ciclo Diésel. En el primero generalmente quemamos naftas y en el segundo gasoil. Pero vamos a ver que pueden ser capaces de quemar otro tipo de combustibles como alcohol en el primero y ésteres grasos o incluso aceites vegetales en el segundo.

### **3.1.1 Biodiésel**

El biodiésel es el término genérico que agrupa a todos los ésteres metílicos, es un biocombustible líquido elaborado a partir de semillas oleaginosas mediante esterificación de los aceites vírgenes extraídos principalmente de colza, girasol, palma y soja, aunque también se hace de aceites vegetales ya utilizados y de grasas animales (IDAE, 2005).

De acuerdo con García (2006:32), las especificaciones de la Asociación Internacional de Normativa de Calidad (ASTM por sus siglas en inglés), describen al biodiésel como: *“ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión”*. Cabe señalar, que los ésteres más empleados, como veremos más adelante, son los obtenidos a partir de la transesterificación de cualquier tipo de aceites vegetales o grasas animales o de la esterificación de los ácidos grasos, es decir ésteres del metanol y el etanol, esto es así por su bajo costo y más aun por sus ventajas químicas y físicas (García, 2006).

La tecnología de elaboración del biodiésel a partir de aceites vegetales está suficientemente desarrollada y como se ha mencionado anteriormente, este biocombustible también puede producirse a partir de aceites reciclados, lo que conlleva un beneficio medioambiental significativo al transformar un residuo de difícil manejo en un combustible similar al gasóleo (IDAE, 2005).

Las propiedades de este biocombustible son prácticamente las mismas que las del diésel convencional, en cuanto a su densidad y su número de cetano. Conjuntamente, muestra un punto de inflamación superior, pero un menor poder calorífico. Por todo ello, el biodiésel puede mezclarse con el gasóleo de automoción, para su uso en motores convencionales e incluso sustituirlo en su totalidad si se hacen las adaptaciones correspondientes (García, 2006).

El biodiésel es un combustible que se obtiene mediante la reacción de transesterificación de un triglicérido con un alcohol, típicamente metanol o etanol, utilizando hidróxido de sodio



como catalizador. Presenta una variedad de ventajas respecto al diésel derivado de petróleo, pero la razón primordial para su uso es que su combustión exhibe un impacto ambiental mucho menor que los derivados del material fósil. Al ser producido a partir de aceites vegetales o grasas de cualquier origen, todos estos recursos renovables, produce una ventaja neta en lo que se refiere al ciclo de carbono, no originando acumulación del mismo en la atmósfera. El contenido de azufre ronda las 11 ppm<sup>6</sup>, lo cual es insignificante si se compara con el diésel de bajo azufre con 500 ppm y prácticamente nulo si se hace con gasoil regular, con un contenido de 1600 ppm, mientras que es competitivo respecto, al de ultra-bajo azufre con 50 ppm, aunque este apenas este en investigación, y sufra de la desventaja asociado a los altos costos de este nivel de purificación, por ello para lograrlo la alternativa de aditivar el gasóleo de automoción con biodiésel se vuelve una necesidad. Suplementariamente, el biodiésel presenta una gran lubricidad que prolonga la vida útil del motor, no es tóxico, y es muy biodegradable (Dalla, 2003).

### 3.1.1.1 Procesos de producción de biodiésel

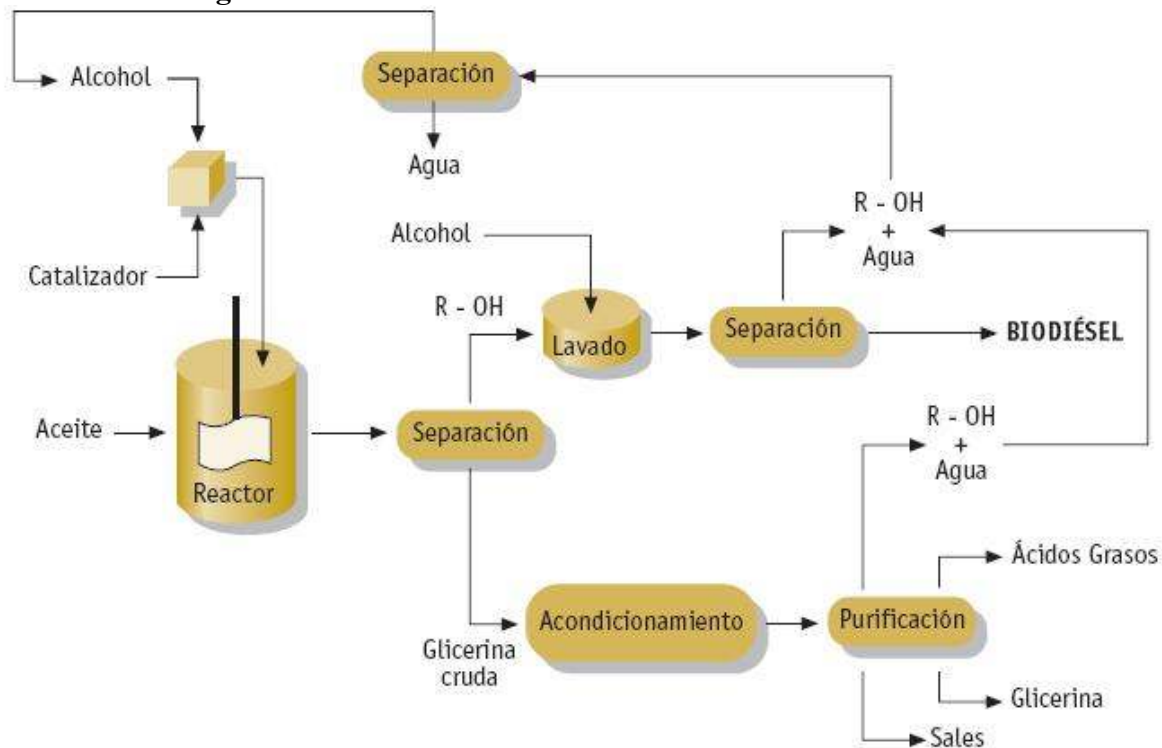
La transesterificación es el proceso industrial empleado en su elaboración la cual consta de tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido sucesivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado. Todas estas transformaciones se llevan a cabo en un reactor donde se originan las reacciones y también es utilizado en posteriores fases de separación, purificación y estabilización. Básicamente este es el proceso general de producción, subrayando que existen varias opciones de operación viables para la fabricación de biodiésel, todas estas tienen en común los aspectos mencionados en el punto anterior de producción de biodiésel a través del proceso de transesterificación (García, 2006).

El método más simple para la producción de biodiésel es el Proceso Discontinuo. Se trata de reactores con agitación, donde el reactor puede estar sellado o equipado con un condensador de reflujo. Se necesita una agitación rápida para una mezcla adecuada en el reactor del aceite, el catalizador y el alcohol. Hacia el fin de la reacción, la agitación debe ser menor para facilitar al glicerol separarse de la fase ester (ver figura 3.1) (García, 2006).

---

<sup>6</sup> ppm: partículas por millón

**Figura 3.1. Proceso de Transesterificación en Discontinuo**



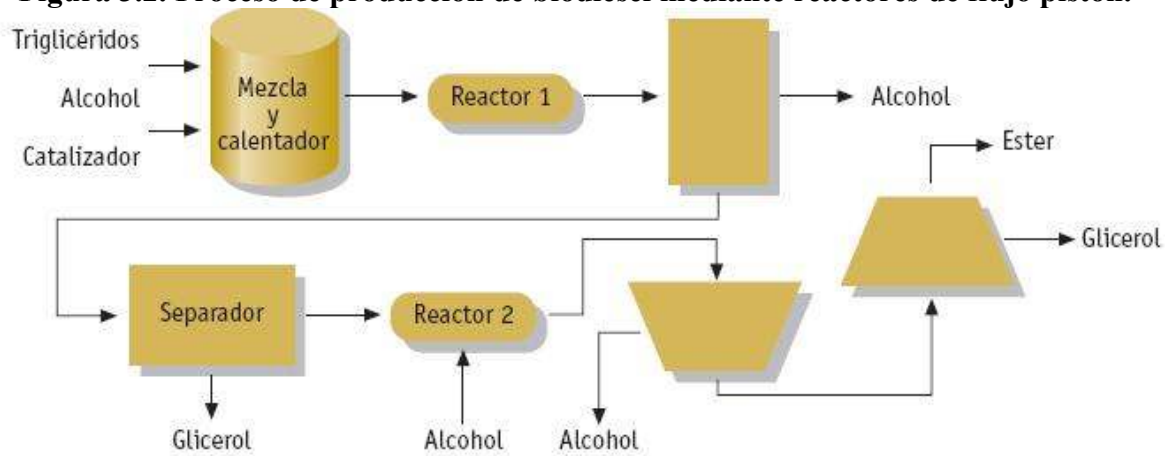
**Fuente: (García, 2006)**

Una variación del proceso discontinuo es la utilización de reactores continuos del tipo tanque agitado, los llamados CSTR (por sus siglas en inglés, *Continuous Stirred Tank Reactor*). Este tipo de reactores puede ser variado en volumen para permitir mayores tiempos de residencia y lograr acrecentar los resultados de la reacción (García, 2006).

El resultado es un proceso continuo que requiere menores tiempos de residencia (del orden de 6 a 10 minutos), con el consiguiente ahorro, al ser usados reactores menores para la ejecución de la reacción. Este tipo de reactor puede operar a elevadas temperaturas y presión para incrementar el porcentaje de conversión (García, 2006).

En la figura 3.2 se muestra un diagrama de bloques de un proceso de transesterificación mediante reactores de flujo pistón. En este proceso, se insertan los triglicéridos con el alcohol y el catalizador y se somete a diferentes operaciones, con el uso de dos reactores, para dar lugar al éster y la glicerina (García, 2006).

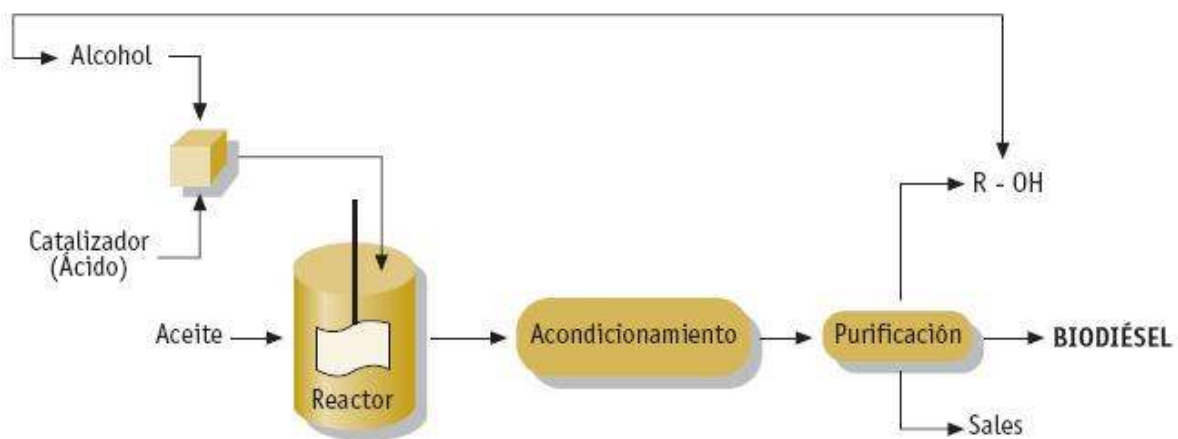
**Figura 3.2. Proceso de producción de biodiésel mediante reactores de flujo pistón.**



**Fuente: (García, 2006)**

Otra forma de producir este biocombustible es mediante el proceso de esterificación. El más común consiste en el calentamiento de una mezcla del alcohol y del ácido correspondiente, en este tipo de procesos de esterificación se suelen utilizar catalizadores ácidos con  $H_2SO_4$  (ácido sulfúrico), aplicando el reactivo más económico de forma excesiva para aumentar el rendimiento y desplazar el equilibrio hacia la derecha (esterificación de Fischer) (véase figura 3.3) (García, 2006).

**Figura 3.3. Proceso de esterificación.**

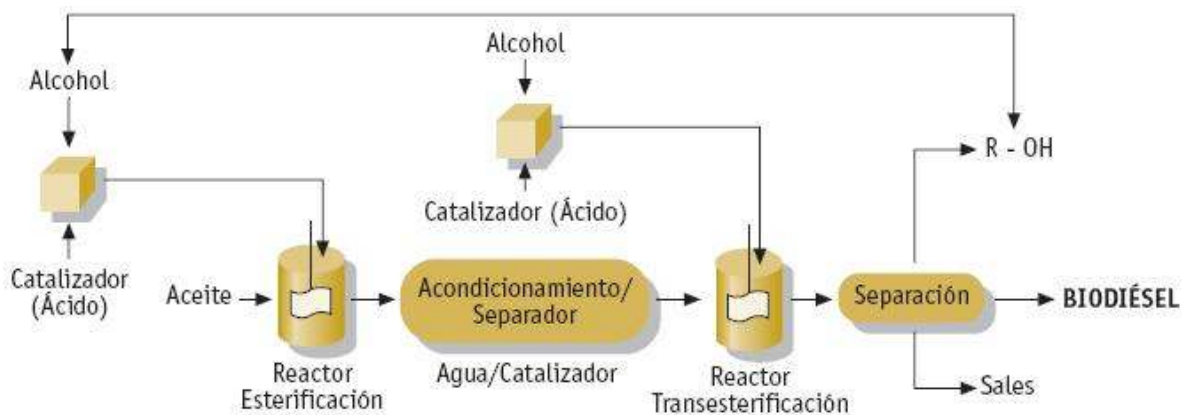


**Fuente: (García, 2006)**

En la práctica este procedimiento tiene una serie de inconvenientes. El alcohol puede sufrir reacciones de eliminación formando olefinas, esterificación con el propio  $H_2SO_4$  o de formación del éter y el ácido orgánico puede sufrir decarboxilación (García, 2006).

En la figura 3.4 se presenta el proceso combinado de esterificación y transesterificación, se refina los ácidos grasos separadamente del sistema de alimentación o mediante un tratamiento diferenciado en la unidad de esterificación. Se añaden los catalizadores cáusticos y el producto de reacción se separa mediante centrifugación (proceso denominado Caustic Stripping) (García, 2006).

**Figura 3.4. Proceso de producción de biodiésel mediante esterificación/transesterificación. Proceso de catálisis ácida.**



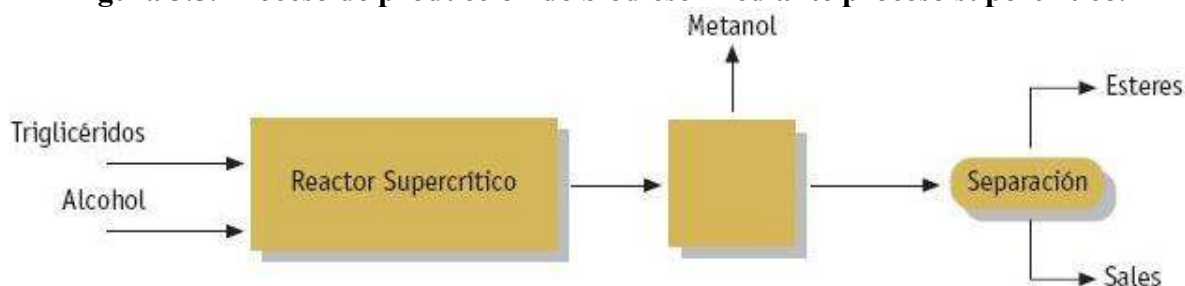
**Fuente: (García, 2006)**

Los aceites refinados son secados y conducidos a la unidad de transesterificación para un proceso posterior. De esta forma, los ácidos grasos pueden ser transformados en ésteres metílicos mediante un proceso ácido de esterificación (García, 2006).

En la reacción de transesterificación-esterificación, se puede aprovechar los ácidos grasos, subproductos de la reacción de la figura 3.1, para alimentar posteriormente un reactor de esterificación (García, 2006).

Por último se tiene el proceso en condiciones supercríticas, el cual se muestra en la figura 3.5. Cuando un fluido o gas es sometido a temperaturas y presiones que exceden su punto crítico, se presentan una serie de propiedades inusuales. Desaparece la diferencia entre la fase líquida y vapor, existiendo una única fase de fluido continuo. Además, los disolventes que contienen grupos OH, como el agua o alcoholes primarios, adquieren las propiedades de superácidos (García, 2006).

**Figura 3.5. Proceso de producción de biodiésel mediante proceso supercrítico.**



**Fuente: (García, 2006)**

Los costos de instalación y los costos operativos son más altos y presenta un mayor consumo de energía, por lo que aunque los resultados de este proceso presentan ventajas comparativas, el escalado de estas instalaciones a nivel industrial puede ser difícil (García, 2006).

### 3.1.1.2 Características del Biodiésel

Biodegradabilidad<sup>7</sup>: Los componentes del diésel se biodegradan lentamente o en definitiva no son biodegradables. El gasoil está formado por una mezcla de alcanos, alcanos ramificados, cicloalcanos e hidrocarburos aromáticos. Muchas especies de microorganismos pueden degradar los alcanos, así como los otros compuestos, pero los HC aromáticos son más resistentes a la degradación. Este combustible fósil contiene pocos componentes que poseen oxígeno en su estructura molecular y por este motivo puede considerarse como poco activo biológicamente (Larosa, 2001).

El biodiésel está constituido por cadenas hidrocarbonadas que forman esteres con dos átomos de oxígeno, lo que lo hace biológicamente activo. Durante el proceso de degradación los ácidos grasos se oxidan y degradan formando ácido acético y un ácido graso con pocos átomos de carbono (Larosa, 2001).

<sup>7</sup> Para Larosa (2001:2): “La biodegradabilidad es la facilidad con la cual la molécula de un compuesto químico se rompe en otras más simples llegando a formar CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. El mecanismo predominante de la biodegradación es aquel debido a la actividad microbiana. Este mecanismo es deseable en el caso de pérdidas o derrames de biodiésel en el terreno o en el ambiente en general. Inversamente la estabilidad del carburante biodiésel es una característica importante sobre todo durante el almacenamiento, la manipulación y la distribución del mismo”.

Las variedades de biodiésel derivadas del aceite de colza y del aceite de soja son fácilmente biodegradables en ambiente acuático y sufren una biodegradación elevada en dicho ambiente. Algunas investigaciones revelan que el biodiésel derivado del aceite de colza y el derivado del aceite de soja poseen una biodegradabilidad del 88.49 % en 28 días. Mientras la máxima biodegradabilidad del diésel convencional después de 28 días es del orden del 26% (Larosa, 2001).

Las mezclas del biodiésel y el gasóleo de automoción han mostrado que la biodegradabilidad se acelera, así la mezcla B20 se biodegrada dos veces más rápido que el combustible sin mezclar. Otras pruebas hechas con mezclas con concentraciones del 20 al 80% exhiben que el biodiésel acelera la degradación del gasoil, lo que significa que cuanto más biodiésel está presente en la mezcla más rápidamente se hará la biodegradación (Larosa, 2001).

El balance energético del biodiésel, considerando la diferencia entre la energía que genera 1 lt de biodiésel y la energía necesaria para la producción del mismo, desde la fase agrícola hasta la fase industrial es positivo al menos en un 30%. Por lo tanto puede ser considerada una actividad sostenible. Conjuntamente de las consideraciones propicias desde el punto de vista ecológico y energético merece destacarse la posibilidad del empleo inmediato en los motores (Larosa, 2001).

El biodiésel quema perfectamente, requiriendo una mínima cantidad de modificaciones en motores existentes, pudiendo alimentarse alternativamente con este y diésel tradicional o la mezcla de ambos. Esta es una diferencia importante respecto de otras experiencias de sustitución de combustibles como aquella del etanol, donde es necesario efectuar en los motores modificaciones irreversibles. El empleo de biodiésel, como ya lo mencionamos, aumenta la vida de los motores debido a que posee un poder lubricante mayor, mientras que el consumo de combustible, la auto ignición, la potencia y el torque del motor permanecen prácticamente inalterados (Larosa, 2001).

Respecto a las Emisiones de este biocomburente son (Larosa, 2001):

- CO: la emisión durante la combustión del biodiésel en motores diésel es 50% inferior, al compararse con aquella que produce el mismo motor con combustible fósil. Es conocida la toxicidad de este gas sobre todo en las grandes urbes.
- SO<sub>2</sub>: prácticamente no se producen emisiones de este gas ya que el biodiésel contiene 11 ppm de azufre. El SO<sub>2</sub> es nocivo para los seres humanos así como para la vegetación.
- PM<sub>10</sub>: estas partículas con el empleo del biodiésel se reduce en un 65% respecto del diésel convencional. Las partículas finas son nocivas para la salud.
- Productos orgánicos aromáticos: el biodiésel no contiene benceno ni sus derivados, siendo conocida la elevada toxicidad de los mismos para la salud, ya que son cancerígenos.
- Balance de CO<sub>2</sub>: se considera que la emisión de este gas durante la combustión del biodiésel es equivalente a las absorbidas por los vegetales que se usa para producirlo.

Por todo ello el biodiésel puede ser considerado un combustible renovable y limpio, ya que presenta un balance energético positivo.

El biodiésel no es perjudicial para la salud de los seres humanos, ni para la vegetación, ni para los animales. Por tal motivo su empleo es ventajoso frente al combustible diésel sobre todo para el transporte público en las grandes ciudades. Es seguro y fácil de transportar debido a que es biodegradable y posee un punto de inflamación más alto que el del combustible fósil (Larosa, 2001).

El consumo de combustible aumenta para el biodiésel y sus mezclas entre 14% y 20% para B20 y B50 respectivamente, este aspecto está relacionado con el menor poder calorífico del biocombustible. La opacidad de los humos se reduce en tanto se agrega biodiésel a la mezcla entre 20% y 30% para B20 y B50 respectivamente, dependiendo directamente de la afinación del motor y del buen estado de sus componentes, principalmente su sistema de inyección (Fajardo, 2003).

### **3.1.2 Bioetanol**

El etanol es un alcohol que se obtiene a partir de la fermentación de carbohidratos de biomasa tal como la caña de azúcar, maíz, arroz, residuos agrícolas, forestales y basura orgánica urbana; el etanol también se conoce como bioetanol. Estas azúcares están combinadas en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa. Las plantas crecen gracias al proceso de fotosíntesis, en el que la luz del sol, el CO<sub>2</sub> de la atmósfera, el agua y los nutrientes de la tierra forman moléculas orgánicas complejas como el azúcar, los hidratos de carbono y la celulosa, que se concentra en la parte fibrosa la planta (Masera, 2005).

La elección de la materia prima depende de consideraciones técnicas y económicas. Actualmente las tecnologías para fabricar bioetanol a partir de materias primas ricas en azúcar o en almidón son viables económicamente. Los materiales celulósicos como los desechos agrícolas y forestales, así como los residuos domésticos clasificados suponen una alternativa más como materia prima potencial. Sin embargo, estos materiales tienen que ser hidrolizados antes de que fermenten, y para ello se utilizan procesos más complejos que para los cereales. Por tanto, al día de hoy estos materiales celulósicos son considerados como fuentes futuras de obtención de carbohidratos para la producción de etanol a medio y largo plazo. Las tecnologías para la fabricación de bioetanol a partir de estos materiales están poco desarrolladas, y no se alcanzará su producción comercial hasta dentro de una década (IDAE, 2005).

El manejo del etanol como combustible ha pasado por una serie de etapas a través del tiempo. En los orígenes de la industria automovilística fue el principal combustible, ya que los motores de ciclo Otto se diseñaron en principio para utilizarlo, pero posteriormente con el desarrollo de la industria basada en el petróleo los fabricantes de motores se decantaron por esta segunda opción. Cuando se temió por la estabilidad de estos mercados en los años 20 y el posterior embargo petrolífero del año 1973 se volvió a invertir en el desarrollo de obtención de bioetanol. El primer país que asumió este reto fue Brasil que a partir de ese año comenzó a mezclar etanol y gasolina en la proporción de 22:78. En 1979 Brasil produjo los primeros automóviles que podían funcionar con alcohol hidratado, con un 95% de



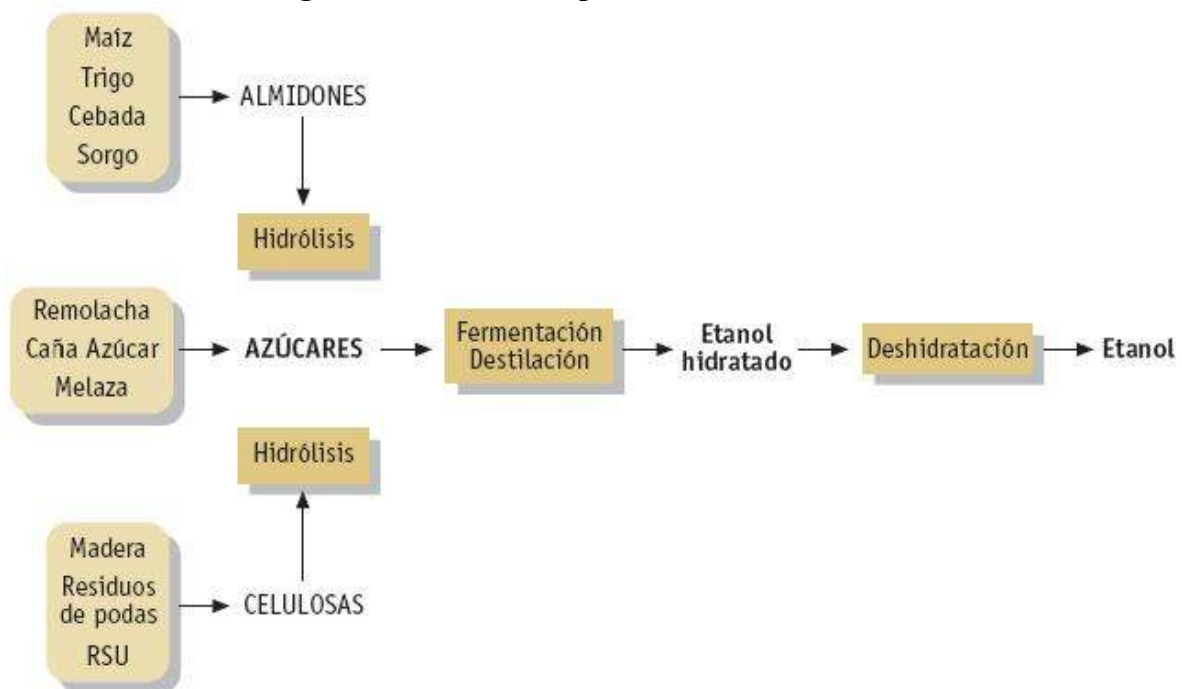
etanol y 5% de agua, posteriormente, en 1980 la mayor parte de los coches fabricados estaban diseñados para funcionar exclusivamente con etanol (García, 2006).

Hasta la década de los ochentas el principal estímulo para la producción de etanol fue su uso como combustible alternativo para la automoción, y así disminuir la dependencia de las importaciones de crudo y minimizar el impacto que las fluctuaciones del mercado ocasionan en los precios. A partir de mediados de esta década, a esta motivación original se ha unido las políticas de mejoras medioambientales, principalmente en lo relativo a las emisiones de gases nocivos (García, 2006).

### 3.1.2.1 Procesos de producción de bioetanol

Como ya lo hemos señalado el etanol se produce por la fermentación de los azúcares contenidos en la materia orgánica de las plantas. En este proceso se obtiene el alcohol hidratado, con un contenido aproximado del 5% de agua, que tras ser deshidratado se puede emplear como comburente.

**Figura 3.6. Proceso de producción de bioetanol.**



Fuente: (García, 2006)

En la figura 3.6 se observa de forma esquemática, el proceso completo de obtención del alcohol, a partir de las principales materias primas que se utilizan para su fabricación (García, 2006).

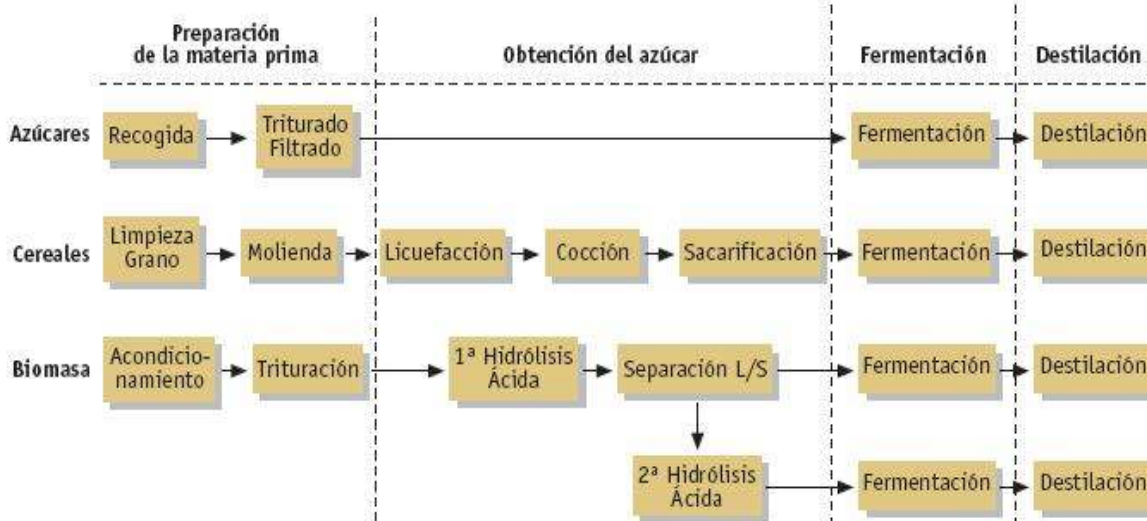
Primordialmente se manejan tres familias de productos para la obtención del etanol (García, 2006):

- Azúcares, procedentes por ejemplo de la caña o la remolacha.
- Cereales, mediante la fermentación de los carbohidratos del almidón.
- Biomasa, por la fermentación de los azúcares contenidos en la celulosa y hemicelulosa.

Los materiales lignocelulósicos son los que ofrecen un mayor rendimiento para la producción de bioetanol. Una gran parte de los materiales con alto contenido en celulosa, apropiados para ser utilizados con estos fines, se suscitan como residuos en los procesos productivos de los sectores agrícola, forestal e industrial. Los residuos agrícolas provienen de cultivos leñosos y herbáceos y, entre otros, hay que destacar los producidos en los cultivos de cereal. Por su parte, los desechos de origen forestal proceden de los tratamientos silvícola y de mejora o mantenimiento de los montes y masas forestales. De la misma manera, pueden utilizarse residuos generados en algunas industrias, como la papelera, la hortofrutícola o la fracción orgánica de residuos sólidos industriales. Muchos de estos residuos no sólo no tienen valor económico en el contexto donde se originan sino que pueden ser causa de problemas ambientales durante su eliminación (García, 2006).

Los residuos de biomasa contienen mezclas complejas de carbohidratos, llamados celulosa, hemicelulosa y lignina. Para obtener los azúcares de la biomasa, esta es tratada con ácidos o enzimas que facilitan su obtención. La celulosa y hemicelulosa son hidrolizadas por enzimas o diluidas por ácidos para obtener sacarosa, que es entonces fermentada. Los tres principales métodos para extraer estos azúcares son la hidrólisis con ácidos concentrados, la hidrólisis con ácidos diluidos y la hidrólisis enzimática. En la figura 3.7 se muestra, los diferentes modos de procesar las materias primas para la obtención de sus azúcares, de acuerdo a su origen, (García, 2006).

**Figura 3.7. Diferenciación de procesos de producción de bioetanol.**



**Fuente: (García, 2006)**

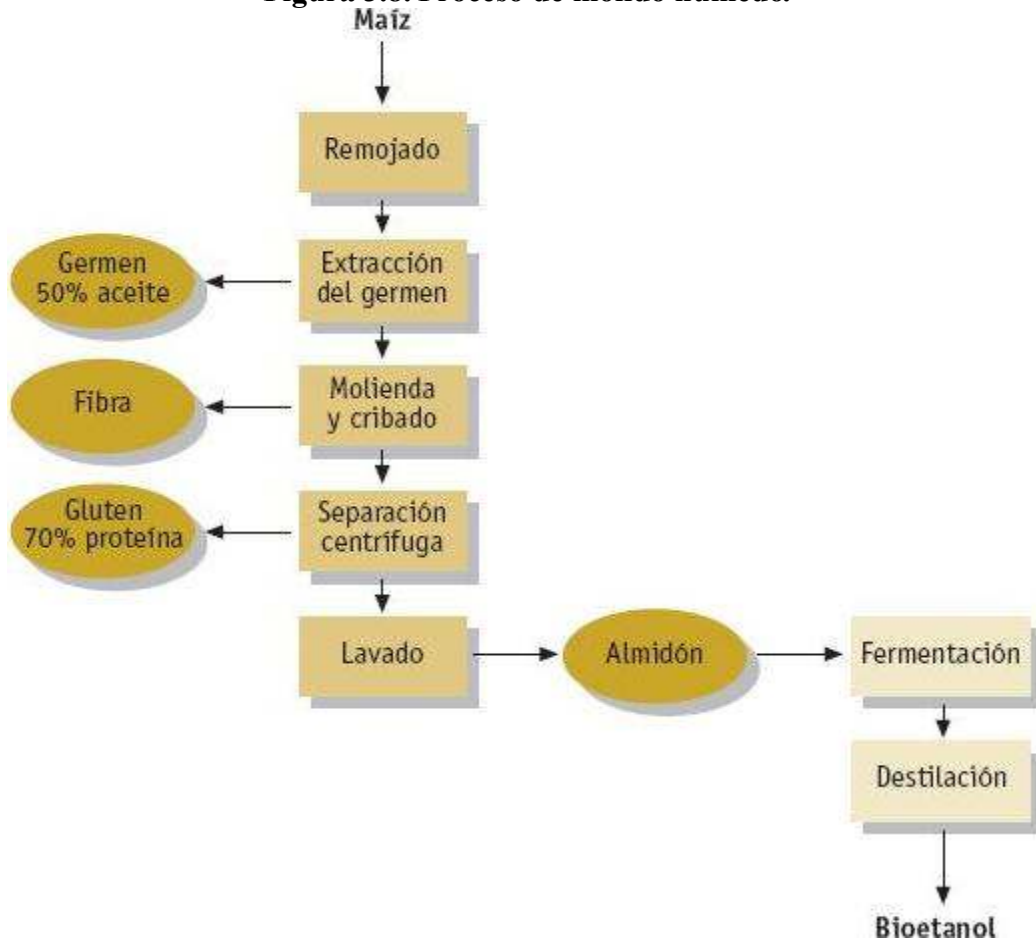
En lo que respecta a los cereales, para los procesos de preparación de la materia prima y la obtención de los azúcares que contienen, se utilizan esencialmente dos tecnologías: Proceso de molido húmedo y Proceso de molido en seco (García, 2006).

Con la técnica de molido húmedo, el maíz es cocido en agua caliente, lo que ayuda a romper las proteínas, liberar el almidón presente en el maíz y ablandar el grano para el proceso de molido. Este cereal es molido para obtener el germen, la fibra y la fécula. Con el germen se obtiene aceite y la fécula se centrifuga y sacarifica para obtener una pasta de gluten húmeda (García, 2006).

En el proceso de molido en seco se limpia y muelen los granos del cereal hasta reducirlos a finas partículas por un sistema mecánico. Con el germen, la fibra y la fécula del maíz, se produce una harina. Para obtener una solución azucarada, la harina es hidrolizada o convertida en sacarosa usando enzimas o una disolución ácida. La mezcla es enfriada y se le añade la levadura para que comience a fermentar (García, 2006).

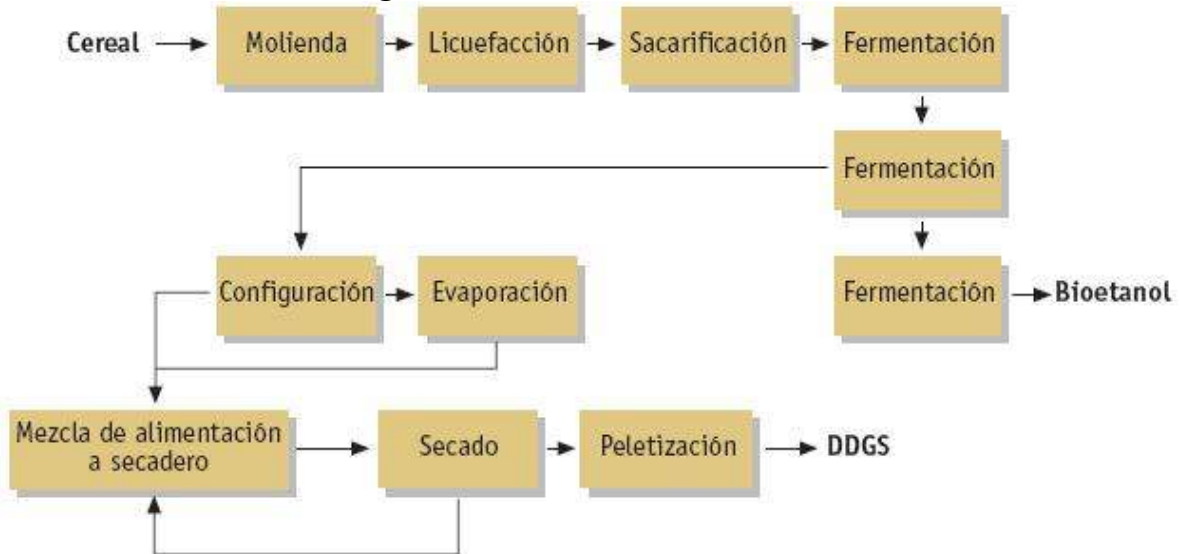
Por su parte las celulosas no pueden ser fermentadas directamente, por lo que es necesario convertirlas en azúcares más simples para su transformación en alcohol (García, 2006).

**Figura 3.8. Proceso de molido húmedo.**



Fuente: (García, 2006)

**Figura 3.9. Proceso de molido seco.**



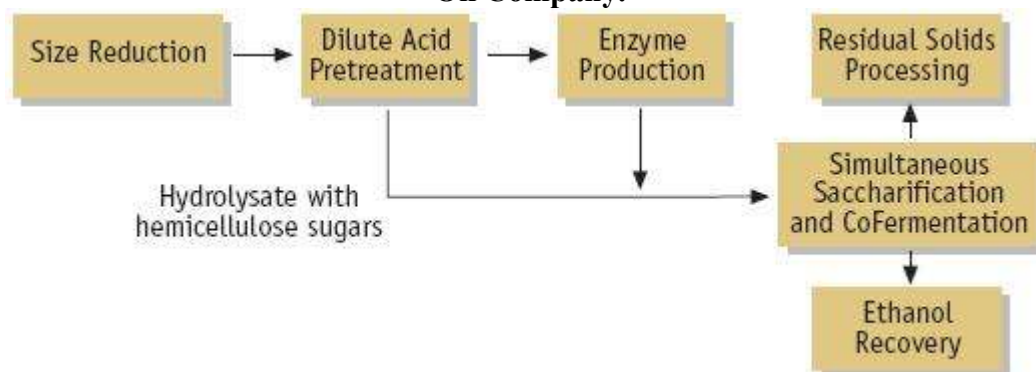
Fuente: (García, 2006)

La hidrólisis es un proceso químico que fracciona la molécula de celulosa por la acción de la molécula del H<sub>2</sub>O. Las complejas estructuras de la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, son divididas en una serie de procesos para conseguir una solución azucarada, y eliminar productos de descomposición de los carbohidratos que pueden inhibir o, al menos, dificultar el proceso de fermentación. Preferentemente se realizan procesos de hidrólisis de ácidos concentrados y bajas temperaturas, de ácidos diluidos y altas temperaturas y enzimáticos (García, 2006).

La última fase del proceso consiste en la fermentación por levaduras de la glucosa liberada a partir de la celulosa, así como la de los azúcares provenientes de la hemicelulosa que se han liberado durante los pretratamientos anteriores. La levadura contiene una enzima denominada invertasa, que actúa como catalizador ayudando a convertir los azúcares en glucosa y fructosa (ambos C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) (García, 2006).

Un avance muy significativo sobre este proceso fue la introducción simultánea del tratamiento de sacarificación y el de fermentación, patentado por la Gula Oil Company y la Universidad de Arkansas. Este proceso reduce el número de reactores requeridos durante la elaboración, ya que elimina el reactor separado de hidrólisis, y más importante aún, evita el problema de la producción de agentes inhibidores asociados a las enzimas. A la vez que el azúcar es producido por las enzimas, la fermentación lo convierte en alcohol. Posteriormente este proceso se ha perfeccionado incluyendo la fermentación de múltiples sustratos de azúcar (García, 2006).

**Figura 3.10. Proceso simultáneo de sacarificación y fermentación de la empresa Gula Oil Company.**



Fuente: (García, 2006)

El alcohol producido por destilación contiene una parte significativa de agua, que debe ser eliminada para su uso como carburante. Para ello se utiliza un proceso de destilación. Debido a que el bioetanol tiene un punto de ebullición menor que el del H<sub>2</sub>O, 78.3°C y 100°C, respectivamente, la mezcla se calienta hasta que el alcohol se evapora y se pueden separar por la condensación de éste (García, 2006).

### **3.1.2.2 Características del Bioetanol**

La ventaja principal de emplear bioetanol como comburente es que reduce las emisiones netas de GEI en comparación con el uso de las naftas. El empleo de etanol puro al 100% reduciría las emisiones netas de CO<sub>2</sub>, sobre la base de su ciclo de vida útil, entre un 50% y un 60% dependiendo de las materias primas empleadas, con lo que el uso de una mezcla con el 5% de bioetanol reduciría éstas entre un 2.5% y un 3%. Aunque no hay que soslayar que el proceso de fabricación de este biocombustible consume en sí una cantidad importante de energía, tampoco hay ninguna duda en que la sustitución de gasolinas por este carburante alternativo contribuye a reducir las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> (IDAE, 2005).

Su consumo reduce la emisión de gases nocivos así como de las partículas en suspensión. Su densidad es de 0.789 kg/ lt y contiene un octanaje superior al de la nafta. El agregado de un 5% de bioetanol en la nafta reduce en un 20% las emisiones de CO y en menor medida las de los NO<sub>x</sub> (Alessandro, 2006).

El uso del bioetanol mezclado con gasolina tiene varios beneficios ambientales; entre los que sobresalen (CONAE, 2000):

1. Reducción de CO: el uso de etanol causa entre un 25 a 30% de reducción en las emisiones de este gas con tan solo el 10% de etanol en la mezcla.
2. Reducción de CO<sub>2</sub>: aunque este gas es liberado a la atmosfera cuando se quema el etanol, éste es reciclado dentro de tejido orgánico durante el desarrollo de la planta; de hecho, el

uso del etanol en la gasolina puede resultar en una reducción neta de los niveles de CO<sub>2</sub> en el medio ambiente.

3. Fuente renovable: este comburente es un derivado de una fuente biológica renovable.
4. Reducción de emisiones de ozono: el uso de 10% de etanol en la mezcla gasolina puede resultar en una reducción neta del ozono, que forma emisiones como CO e HC.

Históricamente, el primer vehículo que se diseñó para el uso de etanol fue una variante del Modelo T de Henry Ford, que estaba concebido para ser utilizado en las granjas, de forma tal, que sus propios dueños pudieran producir el alcohol a partir de la fermentación del maíz. Posteriormente se desarrolló el Modelo A, que podía utilizar tanto etanol como nafta (García, 2006).

El biocombustible puede emplearse mezclado con gasolina en una proporción de 5% de etanol y 95% de gasolina, no se requiere de modificación alguna del motor. Algunos fabricantes de vehículos especifican que la mezcla máxima de bioetanol con bencina no debe exceder el 5% del biocomburente por volumen para no anular la garantía del vehículo, mientras que otros establecen un máximo del 10%. Un 5% en volumen de bioetanol en una mezcla con gasolina supone casi 3.4% del contenido energético de la mezcla porque el bioetanol tiene un poder calorífico equivalente a dos tercios del de la gasolina. Actualmente, para que los vehículos de explosión puedan funcionar con 100% de etanol es necesaria una serie de modificaciones y adaptaciones de los motores convencionales o desarrollar uno específico. Entre estas modificaciones se incluyen el depósito, las conducciones de combustible, los inyectores, el microprocesador de gestión del motor y el sistema anti-sifón (IDAE, 2005; García, 2006).

Desafortunadamente el bioetanol contiene menos energía por litro que las gasolinas, por consecuencia su rendimiento es menor, pudiendo disminuir hasta un 30% menos. Cabe señalar que si se utilizando una mayor relación de compresión, puede ofrecer rendimientos semejantes a sus equivalentes con combustibles convencionales. El etanol tiene un octanaje entorno a 110, mucho mayor que la bencina, lo que hace que no se queme de forma tan eficiente en los motores convencionales. El uso continuo de carburantes con una alta

proporción de etanol, produce corrosiones en el metal y deterioros en las piezas de goma (García, 2006).

Sin embargo, si se ajusta el motor aumentando la relación de compresión, y adaptando la carburación a la nueva relación estequiométrica, se consigue un incremento de la potencia y par motor, hasta 9% con una mezcla del 20% de alcohol; además se mejora el rendimiento térmico y reduce el consumo casi un 7% con respecto a lo que se obtendría solo con gasolina, y una combustión más perfecta, con menor índice de carbonización y reducción de CO y HC en proporción directa al aumento en el porcentaje de etanol en la mezcla (García, 2006).

Otra alternativa, de menor impacto, para el uso del bioetanol es transformarlo para su empleo como aditivo del combustible fósil, en lugar de cómo su sustituto. Con la introducción de las gasolinas sin plomo, indispensables por el uso de catalizadores para la disminución de las emisiones nocivas, se vio afectado el número de octano de la gasolina. Para recuperar el octanaje y disminuir las emisiones contaminantes se añadieron aditivos oxigenantes tales como el metanol, etanol, tercbutil alcohol (TBA), el metil-tercbutil éter (MTBE) o el etil-tercbutil éter (ETBE) (García, 2006).

La mezcla etanol-diésel, mejor conocido como E-diésel, contiene hasta un 15% de etanol. Comparado con el gasoil común, el E-diésel reduce perceptiblemente las emisiones de partículas y otros contaminantes y mejora las características del arranque en frío. Se encuentra actualmente en la etapa de desarrollo y no se comercializa actualmente (García, 2006).

### **3.2 Medidas para hacer más Eficiente el Uso de la Energía en el transporte**

#### **3.2.1 Avances Tecnologías de automoción para reducir las emisiones**

Desde la invención de los vehículos de combustión interna el ser humano ha tenido que enfrentarse con las externalidades negativas que estos traen consigo, esto se ha puesto en mayor evidencia las últimas décadas como lo analizamos en el capítulo II, es por ello que



se han generado mejoras tecnológicas y de gestión para reducir estos perjuicios medioambientales.

### **3.2.1.1 Vehículos con motores a gasolina**

Conservando las características del ciclo termodinámico Otto, se han efectuado desde hace varias décadas, pero en forma más masiva en las décadas de los ochenta y noventa, una serie de modificaciones técnicas. El objetivo de las mismas ha sido, esencialmente, disminuir los consumos específicos de combustible, volumen del mismo (lt) por la distancia recorrida (km) y monitorear la emisión de GEI por los conductos del sistema de escape. El ciclo termodinámico limita el rendimiento que puede suministrar el motor (MDSMA, 1999).

Es que de las calorías que aportan las motonaftas, sólo se aprovecha el 16% para convertirse en energía mecánica. El resto se transforma en energía calorífica o eléctrica, generándose las pérdidas en la refrigeración, el escape de gases, la resistencia al rozamiento, en el ventilador, en la generación de electricidad, en el filtro de aire, en la transmisión, en el puente trasero, en los neumáticos, etc. Los avance técnicos han procurado mejorar el funcionamiento dentro de los límites termodinámicos (MDSMA, 1999):

Entre dichos avance se encuentra la refrigeración por aire. Aplicando este sistema se pierde menos calor que cuando se emplea agua, pero se produce más ruido, el enfriamiento es más irregular y baja la potencia del motor por ser menor el vertido de la mezcla aire/combustible al aumentar la temperatura en los cilindros (MDSMA, 1999).

Además tenemos los adelantos en la inyección y la carburación. La inyección de combustible está desplazando a los carburadores, a pesar del perfeccionamiento notable de estos, ejemplo de estos son loa carburadores de doble y cuádruple cuerpo. El objetivo de la inyección de naftas es hacer llegar a cada cilindro la cantidad exactamente requerida en cada ciclo de combustión (MDSMA, 1999).

Las ventajas de la inyección son varias y pueden mencionarse las siguientes (MDSMA, 1999):

- Si la inyección es directa se puede elevar la relación de compresión disponible para un mismo combustible de un 20 a un 30%, con el consiguiente incremento de la potencia y ahorro de combustible
- La dosificación del combustible a cada cilindro puede ser más exacta e igual para todos e incrementar así su rendimiento
- Se ahorra combustible, pues al dejar de apretar el acelerador se detiene totalmente el suministro, cosa que no ocurre con los carburadores
- La marcha del motor es mucho más elástica y suave

En resumen, para el mismo motor, con el sistema de inyección se consigue más potencia, más elasticidad y hasta un 10% menos de consumo.

Otro progreso es la sobrealimentación, la cual mejora la combustión del motor, se agraga más aire a los cilindros, aumenta la potencia, disminuye el consumo específico y las emisiones contaminantes. Esta función la aporta un compresor (MDSMA, 1999).

Un compresor clásico absorbe parte del incremento de potencia obtenida, se recurrió al turbocompresor aprovechando la energía desperdiciada en el sistema de escape, instalando para ello una turbina en el escape. Asimismo este dispositivo es poco sensible a las diferencias de altura (MDSMA, 1999).

En síntesis las ventajas del turbocompresor son (MDSMA, 1999):

- Mayor potencia desarrollada por el incremento en el volumen de aire que posibilita una combustión más completa
- Eliminación de la generación de humos
- Incremento en la vida útil del motor

Uso del radiador es un adelanto más, ya que al enfriar el aire de admisión, le aumenta la densidad y mejora la combustión en los cilindros. Es beneficioso incorporarlo junto con la inyección electrónica (MDSMA, 1999).

A medida que aumenta la compresión y las revoluciones por minuto (rpm) del motor y con solo un poco que se desregulen las bujías se producen fallas a alta velocidad, con pérdida de potencia y aumento del consumo. El encendido electrónico integral genera la chispa en la bujía en el instante oportuno, estimulando un mayor rendimiento del comburente (MDSMA, 1999).

Las formas que presentan los vehículos nuevos tratan de contrarrestar, en la medida de lo posible, la resistencia que el aire ofrece al desplazamiento de los automotores. Ya que esta resta casi el 60% de la energía y potencia del motor, y con un aumento en el 10% de la velocidad se incrementa casi en un 50% la resistencia que presenta el aire (MDSMA, 1999).

La recirculación de los gases de escape (EGR) es una técnica con la que se consigue reducir las emisiones de  $\text{NO}_x$  del vehículo. Para entender su funcionamiento, es importante apuntar que el  $\text{NO}_x$  se forma cuando las altísimas temperaturas de la llama en la cámara del motor hacen que el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera se combinen, y como consecuencia a mayor temperatura, más  $\text{NO}_x$  se forma (IDAE, 2005).

En los motores con EGR se desvía parte de los gases de escape a la admisión del motor y puesto que estos gases tienen un contenido en oxígeno inferior al del aire y contienen  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y nitrógeno, se logra reducir las temperaturas máximas de los gases en la combustión en los cilindros del motor al disponer de menos oxígeno. Esta reducción de la temperatura máxima, provoca por tanto, que disminuya la formación de  $\text{NO}_x$ . Esta innovación comenzó a utilizarse en los años setenta en los EE.UU, en vehículos a gasolina, antes de que la instalación de los catalizadores de tres vías la hicieran prescindible (IDAE, 2005).

La innovación con mayor relevancia ha sido la incorporación de los catalizadores, cuya obligatoriedad entró en vigor en 1992 para los motores de ciclo Otto, ya que aporta el

mayor beneficio en la reducción de emisiones de los vehículos abatiendo en más del 75% los gases nocivos (MDSMA, 1999; IDAE, 2005).

Los catalizadores van instalados entre el motor y el conducto del escape. Son estructuras cerámicas en forma de colmena con una capa de metales nobles, normalmente platino, rodio y paladio. Con este diseño de forma característica, se consigue una relación muy alta entre la superficie y el volumen del catalizador, favoreciendo la reacción de los gases de escape del motor (IDAE, 2005).

Los motores de encendido por bujías, disponen de catalizadores de tres vías, y se denominan de esta forma porque reducen las emisiones de tres contaminantes: CO, HC y NO<sub>x</sub>. Un catalizador de 3 vías consta en realidad de 2 partes diferenciadas: un catalizador de reducción que reduce el NO nocivo en N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> [ $2\text{NO} > \text{N}_2 + \text{O}_2$ ] y un catalizador de oxidación que permite la oxidación del CO y los HC no quemados en el proceso de combustión hasta transformarlos en CO<sub>2</sub><sup>8</sup> y H<sub>2</sub>O (IDAE, 2005; Zanella, 2009).

Cabe señalar que por medio de la investigación se pueden obtener mejores resultados aun. Por ejemplo tenemos que, del total de los gases contaminantes que emite un vehículo en un día, del 60 al 80 por ciento se origina entre los primeros 3 a 6 minutos, en los que tarda en calentarse el motor. Esto se debe a que el convertidor catalítico no funciona a temperatura ambiente, sino hasta que los metales que lo conforman (platino, paladio y rodio) alcanzan una temperatura de más de 300 grados centígrados por efecto del gas ardiente que viene del motor (Zanella, 2009).

Ante esa problemática, investigadores del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de la UNAM, han formulado y probado nanocatalizadores que podrían aumentar la eficiencia de los convertidores catalíticos ya existentes, con lo que se reduciría la cantidad de humo blanco que se emite del escape de los vehículos. Al trabajar a la temperatura del entorno, estas sustancias constituidas por nanopartículas metálicas han demostrado que hacen más completa y eficiente la quema del comburente (Zanella, 2009).

---

<sup>8</sup> Indudablemente el CO<sub>2</sub> contribuye al calentamiento global del planeta, pero las cantidades producidas por la oxidación del CO se consideran por lo general insignificantes (IDAE, 2005).

### 3.2.1.2 Vehículos con motores a diésel

Los medios de transporte impulsados por motores diésel son cada vez más populares debido a la eficiencia de combustible relativamente alta<sup>9</sup> y la mayor durabilidad del motor si se compara con motores alimentados por nafta. Estos motores operan usando mezclas oxidantes, con relaciones aire contra combustible mayores a 20, lo que resulta en una combustión de relativamente baja temperatura que produce menores emisiones de NO<sub>x</sub>, CO e HC. Aunado a el costo del carburante, las emisiones de CO<sub>2</sub> son menores que las generadas por motores de ciclo Otto. Debido a que el diseño del proceso de combustión deriva en altos niveles de emisión de partículas, en los últimos años se han realizado esfuerzos tendientes a mejorar el diseño del inyector de combustible (Miró, 2001; IDAE, 2005).

El objetivo de las innovaciones técnicas para mejorar los motores diésel es doble, disminuir los consumos para ahorrar energía y reducir las emisiones de gases en el sistema de escape. La meta, en cuanto a el consumo, es reducir el uso de gasoil hasta en un 18% respecto del motor a gasolina equivalente (MDSMA, 1999).

Las disposiciones a tomar en los motores diésel, en específico en los que se usan en los automóviles serían (MDSMA, 1999):

- convertir los motores que usan inyección directa a inyección electrónica controlada
- recircular los gases del sistema de escape
- variar la geometría de la turbina con control electrónico de inyección adicionando la de cuatro válvulas, lo que incrementara su costo

En los vehículos diésel livianos, los avances deberían comenzar con el rediseño de los motores y de sus componentes. Introduciendo tres válvulas, para incrementar la potencia específica en un 20%; pudiendo reducir las emisiones de gases entre un 10% y 40% y las de

---

<sup>9</sup> La energía transmitida a la salida del cigüeñal de los motores diésel llega casi al 34% contra el 24% de los de gasolina. Ya que no hay tantas perdidas por los gases de escape y en el sistema de refrigeración, ya que la combustión es más completa (MDSMA, 1999).

partículas en un 25%; rediseñando las cámaras de combustión, con cámaras para turbulencia, y los equipos inyectoros de gasoil controlados por microprocesador, mejorando la calidad del propio combustible, introduciendo los convertidores catalíticos, incluyendo sobrealimentación turbo e ingreso de aire refrigerado y como ya se apuntó, recirculando los gases de escape (MDSMA, 1999).

Este tipo de motores de combustión interna, están diseñados para trabajar con un dosado inferior al estequiométrico; es decir, con exceso de aire, lo que imposibilita el funcionamiento de los catalizadores de reducción y por tanto estos motores sólo llevan catalizadores de oxidación. Por esta hecho sus emisiones usualmente contienen mayores concentraciones de NO<sub>x</sub> que los motores a gasolina (IDAE, 2005).

El uso de catalizadores de oxidación puede reducir apreciablemente las emisiones de CO, HC, así como de partículas, siempre y cuando los motores sean turbocomprimidos. Es esencial para que el efecto sea adecuado, que el gasoil no tenga azufre<sup>10</sup> o tenga menos de 0.05% (MDSMA, 1999).

Los dispositivos más desarrollados para la reducción de la emisión de partículas son los catalizadores de oxidación y los filtros regenerables. La utilización de catalizadores de oxidación, por ejemplo CeO<sub>2</sub> soportado en monolitos, permite una reducción importante de la fracción líquida presente en las partículas de Fracción orgánica soluble (SOF), lo cual constituye aproximadamente más de la mitad de las partículas, pero estos sistemas no son eficientes para reducir la fracción seca (Miró, 2001).

Los filtros cerámicos o metálicos permiten retener entre 70 y 95% de la emisión total de partículas. Sin embargo, todavía existen enormes problemas de seguridad con respecto a la etapa de regeneración de los mismos, debido a las altas temperaturas que se pueden originar por la reacción de combustión. La rápida acumulación del hollín en la superficie de los filtros, con el consecuente incremento de la caída de presión, necesita de la aplicación secuencial de un proceso de regeneración de forma tal que se mantenga la eficiencia del

---

<sup>10</sup> Esto se podría lograr usando biodiésel

motor dentro de límites aceptables. Los métodos de regeneración se pueden dividir en dos categorías (Miró, 2001):

- Regeneración Activa: mediante un quemador de carburante o una resistencia eléctrica.
- Regeneración Pasiva: aditivos en el comburente, catalizador monolítico antes del filtro, catalizador impregnado en las paredes del filtro.

Debido a costos, simplicidad, requerimiento de espacios, y nivel de desarrollo tecnológico, los filtros de partículas regenerados con aditivos en el combustible son considerados los más viables (Miró, 2001).

Los filtros diésel de partículas (DPFs) eliminan las partículas de los gases de escape mediante un sistema de filtrado. Llegan a capturar el 90% de las partículas en forma de hollín que posteriormente eliminan mediante regeneración térmica para evitar que el filtro se sature y deje de funcionar (IDAE, 2005).

Las temperaturas de los gases de escape de los motores diésel no son lo suficientemente altas para quemar el hollín, pero los DPFs solucionan este problema de dos maneras. Los DPFs pasivos emplean los catalizadores de oxidación para reducir la temperatura a la que se oxida el hollín, mientras que los DPFs activos incrementan paulativamente la temperatura de los gases hasta alcanzar un nivel suficiente para quemar las partículas retenidas en los filtros. Los métodos más usuales para subir la temperatura en un sistema activo son, o bien quemar más gasoil, o utilizar un sistema de calentamiento eléctrico (IDAE, 2005).

Este tipo de filtros, por ahora, sólo lo llevan algunos vehículos nuevos, pero cada vez más se están extendiendo, aunque algunos fabricantes prefieren otras soluciones anticontaminación, porque los DPFs no solucionan el problema de la partículas pequeñas, que son las más dañinas para la salud (IDAE, 2005).

En Europa, para la reducción de los NO<sub>x</sub>, se ha instalado la EGR en casi todos los automóviles y furgonetas diésel vendidos desde que el límite Euro II entrara en vigor en 1996. Es importante remarcar que esta técnica incrementa ligeramente el consumo de combustible, por lo que los fabricantes se resisten a instalar estos sistemas en vehículos industriales. Sin embargo, algunos de estos vehículos llevarán sistemas de EGR en Europa para poder cumplir la norma Euro IV (IDAE, 2005).

La reducción catalítica selectiva (SCR) es una tecnología más eficiente incluso, en la reducción de emisiones de NO<sub>x</sub> de los motores de gasóleo que la EGR. La SCR es un catalizador avanzado que elimina a posteriori el NO<sub>x</sub> de los gases del sistema de escape, a diferencia de la EGR, que reduce la formación de NO<sub>x</sub>. En este sistema se inyecta urea en los gases de escape del catalizador SCR, formándose NH<sub>3</sub>, el cual reacciona con los NO<sub>x</sub> (NO y NO<sub>2</sub>) para dar N<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O [4NO + 4NH<sub>3</sub> + O<sub>2</sub> → 4N<sub>2</sub> + 6H<sub>2</sub>O] (IDAE, 2005).

En los vehículos para el transporte pesado de carga y personas con motor diésel, las metas a alcanzar son equivalentes a los mencionados para los vehículos livianos. Para conseguir las se proponen medidas similares, como por ejemplo: rediseño de las cámaras de combustión, adaptación de nuevos sistemas de inyección, inclusión de turbocompresores y ajustes en el tiempo de inicio de la combustión (MDSMA, 1999).

La SCR es ya una tecnología comercial en grandes motores diésel estacionarios (donde las limitaciones de tamaño y peso son menos importantes) y se ha instalado en algunos vehículos industriales. La SCR comenzó a tener un uso generalizado a partir de 2006 para cumplir con las rigurosas exigencias sobre los límites de NO<sub>x</sub> en vehículos industriales diésel, establecidas en Euro IV y V (IDAE, 2005).

En síntesis los progresos alcanzados y en vías de desarrollo para mejorar los motores diésel serían los siguientes (MDSMA, 1999):

- En la Combustión e Inyección
- Introducción de válvulas múltiples
- En los gases de escape
- catalizadores de oxidación



- 
- |                                       |                                |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| - Sobrealimentación (turbocompresión) | - filtros de partículas        |
| - Radiador                            | - recirculación de gases       |
| - Inyección electrónica               | - Mejora la calidad del gasoil |

### 3.2.2 Progresos en la eficiencia de los motores

En los últimos años, los vehículos de combustibles convencionales (gasolina y diésel) se han beneficiado del incremento en la eficiencia de los motores. Estos beneficios se han centrado de manera particular en los motores diésel, y esto, junto con el menor precio del gasoil frente a las gasolinas, ha contribuido al creciente consumo de los automóviles con motor diésel en la mayor parte de Europa, en la última década. Desde principios de los noventa, casi todos los motores diésel son sobrealimentados, lo que aumenta su eficiencia y su potencia (IDAE, 2005).

La inyección directa (DI), presente en todos los motores de vehículos pesados, se ha popularizado en los vehículos turismo diésel desde los últimos años del decenio pasado. Con la DI, el combustible se inyecta directamente en la cámara de combustión, en vez de en una pre-cámara. Los motores de inyección directa son más eficientes que los de inyección indirecta y como consecuencia directa, consumen menos combustible y reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>, pero emiten más partículas y normalmente son más ruidosos (IDAE, 2005).

En la inyección directa common rail existe un conducto de alimentación de carburante a muy alta presión común para todos los cilindros y en la inyección directa con un único inyector, la alta presión se genera en el interior de este en el momento de la introducción del comburente. En ambos casos, la alta presión de inyección del combustible en la cámara de combustión facilita, una mejor atomización consiguiendo un quemado más completo y disminuyendo las emisiones de partículas. Conjuntamente, los solenoides de cada uno de los cilindros controlan con mucha precisión la cantidad y el momento justo de la inyección del combustible, lo que se suma a la eficiencia general del motor (IDAE, 2005).

También existen algunos motores de gasolina de inyección directa, no obstante su número sigue siendo relativamente escaso (IDAE, 2005). El funcionamiento del motor Otto se basa en la combustión de una mezcla homogénea de gasolina lo más pulverizada posible y aire. El rendimiento del motor y las emisiones contaminantes dependen básicamente de la composición de la mezcla que se vierte en el recinto de combustión. La necesidad de motores potentes y ligeros, de mayor fiabilidad del sistema de carburación y menor consumo fueron los incentivos de la investigación hacia los sistemas de inyección<sup>11</sup> (Gutiérrez, 2002).

En los motores con carburador, el aire debe acarrear al combustible, por diferencia de presión, a través de conductos calibrados. Esto genera efectos de inercia por la diferencia de densidad y rozamiento del aire y de la nafta, que dificultan la preparación correcta de las mezclas. En los sistemas de inyección, este fenómeno no tienen lugar porque la cantidad de combustible inyectado no depende directamente de la depresión creada en el conducto de aspiración, la supresión del carburador permite una concepción óptima de los colectores y conductos de admisión, gracias a la cual se mejora notablemente el llenado de los cilindros. Los sistemas de inyección ahorran gasolina porque sólo inyectan la estrictamente necesaria para el correcto funcionamiento del motor en cualquier régimen de giro. Además, el caudal de aire aspirado no depende del diámetro del difusor, favoreciendo la homogeneidad de la mezcla, con lo que resulta una potencia específica mayor y una curva característica del par desarrollado por el motor mejor adaptada a las condiciones de circulación del vehículo (Gutiérrez, 2002).

En la actualidad existen una serie de investigaciones y proyectos de las distintas compañías automotrices con la finalidad de obtener el mejor diseño de un motor de alta eficiencia. Un claro ejemplo de esto es el proyecto común, que han desarrollado BMW Group y PSA Peugeot Citroën, para la producción de una nueva gama de motores de gasolina pequeños.

---

<sup>11</sup> Las configuraciones más comunes que pueden ser encontradas en el mercado son las siguientes: Inyección directa, multipunto y secuencial; Inyección indirecta, multipunto y secuencial; Inyección indirecta, multipunto y simultánea; e Inyección indirecta, monopunto y continua (Gutiérrez, 2002).

**Cuadro 3.1. Características adecuadas para motores de alta eficiencia**

Característica	Descripción	Beneficio
Accionamiento plenamente variable de las válvulas.	Este sistema sin mariposa de estrangulación controla la potencia mediante una regulación continua de la carrera de las válvulas y el tiempo de apertura de las válvulas de admisión.	Este control de la carga del motor no ocasiona pérdidas y disminuye el consumo, así como también reduce las emisiones de gases nocivos y consigue que el motor funcione más sedosamente y tenga una respuesta más espontánea.
Turbocompresor tipo Twin-Scroll.	Los conductos de cada pareja de cilindros están separados en los colectores de escape y en el turbocompresor.	Esta disposición tiene como consecuencia que el efecto de sobrecarga se produzca a tan sólo 1.400 r.p.m. y que el par motor esté disponible también a bajas revoluciones, igual que en un motor con compresor mecánico.
Inyección directa de gasolina.	Posibilita una definición exacta de los intervalos de alimentación del carburante en cada ciclo de trabajo de los pistones así como un preciso control del tiempo que se necesita para preparar la mezcla de aire y combustible	El sistema de inyección de gasolina de alta presión (120 bar) es, junto con el turbocompresor, la razón de la gran potencia específica, del bajo consumo y del bajo nivel de emisión de gases de escape nocivos del motor turbo.
Bomba de aceite regulada.	El sistema de alimentación de aceite en función de las necesidades consigue que fluya sólo la cantidad de aceite realmente necesaria.	La bomba de aceite regulada en función del caudal consume hasta 1,25 kW menos, dependiendo de las condiciones de funcionamiento del motor, y, además, reduce en hasta 1 por ciento el consumo de combustible.
Bomba de agua desconectable.	La bomba de agua, accionada por un disco de fricción, sólo se conecta cuando el motor está caliente, lo que acelera el proceso de calentamiento del propulsor.	Así se reduce el consumo y también mejora la calidad de los gases de escape.
Cárter del cigüeñal de aluminio con construcción tipo bedplate.	El cárter es excepcional debido a su extraordinaria rigidez, a sus excelentes propiedades acústicas y gracias a la integración de numerosas funciones y diversos componentes.	Reduciendo la fricción e incrementando la conversión de la energía proveniente de la combustión en energía mecánica.
Optimización de la fricción en los sistemas de accionamiento de las válvulas y del cigüeñal.	Configuración optimizada de los apoyos y remodelación de todos los elementos de accionamiento de las válvulas (fricción de rodadura)	Disminución de pérdidas debidas a la fricción.
Conjunto óptimo. Sistema de accionamiento de los grupos secundarios mediante una sola correa	La integración de numerosas funciones y componentes en la culata y en el cárter del cigüeñal, permitió prescindir de componentes adosados.	Mejorar las condiciones acústicas, disminuir el peso y contribuye esencialmente al diseño compacto del conjunto.

**Fuente: Elaboración propia datos de (MI, 2004)**

Esta nueva gama de motores constituye un paso importante para ambas partes en relación con el cumplimiento del compromiso adquirido voluntariamente por los fabricantes de automóviles europeos (ACEA) de reducir el consumo de sus flotas hasta el año 2008 y, en consecuencia, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a 140 g/km. Además, con este proyecto se logró, por primera vez, solucionar de modo distinguido el conflicto existente entre la fabricación de motores de sofisticada tecnología y la reducción de los costos en el segmento de los vehículos pequeños y compactos. El proyecto ha demostrado que es factible fabricar motores de bajo consumo y de avanzada tecnología para los segmentos automovilísticos inferiores (MI, 2004).

Las características que debe cumplir la nueva gama de motores esta direccionadas a no reducir la potencia, el par motor y la suavidad de su funcionamiento, los motores establecen un nivel de referencia muy alto en materia de la curva del par, baja fricción y en el conjunto de su rendimiento (ver cuadro 3.1) (MI, 2004). La mayor eficiencia y desempeño traen como consecuencia la reducción del consumo de combustible y de las emisiones de los gases nocivos.

### **3.2.3 Medidas para la conducción y consumo de combustible eficiente**

#### **3.2.3.1 Medidas para la conducción eficiente**

Con la conducción eficiente, además de una mejora de la comodidad, un aumento de la seguridad vial y una disminución del tiempo de traslado, obtendremos un ahorro medio de carburante y de emisiones de CO<sub>2</sub> del 15%, así como una reducción de los costos de mantenimiento del vehículo (IDAE, 2004).

Hay que subrayar que el primero y el mejor hábito en el cual se ahorra la mayor cantidad de combustible y por lo tanto de dinero, es manejar sólo cuando sea necesario (Vargas, 2004). Como hemos señalado, los vehículos particulares son la principal fuente de contaminación de nuestras ciudades: de emisión de ruido y de la mayor parte de las emisiones de CO y de los HC no quemados. En la ciudad, el 50% de los viajes en coche es de menos de 3 km, y un 10% de menos de 500 m, en estas ocasiones, hay que valorar la opción de utilizar el

transporte público. Para pequeños desplazamientos considere la posibilidad de ir a pie o en bicicleta. Además de ahorrar energía y no contaminar, es más saludable (IDAE, 2004).

A continuación se enuncia algunas medidas en pro del uso eficiente de vehículos particulares (IDAE, 2004; Vargas, 2004):

- En los motores de ciclo Otto, iniciar la marcha inmediatamente después del arranque. En los motores diesel, esperar unos tres segundos antes de comenzar la marcha.
- Circular inmediatamente después de arrancar el motor. Esperar parado con el motor en marcha consume energía y no aporta ninguna ventaja.
- La primera velocidad sólo se usa para arrancar el automóvil. Cambiar a segunda a los dos segundos o una vez recorridos seis metros, aproximadamente.
- La forma más eficiente de conducir es hacerlo en las marchas prologadas y a bajas revoluciones.
- En los motores de gasolina la aceleración y el cambio de marcha se debe realizar cuando se han alcanzado las 2,000 – 2,500 rpm. En los motores diésel, cuando se está entre las 1.500 y 2.000 rpm.
- Según la velocidad, cambiar de velocidad. Después de cambiar, es importante acelerar ligeramente.
- Mantener la velocidad de circulación lo más uniforme posible, ahorra energía, así como evitar frenar precipitadamente, acelerar a cada instante, y cambios de velocidad innecesarios
- Mantenga la velocidad recomendada en las autopistas, además de ser clave para mejorar la seguridad en los caminos, al conducir a velocidades superiores a los 100 km/h el consumo de carburante se multiplica. Algunas pruebas muestran que muchos vehículos usan cerca de un 10% menos de combustible cuando se manejan a 90 km/h en lugar de 100 km/h.
- Evite arranques agresivos. Ellos recaen sobre las llantas, desperdician combustible y no le hacen llegar más rápido a su destino.
- Para desacelerar, levantar el pie del acelerador y deje rodar el vehículo con la marcha engranada en este instante. Si fuera necesario, frenar de forma suave y progresiva con el pedal de freno, reduciendo la marcha lo más tarde posible.

- Siempre que la velocidad y el espacio lo permitan, detener el automóvil sin reducir previamente de marcha.
- Anticípese a los altos; previniendo paros repentinos ahorrará combustible y se reducirá el desgaste de llantas y frenos.
- En paradas prolongadas, es decir, de más de 60 segundos, es recomendable apagar el motor. Un minuto en operación quema más combustible que el usado para arrancar su motor.
- Conducir siempre con una adecuada distancia de seguridad y un amplio campo de visión que permita ver 2 ó 3 coches por delante, además de aportarle seguridad vial, le permite anticiparse a las posibles paradas abruptas, por lo que el frenado será más suave.
- En el momento que detecte un obstáculo o una reducción de la velocidad de circulación en la vía, levante el pie del acelerador para anticipar las siguientes maniobras.
- Circulando a más de 20 km/h con una marcha engranada, si no pisa el acelerador, el consumo de comburente es nulo.
- Tener en cuenta que un sólo vehículo a 4.000 rpm hace el mismo ruido que 32 coches a 2.000 rpm
- No descanse su pie en el pedal del freno mientras maneja; esta práctica reduce la eficiencia de frenado, reduce la vida de los frenos y causa que la máquina trabaje más de lo necesario.
- Observe el tráfico para que ajuste su velocidad a los cambios del flujo de tráfico. Esta técnica le da un manejo suave, seguro y le ahorrará combustible.
- Planee sus viajes para darse suficiente tiempo para llegar a su destino; manejar contra reloj incrementa la velocidad y desperdicia combustible.
- El mantenimiento del vehículo influye en el consumo de carburante. Es especialmente importante vigilar el buen estado del motor, el control de niveles y filtros y, sobre todo, la presión de los neumáticos. Realizar las revisiones periódicas establecidas por el fabricante para su modelo de automóvil: ahorrará energía y comburente y mejorará su seguridad.
- Los accesorios exteriores aumentan la resistencia del vehículo y, por consiguiente, incrementan el consumo de carburante. No es recomendable transportar objetos en el exterior del vehículo, si no es estrictamente necesario.

- Conducir con las ventanillas abiertas también provoca mayor resistencia y, por lo tanto, mayor esfuerzo del motor y mayor consumo. Si necesita ventilar el coche, lo más recomendable es utilizar de manera adecuada la circulación forzada de aire.
- Como el uso de equipos auxiliares, y muy especialmente el aire acondicionado, aumenta significativamente el consumo de carburante, es recomendable utilizarlos con moderación.
- Recuerde que una temperatura en torno a 23°C-24°C es suficiente para conseguir una sensación de bienestar dentro del coche.

En seguida se asientan algunas medidas para el ahorro de energía en el transporte de pasajeros y de carga (IDAE, 2004):

- Planificar la ruta a seguir: recorrerá menos kilómetros y consumirá menos combustible.
- Prever, guardar las distancias de seguridad, conducir con anticipación y tranquilidad son la mejor garantía de seguridad y ahorro energético.
- Conducir de modo uniforme, evitando variaciones bruscas de velocidad y manteniendo el motor funcionando dentro de una velocidad moderada, es más confortable y ahorra energía.
- Si el tráfico lo permite, la mejor manera de ahorrar combustible es conducir en marchas largas.
- Después de arrancar, circule haciendo trabajar el motor suavemente hasta que haya alcanzado su temperatura normal de funcionamiento. Y no comprima el pedal del acelerador antes de detener el motor.
- No acelere el motor en frío innecesariamente. La consecuencia es un elevado desgaste del motor y un gran consumo de combustible.
- Recuerde que realizar el doble embrague cuando no es necesario supone malgastar embrague y combustible.
- Sepa que cuanto menor es el régimen de giro del motor, menores serán las pérdidas por fricción, lo que se traducirá en menor consumo.

Tenemos que estar consientes, que la única forma de tener un vehículo seguro y eficiente en el uso de combustible es dándole un adecuado mantenimiento. Los factores que impactan

en el consumo de combustible, son aquellos que influyen en: a) La resistencia al rodamiento (en las llantas); b) Las pérdidas por fricción (en el motor y en la transmisión) y c) El desempeño del vehículo (Vargas, 2002).

**Cuadro 3.2. Puntos Críticos en el mantenimiento de un automóvil.**

Elemento	Proceso a realizar	Derivación
Llantas.	Inflarlas a la presión recomendada por el fabricante.	Reducción en la resistencia al rodamiento y, por lo tanto, el consumo de combustible, además de que se disminuye el desgaste y son más seguras.
	Uso de llantas Radiales. Seleccionarlas de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del vehículo	Estas llantas le permiten tener ahorros de combustible entre un 4 y 5%.
Alineación y balanceo.	Realizar este procedimiento cada dos o tres meses, esto ofrecerá un acoplamiento y agarre más estable del auto.	Esto permite reducir el consumo de combustible y ofrece una operación más segura, ya que se evita que sufra un desgaste disperejo y prematuro, que se presenten vibraciones en la dirección y mejora la conducción.
Frenos.	Verificar regularmente el estado de los mismos.	Los frenos mal ajustados ("demasiado apretado") incrementan el consumo de combustible y producen un mayor desgaste.
Lubricación del vehículo.	Este elemento es fundamental para el buen funcionamiento del vehículo, los baleros de las ruedas, las crucetas, la transmisión, el diferencial y el motor, deben ser lubricados con los grados correctos de aceite o grasa recomendados por el fabricante.	De esta manera se reduce el desgaste y el manejo será más suave.
Desempeño del Motor.	Afinación del Motor.	Un vehículo afinado le permitirá tener ahorros de combustible entre un 4 y 5%.
Aceite.	Hacer los cambios de aceite y filtro en los intervalos recomendados por el fabricante, principalmente cuando el vehículo es nuevo.	Usando el aceite de viscosidad adecuada para su vehículo puede aumentar la vida útil del motor, generalmente se recomienda el uso de aceite tipo



		multigrado ya que reduce la fricción y se logran ahorros en consumo de combustible de 1 a 3%.
Filtro de Aire.	El filtro debe limpiarse cada 5000 km. y cambiarse cada 10,000 km. o lo que recomiende el fabricante, generalmente éste recomienda cambiarlo en cada.	Cuando un filtro de aire está tapado restringe la entrada de aire provocando una mezcla más rica de gasolina lo cual aumenta el consumo de combustible hasta en un 30%.
Sistema de Enfriamiento.	Si el motor tarda en calentarse deberá verificarse el termostato	El motor debe funcionar a una temperatura adecuada para que pueda quemar eficientemente el combustible, de lo contrario quemará una cantidad mayor de gasolina y además puede afectar al convertidor catalítico

**Fuente: Elaboración propia datos de (Vargas, 2002)**

El potencial de las medidas de eficiencia energética para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero resulta poco atractivo cuando se compara con opciones alternativas atractivas, entre ellas las energías renovables. No obstante, desarrollar una estrategia integral de aprovechamiento energético es lo más rápido y barato que podemos hacer para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>e (Jochem, 2006).

### **3.3 Comparación entre los combustibles tradicionales y los Combustibles Alternativos**

En el transcurso de los últimos decenios, se han consumado grandes esfuerzos hacia un avance tecnológico y mejoras en pro del ahorro de carburante permitiendo disponer de vehículos con una mayor eficiencia. No obstante, estas medidas no han sido suficientes para resolver los problemas de disponibilidad, dependencia del petróleo y sobre todo de la contaminación coligada al transporte. Las previsiones futuras sobre el incremento de vehículos, la expansión de los problemas de contaminación y la congestión en las ciudades hace necesario definir una estrategia para reducir los impactos sociales y medioambientales de este sector. Las principales soluciones a los problemas energéticos y medioambientales en el transporte están relacionadas con el incremento de la eficiencia de los diferentes tipos

de vehículos automotor y más aun con el desarrollo de nuevas tecnologías energéticas (Álvarez, 2006).

**Cuadro 3.3. Propiedades Físico-Químicas de Gasolina y Gasoil.**

Propiedades	Unidades	Combustibles	
		Gasolina	Gasoil
Motor de ciclo	-	Otto	Diésel
Composición química	-	$C_{7,18}H_{13,1}O_{0,1}$	$C_{13,15}H_{24,8}$
Masa Molar	Kg/mol	0,0992	0,1824
Estado	-	líquido	líquido
Poder Calorífico inferior	MJ/kg-MJ/m <sup>3</sup>	43,53-32020	42,69-35581
	Kcal/kg-kcal/m <sup>3</sup>	10398,95-7649307,21	10198,28-8500000
	Temias/kg-Temias/m <sup>3</sup>	10,40-7649,31	10,20-8500
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	705-770	840-890
Densidad relativa	-	0,705-0,770	0,84-0,89
Número de Metano	-	25-40	-
Número de Octano	-	90-100	-
Número de Cetano	-	-	40-60
Viscosidad (40°C)	cSt	-	3,2
Temperatura de autoignición	°C	500	200-400
Punto de ebullición	°C	30-205	180-370
Curva de destilación	°C	30-205	180-370
Dosado estequimétrico mas	kg aire/ kg comb	14,19	14,62
Dosado estequimétrico vol	m <sup>3</sup> aire/ m <sup>3</sup> comb	8863,510	10674,686
Densidad mezcla comb/aire	kg/ m <sup>3</sup>	1,268	1,266
Límites de Inflamabilidad	%(vol)	1-7,6	0,7-5
PCI mezcla comb/aire	MJ/kg	2,86	2,73
Consumo específico habitual inferior	g/kWh	295,95	241,21
Consumo específico habitual superior	g/kWh	360,29	312,68
Emisiones CO <sub>2</sub> (teóricas)	g/kWh	271,87	270,74
Adaptaciones del motor	sí/no	no	no

**Fuente: (Álvarez, 2006)**

**Cuadro 3.4. Propiedades Físico-Químicas de Biodiésel y Bioetanol.**

Propiedades	Unidades	Combustibles (Biocarburentes)	
		Biodiésel	Bioetanol
Motor de ciclo	-	Diésel	Otto
Composición química	-	$C_{18,7}H_{34,9}O_2$	$C_2H_6O$
Masa Molar	Kg/mol	0,291	0,046
Estado	-	líquido	líquido
Poder Calorífico inferior	MJ/kg-MJ/m <sup>3</sup>	37,30-33103	26,80-21285
	Kcal/kg-kcal/m <sup>3</sup>	8910,65-7914476,83	6402,29-5084806,50
	Temias/kg-Temias/m <sup>3</sup>	8,91-7914,48	6,40-5084,81
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	875-900	794
Densidad relativa	-	0,875-0,900	0,794
Número de Metano	-	-	70
Número de Octano	-	-	120
Número de Cetano	-	47-56	-
Viscosidad (40°C)	cSt	3,5-4,5	-
Temperatura de autoignición	°C	>100	423,8
Punto de ebullición	°C	-	78,3
Curva de destilación	°C	72-350	-
Dosado estequiométrico mas	kg aire/ kg comb	12,53	9,02
Dosado estequiométrico vol	m <sup>3</sup> aire/ m <sup>3</sup> comb	9386,659	6045,311
Densidad mezcla comb/aire	kg/ m <sup>3</sup>	1,279	1,316
Límites de Inflamabilidad	%(vol)	-	4,3-19
PCI mezcla comb/aire	MJ/kg	2,76	2,67
Consumo específico habitual inferior	g/kWh	275,44	480,58
Consumo específico habitual superior	g/kWh	357,05	585,05
Emisiones CO <sub>2</sub> (teóricas)	g/kWh	272,97	257,4
Adaptaciones del motor	sí/no	no	sí

**Fuente: (Álvarez, 2006)**

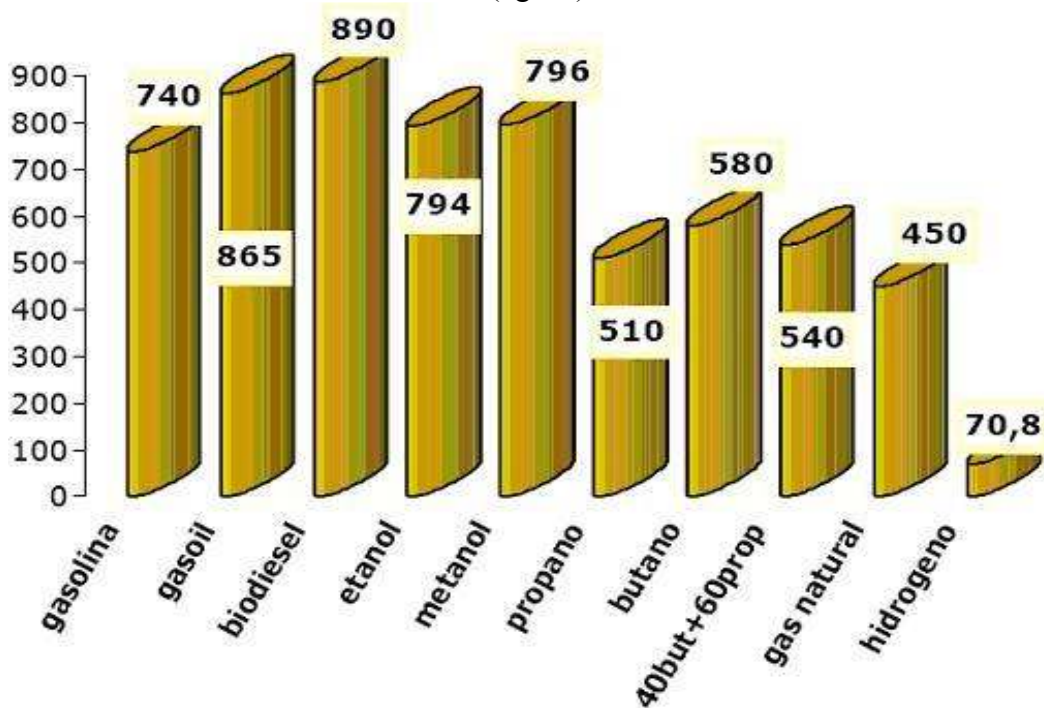
Este apartado se basa en una comparativa de las propiedades de los combustibles alternativos, principalmente, respecto a la gasolina y al diésel, y en consecuencia se analizarán cuál de ellos puede ser la mejor opción entre ellos. Los cuadro 3.3 y 3.4 son un

resumen de las características de los comburentes a partir de las cuales se desarrolla la comparación. A continuación se divide el análisis para estimar sus diferencias o semejanza respecto a su nivel energético o de interacción con el medio (Álvarez, 2006).

Para establecer un diagnóstico se hace uso de los factores siguientes: i) Capacidad de almacenaje; ii) Calidad de la mezcla; iii) Contenido energético y iv) Características de combustión (Álvarez, 2006).

La densidad determina la cantidad de materia contenida en un volumen determinado y proporciona una aproximación del contenido en energía que posee el combustible. Mayores densidades revelan más energía almacenada por unidad de volumen, factor que junto con el consumo específico, afecta directamente a la autonomía del vehículo (Álvarez, 2006).

**Figura 3.11. Densidades de los combustibles en estado líquido.**  
(kg/m<sup>3</sup>)



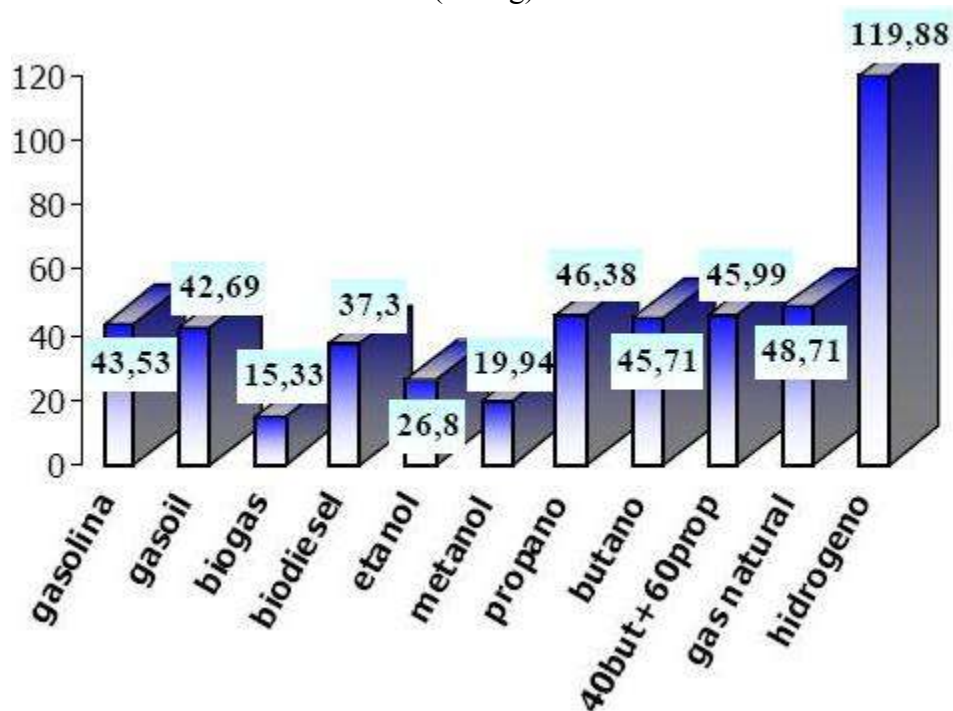
**Fuente:** (Álvarez, 2006)

En la figura anterior podemos observar que el biodiésel es el combustible que mayor capacidad de almacenamiento permite, y comparando la nafta con el etanol, vemos que este último tiene una ventaja en la capacidad de almacenamiento.

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida por el mismo en su combustión teórica y completa, en condiciones normales. A partir de su análisis se puede comparar el contenido energético entre los diferentes combustibles (Álvarez, 2006).

En referencia al contenido calorífico de los combustibles, cabe destacar que poseen una capacidad energética individual muy variable. El bioetanol y el biodiésel, tal y como se muestra en la figura 3.12, presentan un bajo poder calorífico en relación a los HC que forman la bencina y el gasoil, esto es debido a la presencia de oxígeno en su formulación (Álvarez, 2006).

**Figura 3.12. Contenido energético másico (PCI) de todos combustibles.**  
(MJ/kg)



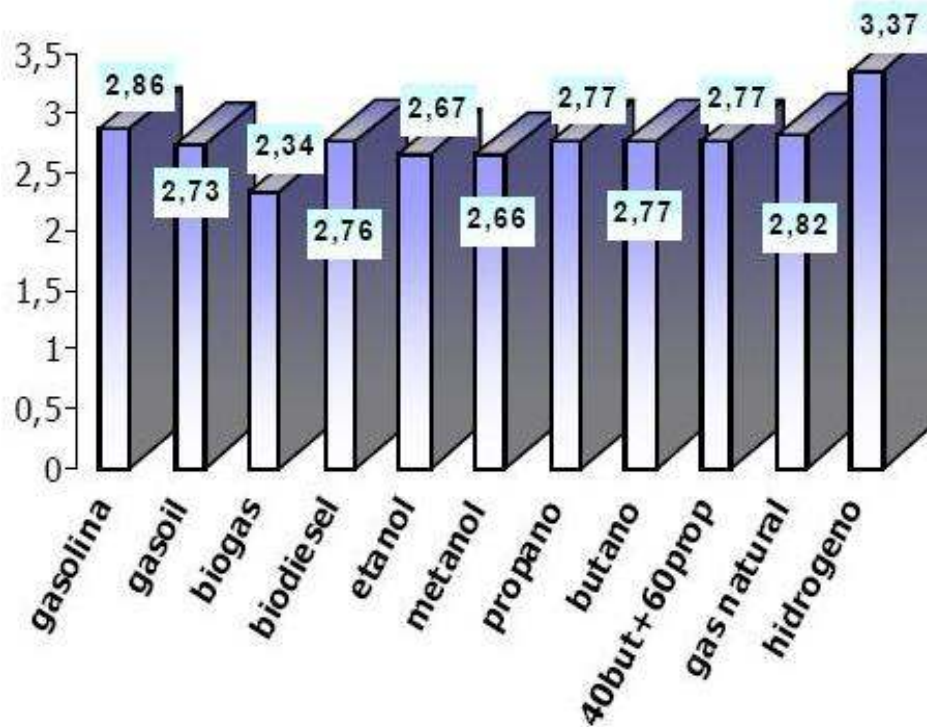
Fuente: (Álvarez, 2006)

Pero, a pesar de los valores que se muestran en la Figura 3.12 la evaluación correcta del contenido energético en el proceso de combustión de los Motores Alternativos de Combustión Interna (MACI), es a partir del parámetro característico: Poder calorífico inferior del combustible<sup>12</sup> (PCI) de la mezcla (Álvarez, 2006).

<sup>12</sup> PCI: es la cantidad de calor producido por la combustión teórica y completa de una unidad de masa o volumen del combustible sin que condense el vapor de agua que contienen los productos de la combustión.

El contenido energético de la mezcla de los combustibles con aire no presentan diferencias significativas con respecto a la gasolina y al diésel, estando los valores entre 2.66 a 3.37 MJ/kg. Debemos destacar, que a nivel energético el gasoil y el biodiésel presentan el mismo potencial (Álvarez, 2006).

**Figura 3.13. Contenido energético de la Mezcla (PCI) de todos combustibles. (MJ/kg)**



Fuente: (Álvarez, 2006)

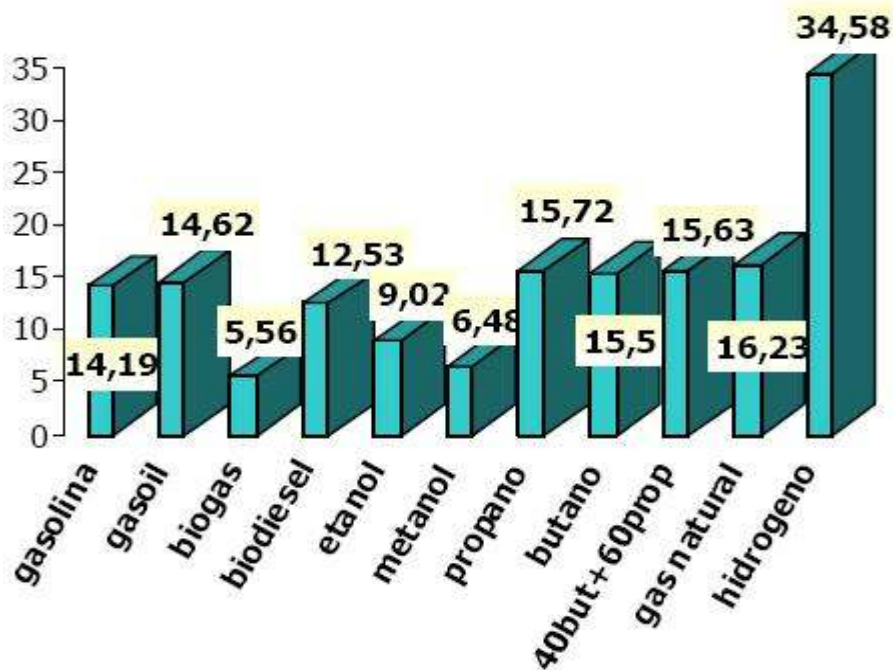
El dosado estequiométrico es la proporción entre la cantidad de aire y la de combustible necesario para que se produzca una combustión completa, sin que sobre ni falte carburante. Para establecer una comparación se utiliza la siguiente correlación (Álvarez, 2006):

$$\frac{\text{dosado gasolina}}{\text{dosado combustible de Ciclo Otto}}; \frac{\text{dosado gasoil}}{\text{dosado combustible de Ciclo Diésel}}$$

Debido a las altas temperaturas de los gases de escape se utiliza el PCI en la aplicación de los combustibles en MACI (Álvarez, 2006).

En el caso del ciclo diésel, se necesita mayor caudal de biodiésel para obtener la misma riqueza que utilizando combustible fósil. Respecto a la gasolina, se presenta un caso similar se necesita mayor caudal del etanol para obtener la misma riqueza (Álvarez, 2006).

**Figura 2.14. Dosado estequiométrico de los combustibles.**  
(kg/kg)



Fuente: (Álvarez, 2006)

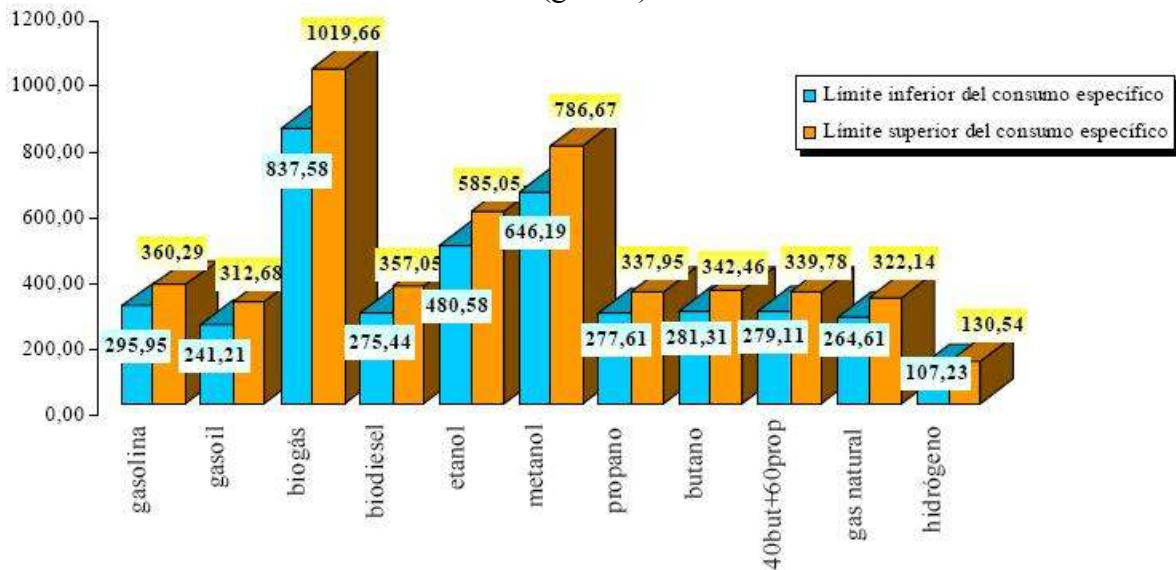
A continuación se evalúa de manera aproximada la autonomía de un vehículo que se impulsara con los carburantes analizados. Se ha calculado la capacidad en litros que debería tener un tanque de combustible para obtener una energía final de 1 kWh, haciendo un sencillo cálculo a partir del consumo específico y la densidad de los carburantes (Álvarez, 2006).

La Figura 3.15 exhibe los límites inferior y superior de consumo específico para todos los combustibles considerados teniendo en cuenta el rango de valores de rendimiento para motores que realizan ciclo Otto y Diesel (Álvarez, 2006).

$$\eta_{\text{Ciclo Otto}} = 0.23 \div 0.27$$

$$\eta_{\text{Ciclo Diesel}} = 0.27 \div 0.35$$

**Figura 3.15. Límites inferior y superior del consumo específico teórico para cada combustible.**  
(g/kWh)



Fuente: (Álvarez, 2006)

**Cuadro 3.5. Relaciones de caudal de los combustibles alternativos respecto a la gasolina y gasoil**

Combustible	Consumo específico medio (g/kWh)	Volumen / kWh	Estado del combustible
Gasolina	328.12	0.44	líquido
Gasoil	276.95	0.32	líquido
Biogás	928.62	754.97	gas
Biodiésel	316.25	0.36	líquido
Etanol	532.81	0.67	líquido
Metanol	716.43	0.9	líquido
Propano	307.78	0.6	licuado
Butano	311.88	0.54	licuado
40But+60Prop	309.44	0.57	licuado
Gas natural	293.08	0.65	licuado
Hidrógeno	118.88	1.68	licuado

Fuente: (Álvarez, 2006)



En comparación con la gasolina y el diésel todos los carburantes presentan una autonomía menor. El combustible alternativo más competitivo respecto a los fósiles de acuerdo a la autonomía sería el biodiésel, con un volumen de 0.36 lt necesario para obtener 1 kWh de energía respecto a los 0.32 que presenta el gasoil (ver tabla 3.5) (Álvarez, 2006).

El número de octano indica la resistencia a la detonación de los combustibles que se utilizan en motores de ciclo Otto, cuanto mayor es este índice más controlada es la combustión de la mezcla y menos probabilidades hay de originarse autoignición en el cilindro. Además, dicho valor está asociado con la relación de compresión. Esta relación es la correspondencia que existe entre el volumen de la cámara de combustión y el volumen del cilindro más la suma del volumen de la propia cámara, esto significa que a mayor relación de compresión será necesario un mayor índice de octano. Por lo tanto si se toma en cuenta que los motores de combustión interna tienen restringida su relación de compresión (8.5 a 1/10,5 a 1) debido a la tendencia a la explosión de los carburantes un número de octano mayor eleva el rendimiento. Cabe destacar que si se utiliza un combustible con un número de octano menor al adecuado, conforme a la relación de compresión del motor en el que se emplee, se ocasiona la detonación o pre-encendido de la mezcla. Este fenómeno provoca una expansión abrupta y descontrolada de la mezcla reduciendo por ello la eficiencia del motor (Álvarez, 2006).

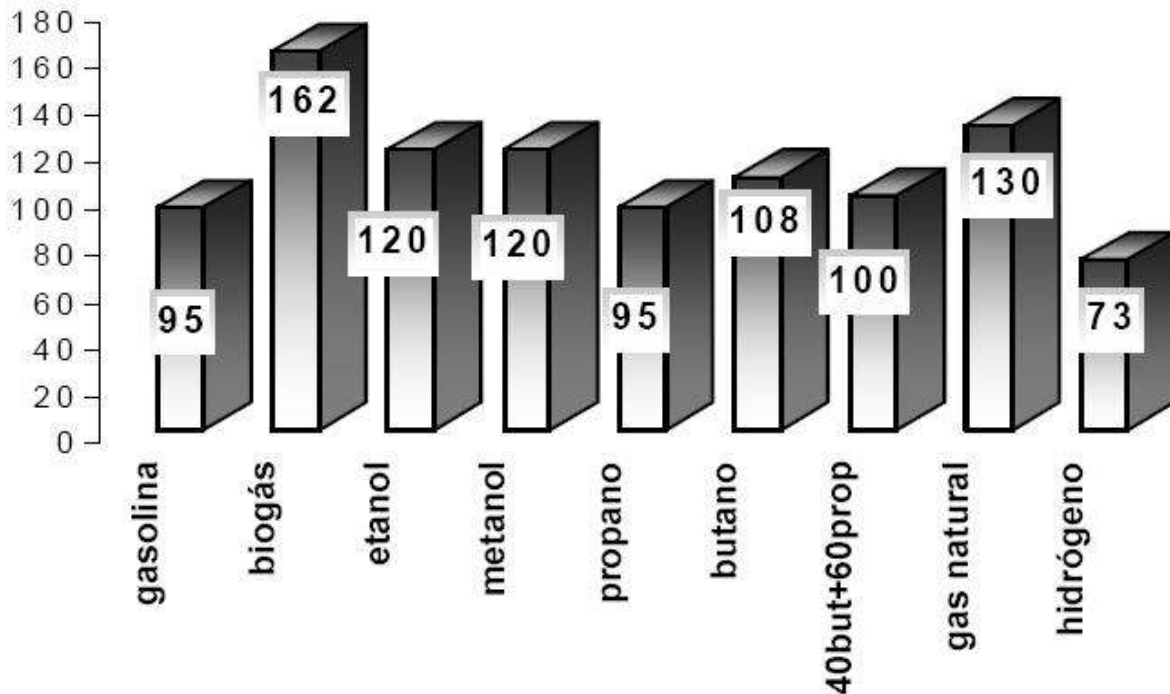
Los alcoholes poseen un número de octano superior al que tiene la nafta, en este sentido el uso de alcoholes en motores de encendido provocado (MEP) incrementaría el rendimiento (Álvarez, 2006).

Para los combustibles que se destinan a motores de ciclo Diésel una de las propiedades que determina un buen funcionamiento del motor es el número de cetano. Este valor permite evaluar el retardo de la ignición, cuanto mayor es el número de cetano, menor será el rezago y ha de ser como mínimo de 40 (Álvarez, 2006).

Como se visualiza en la figura 3.17 el biodiésel y el gasoil tienen unos índices aproximados. Cuanto mayor sea este valor menos ruidosa será la combustión, además, al ser más controlada, se genera un incremento en la eficiencia y en la potencia final. Un

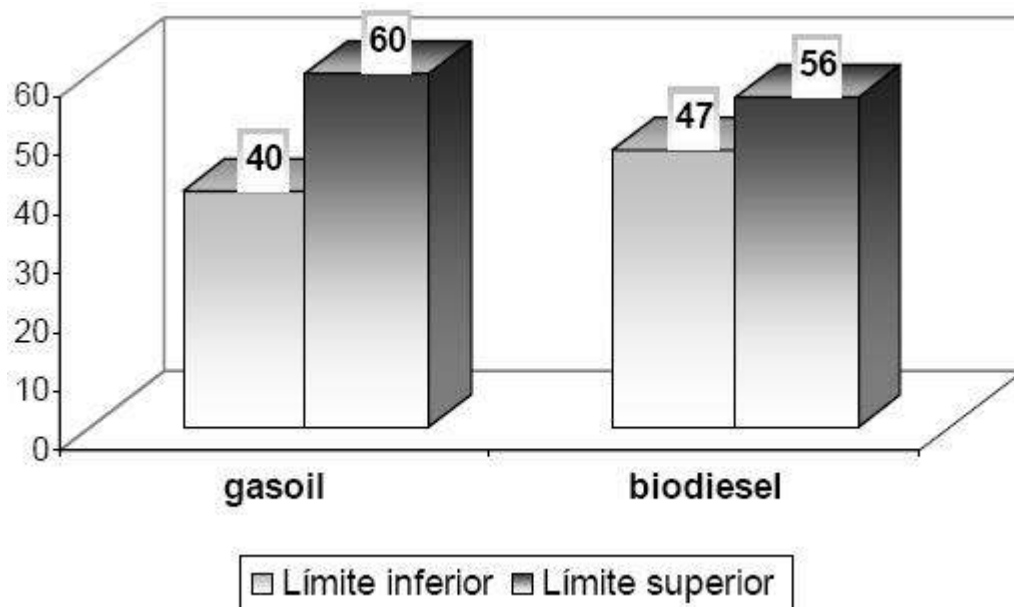
elevado número de cetano permite un mejor arranque en frío con esto un calentamiento más ágil (Álvarez, 2006).

**Figura 3.16. Número de octano de los combustibles que se utilizan en motores de ciclo Otto.**



Fuente: (Álvarez, 2006)

**Figura 3.17. Número de cetano de los combustibles que se utilizan en motores de ciclo Diésel.**

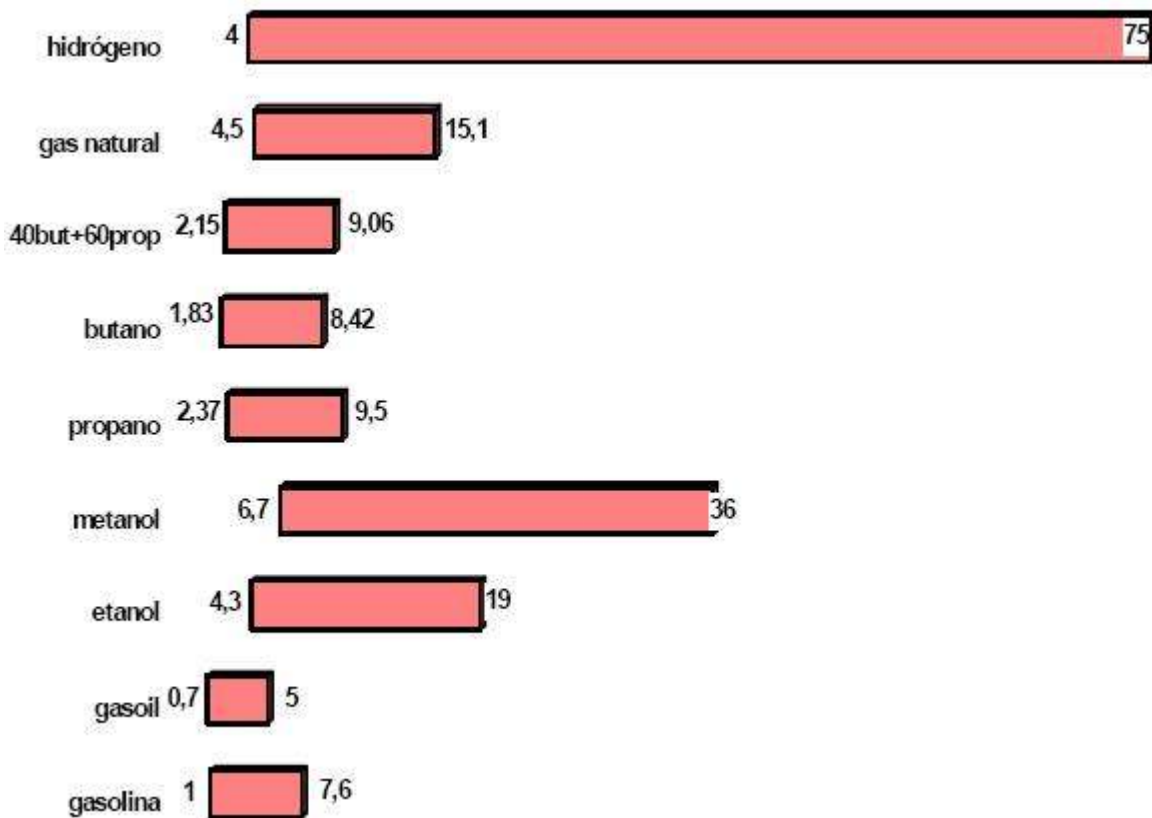


Fuente: (Álvarez, 2006)

Los límites de inflamabilidad atañen a la seguridad del uso de los comburentes. Ya que revelan la proporción de volumen de combustible en una mezcla de aire en la que son capaces de arder (Álvarez, 2006).

Los mayoría de los combustibles requieren una mezcla con aire precisa, ya que sus límites de inflamabilidad poseen un rango más estrecho. El diésel tiene un rango muy estrecho, es el que necesita más cantidad de aire para poderse inflamar (Álvarez, 2006).

**Figura 3.18. Límites de inflamabilidad de algunos de los combustibles analizados.**



Fuente: (Álvarez, 2006)

El impacto ambiental de los motores alternativos de combustión interna es uno de los factores influyentes en el desarrollo de nuevas tecnologías destinadas a reducir las emisiones nocivas y en la aplicación de combustibles alternativos de carácter ecológico con el misma finalidad (Álvarez, 2006).

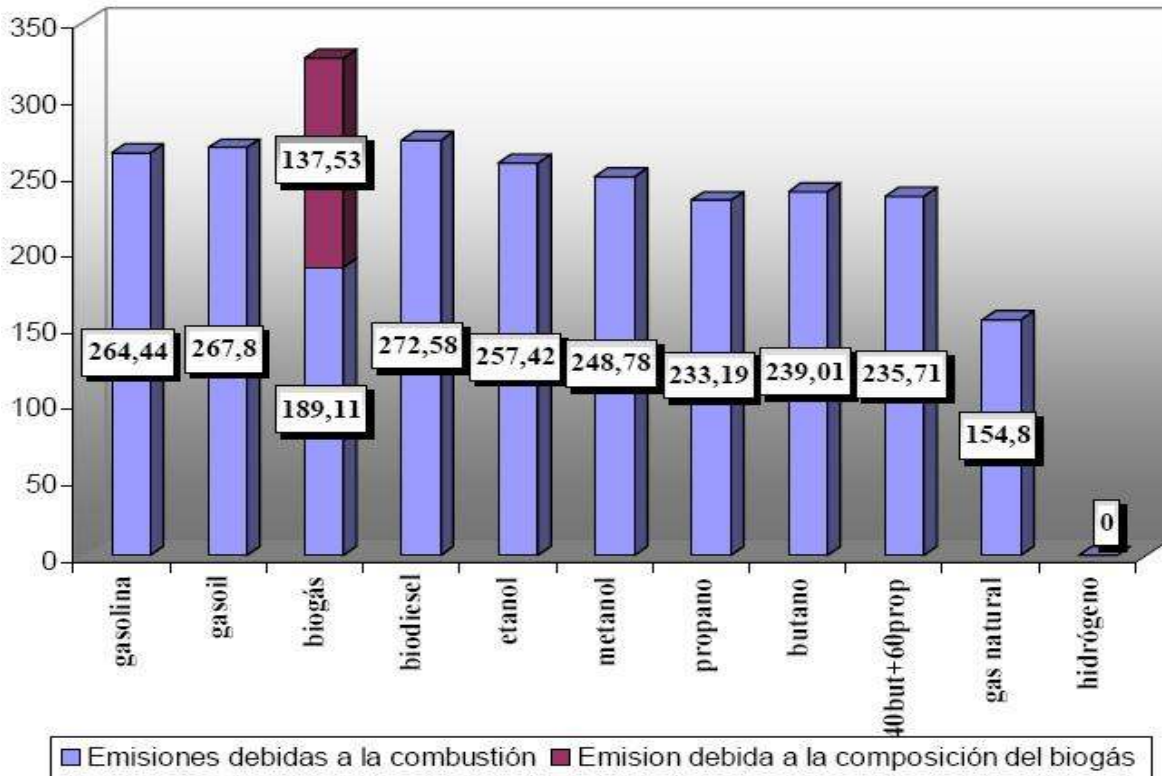
La generación de gases contaminantes es inherente a todo proceso de combustión pero además, las características del ciclo empleado en el motor y las propiedades físico-químicas del carburante influyen directamente en las emisiones que se producen durante el funcionamiento del mismo. Las sustancias perniciosas más significativas se especifican a continuación (Álvarez, 2006).

En todo proceso de ignición se produce CO<sub>2</sub>, el cual es un gas incoloro, inodoro y de sabor agrio que tiende a alojarse en las zonas bajas por ser más pesado que el aire. Tiene una densidad de 1.98 kg/m<sup>3</sup> y al ser un gas no combustible tiene un poder antidetonante muy grande. A priori no es un gas tóxico, pero al aminorar la proporción de oxígeno en el aire se transforma en un elemento perjudicial para la salud, además es el principal causante del efecto invernadero y por el volumen que se genera participa directamente en el cambio climático del planeta (Álvarez, 2006).

A partir del proceso de combustión se conoce la cantidad estequiométrica de CO<sub>2</sub> que se proporciona al quemar el comburente con el oxígeno contenido en el aire. Con los valores, de dosado estequiométrico y el PCI de la mezcla de aire y combustible se deriva la masa de CO<sub>2</sub> teórica emitida por unidad de energía producida. Poder cuantificar la emisión de este gas es la razón por la que se analiza independientemente del resto de contaminantes (ver figura 3.19) (Álvarez, 2006).

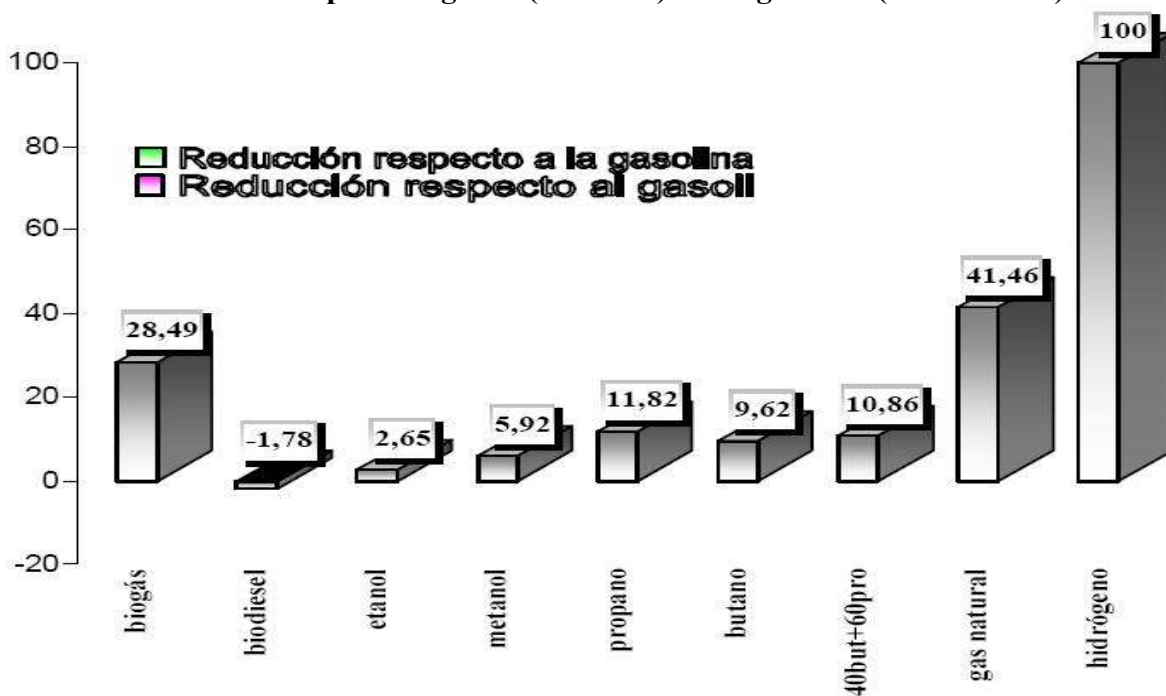
Con el fin de evaluar los posibles combustibles sustitutos de la gasolina y el diésel se incorpora la reducción porcentual de las emisiones producidas por los nuevos combustibles respecto a los tradicionales. Los carburantes que trabajan con motores de encendido provocado se comparan respecto a la bencina y los que trabajan con motores de encendido por compresión, respecto al gasoil. Estos datos se muestran en la figura 3.20, hay que agregar que para obtener estos índices sólo se consideran las emisiones debidas a la combustión (Álvarez, 2006).

**Figura 3.19. Emisiones teóricas de CO<sub>2</sub> para los combustibles analizados. (g/kWh)**



Fuente: (Álvarez, 2006)

**Figura 3.20. Porcentaje de reducción de emisión de CO<sub>2</sub> de los combustibles alternativos respecto al gasoil (biodiésel) o a la gasolina (los restantes).**



Fuente: (Álvarez, 2006)

Tanto los biocarburos empleados en motores a gasolina como los gases licuados de petróleo, también utilizados en el ciclo Otto, presentan una reducción de emisión de CO<sub>2</sub> respecto a la nafta. Esta disminución se debe esencialmente al menor número de carbonos en la composición de estos combustibles (Álvarez, 2006).

En contraste, el biodiésel muestra una reducción negativa. Aunque mínimo, se obtiene un ligero aumento de la emisión de este gas respecto al gasoil. Pero este aumento se ve compensado por el origen del biocomburente. Ya que como hemos revisado previamente, la vegetación de la que procede el biodiésel necesita CO<sub>2</sub> para realizar la fotosíntesis. Así que la emisión que se obtiene al quemar este combustible en un motor de combustión interna cerraría el ciclo, ya que este CO<sub>2</sub> emitido se utilizaría para alimentar el cultivo que produciría de nuevo el combustible alternativo (Álvarez, 2006).

La contaminación atmosférica causada por el transporte es muy diversa y depende de múltiples factores, las propiedades del carburante utilizado, el tipo de mezcla con el aire y las características del funcionamiento del motor, como pueden ser la temperatura de trabajo, el ciclo empleado o el tipo de inyección del combustible. Por esta razón el análisis cuantitativo de las emisiones de gases y partículas nocivas se debe realizar a partir de un análisis individual de cada proceso (Álvarez, 2006).

Las emisiones características que se examinan en seguida son CO, HC, NO<sub>x</sub> y partículas. Las características, causas y consecuencias que originan la generación y expulsión al medioambiente de cada una de las sustancias glosadas se refieren a continuación (Álvarez, 2006).

CO: es un gas tóxico, incoloro, inodoro e insípido que se produce por falta de la cantidad de O<sub>2</sub> necesaria para permitir completar la reacción de combustión. La generación de CO se da en un paso previo a la creación de CO<sub>2</sub>, por lo tanto primero se forma todo el CO y a continuación el CO<sub>2</sub> que sea permisible según la cantidad de O<sub>2</sub> disponible. Por un lado provoca la destrucción del ozono estratosférico lo que conforma riesgos para la salud, coligados a la radiación ultravioleta, y además puede producir alteraciones en la fauna y

flora. Conjuntamente, incita a la formación de ozono troposférico, lo que favorece al efecto invernadero perturbando la calidad de la atmósfera y de los ecosistemas (Álvarez, 2006).

HC: son una mezcla de compuestos que se desencadenan por falta de oxígeno o exceso de carburante al momento de realizar la combustión completa de todo el HC suministrado. Incitan la formación de la denominada niebla fotoquímica que oscurece o quita la claridad natural e incrementa la suciedad atmosférica y aumenta los riesgos para la salud.

NO<sub>x</sub>: las elevadas temperaturas y el exceso de O<sub>2</sub> favorecen la aparición de estos gases, la emisión de este contaminante se da independiente al proceso de combustión. Debido a las altas temperaturas y presiones que se generan en la cámara de combustión el nitrógeno y el oxígeno presentes en el aire reaccionan dando lugar a los NO<sub>x</sub>. Estas sustancias son muy perjudiciales para el ambiente. Son responsables del efecto invernadero y provocan la destrucción del ozono estratosférico, con similares consecuencias a las mostradas por el CO, en el medio ambiente y la salud de los seres humanos (Álvarez, 2006).

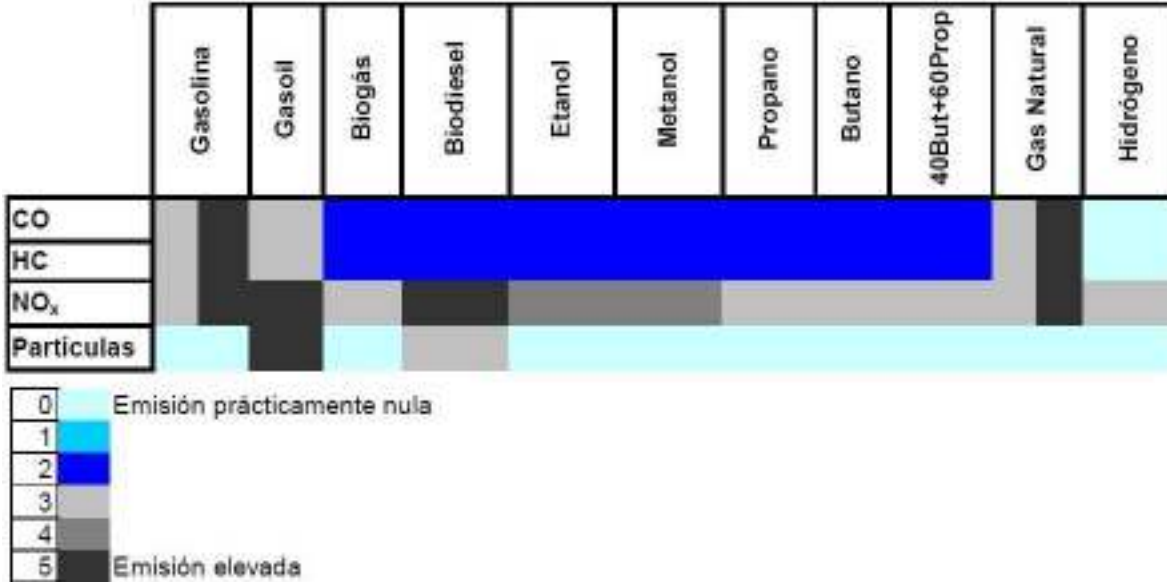
Partículas: pueden ser sustancias sólidas y/o líquidas y su emisión está incitada por dificultades en la formación adecuada de la mezcla de aire y carburante. Principalmente se produce en el funcionamiento de motores trabajan con gasoil. La emisión de partículas provoca turbidez e impurezas atmosféricas, lo que conlleva riesgos para la salud relacionados a la afectación pulmonar y de corazón (Álvarez, 2006).

En la Figura 3.21 se distingue de manera genérica la proporción de la producción de los contaminantes más comunes para cada uno de los combustibles analizados. Es clara la reducción de las emisiones nocivas de todos los contaminantes examinados, en el caso del etanol respecto a la gasolina y del biodiésel respecto del gasoil, excepto por los NO<sub>x</sub> (Álvarez, 2006).

Podemos resumir que las principales ventajas del etanol son: a) el hecho de que sea un combustible renovable; b) una elevada densidad que se traduce en una gran capacidad de almacenamiento; c) adecuado contenido energético de la mezcla con aire a pesar de que el poder calorífico inferior del etanol está por debajo del de la gasolina; d) elevado índice de

octano mejorando la eficiencia de la combustión; y e) una disminución marcada de las emisiones de CO<sub>2</sub>, CO e HC.

**Figura 3.21. Emisiones contaminantes para cada uno de los combustibles analizados.**



**Fuente: (Álvarez, 2006)**

Por otro lado sus desventajas son: a) un muy reducido contenido energético; b) un muy inferior dosado estequiométrico respecto de la nafta, como consecuencia de la presencia de O<sub>2</sub> en su formulación, lo que supondría modificaciones en los conductos de admisión; c) consumo específico elevado lo que conduce a un aumento del tanque y, por ello, un aumento del peso del vehículo; d) dificultades en el arranque en frío debido a la volatilidad y e) alto nivel de modificaciones y adaptaciones para su uso en motores de ciclo Otto.

En el caso del biodiésel sus ventajas son: a) su procedencia en materias primas renovables; b) posee una elevada densidad lo que le permite una mayor capacidad de almacenamiento; c) presenta un contenido energético de la mezcla con aire adecuado no obstante el PCI del biodiésel sea tenuemente inferior al del gasoil; d) se puede alcanzar una autonomía muy parecida a la que se obtiene con el diésel convencional debido a su consumo específico teórico y a su elevada densidad; e) su número de cetano admite un control de la combustión y un aumento de la eficiencia del motor; f) mínimo nivel de modificaciones en los motores diésel; g) debido al origen vegetal del combustible su uso en motores de encendido por



compresión no produce aumento neto de las emisiones de CO<sub>2</sub>; y finalmente h) disminución de las emisiones de CO e HC

Y sus desventajas son: a) poder calorífico menor que el del gasoil; b) menor dosado estequiométrico es que el del diésel de origen fósil, lo que implicaría modificaciones en los conductos de admisión; y c) no hay reducción de las emisiones de NO<sub>x</sub>.

Podemos concluir que con la finalidad de hacer más eficiente y limpio el uso de la energía en el transporte, debe fomentarse una nueva educación vial y promover una nueva cultura de uso racional de la misma, al mismo tiempo que se modifica la normatividad del transporte, para respaldar dicha medida. Conjuntamente es necesario impulsar programas de uso de energía alternativa para este sector.

Los biocarburantes, son los únicos productos renovables que pueden integrarse fácilmente en los existentes sistemas de distribución de comburentes, componen una de las pocas opciones razonables de transformación en el sector del transporte para el futuro inmediato (Ballesteros, 2006).

Es factible que se expanda de forma sostenida el uso de combustibles que tengan su origen en biomasa. Sin embargo, conviene señalar que la transformación a gran escala de productos agrícolas en carburantes, establece cuestionamientos relativos a sus efectos en la calidad del suelo, las reservas de agua y las emisiones globales de GEI (Heywood, 2006).

En este capítulo hemos tratado de acentuar los efectos benéficos de los biocombustibles, pero como examinaremos en el siguiente capítulo no solo existen pros sino que también existen contras y el principal es la competencia entre los campos de cultivo para consumo humano y los campos de cultivo para la generación de agrocombustibles.

---

# *Capítulo IV*

*Reciclaje: Fuente de Energía y de  
Reducción de la Contaminación*

---

**Capítulo IV.- Reciclaje: Fuente de Energía y de Reducción de la Contaminación****4.1 Costos Sociales de los biocombustibles**

Como ya hemos señalado, desde algunos años se han venido desarrollando, con un afán inicialmente bienintencionado por delinear alternativas renovables al uso de los combustibles fósiles, propuestas que sitúan en un lugar destacado el uso de los biocombustibles y de la biomasa como elemento importante de la transición hacia un modelo energético más sustentable. No obstante, las incertidumbres y las diatribas frente a estos planteamientos no han sido suficientemente contempladas ni evaluadas (Carpintero, 2006).

En los albores de este nuevo milenio ha surgido una nueva fuente de abastecimiento de energía, como lo es la elaboración de biocombustibles a partir del uso de materias primas agrícolas que se pueden transformar en etanol y biodiésel. La producción de estos comburentes ha originado, desde el punto de vista económico, una competencia preocupante por el uso de la tierra disponible, entre producir alimentos o biocombustibles (Sonnet, 2007).

En la actualidad la inseguridad alimentaria representa uno de las dificultades más dramáticas que afronta la sociedad. Se asienta claramente en el informe de la FAO de 2003, el incumplimiento de los acuerdos asumidos en la Cumbre de Roma de 1996, enfocados a disminuir el número de hambrientos en 2015. Este organismo estima que en el mundo existen 842 millones de personas que sufren de hambre crónica y que gran parte de estos son niños. Además, se tiene una tendencia creciente de famélicos de 4.5 millones por año, que acentúan esta tragedia. Al mismo tiempo, el perjuicio a los distintos ecosistemas no se detiene, reflejándose en el estrechamiento de la frontera agrícola por la erosión y crecimiento del tamaño de los desiertos; sumado a la escasez de agua. El detrimento del medioambiente lo padece todo el globo terráqueo, pero con mayor intensidad los pobres rurales (Franco, 2007).

Hoy por hoy, para los Organismos Internacionales y la mayor parte de los países del mundo, el hambre, la desnutrición y el deterioro ambiental se constituyen en las

dificultades de desarrollo más relevantes. Mientras el hambre que padece un solo individuo es un asunto fisiológico que hasta cierto punto es solo suyo, la pobreza y la desnutrición que sufren millones de individuos es una cuestión sociológica y política, que incide en el menoscabo de los derechos fundamentales de las personas y por ello debe ser confrontados por la sociedad en su conjunto, con la finalidad de alcanzar el desarrollo humano consolidando la seguridad alimentaria, la conservación del medioambiente y la equidad social (Franco, 2007).

De acuerdo con Ribeiro (2008:1) *“Un informe interno confidencial del Banco Mundial (BM) de abril de 2008 demuestra que la producción de combustibles agroindustriales, particularmente los derivados del maíz, son la causa principal de los aumentos de los precios de los alimentos.”*

Según este informe, no se trata de una minúscula participación en la crisis alimentaria, la producción de biocombustibles es responsable hasta de un 75 % del incremento del costo de los alimentos, y no solo de un 3 %, como asegura el gobierno estadounidense. Sumado a un 15 % como consecuencia del aumento de los precios del petróleo y agroquímicos (Ribeiro, 2008).

Hay tres elementos notables, que la irse encadenando uno tras otro, son causantes del aumento en el precio de los alimentos: 1) los granos para la elaboración de combustibles fueron extraídos de la producción alimentaria. Es así que en los Estados Unidos Más del 30% de la producción de maíz se utiliza en el proceso de generación de etanol. En Europa para hacer biodiésel se usa el 50% de los aceites vegetales que produce o importa; 2) la disminución de la tierra dedicada a producir alimentos, como consecuencia del estímulo a los agricultores para que destinen más tierra a los agrocombustibles; y 3) el impulso de los biocombustibles ocasiono una magnífica área para la fuerte inversión de los fondos financieros especulativos, provocando más incremento aun en el precio de los alimentos (Ribeiro, 2008).

La disposición intrínsecamente incontenible hacia la “mercantilización” de todos los aspectos y componentes de la vida social es una característica notable del capitalismo. Durante el paso de los años progresivamente se ha ido ampliando el conjunto de bienes y servicios integrados a la lógica capitalista. Con su instauración hombres y mujeres fueron reducidos a un factor del proceso de producción (la fuerza de trabajo), una mercancía estratégica e irremplazable por su rol en la generación de la plusvalía. Marx vislumbro y señaló, que esto no acaece por la perversidad o insensibilidad de algún capitalista sino que esto está adscrito a la lógica del proceso de acumulación cuya naturaleza es la incesante mercantilización de todo los factores que componen el desarrollo humano (Boron, 2007).

La mercantilización no se detuvo en el hombre y paralelamente se amplió a la naturaleza, incluyendo a la tierra y sus productos, los ríos y las montañas, las selvas y los bosques. La energía, requerida para el mantenimiento de la vida, no escapó a este destino. Actualmente, la entera biodiversidad del planeta se encuentra sometida a este proceso, con la finalidad de asegurar la reproducción del sistema del que emana (Boron, 2007).

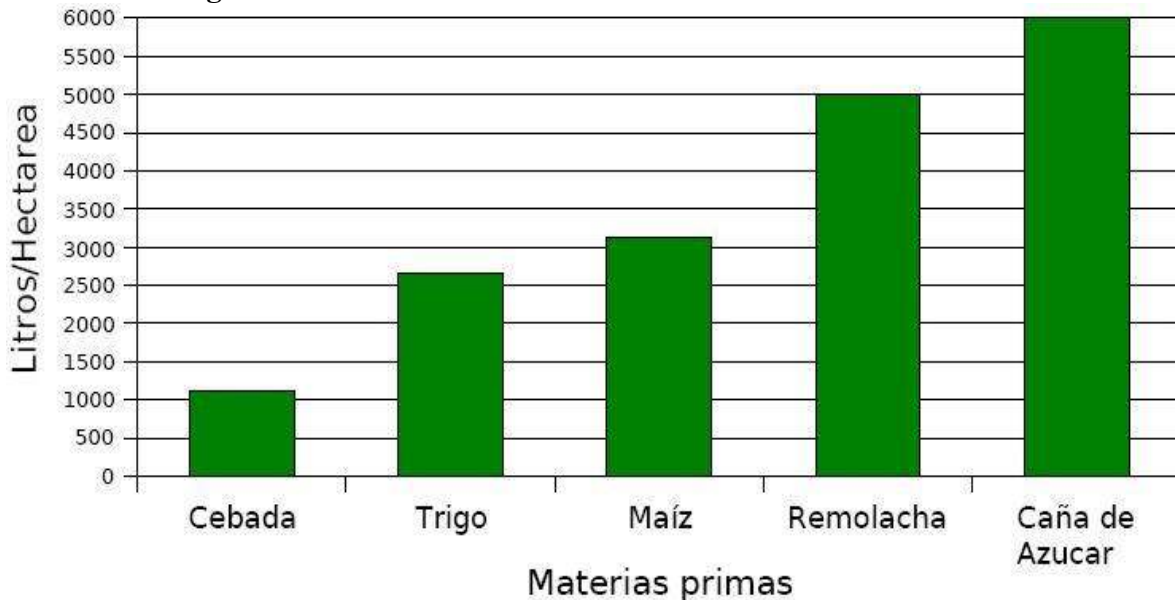
Según Boron (2007:2-3) *“La transformación de los alimentos en energéticos constituye un acto monstruoso mediante el cual se viola la naturaleza misma de un bien, en este caso los alimentos, y se lo convierte, en virtud de complejos procesos tecnológicos, en uno de naturaleza totalmente distinta. Se acentúa de este modo el proceso de alienación, de extrañamiento, del hombre y la mujer con el entorno natural que hizo posible la aparición de la especie humana en este planeta... Así, la caña de azúcar o el maíz dejan de ser alimentos para el consumo humano y se transforman en fuentes energéticas alternativas al petróleo.”*

#### **4.1.1 Áreas de cultivo para biocombustibles**

Tomando en consideración que la materia prima representa más del 50% de los costos de elaboración de los biocombustibles, el rendimiento de dichas materias es un elemento de gran relevancia. La figura 4.1 nos muestra que el rendimiento en litros por hectárea de la caña de azúcar respecto del maíz es casi del doble. Es decir que existe una enorme diferencia de rendimiento entre los diferentes productos agrícolas de países tropicales y de

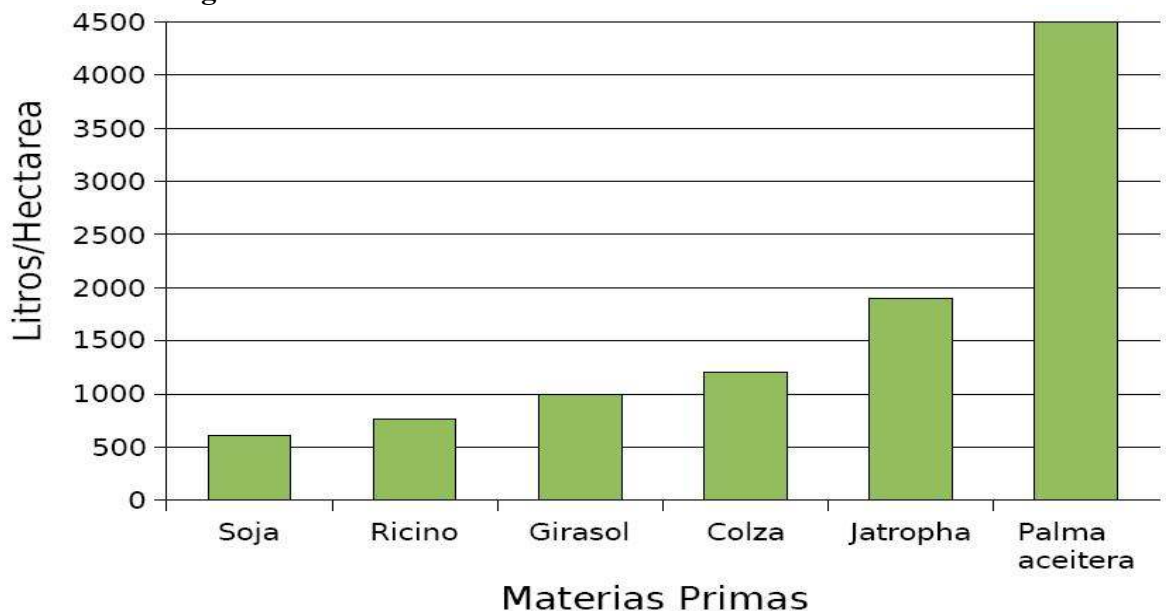
clima templado. Lo que implica que para producir la misma cantidad de Etanol en los Estados Unidos se requiere del doble del área de cultivo que en Brasil (Ballenilla, 2007).

**Figura 4.1. Rendimiento de las Materias Primas del Bioetanol.**



Fuente: (Ballenilla, 2007)

**Figura 4.2. Rendimiento de las Materias Primas del Biodiésel.**



Fuente: (Ballenilla, 2007)

El caso del biodiésel es muy semejante, los cultivos tropicales tienen una ventaja comparativa en su rendimiento por hectárea frente a los cultivos de las zonas templadas.

Como se puede observar en la figura 4.2, el aceite de palma triplica el rendimiento de la colza (utilizada en Alemania) lo que explica las inversiones que se están llevando a cabo en Malasia para producir aceite de palma (Ballenilla, 2007).

**Cuadro 4.1. Aprovechamiento de la tierra y consumo de fertilizantes**  
(Países seleccionados) (2001)

	<b>Superficie agrícola per cápita (ha/persona)</b>	<b>Consumo de fertilizantes (kg/ha de superficie cultivable)</b>
<b>A Nivel Mundial</b>	0,82	98,3
<b>Países Desarrollados</b>	1,36	84,0
<b>Países En Desarrollo</b>	0,67	109,0
<b>América Latina Y El Caribe</b>	1,49	84,8
Antigua y Barbuda	0,22	0,0
Argentina	4,72	25,5
Aruba	0,02	0,0
Bahamas	0,05	100,0
Barbados	0,07	187,5
Belice	0,67	72,3
Bermuda	0,02	100,0
Bolivia	4,34	4,2
<b>Brasil</b>	1,53	115,1
Islas Caimán	0,08	0,0
Chile	0,99	242,7
Colombia	1,08	254,5
Costa Rica	0,70	568,7
Cuba	0,59	55,3
Dominica	0,31	600,0
República Dominicana	0,43	89,5
Ecuador	0,63	142,3
El Salvador	0,27	110,9
Islas Malvinas (Falkland)	565,00	...
Guayana francesa	0,14	100,0
Granada	0,14	0,0
Guadalupe	0,11	1015,8
Guatemala	0,39	134,5
Guyana	2,28	27,1
Haití	0,19	17,9
Honduras	0,45	141,9
Jamaica	0,20	67,2
Martinica	0,09	1609,1
<b>México</b>	1,07	75,4
Montserrat	1,00	0,0

**Energías alternativas y Desarrollo: El Sector Transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México (1990-2006)**

Antillas Neerlandesas	0,04	0,0
Nicaragua	1,34	11,7
Panamá	0,77	53,3
Paraguay	4,40	22,1
Perú	1,20	81,3
Puerto Rico	0,07	0,0
Saint Kitts y Nevis	0,26	242,9
Santa Lucía	0,13	1325,0
San Vicente y las Granadinas	0,14	557,1
Suriname	0,21	98,2
Trinidad y Tabago	0,10	144,9
Islas Turcas y Caicos	0,06	0,0
Uruguay	4,43	92,0
Islas Vírgenes (EE.UU.)	0,08	150,0
Venezuela	0,88	115,5
<b>Cercano Oriente Y África Del Norte</b>	<b>1,12</b>	<b>70,9</b>
<b>África Subsahariana</b>	<b>1,51</b>	<b>12,6</b>
<b>Economías De Mercado Desarrolladas</b>	<b>1,27</b>	<b>121,3</b>
<b>Países En Transición</b>	<b>38,9</b>	<b>30,7</b>

**Fuente: (Boron, 2007)**

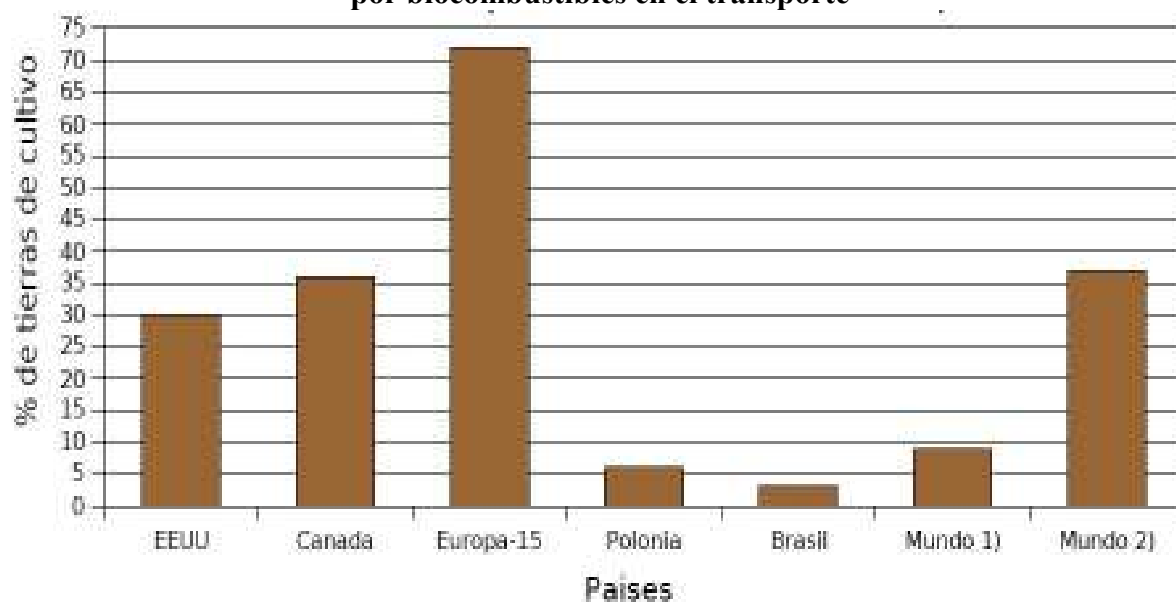
En el cuadro 4.1 sobresale que la superficie agrícola per cápita de los países industrializados (1.36 hectáreas por persona) es más del doble de la existente en los países en vías de desarrollo (0.67 hectáreas por persona), lo que es inferencia directa del simple hecho de que este último grupo de países concentran cerca del 80 % de la población mundial. Por otro lado, es relevante examinar las cifras de China e India, que conjuntamente abarcan cerca del 25 % de la población global, ya que con 0.44 y 0.18 hectáreas por persona respectivamente, debido a su expansión económicos y una creciente demanda de alimentos están intensificando precipitadamente la presión sobre los países la capacidad para generarlos, exacerbando la tensión entre asignación de tierras para la producción de alimentos o la producción de bioenergéticos. Por otro lado vemos que Brasil y México, los países con mayor volumen poblacional de Latinoamérica, ya que suman poco más de trescientos millones de habitantes, exhiben una capacidad de hectáreas per cápita comparativamente limitada tomando en cuenta su número de habitantes (Boron, 2007).



Conjuntamente, tenemos que las pequeñas naciones antillanas, tradicionalmente dedicadas al monocultivo de la caña de azúcar manifiestan claramente los efectos de erosión de sus tierras, debido al excesivo consumo por hectárea de fertilizantes que se necesita para mantener su producción. Si en los países en vías de desarrollo el uso promedio es de 109 kg de fertilizantes por hectárea, en Barbados se incrementa en casi un 80 %, pero no es comparable con los caso de Dominica con 600 kg/ha, en Guadalupe con 1016 kg/ha, en Santa Lucía con 1325 kg/ha y en Martinica con 1609 kg/ha (Boron, 2007).

En la figura 4.3 podemos ver que la Unión Europea (con quince miembros) necesitaría casi tres cuartas partes de todas sus tierras de cultivo para suplir solo el 10% del combustible usado en el transporte. Con la salvedad que al ampliarse la Unión Europea a 25 miembros mejoraría esta situación, ya que se dispondrían de nuevas superficies de cultivo (Ballenilla, 2007).

**Figura 4.3. Requerimiento de tierras de cultivo para sustituir un consumo del 10% por biocombustibles en el transporte**



**Fuente: (Ballenilla, 2007)**

Al comparar a los dos productores principales de bioetanol, Brasil y Estados Unidos, muestran grandes diferencias. Para producir los 16.500 millones de litros de bioetanol por año, pudiéndose reemplazar casi el 50 % de la gasolina, Brasil utiliza cerca de 2,75 millones de hectáreas (50 % del área de caña) lo cual tan solo es el 0,5% de la superficie

agrícola actualmente en uso en este nación. Por otro lado Estados Unidos necesita para generar la misma cantidad de etanol casi 6 millones de hectáreas, es decir el 15% del área cultivada actualmente con maíz y 3,5% del área total agrícola. Con la producción actual se lograría sustituir apenas el 2,5% del consumo total de la gasolina. Evaluaciones sobre el potencial global de producción de etanol con base en maíz en Estados Unidos estiman que el máximo nivel de sustitución será del 15% del consumo de gasolina (Ballenilla, 2007).

El escenario para los países desarrollados respecto a la producción de biodiésel es más complicado aun. El mayor productor de biodiésel, Alemania, genera 1.900 millones de litros por año que es más de la mitad de la producción mundial pero ni el 2% del consumo domestico de gasoil. Para elaborar esta cantidad los teutones necesitan cultivar casi 1,5 millones de hectáreas con colza y girasol, lo que se traduce en un 10% del área total cultivada actualmente en esa nación (Ballenilla, 2007).

Una extrapolación de estas cifras verifica las ventajas comparativas que tienen Brasil y probablemente otros países de la región en la fabricación de biocombustibles. No obstante hay que tener en consideración que son estos países los que tienen la más grande biodiversidad del planeta, por ello el acrecentamiento del área dedicada a biocombustibles traería como consecuencia pérdidas irreparables en cuanto a biodiversidad (Ballenilla, 2007).

En síntesis la figura 4.3 visualiza la problemática que enfrentan los países industrializados. Hay que advertir que estos países, que son los grandes consumidores de combustibles del mundo, no alcanzaran porcentajes significativos de sustitución de los combustibles fósiles con base en su propia producción agrícola. Si pretenden acatar las metas establecidas o por establecerse, se verán en la necesidad de importar parte de los biocarburantes y bajar las restricciones comerciales, estableciendo un mercado global. Esto podría cambiar en una década una vez instaurada la posibilidad de producir bioetanol a partir de celulosa, a gran escala (Ballenilla, 2007)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Sabiendo de antemano que está todavía en fase de investigación este proceso de obtención de etanol (Ballenilla, 2007).

#### **4.1.2 Biocombustibles fomento a la inseguridad alimentaría**

En este momento para los países desarrollados la producción de combustibles alternativos no representa ningún perjuicio a su seguridad alimentaria. Pero es en el caso de los países con economías emergentes donde los biocombustibles pueden ocasionar dificultades respecto a esta problemática (Ballenilla, 2007).

Una gran cantidad de personas, en múltiples países, viven en extrema pobreza en regiones sometidas a fuertes presiones ecológicas, dichas comunidades dependen considerablemente de lo que les ofrece la naturaleza. La degradación del medio ambiente menoscaba en gran medida su capacidad para satisfacer las necesidades mínimas, sumado a un problema de insuficiencia en la producción agrícola de esos países, y con la sustitución de superficies agrícolas por las destinadas para la producción de biocombustibles se dificultara aun más el acceso de las capas más desfavorecidas a los alimentos producidos, debido a su precio (Carvajal, 2008; Ballenilla, 2007).

La mayor parte de las tierras cultivables del planeta se encuentran en una situación frágil o crítica debido al deterioro ambiental y es previsible que esto propicie una drástica caída de la productividad en un futuro próximo. Esto podría generar un incontrolable acrecimiento de la deforestación, que solo puede ser visto como el resultado de la lucha por la supervivencia en los países más pobres. Una hectárea cultivada puede alimentar a siete individuos o a un automóvil, ya que 3.5 ton de maíz producen 1400 litros de etanol que son quemados en 20000 km (Markos, 2007).

De lo anterior se deriva que si no se toman medidas adecuadas, la lucha contra el hambre (asumiendo unos mil millones de personas que sufren hambre en el planeta) se verá seriamente lesionada por la expansión de la superficie sembrada con la finalidad de generar agroenergéticos. Las naciones en donde el hambre prácticamente es un flagelo universal presenciarán la súbita reconversión de la agricultura tendiente a abastecer la insaciable demanda de energéticos que solicita una sociedad habituada a un uso irracional de los mismos, cualquiera que sea su origen, combustibles fósiles como los alternativos. La consecuencia no puede ser más que el encarecimiento de los alimentos y por ello el

agravamiento de la situación social de los países en vías de desarrollo. Sin perder de vista, que cada año se incorporan 76 millones de seres humanos a la población global, los cuales lógicamente, requerirán alimentos cuyo costo será cada vez más elevado y por ello estarán fuera del alcance de una gran parte de estas futuras generaciones (Boron, 2007).

En los últimos tiempos se han presentado ya los primeros casos de rivalidad entre la utilización de granos para producir agrocombustibles frente a su uso alimentario, ejemplo de esta problemática es el encarecimiento de la tortilla en México (Ballenilla, 2007). La reorientación de los sembradíos de maíz para su exportación hacia los Estados Unidos con el objetivo final de generar etanol produjo un excesivo aumento en el precio de este grano y por derivación de la tortilla, al ser su ingrediente primario, teniendo graves consecuencias sociales al ser una de las principales fuente de alimentación de la población mexicana (Boron, 2007).

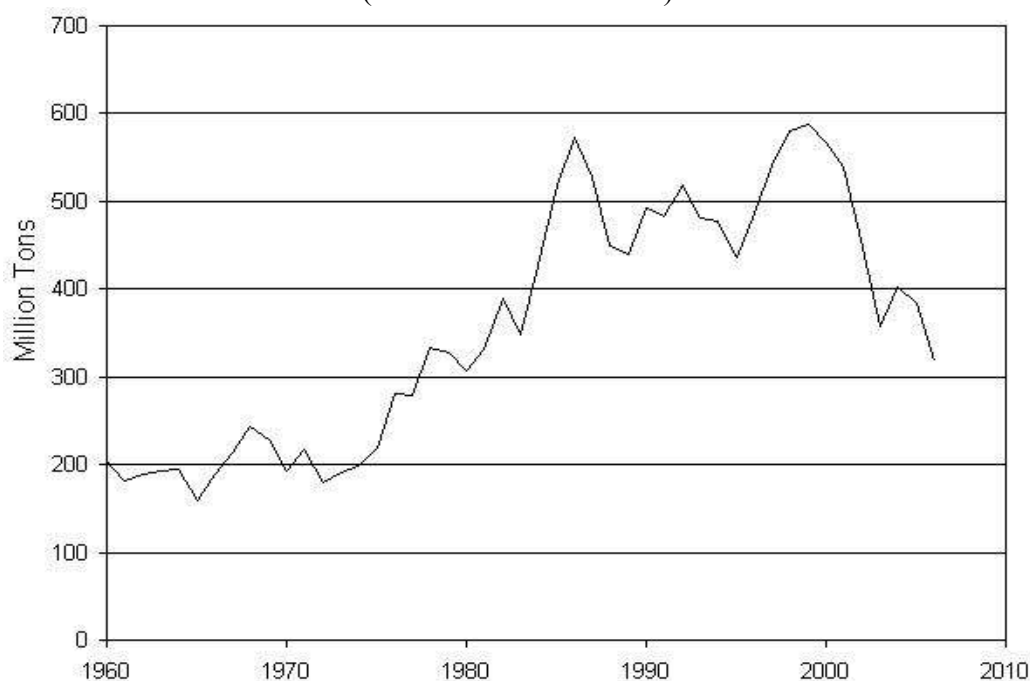
Otro caso es el de Malasia donde recientemente se ha presentado la competencia entre la elaboración de Aceite de Palma para biocombustible generando escasez de este producto para consumo humano. Ante un horizonte tan promisorio del desarrollo de biocombustibles, el gobierno malasio ha resuelto suspender el otorgamiento de permisos para construir nuevas centrales de producción de biodiésel en aquella nación, debido a que los requerimientos de aceite de palma de esta industria amenazan al mercado doméstico para el consumo de sus habitantes (Ballenilla, 2007).

En el corto plazo es muy factible que una rápida y fuerte expansión en la producción de biocarburantes a nivel internacional tenga repercusiones importantes en el sector agrícola mundial y de América Latina. Estas secuelas pueden presentarse como cambios en la demanda, variación en el nivel de exportaciones, inadecuada asignación de tierras para cultivos energéticos y no energéticos y finalmente en los precios de los productos. La bioenergía presenta tanto oportunidades como riesgos para la seguridad alimentaria. Sus consecuencias variarán dependiendo de la ubicación espacial y temporal, obedeciendo a la evolución de los mercados y de los progresos tecnológicos, componentes que a su vez serán influenciados por las decisiones políticas adoptadas a nivel nacional e internacional. Ya que

en este sector influyen en gran medida las políticas relacionadas con el medio ambiente, la agricultura, la energía y el comercio. Las políticas que se tomen en un ámbito pueden tener repercusiones en los resultados de otras esferas. Por ello es necesario disponer de un planteamiento analítico circunscriba los múltiples escenarios y requerimientos específicos para cada país. (Ballenilla, 2007).

El cambio súbito de la tendencia en el volumen de los excedentes de grano coincide justamente con la entrada en el mercado de los combustibles renovables. El incremento de la producción mundial en el último lustro no ha logrado sostener la tendencia ascendente de los excedentes de las tres décadas pasadas. Lo que es más, en este momento nos encontramos casi a la mitad del nivel mostrado a principios de la década (ver figura 4.4). Al tomar en cuenta toda la inversión que se destinara a la producción de biocombustibles con base en productos agrícolas durante los próximos años, que se refuerce esta propensión decreciente lo que traería el agotamiento de los excedentes mundiales de grano y un incremento en el precio internacional de los mismos muy por encima del actual (Ballenilla, 2007).

**Figura 4.4. Excedentes mundiales de grano 1960-2006.**  
(Millones de Toneladas)



Fuente: (Ballenilla, 2007)

En síntesis tenemos que tanto los informes elaborados por organismos internacionales como la O.N.U. y la F.A.O. y los trabajos de investigación realizados en las universidades de distintas partes del mundo aconsejan prudencia respecto a la evolución de la producción de los biocombustibles. Ya que, si se confirmara la hipótesis de un descontrol en la generación de granos para elaborar biocombustibles y los gobiernos no actúan en consecuencia, las consecuencias previsibles serían las siguientes (Sonnet, 2007):

- a) Acrecentamiento del hambre en el mundo, especialmente, en los países pobres y con economías que depende de su producción agrícola.
- b) Devastación de los ecosistemas con efectos irreparables sobre el medio ambiente, debido a la intensificación de monocultivos, adicionado al avance sobre tierras actualmente ocupadas con bosques y selvas. Este fenómeno está ocurriendo con el cultivo de caña azúcar, en las Islas Antillanas y en el Sureste Asiático con el uso de la palma para producir aceite destinado a las fábricas de biodiésel.
- c) Elevación del precio de los alimentos con la consecuente reducción del poder adquisitivo de los consumidores ubicados en los estratos de bajos ingresos. Esta manifestación ya se está vislumbrando con el aumento del precio del maíz en México y Colombia, por las exportaciones hacia los EEUU para la producción de etanol.
- d) Distribución más inequitativa del ingreso en los países pobres, mas aun en aquellos donde el nivel de vida de las personas está relacionado directamente con la producción agrícola destinada a alimentos.
- e) La intensificación de los monocultivos, en distintas regiones del mundo, está causando una pérdida de la biodiversidad, erosión y pérdida de fertilidad de los suelos, al mismo tiempo que se da filtración de nutrientes.
- f) La elaboración de biocombustibles, continuará estando condicionada al uso de combustibles fósiles, en las etapas del transporte y producción de agroquímicos.

Es por todo esto, y a pesar de que los biocombustibles deben ser parte de una estrategia para reducir las emisiones de los contaminantes generados por el transporte (en especial los GEI), que no puede permitirse la sustitución de campos agrícolas destinados al consumo

humano por los destinados a la generación de energía, en forma de biocarburantes. Debiéndose buscar otra manera del aprovechamiento de estas energías alternativas.

La dificultad radica en hacerle entender a quienes diseñan las políticas públicas y toman decisiones lo vital que resulta el apoyo a la investigación sobre el cambio climático. Con este fin es necesario contextualizar el fenómeno con datos duros que demuestren la severidad de la situación. México debe desarrollar tecnologías para aprovechar las energías alternas y los recursos del país, sin afectar la provisión de granos (Gay, 2009).

## **4.2 Materias primas recicladas para producir biocombustibles**

Para la mayoría de los países en vías de desarrollo, cuyos habitantes apenas y tienen acceso a la canasta básica, resulta ilógico destinar alimentos a la producción de bioenergéticos de primera generación. Para afrontar este hecho, la segunda y tercera generación de biocombustibles, tienen como objetivo la obtención de carburantes a partir de materiales que no sean parte de la cadena alimenticia (Martínez, 2009b).

Para optimizar la elaboración de biocombustibles, se necesita examinar las materias primas idóneas. Las cuales deben ser productos o subproductos orgánicos no comestibles, así como desechos reciclables, o que no forman parte de los cultivos básicos, que pueden obtenerse en la misma zona donde se va a producir el biodiésel o el etanol. Al mismo tiempo, se analizan los procesos sustentables. A nivel bioquímico se estudian las enzimas necesarias, los catalizadores más efectivos, y se busca la forma de optimizar el proceso de lavado, como parte de la síntesis de los combustibles biológicos (Pathiyamattom, 2008).

### **4.2.1 Biomasa lignocelulósica**

En distintas regiones del planeta se llevan a cabo gran cantidad de estudios para desarrollar la fabricación a gran escala de alcohol a partir de biomasa lignocelulósica. Las materias primas que más se han investigado son la madera, los residuos forestales, papel reciclado, residuos de la industria papelera, bagazo de caña, desechos agrícolas (hojas, ramas, hierba, frutas, paja, etc.) además de residuos sólidos urbanos (Ballenilla, 2007).

La barrera más importante en la producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica es el tratamiento previo e hidrólisis de la materia prima. El complejo lignocelulósico está compuesto principalmente de una matriz de carbohidratos compuesta de celulosa y lignina enlazada por cadenas de hemicelulosa. El pretratamiento tiene como finalidad desintegrar esta matriz de tal forma que la celulosa se reduzca a su grado de cristalización y aumente la celulosa amorfa, que es la más adecuada para el posterior embate de enzimas. Adjuntamente, la mayor parte de la hemicelulosa se hidroliza durante el tratamiento y la lignina se libera o puede incluso descomponerse (Ballenilla, 2007).

Para la siguiente etapa, la celulosa liberada es sometida a hidrólisis enzimática con células exógenas, lo cual facilita la obtención de una solución de azúcares fermentables que contiene principalmente glucosa, pero también pentosas, provenientes de la hidrólisis inicial de la hemicelulosa (Ballenilla, 2007).

Estos azúcares son posteriormente transformados en bioetanol mediante microorganismos, que pueden usar uno o varios de los azúcares expuestos, en el material lignocelulósico pretratado e hidrolizado (Ballenilla, 2007).

#### **4.2.2 La cáscara de la naranja y su pulpa**

A principios de la década de los noventa el científico investigador Karen Gorchmann concibió la idea de producir bioetanol a partir de los desechos de la naranja. Lo que se recicla para obtener este biocomburente es la cáscara de la naranja y su pulpa, los cuales contienen numerosas clases de azúcar, la más conocida la fructosa. Por el proceso de fermentación de dichos azúcares (aprovechando un hongo microscópico llamado levadura) se logra obtener etanol. Las compañías que se dedican a la elaboración de productos a base de jugo de naranja generan millones de dólares al año en desperdicios de productos cítricos. Esos residuos se secan, se prensan y se comercializan como alimento para animales a un precio muy bajo. Gorchmann sabía que agregando levadura en los desechos podría transformar los azúcares presentes obteniendo así etanol, pero dicho hongo no logra completar la conversión en un 100%, pero al incluir una bacteria controlada en laboratorio



consiguió extraer el máximo posible de esos residuos. Lo atractivo de esta propuesta, contrala de maíz y la caña de azúcar que son utilizados íntegramente para la producción del bioetanol, es que en el caso de las naranjas se utilizan sus sobrantes, es decir, una vez que se ha extraído lo necesario para el consumo humano el resto se aprovecha para la elaboración de este biocombustible<sup>2</sup>. El uso en los vehículos automotor de este combustible biológico, obtenido a partir de la pulpa y la corteza de naranja, puede reducir un 90% las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto a la gasolina<sup>3</sup>

Hoy por hoy existe una experiencia positiva en la planta de bioetanol de California en los Estados Unidos que debido a su gran producción de naranjas, ha permitido generar cerca de 80 litros de bioetanol por cada tonelada de cáscaras y pulpa de naranja. Con esta referencia, el Gobierno de Valencia en España, estudia cómo trasladar a su territorio este modelo californiano de manufactura de bioetanol a partir de los desperdicios de las naranjas. Teniendo en cuenta que la Comunidad Valenciana produce 240,000 ton/año de este tipo de residuos, y hay previsiones de elevarlas a 500,000 ton/año, hay un potencial para elaborar más de 37 millones de litros, lo que supondría el 16% de la producción española de biocombustible. El impulso de comburentes con base en naranjas no sólo tendría efectos ambientales positivos, sino que daría una salida económica a este sector agrícola, ya que existe un excedente de producción de 4 millones de ton/año de este producto, al mismo tiempo que podría dinamizar la industria automovilística local<sup>4</sup>.

#### 4.2.3 Plátano de Rechazo y cáscara de plátano

En Urabá Colombia, el plátano destinado a la exportación, se somete a un proceso de control de calidad intensivo, para que arribe a su destino en el estado de madurez adecuado y libre de manchas, suciedades y cicatrices de maltrato. De acuerdo con la razón de rechazo, la fruta se clasifica en boleja, rechazo en empacadora y rechazo en puerto (Afanador, 2005).

---

<sup>2</sup> <http://www.gasolina.com/article.php?story=20070306133856364>, consultada el 27 de junio de 2007

<sup>3</sup> <http://www.biodieselpain.com/2007/02/13/desechos-de-naranja-a-fabricar-biocombustible-zumosoil/>, consultada el 30 de junio de 2007

<sup>4</sup> <http://www.frenaclcambioclimatico.org/blog/?p=218>, consultada el 30 de junio de 2007

Cuando no se cumplen las expectativas de demanda de plátano de exportación en el lapso determinado, el tiempo de corte de los racimos se sobrepasa y no permite que se puedan ser usados para envíos futuros. Este producto queda disponible en los campos y se le denomina boleja, la cual se estima entre un 5% a un 10% del total anual de la producción de exportación (Afanador, 2005).

En la etapa de selección y empaque, se presentan devoluciones en los procedimientos de desgaje y desmane. En el primero se examinan el tamaño de la fruta, y en el segundo, el aspecto de la cáscara. De este modo, el rechazo durante el empaquete deriva de los requerimientos de calidad convenidos por las comercializadoras de plátano. Este rechazo se calcula entre un 15% y un 20% de las exportaciones anuales (Afanador, 2005).

En las terminales portuarias, previamente al embarque de la fruta, se efectúa un último control de calidad, para rechazar el producto que pudo maltratarse al momento de ser transportado desde los campos de cultivo hasta la terminal. Este desecho en el puerto es mínimo y se considera de un 2% del total anual de la producción de exportación (Afanador, 2005).

El almidón contenido en el plátano, lo hace materia prima de uso inmediato en procesos alimenticios, dulces naturales, detergentes, papel, alimentación animal y de uso consecuente para la elaboración de etanol como energía renovable (Monsalve, 2006).

Es por este alto contenido de almidón, así como de celulosa, por lo que el plátano verde es considerado como una materia prima potencial para la industria del bioetanol. Se han realizado diversas investigaciones sobre la transformación con hidrólisis de diversas fuentes vegetales donde se estudian las condiciones de sustrato, enzima y tiempo para obtener altas conversiones. La hidrólisis ácida de la cáscara de plátano es una posible alternativa para la preparación de jarabe azucarado y su posterior fermentación hasta alcohol. El proceso habitual de manufactura de alcohol a partir de almidones y celulosa contempla procesos químicos o biológicos para su conversión a jarabes azucarados, que una vez acondicionados se someten a la acción de levaduras que efectúan la fermentación hasta derivar en alcohol.

El etanol que resulta es una mezcla de alcohol y agua, estado que impide su utilización directa en motores de combustión, dado que en esas condiciones no puede ser mezclado con la gasolina; por lo tanto, esta mezcla se lleva a procesos de destilación y deshidratación hasta obtener alcohol anhidro, también denominado alcohol combustible (Afanador, 2005; Monsalve, 2006).

La cáscara de plátano está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, su composición varía dependiendo del origen del material. Este constituyente externo del plátano es una fuente abundante de material celulósico y representa alrededor del 40% del peso de la fruta. Este subproducto posee un contenido de almidón, celulosa y hemicelulosa que representan más del 80 % del mismo, por lo cual amerita a ser contemplado como fuente de energía. Al hidrolizar la cáscara de plátano se obtiene un jarabe de 20g/l como máxima concentración el cual está listo para ser fermentado (Monsalve, 2006).

En Colombia, como ya lo señalamos, el plátano es producido principalmente en Antioquia en la zona de Urabá y se rechazan en promedio el 25 % de la producción anual, es decir aproximadamente 200,000 ton/año, convirtiéndose en un problema de contaminación ambiental en las regiones de producción (Monsalve, 2006). Como resultado de su uso dentro del sistema de fabricación de bioetanol, se tiene un beneficio reforzado de reducción de contaminantes, primeramente por la disminución de desechos y después por la menor emisión de gases nocivos en el proceso de combustión.

#### **4.2.4 Desperdicios del café**

Científicos colombianos presentaron un proyecto de investigación para el desarrollo de biocombustibles que se obtienen a partir de los desperdicios del café y otras plantas. En el marco de la Agroexpo 2007 efectuada en Bogotá, especialistas del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) manifestaron que realizaban sus indagaciones por separado; pero debido a las aproximaciones en sus proyectos decidieron trabajar conjuntamente (Ulloa, 2007).

A la fecha se debe haber completado la investigación, así como con las pruebas tanto de las mejores plantas para generar los biocombustibles, como de los efectos de cada una en los motores, ya que el proyecto estaba proyectado para concluir en tres años. De acuerdo con uno de los investigadores, a partir del bagazo<sup>5</sup>, con 100 hectáreas de café se pueden producir hasta mil quinientos litros de bioetanol diarios (Ulloa, 2007).

En coincidencia con estos resultados la Federación de cafeteros de Colombia, por intermediación de su centro de investigaciones, concluyo de igual forma que la pulpa del grano de café tiene suficiente azúcar como para convertirse en materia prima para la producción de Biocombustibles.

Dicha Federación concebía que durante el transcurso del año pasado se tuvieran las primeras procesadoras para la elaboración del biocarburante. Ya que los niveles de azúcar son equiparables a los contenidos por el maíz, pero con la ventaja añadida que la pulpa del café es un desecho que hasta ahora solo se utiliza como abono orgánico. Es importante subrayar que para este proyecto en Colombia o en otros países cafetaleros no habría que sembrar más café, solo darle uso a este subproducto<sup>6</sup>.

#### **4.2.5 Piñón de tempate (*Jatropha Curcas*)**

El piñón, piñoncillo o pistache mexicano (denominación que se le da en Morelos) es un pequeño arbusto que puede ser cultivado en múltiples tipos de terreno, por muy estéril que sea. Puede ser irrigado con aguas residuales y tiene la enorme ventaja de no ocupar terrenos de cultivo. La *Jatropha Curcas*, nativa de México y Centroamérica, pertenece a la familia de las Euphorbiaceae y es abundantemente cultivada en Centro América, África y Asia (Fuentes, 2007; Martínez, 2007; Masera ,2009b).

---

<sup>5</sup> Al momento extraer el grano, que es la que se procesa para la bebida, luego de la recolección en las despulpadoras de café queda un sobrante, la cáscara rojiza que lo envuelve, que los campesinos usualmente descartan, esto es lo que se denomina bagazo o pulpa (Ulloa, 2007).

<sup>6</sup> <http://www.ecologicosi.com/bioetanol-pulpa-cafe/13.html>, consultada el 12 de septiembre de 2007

En nuestro país, la *Jatropha Curcas* se encuentra en forma silvestre en varios estados de la república, como Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Sinaloa, Sonora, Puebla, Hidalgo y Morelos, aunque sólo es utilizada de manera tradicional por los pobladores de la región de Papantla, Veracruz y Puebla en la preparación de diferentes platillos como tamales, pollo en pipían (combinándolo con semillas de calabaza y ajonjolí), con huevo o simplemente tostada en comal (Martínez, 2007).

Esta planta es resistente a la sequía y se desarrolla en suelos pobres y arenosos, tanto en climas tropicales como semitropicales, en altitudes que abarcan desde los 0 a los 1600 msnm, su uso común es como cerca natural, y con el propósito de reforestar zonas erosionadas. El rendimiento de semilla reportado para la *Jatropha* va desde 0.5 hasta 12 toneladas anuales por hectárea, en relación directa del tipo de suelo, fertilización y condiciones de riego. Es así que en excelentes tierras y precipitaciones de 900-1200 mm, puede esperarse un promedio anual de producción de semilla de alrededor de 5 ton/ha. Este pequeño arbusto tiene un amplio periodo productivo de más de 40 años, enfatizándose que desde el primer año (9 a 10 meses) se obtiene semilla (Martínez, 2007).

Entre los múltiples beneficios de este piñón, sobresale el control de la erosión de superficies muy áridas, puede emplearse como fertilizante y/o pesticida natural, así como repelente para roedores, al natural tiene propiedades anti-inflamatorias, puede usarse como sumidero de CO<sub>2</sub>, también sirve como un muy resistente tinte de ropa (no destiñe durante 25 lavados como mínimo) y la toxicidad de la planta acaba con el ciclo reproductivo de unos pequeños gusanos causantes de la Schistosomiasis, segunda enfermedad más temible en África tras la Malaria. La industria farmacéutica se encuentra investigando algunas de estas propiedades para desarrollar diversos medicamentos. En último lugar podemos mencionar que es una fuente perfecta para la producción de biodiésel, tanto a partir de las semillas, como de las cápsulas que las contienen y como de sus cascaras (Fuentes, 2007).

Para la fabricación de biodiésel, el proceso se puede llevar a cabo tanto a pequeña como a gran escala. Los pequeños productores pueden usar las semillas directamente, aunque las grandes compañías podrían usufructuar un poco mejor la planta al poder pelar las semillas y

extraer su núcleo, del cual se puede sacar un 58% de aceite para luego procesarlo y convertirlo en biocombustible, sin dejar de extraer aceite de las cáscaras y las pieles. Unas 6.5 toneladas de semillas equivaldrían alrededor de 3266 litros de petróleo (Fuentes, 2007).

Las ventajas del biodiésel generado a partir de este arbusto es que, en contraste con los aceites minerales, no contiene ni fósforo ni sulfuros y es un poco más eficiente, ya que envuelve más moléculas de oxígeno que mejoran la combustión, inclusive a grandes alturas donde la concentración de oxígeno es limitada, una muestra de esto se dio en una de las carreteras más elevadas en todo el planeta, a más de 5500 metros de altitud en el Himalaya, en la cual un vehículo propulsado con combustible 100% proveniente de *Jatropha Curcas* recorrió 6000 kms sin un solo problema (Fuentes, 2007).

A manera de ejemplo tenemos el proyecto que para desarrollar cultivos experimentales de especies con potencial para la generación de biocombustibles, establecieron los centros de Investigación en Energía (CIE) y de Ciencias Genómicas (CCG) de la UNAM, con la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (Sedagro) de Morelos.

Dicho proyecto va orientado a ofrecer fuentes alternativas de energía para el futuro, sustentables, menos contaminantes, renovables y que incorporen el desarrollo económico. Con ese propósito, los esfuerzos destinados a un mayor crecimiento, esgrimiendo como base el conocimiento son fundamentales y deben aportar efectos positivos sobre la población (Arámburo, 2009).

El gobierno de Morelos ha facilitado, en calidad de préstamo, 13 mil metros cuadrados de terreno cultivable en el campo denominado El Llano, en el municipio de Miacatlán. La UNAM contribuye con infraestructura y recursos para realizar la investigación. En la primera etapa del proyecto, se cultiva *Jatropha Curca* para la elaboración de biodiésel; ya se cuenta con el diseño experimental en laboratorio y vivero (Arámburo, 2009).

Para reforzar este esfuerzo, se encuentra la Plataforma de Capacitación en Sistemas de Plantaciones Energéticas y Agroforestales para Zonas Áridas y Semiáridas en África

(Compete, por sus siglas en inglés), la cual es una red financiada por la Unión Europea, en la que participan institutos de investigación de África, Europa y Latinoamérica, entre los que figura la UNAM. Lo más relevante de esta comunidad, que presenta modelos sustentables de energéticos limpios, es el intercambio de conocimientos para el uso de combustibles no fósiles, principalmente en zonas áridas y semiáridas. En donde sobresale México, por contar con grandes extensiones desérticas o de vegetación de temporal, convirtiéndolo en un país viable para este tipo de iniciativas, más aun si lo que se cultivara fuera este arbusto (Masera, 2009b).

#### **4.2.6 Granos de Mostaza**

En Argentina un grupo de investigadores, afanado por encontrar combustibles alternativos, habría hallado en la mostaza un uso diferente a la elaboración de la salsa que se hace de esta semilla, como una fuente de energía renovable que no perjudica a la producción tradicional de granos (Rizzi, 2009).

Este país sudamericano es el mayor exportador a nivel mundial de aceite de soja y su producción de biodiésel, manufacturado principalmente con base en el derivado de la oleaginosa, muestra una tendencia a la alza en los últimos años en concordancia a las fuertes inversiones realizadas en este lapso. Las exportaciones de biodiésel de Argentina sumaron 786 millones de dólares de enero a noviembre de 2008, un fuerte acrecentamiento respecto a los 78 millones conseguidos en el mismo período solo un año atrás (Rizzi, 2009).

El hecho de que se destine una superficie muy buena para cultivar agroenergéticos en lugar de alimentos va en menoscabo de las necesidades futuras de la población mundial. Por ello la idea es producir energía en zonas marginales. Los investigadores de la Universidad de Buenos Aires (UBA) subrayan que ciertas variedades de mostaza resisten naturalmente el clima hostil y podrían ser sembradas en zonas agrícolas desfavorecidas, sin perturbar a la producción de granos de esta nación (Rizzi, 2009).

No obstante, que la demanda externa del biocarburante podría descender en el corto plazo por la caída que sufrió el precio del petróleo en los últimos meses, y por la supresión de las

facilidades para importarlo que brindaban los Estados Unidos, un aumento previsto para la demanda interna mantendría estimulanda su producción (Rizzi, 2009).

Una ley suscrita en 2006 estipula que a partir del año 2010 el gasoil comercializado en Argentina tendrá que combinarse con un 5 % de biodiésel, lo que origina un incremento a nivel nacional de su elaboración para proveer al mercado doméstico, que hoy por hoy prácticamente no consume el biocombustible (Rizzi, 2009).

De resultar exitosa la investigación que la UBA lleva a cabo desde hace tres años en acuerdo con el Instituto de Agricultura Sostenible de España, a partir del año 2011 la elaboración de biodiésel a partir de mostaza sería una realidad en Argentina. El cultivo de este grano ya se manifestó competente para su uso en regiones de muy escasa humedad o de temperaturas excesivamente altas o bajas, aunque el estudio aún se encuentra en una etapa experimental (Rizzi, 2009).

#### **4.2.7 Algas**

La tercera generación de bioenergéticos toma un curso distinto y le apuesta a modificar el proceso biológico de algas para obtener combustibles. Esta familia vegetal es diversa y las variantes más conocidas son las macroalgas marinas; no obstante, también existen las llamadas microalgas, organismos unicelulares microscópicos que viven de manera independiente (Martínez, 2009b).

Las algas se forman de organismos acuáticos que aprisionan la luz solar y el CO<sub>2</sub> para efectuar la fotosíntesis y así autoabastecerse de energía, conjuntamente producen aceites vegetales que se pueden transformar en biodiésel. Estos vegetales, como cualquier organismo vivo, almacenan ciertos compuestos según su entorno y alimentación. Justamente, si éstas son cultivadas en un fotobiorreactor, donde son privadas de algún nutriente y sólo disponen de CO<sub>2</sub>, se consiguen grandes cantidades de lípidos. Recientemente se viene considerando el cultivo de algas microscópicas como una opción de gran potencial para producción de carburantes líquidos para el transporte, ya que aunado a



La reducción de las emisiones de GEI, presentan una productividad muy elevada. La ventaja de las microalgas es que, al ser unicelulares, maduran más rápido y se duplican en un solo día, lo que contrasta con el resto del reino vegetal, ya que la caña de azúcar, pese a ser una de las plantas con mas alto rendimiento de sacarosa, está limitada a una cosecha por año (González, 2008; Martínez, 2009b).

La productividad en la elaboración de biodiésel con algas es unas 300 veces superior al que se alcanza con soja y unas 25 veces al que se consigue con palma. A esto hay que agregar el ínfimo lapso de crecimiento que necesitan las algas, el cual es solo de unos pocos días lo que contrasta con el amplio periodo de crecimiento de los cultivos de oleaginosas. Cuando se comparan el rendimiento, en volumen de aceite elaborados por área de cultivada, las algas alcanzan producciones de 10,000 a 20,000 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, que es mucho mayor que el conseguido por la soja con 40 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, la colza con 120 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> ó la palma con 600 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> (González, 2008).

En contraste con el caso de la soja u otros cultivos utilizados en la producción de biocombustibles, las algas no necesitan extensos terrenos de cultivo ya que tienen la facilidad de crecer en prácticamente cualquier espacio cerrado, es por ello que podrían establecerse depósitos en cualquier ubicación, su cultivo industrializado en grandes bioreactores resulta hasta cierto punto sencillo. Lo que la convierte en una fuente perdurable e ilimitada de producción de energía, y no contaminante porque no moviliza carbono fósil, sino que utiliza el exceso de CO<sub>2</sub>. Es un hecho, que no existen otros captadores de radiación solar más eficaces que estos organismos fotosintéticos (González, 2008).

Además, en un futuro los avances de la biotecnología posibilitaran la confección de algas con productividades por km<sup>2</sup> por encima de las que se obtienen hoy en día, sumadas a una expansión en la manufactura de los cultivos concentrados y la supresión de potenciales pérdidas causadas por alteraciones y plagas en los cultivos. Todo este conjunto de factores, hacen que el biodiésel obtenido a partir de algas sea una fuente de energía renovable, atractiva y con grandes ventajas comparativas (González, 2008).

El Instituto de Biotecnología (IBt) de la UNAM, a través de la modificación molecular de algas y bacterias, ha desarrollado un método que serviría para generar etanol, biodiésel, plásticos biodegradables y, en el futuro, biopetróleo. Las algas son particularmente promisorias para alcanzar este objetivo, pues no sólo son aptas para generar aceite conveniente para el biodiésel, sino que, al alterarse molecularmente, podrían producir petróleo renovable, ya que no sólo acumulan lípidos, sino también alcanos y alquenos, compuestos presentes en el petróleo, por lo que es factible obtener biomasa y transformarla en biopetróleo. Conjuntamente existe otra opción que se analiza en el IBt, la cual consiste en la modificación genética de bacterias para que se capaces de originar también dichas sustancias (Martínez, 2009b).

#### **4.2.8 Materias primas de alta acidez: aceites comestibles usados**

Según Dalla (2005:5-6) *“La producción de biodiésel a partir de materias primas de alta acidez, es factible técnica y económicamente. La combinación de catálisis ácida y básica permite aprovechar materiales de bajo valor con alto rendimiento.”*

Entre las materias primas de alta acidez se encuentran la grasa vacuna de alta acidez, el aceite de coco, la grasa marrón, así como el aceite usado de cocina.

La obtención de biodiésel usando este tipo de materiales de alta acidez, y por tanto de menor costo, requiere el perfeccionamiento de un proceso con dos pasos de catálisis, una catalizada por ácidos, y otra por álcalis. La acidez de estos productos viene dada por ácidos grasos libres, que en presencia de una base y agua se transforman en jabones. Por este motivo, este tipo de materia prima no puede ser reaccionada en la forma clásica (catálisis alcalina) con altos rendimientos. El manejo de aceites usados de cocina muestra como ventaja el hecho de obtener un beneficio de un residuo (Dalla, 2003).

Un inconveniente ambiental poco investigado, pero no menos relevante por ello, es el vinculado a la disposición final de los aceites comestibles usados en áreas urbanas. En el caso menos adverso, ellos son volcados de forma directa en el drenaje de la ciudad, incrementando en último lugar la contaminación del total de los cursos de agua. En el caso más severo, son reutilizados para proveer a mercados informales y formales de comida en zonas populares, constituyendo una grave afectación para la salud de las personas que consumen dichos alimentos preparados con estos aceites quemados y finalmente también son vertidos en el desagüe (Castro, 2007).

El aceite de fritura usado es una de las alternativas con mayores perspectivas en la elaboración de biodiésel, ya que es la materia prima más barata, y con su uso se evitan los costos de tratamiento como residuo. Por su parte, los aceites quemados, en general, presentan un bajo nivel de reutilización, por lo que no sufren grandes alteraciones y muestran una buena capacidad para su aprovechamiento como biocomburente (García, 2006).

El aceite usado origina grandes dificultades al depurar el agua, por ello al eliminar este residuo en el proceso de elaboración de biodiésel se obtiene un doble rendimiento; sin embargo, su recolección es problemática. El uso y manejo de este material de alta acidez presenta dificultades logísticas, no sólo por su captación, sino además por su control y trazabilidad<sup>7</sup> debido a su carácter de residuo (García, 2006).

Una vez superados las dificultades de logística deberá haber establecerse un amplio aprovechamiento del aceite usado procedente de restaurantes y puestos ambulantes, comedores de hospitales, empresas e instituciones educativas, y también, poco a poco, de nuestras residencias, para la producción de biodiésel.

Un resultado tangible es la investigación realizada por la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) e Intermediate Technology Development Group (ITDG) en Lima Perú,

---

<sup>7</sup> Trazabilidad de acuerdo con DOUE (2002:8) es: “La posibilidad de encontrar y seguir el rastro, a través de todas las etapas de producción, transformación y distribución, de un alimento, un pienso, un animal destinado a la producción de alimentos o una sustancia destinados a ser incorporados en alimentos o piensos o con probabilidad de serlo.”

los cuales han implementado un sistema piloto de producción y uso de biodiésel en la universidad, reutilizando los aceites quemados que ocasiona el comedor universitario para suministrar a uno de los autobuses de transporte de alumnos con una mezcla de 20% de biodiésel y 80% de diésel tradicional (mezcla denominada B20). Este proyecto incluye la recolección del aceite, purificación y transformación en biodiésel y la provisión de un autobús de la flota universitaria, mediante un surtidor especial instalado en el área de Servicios Generales de la UNALM. El proceso de transesterificación se efectúa en un reactor experimental diseñado y construido por el equipo técnico del proyecto (Castro, 2007).

Otro caso exitoso es la iniciativa un tanto sorprendente de la compañía Stagecoach, que es uno de los mayores operadores de líneas de autobús del Reino Unido. La cual ha emprendido la reducción del precio del pasaje a aquellos usuarios que entreguen aceite usado de cocina a la compañía. Este aceite servirá para elaborar el carburante para la flota de autobuses que impulsa por medio de biodiésel. La organización subraya que es una oportunidad para que sus clientes sean participes de la reducción de contaminantes, reciclando así aceite usado de cocina que de otra forma se tiraría sin más, y de paso obtener un menor costo por el pasaje.

Para empezar, todos los domicilios por los que pasa la línea de Stewarton a Darvel, en Escocia, con unos 15,500 pasajeros por semana, se le entregara un contenedor especial para el aceite quemado. Una vez lleno, los interesados lo tendrán que llevar a una planta de reciclaje, dónde será intercambiado por los vales de descuento del pasaje. En la planta de reciclaje se transformara el aceite para que los autobuses lo puedan emplear y evitar así el uso de otros productos alimentarios para la producción de biocombustibles<sup>8</sup>.

Los “*biobuses*” usan dos tanques de combustible. Uno con 184 litros de capacidad para biodiésel, y otro de 40 litros para gasoil convencional. Al poner en marcha el motor a principio de la jornada, los autobuses se calientan usando el combustible tradicional durante 10 minutos, y cuando el motor alcanza la temperatura adecuada, el sistema cambia de

---

<sup>8</sup> <http://www.biodieselpain.com/2007/11/14/billetes-mas-baratos-a-cambio-de-aceite-reciclado/>, consultada el 8 de marzo de 2008

forma automática a suministrarse de biodiésel. Mediante esta innovadora propuesta, se estima un ahorro potencial de 960 ton/año de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera.

Otro ejemplo, es de los resultados obtenidos por los investigadores de Biotecnología de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Este equipo de científicos logró transformar los desperdicios de algunos restaurantes de la localidad en biodiésel. Para estos negocios, el manejo de residuos presenta una gran dificultad porque son altamente contaminantes, especialmente el aceite quemado en donde se cocinan los alimentos<sup>9</sup>.

Para el desarrollo del estudio se estableció un acuerdo con una cadena de restaurantes especializada en la comercialización de papas y pollo frito. Se utilizaron parte de sus desechos para realizar las pruebas de laboratorio. Tras varios ensayos, consiguieron producir un prototipo de biodiésel que prácticamente no tiene contaminantes<sup>10</sup>.

Asimismo se tiene el caso del la Municipalidad de Chajarí en Argentina que con el fin de producir biodiésel, inició los trabajos de construcción de la fábrica en el predio de la planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos. De acuerdo a los plazos, la municipalidad estimaba la puesta en marcha de la producción el 5 de junio de 2008, para que coincidiera con la instauración de la 1º Mesa Ambiental de Entre Ríos, que se llevo a cabo en dicha comunidad.

Se tiene considerado que un principio la planta genere entre 1,300 a 1,600 litros de este biocombustible, los cuales en un principio abastecerían a los vehículos concernidos a la Dirección de Servicios Públicos, entre ellos los abocados al riego y recolección de residuos urbanos, entre otros. La materia prima se originaría del reciclado de aceites vegetales usados, que serán procesados para así obtener el biocombustible. Dentro del proyecto se tiene contemplada una campaña de información y adhesión al sistema de los habitantes de la comunidad para que estos también puedan colaborar con la entrega de aceites usados<sup>11</sup>.

---

<sup>9</sup> [http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id\\_sec=45&id\\_art=3120&id\\_ejemplar=0](http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=45&id_art=3120&id_ejemplar=0), consultada el 11 de marzo de 2008

<sup>10</sup> <http://www.eluniversal.com.mx/articulos/35642.html>, consultada el 11 de marzo de 2008

<sup>11</sup> <http://www.solenerg.com/2008/05/09/en-chajari-haran-biodiesel-con-aceite-comestible/>, consultada el 28 de noviembre de 2008

También en esta nación Suramericana se suma otro esfuerzo en lo que respecta a esta problemática. Los aceites vegetales quemados que hasta ahora se vertían a los lagos de la cordillera comenzaron a ser recolectados por una empresa de la provincia de Buenos Aires que los utiliza para obtener biodiésel. Esta iniciativa ha logrado la incorporación de un centenar de empresas de esta urbe y se extenderá a Villa La Angostura, Junín y San Martín de los Andes y Zapala. Con lo cual, se recogerán unos 15,000 litros mensualmente de este material de alta acidez y se evitará que contaminen los afluentes de la región.

Al mismo tiempo que se disminuyen los efectos contaminantes también se obtiene un beneficio económico, ya que el biodiésel que fabrican se comercializa un 20% más barato que el gasoil.

Esta iniciativa demandó esfuerzo y colaboración de los dueños de restaurantes, hoteles y rotiserías y de la empresa Industria Meridiano Ecología, propietaria de una planta de biodiésel ubicada en Darregueira cerca de Buenos Aires. Esta industria tiene una capacidad para fabricar 100,000 litros de comburente por mes, para lo cual recolecta aceites vegetales ya usados en varias ciudades de Argentina, entre ellas están Rosario, Córdoba, Buenos Aires y Neuquén. La compañía acude a los grandes generadores de aceite quemado, a los cuales les otorgan recipientes especializados de 25 litros que se retiran aproximadamente cada dos semanas. Estos depósitos frecuentemente se trasladan a Neuquén y desde allí, junto a lo recolectado en el Alto Valle, en camión tanque a Buenos Aires<sup>12</sup>.

De acuerdo a participantes de esta iniciativa se prevé, que en un futuro no muy lejano, se impedirá a los principales causantes de estos residuos arrojarlos a los sistemas de drenaje. Ya que al mismo tiempo que contaminan los mantos acuíferos, en época invernal favorece la obstrucción de las cañerías. Así como se ha logrado el establecimiento de plantas depuradoras, de recolección de residuos patógenos y otros desechos contaminantes, en un futuro no lejano cada jurisdicción reglamentará la prohibición de volcar a las cloacas grandes volúmenes de aceite.

---

<sup>12</sup> <http://www.rionegro.com.ar/arch200502/22/e22d02.php>, consultada el 28 de noviembre de 2008

Por otro lado tenemos el proyecto Biodiésel Antigua Guatemala. La Municipalidad de La Antigua Guatemala y la Embajada de Suiza en este país, firmaron un convenio en el mes de abril de 2007, con la finalidad de implementar un proceso de energía renovable en esta Ciudad Colonial, tomando como base a la Municipalidad de La Antigua Guatemala y al Hospital de Obras Sociales del Hermano Pedro. Estas instituciones se emplean para instituir un Modelo Nacional e Internacional en el cual dos organismos con diligencias diferentes hacen uso del biocombustible.

El objetivo fundamental del proyecto es inculcar a restaurantes, hoteles y a ciudadanos en general de La Antigua Guatemala y la Ciudad Capital, en una cultura de reciclaje de aceite quemado para su reconversión a Biodiésel. El proyecto cuenta con el apoyo de 137 restaurantes y hoteles de la región de estudio, los cuales se reciclan los residuos originados en la preparación de frituras. Este esfuerzo presenta una recolección promedio de 450 galones de aceite por semana, lo cual se traduce en un volumen de la misma magnitud que no es vertido en ríos, lagos y en el mar, así como en las aguas subterráneas<sup>13</sup>.

Para facilitar este tipo de propuestas se tiene la tecnología que ofrece la empresa valenciano-argentina, International Bioenergy Systems (IBS), que ha desarrollado unas equipos para producir biodiésel a partir de cualquier tipo de aceite o grasas de baja calidad. Sustentando en la primicia, *“lo que para unos es un residuo, para otros es fuente de energía”*, teniendo en cuenta que IBS tiene una doble vertiente, como fabricantes de biodiésel, así como de gestores de residuos<sup>14</sup>.

Amanera de reflexión se tiene que estas fuentes de energía renovable disminuyen la contaminación y son una magnífica oportunidad para iniciar procesos de desarrollo sustentable a nivel regional con beneficios internacionales. El desarrollo para éste tipo de proyectos debe estar cimentado en el mejoramiento de la situación del medioambiente y por ello de los recursos naturales, así como contemplar un beneficio económico y por ende un avance en la calidad de vida de la sociedad en su conjunto.

---

<sup>13</sup> <http://www.biopersa.com/proyectos/biodiesel>, consultada el 1 de diciembre de 2008

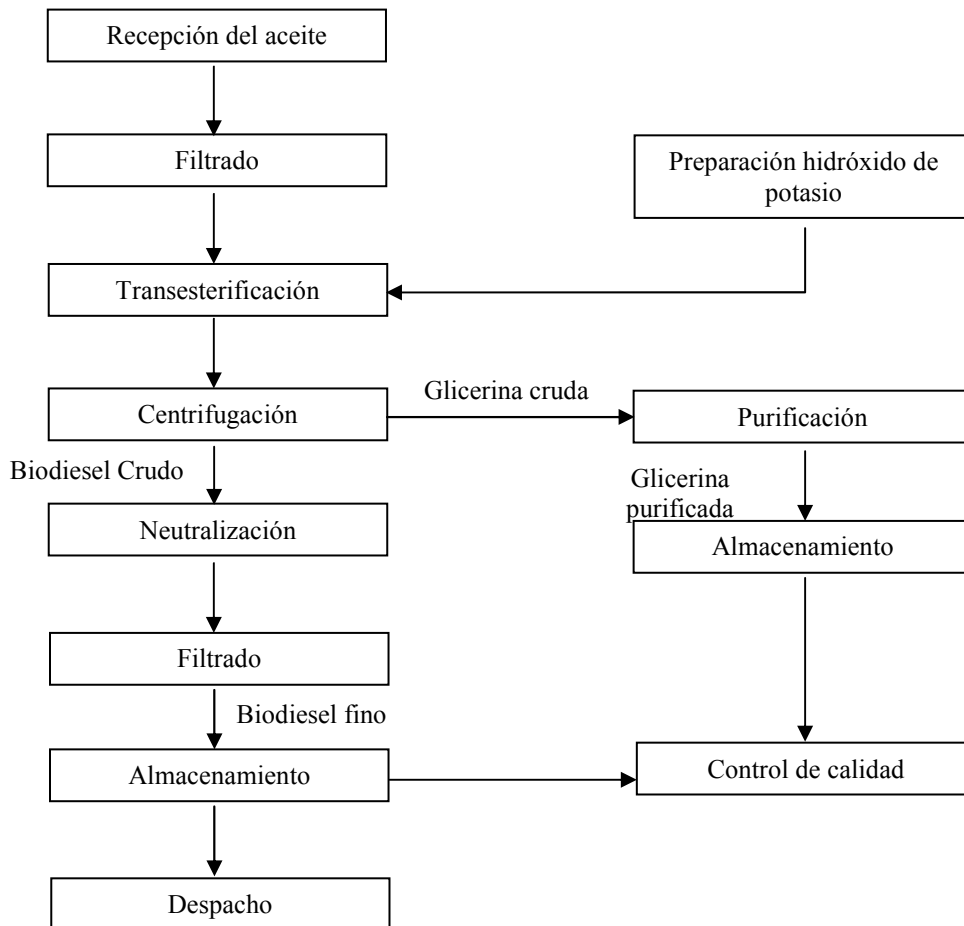
<sup>14</sup> <http://blog.accabogados.com/2006/09/11/ibs-produce-biodiesel-a-partir-del-reciclaje-de-aceites-usados/>, consultada el 14 de marzo de 2008

#### 4.2.8.1 Proyecto Tekmash

Sumado a estos esfuerzos se encuentra el emprendido por Ing. Ricardo Adolfo Martínez García, en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), el cual está tratando de establecer un programa de recolección de aceite quemado del comedor central y del campestre, con un estimado de 320 litros por mes, los cuales pueden ser transformados en 307 litros de biodiésel, ya que el proceso de cavitación empleado tiene una eficiencia del 96%. Al mismo tiempo ha desarrollado un análisis de la factibilidad económica de una planta de biodiésel cuya materia prima principal es aceite quemado.

En la siguiente figura se describe de manera esquemática el proceso de producción del biocombustible con base en la tecnología Tekmash.

**Figura 4.4. Diagrama de bloques del proceso de obtención de biodiesel**



Fuentes: (Martínez, 2008)



**Cuadro 4.2 Ingresos y egresos del Proyecto**

CALENDARIO DE INGRESOS						
Biodiesel		\$12,635,050.00	\$29,354,100.00	\$31,115,346.00	\$32,982,266.76	\$34,961,202.77
Glicerina		\$540,000.00	\$1,080,000.00	\$1,144,800.00	\$1,213,488.00	\$1,286,297.28
<b>INGRESOS TOTALES (IT)</b>		<b>\$13,175,050.00</b>	<b>\$30,434,100.00</b>	<b>\$32,260,146.00</b>	<b>\$34,195,754.76</b>	<b>\$36,247,500.05</b>
CALENDARIO DE EGRESOS						
INVERSIÓN FIJA						
Tanque almacenamiento aceite	\$112,962.00					
Tanque almacenamiento biodiesel	\$56,681.09					
Tanque almacenamiento glicerina	\$56,681.09					
Bomba filtro biodiesel	\$11,782.00					
Bomba filtro aceite	\$11,782.00					
Licuada industrial	\$25,580.00					
Bombas de circulación	\$8,250.00					
Centrífuga de separación	\$250,000.00					
Reactor de neutralización	\$120,000.00					
Bombas de despacho	\$48,950.00					
Camioneta pick up	\$140,000.00					
Equipo de computo	\$9,000.00					
Equipo de oficina	\$15,000.00					
Instalación eléctrica	\$80,000.00					
Instalación hidráulica y sanitaria	\$20,000.00					
Obra civil	\$1,500,000.00					
Terreno	\$350,000.00					
<b>TOTAL DE INVERSIÓN FIJA</b>	<b>\$2,816,668</b>					
INVERSIÓN DIFERIDA						
contrato suministro eléctrico	\$15,000.00					
contrato teléfono	\$3,000.00					
contrato agua	\$1,000.00					
Estudios diversos	\$20,000.00					
Servicios Arquitecto	\$30,000.00					
Permisos	\$50,000.00					
Capacitación	\$10,000.00					
Gastos administrativos	\$20,000.00					
Selección del personal	\$10,000.00					
<b>TOTAL DE INVERSIÓN DIFERIDA</b>	<b>\$159,000.00</b>					
GASTOS DE OPERACIÓN						
Aceite		\$6,720,000.00	\$14,445,000.00	\$15,311,700.00	\$16,230,402.00	\$17,204,226.12
metanol		\$1,696,440.00	\$3,929,940.00	\$4,165,736.40	\$4,415,680.58	\$4,680,621.42
KOH		\$1,441,719.00	\$3,428,640.00	\$3,634,358.40	\$3,852,419.90	\$4,083,565.10
ácido sulfurico		\$101,400.00	\$322,650.00	\$342,009.00	\$362,529.54	\$384,281.31
<b>COSTOS VARIABLES TOTALES (CVT)</b>		<b>\$9,959,559.00</b>	<b>\$22,126,230.00</b>	<b>\$23,453,803.80</b>	<b>\$24,861,032.03</b>	<b>\$26,352,693.95</b>
DEPRECIACIÓN		\$172,916.82	\$172,916.82	\$172,916.82	\$172,916.82	\$172,916.82
MANO DE OBRA		\$490,560.00	\$490,560.00	\$519,993.60	\$551,193.22	\$584,264.81
GASTOS GENERALES		\$1,011,000.00	\$1,011,000.00	\$1,071,660.00	\$1,135,959.60	\$1,204,117.18
PAGO DE AVÍO		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
INTERESES		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0

**Energías alternativas y Desarrollo: El Sector Transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México (1990-2006)**

<b>COSTOS FIJOS TOTALES (CFT)</b>	\$0.00	\$1,674,476.82	\$1,674,477	\$1,764,570	\$1,860,070	\$1,961,299
<b>COSTOS TOTALES (CT) = (CFT + CVT)</b>	\$2,975,668.18	\$11,634,035.82	\$23,800,707	\$25,218,374	\$26,721,102	\$28,313,993
<b>EGRESOS TOTALES</b>	\$3,036,449.45	\$11,634,035.82	\$23,800,707	\$25,218,374	\$26,721,102	\$28,313,993
<b>CAPITAL DE TRABAJO</b>	\$60,781					
<b>FLUJO DE EFECTIVO</b>	-\$3,036,449.45	\$1,541,014	\$6,633,393	\$7,041,772	\$7,474,653	\$7,933,507

**Fuentes: (Martínez, 2008)**

Bajo los supuestos hechos por Ing. Ricardo Adolfo Martínez, la evaluación de la rentabilidad del proyecto se obtiene mediante la diferencia entre los ingresos y egresos necesarios para el funcionamiento de la planta y con ello se valúa la utilidad neta, la cual originará un flujo de efectivo anualizado que a través de cálculos se transforma en un flujo actualizado que es confrontado con la inversión y da lugar a el flujo de efectivo y por último a la rentabilidad del proyecto.

**Cuadro 4.2 VAN, TIR Y B/C**

<b>VALOR ACTUAL BENEFICIOS TOTALES</b>	\$101,287,275.74
<b>VALOR ACTUAL COSTOS TOTALES</b>	\$80,359,113.45
<b>VALOR ACTUAL NETO</b>	<b>\$20,928,162.29</b>
<b>TIR</b>	<b>125%</b>
<b>RELACIÓN B/C</b>	<b>1.260432966</b>

**Fuentes: (Martínez, 2008)**

El cuadro 4.2 nos permite observar primeramente en lo concerniente a la Valor actual neto (VAN) que durante la vida útil del proyecto, a una tasa de actualización del 12%, se obtendrá una utilidad neta de \$ 20,923,162.29, en el caso de la Tasa interna de retorno (TIR) a través de la vida útil del proyecto, se recupera la inversión y se obtiene una rentabilidad en promedio del 125% y finalmente respecto la relación beneficio costo (B/C) durante la vida útil del proyecto se tiene que por cada peso invertido se obtendrá una utilidad de 26 centavos a una tasa de actualización del 12%. Con todo ello podemos concluir que el proyecto de la planta de biodiésel es rentable, esto visto desde un punto de vista económico sin contar los beneficios sociales asociados a su puesta en marcha, siendo el más notorio el de la menor emisión de GEI, de los vehículos que hagan uso del biocombustible a producirse.

### **4.3 Modelo continuo de Solow con reciclaje**

#### **4.3.1 Reciclaje una nueva forma de pensar y actuar**

La cultura del reciclaje prospera gradualmente, pues a pesar de haber múltiples iniciativas e información a este respecto, la educación de respeto al medioambiental no ha adquirido la relevancia requerida. Los medios para solucionar esta problemática son muy reducidos y por ello es necesario que el estado proporcione de la infraestructura conveniente para la gestión de los desechos (Rojas, 2009).

El desarrollo de esta nueva conciencia de reaprovechamiento tiene como propósitos establecer nuevas fuentes de recursos para el desarrollo económico, disminuir las emisiones contaminantes y minimizar las pérdidas en los procesos productivos, mejorando su rentabilidad. Un requerimiento inevitable lo constituye el establecimiento de una legislación concerniente a todos los aspectos relacionados con el reciclaje. Para asegurar una relación satisfactoria entre el desarrollo económico, y el adecuado aprovechamiento de los recursos y el medio ambiente, se requiere de normas sociales unificadas y un marco legal coordinado<sup>15</sup>.

El Estado está obligado a crear y fomentar las políticas adecuadas para que las industrias puedan transformar sus procesos, mediante créditos accesibles y una serie de instrumentos contenidos en su legislación ambiental entre los que sobresalgan los de índole económica, como por ejemplo la disminución de impuestos y el reparto de subsidios. Del mismo modo serán ineludibles campañas específicas para modificar el comportamiento de los ciudadanos, mediante el establecimiento de un papel más activo, que fomente la adopción de procesos cotidianos que minimicen la afectación ambiental, reduzcan el volumen de emisiones y se recicle (Scioli, 2007).

En la planificación de los procesos productivos, la prevención de la contaminación y la minimización de los residuos deben ser prioritarias desde su primera aproximación hasta que se termine el ciclo de vida de los bienes confeccionados. Al ser los residuos, insumos

---

<sup>15</sup><http://green-bubble.org/gobierno/china-legisla-por-primera-vez-sobre-la-economia-de-reciclaje/>, consultada el 2 de abril de 2008

que no vuelven a ser empleados dentro del ciclo, constituyen una marcada ineficiencia del proceso, lo que se traduce en un mayor uso de recursos y en consecuencia un incremento del costo (Scioli, 2007).

De acuerdo con Scioli (2007:4): *“Un nuevo modelo de producción debe tener en claro que la contaminación representa derroche económico e ineficiencia y cualquier mejora de la actuación ambiental con mejores métodos y tecnologías deberá servir para aumentar la productividad y compensar, en alguna medida, la inversión de la mejora. La relación económica está presente en todos los procesos de gestión ambiental. Desde el flujo monetario que implicara planificar la gestión de los residuos de una localidad hasta una adecuada ley de procesos de diseño ecológico de bienes y productos.”*

#### **4.2 Desarrollo del Modelo**

A pesar de haberse desarrollado múltiples variantes de este modelo, entre las que se abarcan el cambio tecnológico o el capital humano, el razonamiento no se modifica substancialmente. Por esta razón es que en el desarrollo del modelo no se contiene variables que expresen el cambio tecnológico ni el capital humano, para abstraerse en las referentes a la materia prima, la contaminación y el reciclaje (Ibarra, 2008).

En su planteamiento original, de 1956, Solow propuso una función de producción homogénea de grado uno, es decir con rendimientos constantes a escala. Esta condición es imprescindible para formular la dinámica del capital en términos per cápita, como lo hace la mayoría de los textos (Ibarra, 2008).

En adición a este supuesto se asumen las condiciones de Inada, las cuales suponen que los productos marginales del capital y del trabajo son positivos y decrecientes; y que el producto marginal del capital y del trabajo se aproximan a infinito a medida que el volumen de ambos factores productivos tienden a cero, y se aproxima a cero conforme el volumen de capital y trabajo se aproximan a infinito (Ibarra, 2008).

Con lo que, la función de producción se expresa de la siguiente manera:

$$Y=F(L,K) \quad (1)$$

Y debe cumplirse que:

$$\frac{\partial F}{\partial K} > 0, \frac{\partial F}{\partial L} > 0 ; \frac{\partial^2 F}{\partial K^2} < 0, \frac{\partial^2 F}{\partial L^2} < 0 \quad (2)$$

$$\lim_{K \rightarrow \infty} \frac{\partial F}{\partial K} = 0, \lim_{K \rightarrow 0} \frac{\partial F}{\partial K} = \infty \text{ y } \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{\partial F}{\partial L} = 0, \lim_{L \rightarrow 0} \frac{\partial F}{\partial L} = \infty \quad (3)$$

Una vez establecidas estas condiciones podemos analizar la dinámica del trabajo y del capital.

#### 4.3.2.1 Dinámica del trabajo

Suponemos que la oferta de trabajo es inelástica e igual a la población y que crece a una tasa constante  $n$ .

Denotándola como:

$$L(t) = L_0 e^{nt}, \quad (4)$$

Donde:

$L_0$  es la población en el tiempo cero.

Se puede deducir de la ecuación (4) que:

$$\ln(L(t)) = \ln(L_0) + nt \quad (5)$$

Conduciéndonos a:

$$\frac{\dot{L}}{L} = n \quad (6)$$

#### 4.3.2.2 Dinámica del capital

Como la función presenta rendimientos constantes a escala se tiene que:

$$y = \frac{Y}{L} = \frac{F(L, K)}{L} = f(1, k) = f(k) \quad (7)$$

Por ello la dinámica del capital es la siguiente:

$$\dot{K} = sF(L, K) - \delta K \quad (8)$$

Donde:

$s$  : la tasa de ahorro de la economía y

$\delta$  : la tasa de depreciación del capital

En términos *per cápita*:

$k = \frac{K}{L}$ , de ello se infiere:

$$\ln(k) = \ln(K) - \ln(L), \quad (9)$$

Derivando respecto del tiempo:

$\frac{\dot{k}}{k} = \frac{\dot{K}}{K} - \frac{\dot{L}}{L}$ , despejando y sustituyendo (6), resulta:

$$\dot{k} = \left( \frac{R}{K} - \frac{L}{L} \right) \frac{K}{L} = \frac{R}{L} - nk = \frac{sF(L, K)}{L} - nk, \text{ por último,}$$

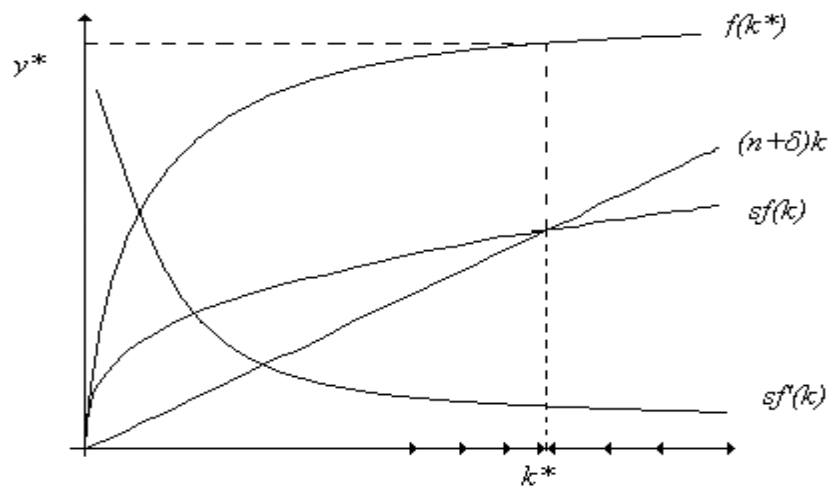
$$\dot{k} = sf(k) - (\delta + n)k \quad (10)$$

Para que el modelo sea estable es necesario que la derivada del cambio en el capital respecto al capital sea negativa:

$$\frac{\partial \dot{k}}{\partial k} = sf'(k) - (\delta + n) < 0 \tag{11}$$

Lo que significa, que es necesario que el producto de la tasa de ahorro por la productividad per cápita del capital este por debajo de la suma del crecimiento población y la tasa de depreciación. Tomando en cuenta las condiciones de la función de utilidad propuesta, es muy probable que la ecuación (11) se satisfaga, por lo tanto, la dinámica será la que se vislumbra en la figura 4.4 (Ibarra, 2008).

**Figura 4.5. Dinámica del capital**



Fuente: (Ibarra, 2008)

### 4.3.3 La Materia Prima y el Crecimiento Económico

La función de producción se plantea como:

$$Y = F(L, K, MP) \tag{12}$$

donde:

$Y$ : Producto total

$L$ : mano de obra de la economía

K: capital de la economía

MP: Materia prima disponible en la economía.

Suponemos que la función de producción es homogénea de grado uno en sus tres factores, en consecuencia, la función se puede expresar en términos per cápita como:

$$y=f(k,mp) \quad (13)$$

Para ejemplificar este procedimiento usaremos la función *Cobb-Douglas*:

$$y = \frac{Y}{L} = \frac{F(L, K, MP)}{L} = \left(\frac{L}{L}\right)^\alpha \left(\frac{K}{L}\right)^\beta \left(\frac{MP}{L}\right)^\gamma = k^\beta mp^\gamma$$

La materia prima tiene el siguiente comportamiento:

$$MP=MV+MR \quad (14)$$

donde:

MV: materia prima virgen

MR: materia prima reciclada

En términos per capita:

$$mp=mv+mr \quad (15)$$

Para el caso de la función de producción *Cobb-Douglas*, la expresión sería la siguiente:

$$y = Ak^\beta$$

donde  $A = mp^\gamma$ ,



Por lo que, la  $mp$  podría ser considerada como una constante.

Al considerar invariable la materia prima a lo largo del tiempo y en ausencia de reciclaje, el problema se reduce al modelo tradicional de Solow con los mismos resultados y conclusiones (Ibarra, 2008).

El caso relevante es donde la materia prima no es fija, por esta razón se analiza su dinámica.

Con el afán de analizar la  $MP$ , la dividiremos en sus dos componentes: Materia Prima Virgen ( $MV$ ) y Materia Prima Reciclada ( $MR$ )

Se estable el supuesto de que la materia prima virgen prospera de manera natural en la economía, pero se ve menguada en la medida que es utilizada en los ciclos productivos, de tal modo que (Ibarra, 2008):

$$MV = Ae^{(m-d)t} \quad (16)$$

Entonces su variación respecto al tiempo es

$$\dot{MV} = (m-d)MV \quad (17)$$

donde:

$m$ : la tasa de reposición de la naturaleza o capacidad de carga

$d$ : la tasa de explotación de la naturaleza

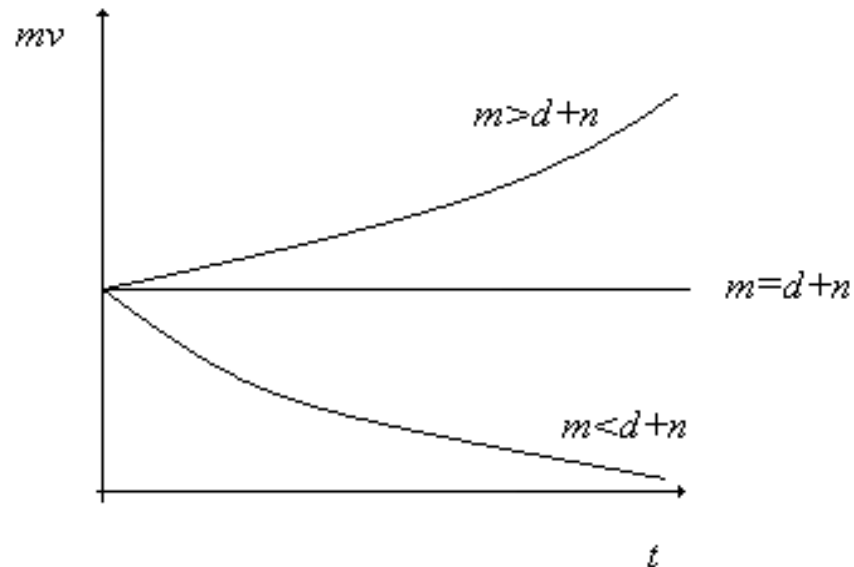
A continuación obtenemos la  $MP$ ,  $MV$  y  $MR$  de manera per cápita, de las ecuaciones (16) y (17), ya que es el análisis que nos interesa para encontrar la dinámica en esos términos:

$$mv = \frac{MV}{L} = \frac{Ae^{(m-d)t}}{L_0 e^{nt}} = \frac{A}{L_0} e^{(m-d-n)t} \quad (18)$$

De lo que se deduce:

$$\dot{mv} = (m - d - n)mv \quad (19)$$

**Figura 4.5. Dinámica de la materia prima virgen en términos per cápita**



**Fuente: (Ibarra, 2008)**

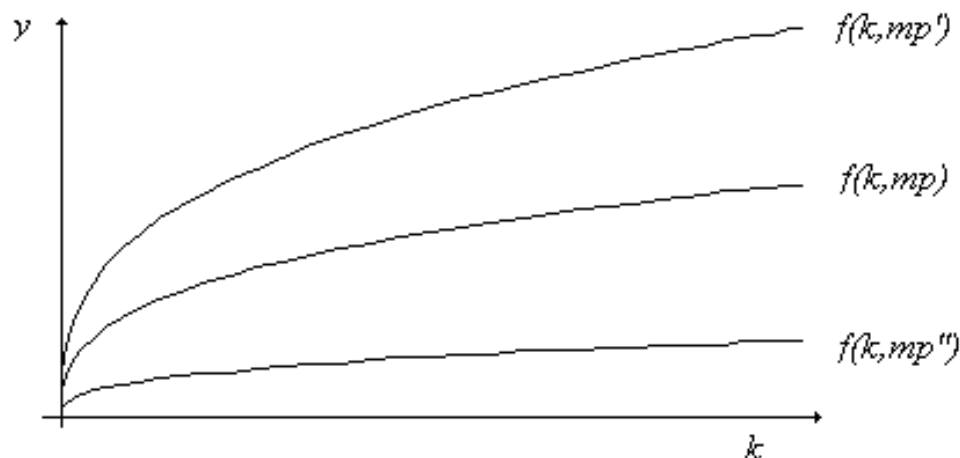
Podemos derivar de la ecuación (19) y la figura 4.5 que el equilibrio de  $mv$  se da cuando se equipara la tasa de reposición de la naturaleza (o capacidad de carga) con la tasa de explotación de la misma sumada a la tasa de crecimiento poblacional, es decir  $m = d + n$ . En este caso nos encontramos en el modelo tradicional de Solow. En el caso cuando  $m > d + n$ , el sistema se vuelve inestable lo que significaría que  $mp$  crecería indefinidamente. En cambio, si  $m < d + n$ , la  $mp$  tendera a agotarse ya que decrecerá exponencialmente (Ibarra, 2008).

Si se incrementa o disminuye la  $mp$ , al presentar rendimientos constantes a escala, tendríamos distintas funciones de producción como puede verse en la figura 4.6.

Tenemos que  $mp' > mp$ , lo que significa que si la  $mp$  crece (debido al reciclaje), el producto también lo hará, ya que para el mismo nivel de capital, se produce más al incrementarse la

capacidad de carga. Por el contrario, cuando  $mp'' < mp$ , es decir  $mp$  se reduce, el producto también se contrae, ya que en concordancia con el caso anterior para el mismo nivel de capital, el producto es menor. En la postura más radical de este análisis, el producto total sería nulo ante el eventual agotamiento de los recursos naturales (Ibarra, 2008).

**Figura 4.6. Comportamiento de la producción para diferentes niveles de  $mp$ .**



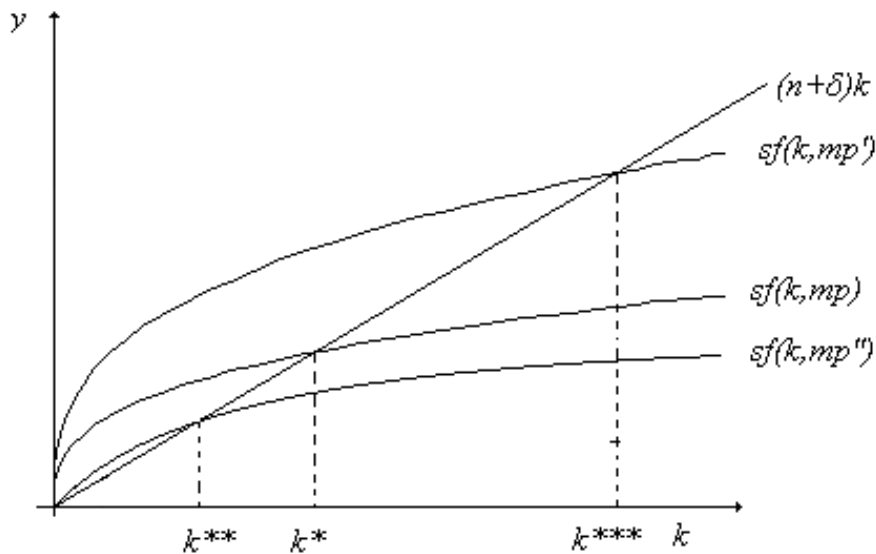
**Fuente: (Ibarra, 2008)**

Destacando que el ritmo de agotamiento de los recursos naturales se está acelerando en forma significativa junto con el incremento de los deterioros ambientales.

Esto nos lleva a reflexionar la hipótesis bajo la que se suscribe la Curva Medioambiental de Kuznets. Cuyo planteamiento señala que al comienzo de la industrialización, la contaminación aumenta rápidamente porque las personas están más interesadas en la generación de empleos e ingresos que en la preservación del agua y el aire puro, las comunidades son demasiado pobres para invertir en la reducción de esta, y sumado a esto la reglamentación ambiental es escasa. El balance cambia al ir aumentando los ingresos. Los principales sectores industriales se vuelven más limpios, las personas valoran más el medio ambiente, y las instituciones reguladoras se hacen más eficaces. Bajo este contexto, se infiere que la mayor parte de los países con economías en vías de desarrollo padecerán una fuerte presión sobre sus recursos naturales en el transcurso de los siguientes decenios; ya gran parte de los habitantes de estas regiones intenta vivir del uso intensivo de estos recursos (Dasgupta, 2002; Shah, 2005).

Al añadir el reciclaje como elemento del proceso productivo, la  $mp$  se incrementa, pero esto genera un nuevo costo, lo que ocasiona que no sea directamente proporcional el cambio de  $mp$  respecto del cambio en el nivel de producto, pero a pesar de esto, la producción se ve favorecida, por lo que se podría alcanzar un nivel de capital en el estado estacionario como  $k^{***}$  (Ibarra, 2008).

**Figura 4.7. Diferentes niveles de  $k^*$  para diferentes niveles de  $mp$**



**Fuente: (Ibarra, 2008)**

Es decir que si la  $mp$  es modificada, el capital de largo plazo también lo hará, como se muestra en la figura 4.7.

#### **4.3.3.1 Análisis de la contaminación**

En este modelo suponemos que la contaminación es una parte proporcional del nivel total de producto, al ser una imperfección del ciclo productivo; la naturaleza contrarresta, por sí misma, parte de esta degradación y que la materia prima que se recicla deja de ser polución de tal forma que (Ibarra, 2008):

$$P = G(Y) = uF(L, K, MP) \quad (20)$$

$$\dot{P} = uF(L, K, MP) - aP - MR \quad (21)$$

donde:

$P$ : contaminación

$u$ : nivel de imperfección del ciclo productivo

$a$ : tasa a la que la naturaleza absorbe la contaminación.

$MR$ : materia prima reciclada

En términos per cápita:

$$\dot{p} = uf(k, mp) - ap - mr = uf(k, mp) - ap - \alpha f(k, mp)$$

$$\dot{p} = (u - \alpha)f(k, mp) - ap \quad (22)$$

#### 4.3.4 Dinámica de la contaminación y el capital

Cuando  $mr = 0$ , es decir no se efectúa reciclaje, las siguientes ecuaciones determinan la dinámica de la economía:

$$\dot{k} = sf(k, mv) - (\delta + n)k \quad (23)$$

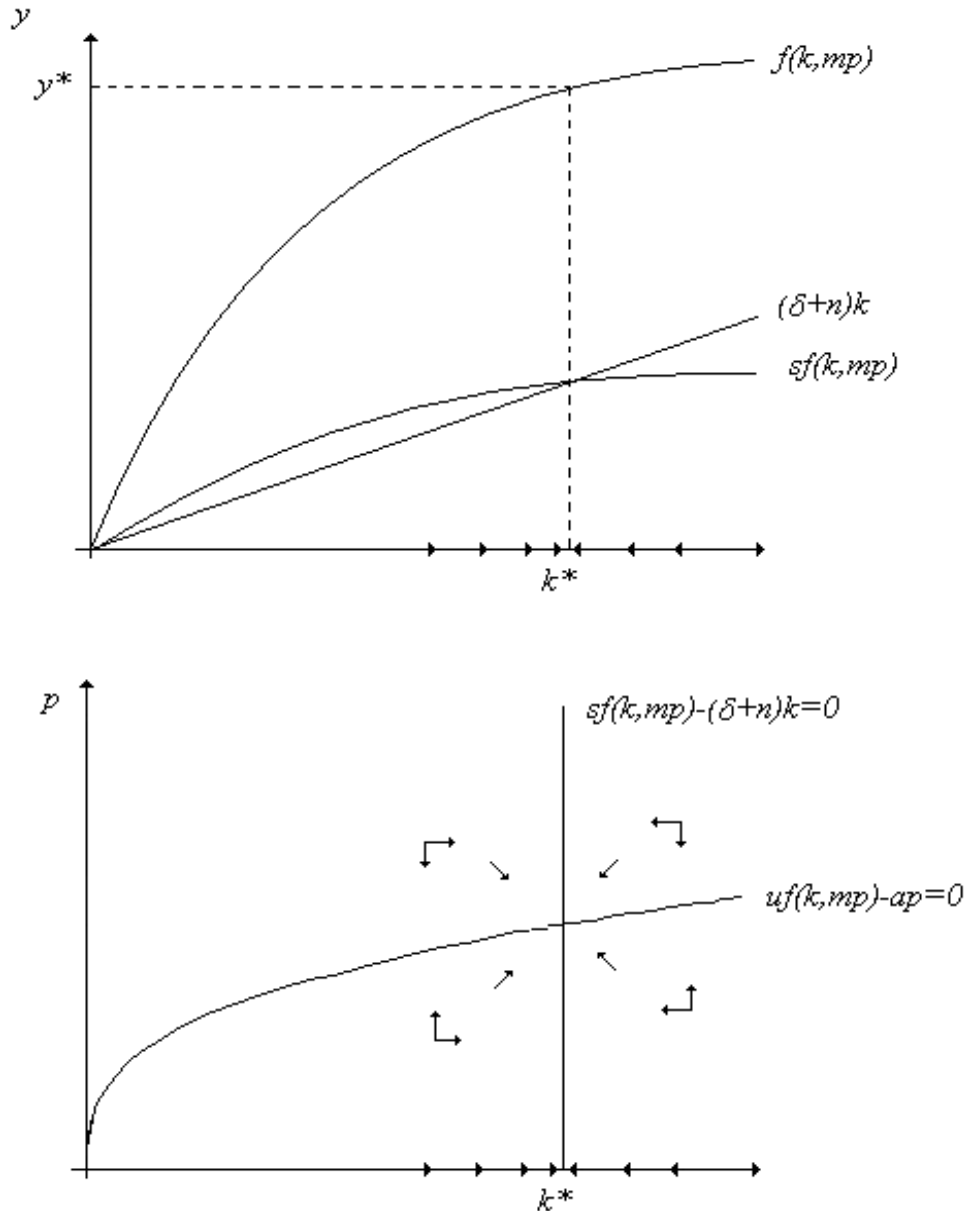
$$\dot{p} = uf(k, mv) - ap \quad (24)$$

Para obtener el estado estacionario es necesario igualar ambas ecuaciones a cero, es decir:

$$\dot{k} = sf(k, mv) - (\delta + n)k = 0 \quad (23')$$

$$\dot{p} = uf(k, mp) - ap = 0 \quad (24')$$

**Figura 4.8. Estado estacionario de la contaminación (p) y el capital (k)**



**Fuente: (Ibarra, 2008)**

#### **4.3.4.1 Estabilidad del sistema**

Para determinar la estabilidad del sistema<sup>16</sup>, necesitamos encontrar las soluciones a la ecuación característica por medio del Jacobiano del mismo:

<sup>16</sup> La estabilidad de los sistemas dinámicos se refiere a que pequeñas perturbaciones en las condiciones iniciales o en alguna de las variables que intervienen en la ecuación del movimiento produzca un comportamiento suficientemente similar al comportamiento sin dichas perturbaciones.

$$\det \begin{vmatrix} sf'(k) - (\delta + n) - \lambda & 0 \\ uf'(k) & -a - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (25)$$

Donde la naturaleza de sus valores característicos está dada por:

$$\lambda_1 = -a < 0; \lambda_2 = sf'(k) - (\delta + n) < 0 \quad (26)$$

Por lo que podemos concluir que el sistema es estable, como lo ratifica el análisis gráfico (figura 4.8).

Al incluir el reciclaje se altera sutilmente el sistema de ecuaciones diferenciales, dando como resultado:

$$\dot{k} = sf(k, mv + mr) - (\delta + n)k = 0 \quad (23'')$$

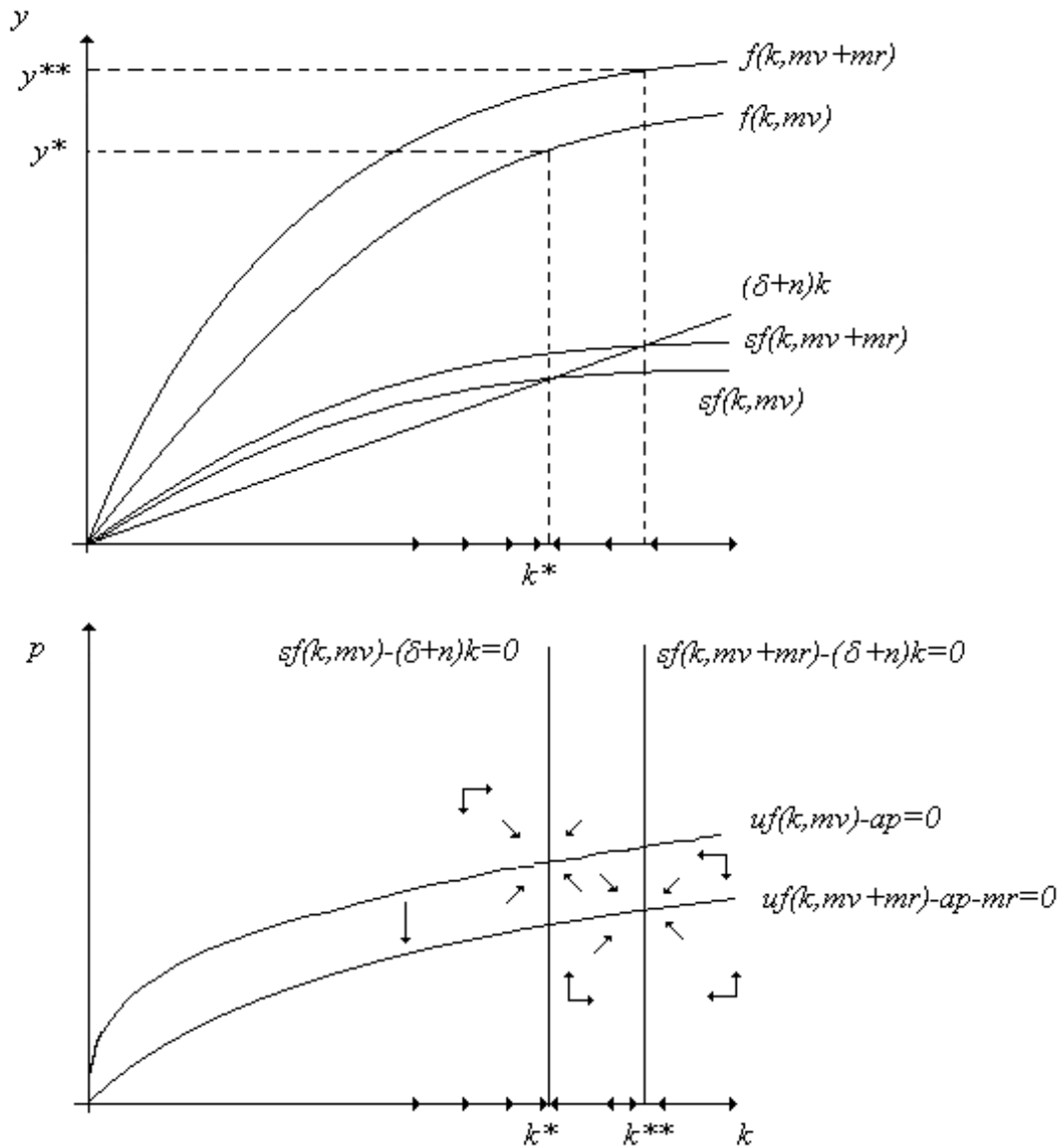
$$\dot{p} = uf(k, mp) - ap - mr = 0 \quad (24'')$$

Se puede apreciar, el nuevo estado estacionario<sup>17</sup> en la figura 4.8

A simple vista se observa que las raíces características del jacobiano del nuevo sistema concuerdan con las del caso anterior, por lo que las conclusiones a las prevenidamente habíamos llegado se mantienen, es decir este sistema también es estable. El análisis gráfico muestra que el reciclaje impulsa a la economía hacia un nivel de capital de estado estacionario mayor que cuando este no se efectúa ( $k^{**} > k^*$ ), al mismo tiempo que se abate el nivel de contaminación por efecto de este reaprovechamiento. De todo esto se infiere que reciclar conviene no sólo en términos de reducción de contaminación, sino que conjuntamente implica un mayor nivel de capital y, por ello, un mayor nivel de producto (Ibarra, 2008).

<sup>17</sup> El estado estacionario se refiere a la respuesta a largo plazo, cuando las características del mismo no varían con el tiempo.

**Figura 4.8. Estado estacionario de la contaminación ( $p$ ) y el capital ( $k$ ) con reciclaje**



**Fuente: (Ibarra, 2008)**

En síntesis tenemos que para obtener el producto final se requiere transformar los insumos materia prima, trabajo y capital mediante el proceso productivo. Cuando la materia prima es estable, los resultados del análisis son los mismos que los obtenidos en el modelo original de Solow-Swan, pero estos se modifican cuando se varía el nivel de la misma. Cuando la tasa de explotación de la naturaleza y/o el crecimiento poblacional superan a la tasa de reposición de la naturaleza, la materia prima tiende a decrecer con rapidez, pudiendo llegar al extremo de su agotamiento, lo que nos llevaría a un nivel de producción nulo. Por



otro lado si la materia prima crece, como resultado de la inclusión del reciclaje en el proceso productivo, se podría alcanzar un mayor crecimiento económico en el largo plazo (Ibarra, 2008).

Además, inevitablemente se generan residuos como resultado de las ineficiencias en el proceso productivo, lo no lleva a la premisa que *“la contaminación, surge por el simple hecho de producir”*. El análisis de la dinámica del capital y la contaminación nos sugiere que en el largo plazo es posible alcanzar el equilibrio y que este es estable (Ibarra, 2008).

Por su parte, la incorporación del reciclaje abate los niveles de desechos, mientras abastece a la economía con un mayor nivel de materia prima disponible, lo que se ve reflejado en el equilibrio de largo plazo donde se reduce la contaminación y los niveles de producción y capital se incrementan, respecto su estado previo cuando el reaprovechamiento era nulo. Es así que el modelo comprueba que, *“bajo las condiciones típicas del modelo de Solow, a la economía le conviene reciclar sus desperdicios”* (Ibarra, 2008).

Todos estos beneficios se ven reforzados si la materia prima reciclada, son desperdicios agrícolas o materiales de difícil tratamiento (aceites usados), y estos son utilizados para la producción de biocombustibles, ya que esto vigoriza la reducción de la contaminación por el mismo hecho del reciclaje, aunado a la menor emisión de gases nocivos por el uso del biodiésel y del bioetanol, sin contribuir negativamente a la seguridad alimentaria y sin sobrepasar la capacidad de carga.

---

# *Conclusiones*

**Conclusiones**

Como hemos analizado, el crecimiento de la ZMVM esta aparejado con importantes procesos que afectan tanto a sus habitantes como a todo el entorno que la conforman. Donde al especificar a esta gran urbe como ecosistema urbano observamos que está condicionada a la interacción con el exterior, donde los procesos de importación y exportación ecológica poseen un mayor significado que el de los movimientos de materia y energía al interior, distinguiéndose de los ecosistemas naturales por la falta de autorregulación.

A pesar de que el área metropolitana es el espacio donde se da la concentración y acumulación de la riqueza y consecuentemente de los lazos con la globalización económica; al mismo tiempo se presentan severas inequidades y exclusiones sociales resultando en una creciente pobreza urbana, y esto aunado con una falta de cultura y concientización con respecto a un patrón de consumo energético adecuado, ya que dicha pauta tiene grandes implicaciones en la degradación ambiental por el incremento de los residuos y desechos, siendo los más importantes: las emisiones de gases nocivos. Y de estos últimos es importante destacar que la fuente principal de la contaminación en el Valle de México es provocada por el uso de vehículos automotor.

Partiendo de las premisas previamente expuestas la afectación atmosférica provocada por el descontrol en el consumo, y desperdicio energético, provocando sus residuos y desechos mal manejados tiene efectos a nivel local, regional y global. Hay que subrayar que la calidad del aire es una preocupación permanente en el presente y en la previsión a futuro del ser humano; ya que, los signos más notorios de la disminución de los niveles de sus parámetros óptimos, como: la afectación a la visibilidad y el incremento en las molestias y enfermedades asociadas a la contaminación; son ya cotidianos en las principales ciudades del país.

No obstante de las sentencias anteriores, debemos identificar al transporte como una actividad, no tan sólo de alta importancia, sino indispensable para el desarrollo socio-económico de los residentes de la ZMVM, pero como hemos destacado, que en contraparte

al necesario servicio que proporciona, se encuentra íntimamente ligado con sus desechos que son las emisiones de gases contaminantes que afecta a todos los habitantes que sirve.

Como consecuencia de esto nos obliga a hacer un replanteamiento de esta importante actividad para la sociedad en su conjunto; requiriendo un análisis de las distintas opciones, como lo son el uso de fuentes de energía alternativas y el uso eficiente de las mismas, sin descartar otras opciones.

A nivel nacional el sector energético es la principal fuente de las emisiones de los Gases Efecto Invernadero aportando casi dos terceras partes del total, donde la generación de energía contribuye con el 24% y el transporte con el 18% de las emisiones totales del país. En el caso de la ZMVM el transporte es el mayor emisor, de GEI, generando el 57% del total CO<sub>2</sub> expelido a la atmosfera y de estas emisiones el 44% son producidas por los vehículos que utilizan gasolina.

Dentro del transporte los autos particulares influyen significativamente en las emisiones de todos los contaminantes analizados en la ZMVM, aportando el 26% de las emisiones de SO<sub>2</sub>, 50% de las de CO, 32% de las de los NO<sub>x</sub>, 16% de las de los COV y 15% de las de NH<sub>3</sub>. En cuanto a las partículas menores a 10 y 2.5 micras los tractocamiones son los principales emisores con un 11% y 30% respectivamente.

Es por ello que al disminuir las emisiones de los autos particulares y en conjunto de todas las fuentes móviles se tendría una disminución significativa de los GEI arrojados a la atmosfera por todos los sectores, al ser este la segunda fuente en importancia a nivel nacional y la más importante en la ZMVM.

Con esta finalidad, debe fomentarse una nueva educación vial para promover prácticas que colaboren con la eficiencia, efectividad y eficacia del consumo energético y modificar la normatividad del transporte, para respaldar dicha medida. Conjuntamente es necesario impulsar programas de energía alternativa para el transporte, como lo son, el uso de biomasa para generar combustibles biológicos. Ya que no es solamente el medio ambiente

quien se beneficia sino también el usuario y, por acumulación de beneficios, la sociedad en su conjunto.

Como una posible respuesta a esta problemática proponemos el uso de los biocombustibles: bioetanol y biodiésel. Los cuales han surgido por la necesidad de producir y usar combustibles que sean más amigables con el medio ambiente, teniendo su origen en fuentes renovables con el objetivo de reducir las emisiones de contaminantes dañinos a la salud, todo esto ha sido expuesto de manera extensa en el desarrollo de la investigación.

Pero con esto surge una nueva problemática ya que la producción de biocombustibles a partir del uso de materias primas agrícolas, que se pueden convertir en etanol o biodiésel, plantean un nuevo desafío, desde el punto de vista económico y social, ya que genera una competencia preocupante por el uso de la tierra disponible, entre producir alimentos o agrocombustibles. Sumado al fomento de monocultivos lo que traería un mayor empleo de herbicidas y plaguicidas, trayendo consigo una nueva fuente de deterioro ambiental.

Es por ello que enfocándonos en los beneficios y evitando los perjuicios de los biocarburantes, los cuales evidentemente deben ser parte de una estrategia para reducir las emisiones de los contaminantes generados por el transporte (en especial los GEI), pero sin permitirse la sustitución de campos agrícolas destinados al consumo humano por los destinados a la generación de energía, en forma de agrocombustibles. Se plantea el uso de materias primas que básicamente sean desperdicios (recicladas) y productos o subproductos orgánicos no comestibles, para la optimización de la producción de etanol y biodiesel.

Entre las materias primas recicladas y productos orgánicos no comestibles podemos señalar a la cáscara de la naranja y su pulpa; la cáscara del plátano y todo este en su conjunto cuando sea desechado por no pasar un control de calidad; almidón de yuca; jatropha curcas, desperdicios del café, tanto la pulpa de café como la cáscara de este y los aceites comestibles usados.

Teniendo que estar todo esto adscrito al planteamiento de un modelo de crecimiento económico compatible con el medio ambiente y apto para subyugar las desigualdades, ya que el modelo vigente no considera las restricciones ecológicas de nuestro planeta, procediendo como si éste fuera ilimitado.

Es así, que con el Modelo de Solow con Reciclaje, se trata de demostrar que si al modelo económico vigente se agregan variables en las que se tome en cuenta la capacidad de carga del planeta se pueden obtener resultados positivos tanto en lo ambiental como en lo económico. Para dar sustento teórico a esta propuesta se plantea una variación del modelo de crecimiento económico que planteo Solow, donde el producto total depende de las materias primas disponibles en la economía (MP), además de la mano de obra y del capital de la economía. Subrayando que la MP está formada por materia prima virgen (MV) y materia prima reciclada (MR)

Dentro del modelo la contaminación, aparece como parte del proceso de producción, ya que durante el mismo ineludiblemente se crean residuos. La dinámica del capital y la contaminación examinados, muestran que se puede alcanza el equilibrio en el largo plazo y que dicho equilibrio es estable.

Tomando como base los resultados parciales de cada capítulo y sus correspondientes conclusiones parciales, podemos concluir finalmente que la incorporación del reciclaje tiene un doble beneficio, ya que mientras se provee a la economía con mayor materia prima disponible se abate la contaminación, lo cual se ve reflejado en el equilibrio de largo plazo donde el nivel de producción y capital son mayores al mismo tiempo que el grado de contaminación se reduce como efecto de reciclar sus desperdicios. Esto es así ya que los residuos constituyen la ineficiencia del proceso productivo, ya que son insumos que no vuelven a ser utilizados dentro del ciclo, lo que se traduce en un mayor uso de recursos con el concerniente incremento de los costos. Otra conclusión derivada de la anterior es que la materia prima reciclada puede ser utilizada para la producción de biocombustibles, y esto nos lleva a reforzar la reducción de la contaminación por el mismo hecho de reciclar y por la menor emisión de GEI por el uso del biodiésel y del bioetanol en los vehículos automotores.

---

# ***Bibliografía***

**Bibliografía**

ABB, (2005), *Uso eficiente de la energía: el otro combustible alternativo*, Sección Especial Publicitaria, 2005 ABB Inc.

Afanador, Angélica María, (2005), *El Banano Verde de Rechazo en La Producción de Alcohol Carburante*, Revista EIA, Número 3, Colombia, Junio 2005.

Agudelo, John R., Bedoya, Iván D., Agudelo, Andrés F., (2005), *Emisiones gaseosas y opacidad del humo de un motor operando con bajas concentraciones de biodiesel de palma*, Ingeniería & Desarrollo, Número 18, Julio-Diciembre, 2005.

Aguiar Lozano, Víctor Hernán, (2008), *Eficiencia, Sostenibilidad Ambiental y Equidad Intergeneracional en Los Modelos de Generaciones Traslapadas: Lecciones De Política*, Disertación de Grado Previa a la Obtención del Título de Economista, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Facultad de Economía, Quito Ecuador, octubre, 2008

Aguilar G, Jorge Luis, (2006), *Combustibles Alternativos Convenientes Para México*, PowerMex Clean Energy and Efficiency 2006, XII Seminario de Ahorro de Energía, Cogeneración y Energía Renovable, Septiembre 2006.

Aguilar, Adrián Guillermo, (2002), *Las mega-ciudades y las periferias expandidas. Ampliando el concepto en Ciudad de México*, EURE, vol.28, no.85, Santiago de Chile, diciembre, 2002, pp. 121-149.

Aguilar, Adrián Guillermo (coord.), (2003), *Urbanización, cambio tecnológico y costo social: el caso de la región centro de México*, editorial Miguel Ángel Porrúa, México, D.F. 2003.

Aguilar, Adrián Guillermo (coord.), (2004), *Procesos metropolitanos y grandes ciudades: dinámicas recientes en México y otros países*, H. Cámara de Diputados, LIX Legislatura, Instituto de Geografía, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad-UNAM, CONACyT, editorial Miguel Ángel Porrúa, México 2004.

Aguilera Gomez, Manuel, (1990), *Urban and Natural Risks in Mexico City*, Colloquium on the Environment and Natural Disaster Management, The World Bank, Policy and Research Division, The Environment Department Agriculture and Rural Development Division, Economic Development Institute Human Resources Development Division, The Personnel Department, June 27 and 28, 1990 Washington, D.C.

Alberto, Juan Antonio, (2005), *El Crecimiento Urbano y su Incidencia en la Vulnerabilidad Ambiental y Social. El Caso del Gran Resistencia*, Universidad Nacional del Nordeste, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Argentina 2005.



ALDF, (2000), *Ley Ambiental del Distrito Federal*, Asamblea Legislativa del Distrito Federal (ALDF), Gaceta Oficial del Distrito Federal, 13 de enero del 2000, México, D.F.

Alessandro, José María, (2006), *La Producción de Biocombustibles*, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina, 2006.

Álvarez Flórez, Jesús, Martín Martín, Francisca, Sala Gómez, Vanesa, (2006), *Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales y las nuevas tecnologías energéticas para la propulsión de vehículos destinados al transporte*, Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 22 de Septiembre 2006.

Arámburo, Carlos y Jorge Islas Samperio, (2009), *Colaboran UNAM y Gobierno de Morelos, En La Obtención de Biocombustibles*, Boletín UNAM-DGCS-243, Temixco, Morelos, 25 de Abril de 2009.

Arrow, Kenneth, Bert Bolin, Robert Costanza, Partha Dasgupta, Carl Folke, C. S. Holling, Bengt-Owe Jansson, Simon Levin, Karl-Göran Mäler, Charles Perrings y David Pimentel, (1995), *Economic growth, carrying capacity, and the environment*, Elsevier Science B.V.

Barrientos Felipa, Pedro, (2008), *Los biocombustibles y la producción de etanol*, Pensamiento Crítico N.º 9, Perú, noviembre de 2008, pp. 115-136

Becerril-Padua, Martin, (2000), *Ciudades latinoamericanas. Procesos económicos y configuración urbana*, Ponencia presentada en el Primer Congreso de Pensamiento Latinoamericano "La construcción de América Latina". Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia 2000.

Ballenilla, Mariana, (2007), *Biocombustibles: Mito o realidad*, PRACTICUM, Licenciatura en Ciencias Ambientales, Universidad Miguel Hernández de Elche, junio 2007.

Ballesteros Perdices, Mercedes, (2006), *Bioetanol*, Energía, presente y futuro, Investigación y Ciencia (edición española de Scientific American), número 362, Barcelona, Noviembre 2006.

Barton, Jonathan R., (2006), *Sustentabilidad urbana como planificación estratégica*, Revista Eure, Vol. XXXII, N° 96, Santiago de Chile, agosto de 2006, pp. 27-45.

Bartorila, Miguel Ángel, (2005), *Transporte público y transformación urbana: Coevolución del modelo de ciudad*, II Taller/Seminario "Espacios Públicos: Transporte y Ciudad", redIALA investigaciones arquitectónicas para Latinoamérica, Mérida, 09-13 Mayo 2005.

Bastida Aguilar, Abraham, (2007), *La Responsabilidad Del Estado Frente Al Daño Ambiental*, Tesis de Maestría, Escuela Judicial del Estado De México, Maestría en Derecho, Toluca, México, Septiembre 2007

Beer, Tom, Tim Grant y Geoff Morgan, (2006), *Comparison of Transport Fuels*, Final Report to the Australian Greenhouse Office on the Stage 2 study of Life-cycle Emissions Analysis of Alternative Fuels for Heavy Vehicles, 30 January 2006.

Benavides Oballos, Inés Milena, (1998), *La Calidad de Vida Como Herramienta del Diseño Urbano*, IV Seminario Latinoamericano de Calidad de Vida Urbana, Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina, 8 al 11 de septiembre de 1998.

Blangino, A. E., Romano, S. D., (2004), *Modelado y Correlación de Propiedades en Biodiesel*, ANALES AFA, Vol. 16, Bahía Blanca, Argentina 2004.

Bonelli, P.R., Cassanello, M.C., Cukierman, A.L., (2002), *Caracterización Cinética de la Pirolisis y Copirolisis de Combustibles Alternativos*, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 6, N° 1, Argentina 2002.

Boron, Atilio A., (2007), *Biocombustibles: el porvenir de una ilusión*, Programa Latinoamericano de Educación a Distancia en Ciencias Sociales (PLED), Centro Cultural de la Cooperación, Alcaabaja, Buenos Aires, 6 May 2007.

Brugnoni, Mario, (2004), *El Uso Racional de La Energía y La Crisis Energética*, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 8, N° 2, 2004, Argentina.

Cabrero, Enrique, Isela Orihuela y Alicia Ziccardi, (2003), *Ciudades competitivas - ciudades cooperativas: Conceptos claves y construcción de un índice para ciudades mexicanas*, Documento de Trabajo número 139, División de Administración Pública, Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE), Comisión Federal de Mejora Regulatoria (COFEMER), México, D.F., diciembre 2003.

Cabrero, Enrique, Isela Orihuela y Alicia Ziccardi, (2007), *Competitividad de Las Ciudades Mexicanas 2007: La nueva agenda de los municipios urbanos*, Secretaria de Economía (SE), Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE), México, D.F., 2007.

CAM, (2004), *Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (Proaire) 2002-2010*, Informe Ejecutivo de Avances 2002-2003, Comisión Ambiental Metropolitana (CAM), Junio 2004, México.

Cantú Martínez, Pedro César, (2004), *Marco Legal Vigente en Materia Ambiental México*, UANLVI Congreso Regional de Químicos Farmacéuticos, 25 -27 de Agosto de 2004.

Carballo Penela, Adolfo, (2005), *Una Revisión del Modelo de Crecimiento Económico Actual: Análisis de su problemática ambiental y desigualdades Sociales*, Revista Luna Azul, Número 20, Colombia enero - junio de 2005.

Cardona Arboleda, Omar Darío, (2001a), *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*, Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior D'Enginyers de Camins, Canals i Ports, Barcelona España, 2001.

Cardona Arboleda, Omar Darío, (2001b), *La Necesidad de Repensar de Manera Holística Los Conceptos de Vulnerabilidad y Riesgo: Una Crítica y una Revisión Necesaria para la Gestión*, International Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice, Wageningen, Holanda, 29 y 30 de Junio de 2001.

Carmona Lara, María del Carmen, (2006), *Legislación ambiental en Distrito Federal*, Boletín Mexicano de Derecho Comparado, Nueva Serie Año XXIX, Número 87 Septiembre-Diciembre 1996, México.

Carpintero, Óscar, (2006), *Biocombustibles y uso energético de la biomasa: un análisis crítico*, El ecologista, nº 49, España, otoño 2006.

Carvajal Traverso, María Dolores, (2008), *Medio Ambiente y Desarrollo Económico ¿Una Dicotomía Insuperable?*, Concurso Literario 2008, Derechos humanos: ¿Derechos Vulnerados?, Organización Argentina de jóvenes para las Naciones Unidas, Colegio Nuevos Horizontes, El Bolsón, Río Negro, diciembre, 2008.

Castillo Lozano, Jesús, (2005), *La verdadera cuestión terrenal: Sobre La ecología de Marx de John Bellamy Foster*, El Búho, Revista Electrónica de la Asociación Andaluza de Filosofía, Época II, Año 2, Número 3, Octubre 2005 - Enero 2006.

Castro Pareja, Paula, Liliana Castillo Sánchez, Mirtha Nazario Ramírez, Javier Coello Guevara y José Calle Maraví, (2007), *Producción de Biodiésel a Pequeña Escala a Partir de Aceites Usados En La Ciudad de Lima*, Intermediate Technology Development Group (ITDG), la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Perú, 20 de abril de 2007.

CDDHCU, (2007), *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*, Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión (CDDHCU), Diario Oficial de la Federación (DOF), 5 de agosto de 2007.

CENSAT, (2006), *¿Representan los Biocombustibles Alternativas Ecológicas al Petróleo?*, Boletín Censat 170, Julio 2006, España.

CEPAL, (1994), *Economía y Ecología: Dos Ciencias y Una Responsabilidad Frente a La Naturaleza*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Recursos Naturales y Energía, IV Simposio Internacional de Turismo, Ecología y Municipio, Lima, Perú, 26 al 30 de septiembre de 1994.

Cerbón Navarrete, Miguel Ángel, (2006), *Hacia un transporte sustentable en la Zona Metropolitana del Valle Cuautitlán –Texcoco*, Dirección de Enlace con los Sectores de Desarrollo Urbano Sustentable en la Secretaría de Desarrollo Metropolitano del Gobierno del Estado de México, México, 2006.

Chávez, Ana María y Guadarrama, Julio, (2004) “ La región central de México en transición”, Aguilar, Adrián Guillermo (coord.), *Procesos metropolitanos y grandes ciudades; dinámicas recientes en México y otros países*, H. Cámara de Diputados, LIX Legislatura, Instituto de Geografía, Centro Regional de Investigaciones

Multidisciplinarias, Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad-UNAM, CONACyT, editorial Miguel Ángel Porrúa, México 2004, pp. 144-186

Clarimón, Luis, Fernández, Covadonga, Sánchez, Berta, (2005), *Informe sobre el Empleo de Combustibles Renovables: Biodiésel*, Departamento de Medio Ambiente CC.OO. Aragón, Zaragoza, España, marzo de 2005.

CMCC, (2005), *Cuidar el clima: Guía de la Convención Marco sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto*, Publicada por la Secretaría de la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), Bonn Alemania 2005.

Colmenares Guevara, Igor José, (2007), *Desarrollo Sustentable y Sostenible de Sistemas de Transporte Público Urbano: Impacto en la Gerencia, Organización y Liderazgo*, Seminario “Administración: Teorías y Categorías de Análisis”, Universidad Central de Venezuela (UCV), Caracas, Venezuela, 2007.

COMETAH, (1998), *Programa de Ordenación de La Zona Metropolitana del Valle de México*, Comisión Metropolitana de Asentamientos Humanos, México 1998.

CONAE, (2000), *Vehículos con Etanol*, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, México, 2000.

Corredor, Lesmes y Carlos Soto, (2005), *Reducción de Gases de Efecto Invernadero con La Implementación de Sistemas de Transporte Masivo*, Encuentro Ambiental Contaminación Atmosférica Urbana y Protocolo de Kyoto, Instituto para el Desarrollo Sostenible y Grupo de Investigación Uso Racional de la Energía y Preservación del Medio Ambiente, Septiembre 2005.

CRAN, (2006), *Los Biocombustibles*, Centro de recursos ambientales de Navarra (CRAN), España, 2006.

Cruz, Helena, (2008), “Hacia políticas urbanas integrales y participativas”, Muñoz, Francesc (mod.), *¿Ciudades sostenibles o ciudades creativas? Retos para el urbanismo del Siglo XXI*, Debate virtual, Universitat Oberta de Catalunya, 9-23 octubre de 2008, pp. 7-8.

Dalla, Bruno O., María L. Pisarello y Carlos A. Querini, (2005), *Procesos de Producción de Biodiésel: Uso de Materias Primas Alternativas y de Alta Acidez*, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE), Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química, Santa Fe, Argentina, 20 de septiembre de 2005.

Dasgupta, Susmita, Benoit Laplante, Hua Wang, y David Wheeler, (2002), *Confronting the Environmental Kuznets Curve*, The Journal of Economic Perspectives, Vol. 16, No. 1, Winter 2002, pp. 147-168.

De Valdez, Alejandro, (2006), *Biocombustibles ¿Son Una Alternativa a Los Combustibles Fósiles?*, Alerta Verde, Boletín de Acción Ecológica, Quito, diciembre 2006.

Diab, Khaled,(2008), *Back to basics on climate change*, The Guardian, Reino Unido, viernes 25 de Julio 2008.

DOUE, (2002), *Reglamento (CE) No 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea*, *Diario Oficial de la Unión Europea* (DOUE), Comunidad Europea, 28 de enero de 2002.

Durán, Alfonso, (2009), *DF y Edomex, Generan Casi Un Tercio de La Basura del País*, Ciudad Universitaria, México, D.F, 25 de mayo de 2009.

Ezcurra, Exequiel (2000), “El ecosistema urbano”, Gustavo Garza (comp.) *Atlas de la Ciudad de México*, México, Gobierno de la Ciudad de México y El Colegio de México, pp.447-453

Fajardo, J., Meza, J., Abuchar, A., (2003), *Estudio del Desempeño Mecánico y Ambiental de Los Motores de Encendido por Compresión al Utilizar Biodiésel como Combustible*, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia 2003.

FEECIME, (2000), *La Ciudad de México hoy. Bases para un diagnóstico*, Gobierno del Distrito Federal, Oficialía Mayor, Fideicomiso de Estudios Estratégicos sobre la Ciudad de México (FEECIME), México 2000.

Flores González, Sergio, (2002), *La Megalópolis de la Región Centro de México: Una aproximación a su análisis*, Memoria del Foro Estatal sobre Desarrollo Urbano Sustentable, LV Legislatura del Estado de Puebla, SEDURBECOP, 1ª Edic, Puebla, Puebla, 2002.

Franco Patiño, Sandra Milena y Isaías Tobasura Acuña, (2007), *Familia, soberanía alimentaria y medio ambiente. Un caso de estudio*, Revista Luna Azul, Número 25, Colombia, julio - diciembre de 2007, pp. 8-21.

Fuentes, Arnau, (2007), Una mala hierba con mucha energía, *Ecoperiódico*, Destacados, 20 Septiembre 2007.

Gabaldón, A. J., (2006), *Desarrollo sustentable, La salida de América Latina*, Grupo Editorial Random House Mondadori, Caracas, mayo 2006.

García, Agustín, (2009), *Los Capitalinos Respiran Aire Contaminado La Mitad del Año*, Boletín UNAM-DGCS-308, Ciudad Universitaria, México, D.F, 22 de mayo de 2009, pp.1-3.

García Camas, Juan Manuel y José Ángel García Laborda, (2006), *Biocarburantes Líquidos: Biodiésel y Bioetanol*, Informe de vigilancia tecnológica, Universidad Rey Juan Carlos, Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía, España, Diciembre 2006.

García Escalante, Jennifer Sandra, (2008), *Alcanzan los Contaminantes del Sector Energético de Tula, Al Valle de México*, Boletín UNAM-DGCS-632, Ciudad Universitaria, México, D.F, 7 de Octubre de 2008.

García Fernández, Juan Javier, (2007), *El concepto de sustentabilidad de los recursos naturales*, Fundación para la Conservación de las Especies y Medio Ambiente (FUCEMA), Convenio sobre la diversidad biológica, Argentina, 28 de agosto de 2007.

Gay, Carlos, (2009), *Necesario El Avance Tecnológico en Energías Alternas para enfrentar El Cambio Climático*, Boletín UNAM-DGCS-036, Ciudad Universitaria, México, D.F, 18 de Enero de 2009.

GCSC, (2008), *México: Cambio Climático, Mercado de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*, González Calvillo, SC Abogados (GCSC) Derecho Ambiental y Desarrollo Sustentable, México, D.F, Enero de 2008.

González, M<sup>a</sup> Jesús y Lázaro, M<sup>a</sup> Luisa, (2005), *Indicadores básicos para la planificación de la sostenibilidad urbana*, Biblio 3W, Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales (Serie documental de Geo Crítica), Universidad de Barcelona, Vol. X, n<sup>o</sup> 586, 30 de mayo de 2005.

González Rodríguez, Sara, (2008), *Biocombustibles: Nueva forma conseguir petróleo mediante algas*, Universidad de Vigo, Trabajos de Energías Renovables, España, mayo 2008.

Graizbord, Boris, (1999), *Municipios Urbanos y Sustentabilidad: Interrelaciones entre Ambiente y Ciudad*, Congreso, Gobiernos locales: el futuro político de México, Red Nacional de Investigadores en Gobiernos Locales de México (IGLOM), Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), Guadalajara, Jalisco, 23 al 24 de Septiembre de 1999.

Graizbord, Boris y Marlon Santillán, (2005), *Dinámica demográfica y generación de viajes al trabajo en el Área Metropolitana de la Ciudad de México:1994-2000*, Estudios Demográficos y Urbanos, enero-abril, número 058, El colegio de México, A.C., Distrito Federal, México, pp. 71-101.

Guillén Solís, Omar, (2003), *India, ¿modelo para México en energías renovables?*, Tu obra, UNAM, México 2003.

Gutiérrez, Alejandro, (2005), *Nueva ciudad de Dongtan*, ARQ Obras y proyectos, número 60, Arquitectura de infraestructura, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, julio, 2005, pp. 52 - 55.

Gutiérrez González, Ernesto, (2002), *Sistema de Inyección No Cartográfico Para Motores De Ciclo Otto. Gestión De Transitorios*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Maquinas y Motores Térmicos, Laboratorio de Motores Térmicos, Programa de Doctorado en Ingeniería Térmica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, Julio de 2002.

Heywood, John, (2006), *Combustibles para los transportes del futuro*, Energía, presente y futuro, Investigación y Ciencia (edición española de Scientific American), número 362, Barcelona, Noviembre 2006.

Huertas Gómez, Ebroul, (2004), *Asentamientos humanos y vulnerabilidades*, 24°. Taller Latinoamericano del Centro de Estudios del Hábitat Popular, “Planeación y gestión de reasentamientos humanos en América Latina”, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Agosto 2004.

Ibarra Zavala, Darío, (2008), *El Modelo de Crecimiento Económico de Solow-Swan con Contaminación y Reciclaje*, Laboratorio de Análisis Económico y Social, A. C., México, 2008.

IDAE, (2005), *Combustibles y nuevas tecnologías de vehículos que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes*, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Proyecto TREATISE de la Comisión Europea, Octubre de 2005.

IDAE, (2004), *En el Transporte: Como Ahorrar Energía*, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2004.

IHOBE, (2003), *Criterios de Sostenibilidad Aplicables al Planteamiento Urbano*, Gobierno Vasco, Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, IHOBE - Sociedad Pública de Gestión Ambiental, Serie Programa Marco Ambiental, N° 22, Mayo 2003.

Imaz, Mireya, (2009), *Rebasamos Umbrales Ambientales Irreversibles*, Boletín UNAM-DGCS-338, Ciudad Universitaria, México, D.F, 5 de junio de 2009.

Inclán, Ubaldo, (2003), *Esquemas internacionales de financiamiento e incentivos en el uso de energías renovables: Bonos de Carbono*, Subsecretaría de Política Energética y Desarrollo Tecnológico, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, SENER, México, Noviembre 13 de 2003.

INE, (2000), *La evaluación del impacto ambiental: Logros y Retos para el Desarrollo Sustentable 1995-2000*, Instituto Nacional de Ecología (INE), Dirección General De Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental, México, noviembre 2000.

INE, (2006), *México Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, Instituto Nacional de Ecología (INE), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México, octubre 2006.

INIFAP, (2002), *Reporte de la Iniciativa de la Ganadería, el Medio Ambiente y el Desarrollo*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Swiss College of Agriculture, Diciembre de 2002.

Iracheta Cenecorta, Alfonso, (2001), *Desarrollo Metropolitano y Retos para La Planeación*, Financiamiento para el Desarrollo Urbano Regional en México, Instituto de Investigaciones Económicas, Programa Universitario de Estudios Sobre La Ciudad, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias de La UNAM y Colegio Mexiquense, Adolfo Sánchez Almanza Coordinador, Ciudad Universitaria, México D.F., 27-29 de marzo, 2001.

Isgro, María de los Ángeles, (2006), *Crisis Energética Mundial*, Colegio Universitario Patagónico, Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina, 2006.

Jiménez, Javier, (2005), *Movilidad, Urbanismo y Ciudadanía 2020: Soluciones al Sistema de Transporte en Bogotá*, Universidad de los andes, Bogotá, Colombia, 28 de febrero de 2005.

Jochem, Eberhard, (2006), *Aumento del rendimiento y ahorro energético*, Energía, presente y futuro, Investigación y Ciencia (edición española de Scientific American), número 362, Barcelona, Noviembre 2006.

Kappelle, M, (2004), *Diccionario de la Biodiversidad*, Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) & Cooperación Española (AECI), INBio Press, Santo Domingo de Heredia, 2004.

Lamy, Brigitte, (2006), *Sociología urbana o sociología de lo urbano*, Estudios Demográficos y Urbanos, enero-abril, año/vol. 21, número 001, El Colegio de México, A.C., Distrito Federal, México, pp. 211-225.

Larosa, Rodolfo, (2001), *Proceso para la producción de Biodiésel (metilester o esteres metílicos de ácidos grasos)*, Zoe Tecno-Campo, Marzo 2001

Lavell, Allan, (1996), “Degradación Ambiental, Riesgo y Desastre Urbano. Problemas y Conceptos: Hacia la definición de una agenda de investigación”, Fernández, María Augusta (coord.), *Ciudades en Riesgo. Degradación Ambiental, Riesgos Urbanos y Desastres*, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, Lima Perú, 1996, pp. 12-42.

Lavell, Allan, (2001), *Gestión de Riesgos Ambientales Urbanos*, Fernández, María Augusta (coord.), Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, Lima Perú, 2001, pp. 12-42.

Lezama, José Luis, (2005), *Curitiba hoy*, Reforma, México D.F., México, marzo 26, 2005

Lina Manjarrez, Pedro, (2005), *Transformaciones territoriales y medio ambiente en la Zona Metropolitana del Valle de México: pensar la sustentabilidad de la ciudad*, Ponencia presentada en el VI Encuentro de Postgrados Iberoamericanos sobre Desarrollo y Políticas Territoriales: “Construyendo Espacios para la Colaboración Regional”, Toluca, México, 19 a 21 de septiembre de 2005.



- López Morales, Carlos A., (2007), *Ecología política y tradición marxista: las consideraciones analíticas y programáticas de Manuel Sacristán*, Economía Informa, núm. 346, mayo-junio 2007.
- Lowy, Michael, (2003), *Capital contre nature*, PUF, J. M. Harribey & Michael Löwy ed, 2003.
- Markos, Andrea, Alfonso Raffin del Riego y Marta G. Rivera Ferre, (2007), *Efectos de los biocombustibles en los precios de los alimentos*, Grupo Bionegocis, España, Octubre 2007.
- Martínez Alier, Joan, (2009), *¿Un Keynes verde o un Decrecimiento Sostenible?*, Portal del Medioambiente, España, 9 de Marzo de 2009.
- Martínez García, Ricardo Adolfo, (2008), *Análisis de Factibilidad para la Implementación de una planta de Biodiésel*, Tekmash México S.A. De C.V., México 2008.
- Martínez Herrera, Jorge, Silvia Evangelista Lozano y Alma L. Martínez Ayala, (2007), *Biocombustible de la nueva era energética*, Tecnológica del Estado de Morelos, Hypatia Revista de Divulgación Científico, No. 22, Año 6, Abril-Junio 2007.
- Martínez Jiménez, Alfredo, (2009b), *Trabaja la UNAM Energéticos con Biotecnología*, Boletín UNAM-DGCS-064, Ciudad Universitaria, México, D.F, 1 de Febrero de 2009.
- Masera Cerutti, Omar R., Javier Aguillón y Benjamín Gamino, (2005), *Estimación del Recurso y Prospectiva Tecnológica de la Biomasa Como Energético Renovable en México*, Secretaria de Energia, Agosto 2005, México.
- Masera Cerutti, Omar R., (2009), *Ocupa México El Lugar 14 A Nivel Mundial, En Emisiones de Gas Efecto Invernadero*, Boletín UNAM-DGCS-004, Morelia, Michoacán, 2 de enero de 2009.
- Masera Cerutti, Omar R. y Gustavo Best, (2009b), *La UNAM Participa en Red Para Producir Energías Limpias, En Emisiones de Gas Efecto Invernadero*, Boletín UNAM-DGCS-130, Ciudad Universitaria, México, D.F, 4 de marzo de 2009.
- MDSMA, (1999), *Proyecciones y Opciones Técnicas de Uso Eficiente de La Energía en El Transporte de Cargas y Pasajeros*, Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente (MDSMA), Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental, Argentina 1999.
- Merlinsky, Gabriela, (2006), *Vulnerabilidad social y riesgo ambiental: ¿Un plano invisible para las políticas públicas?*, Mundo Urbano, Número 28, Buenos Aires, Argentina, Febrero-Abril 2006
- Meza Hernández, María, (2004), *Diagnóstico Ambiental de la región VII: Texcoco*, Gobierno del Estado de México, Secretaría de Ecología, Estado de México, 2004

MI, (2004), *Los motores de gasolina del proyecto de cooperación entre BMW Group y PSA Peugeot Citroën*, Media Information (MI), BMW Group, PSA Peugeot Citroën, diciembre de 2004.

Miró, Eduardo E. y Carlos A. Querini, (2001), *Eliminación Simultanea de Hollín y Óxidos de Nitrógeno en Efluentes de Motores Diésel*, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica-INCAPE(FIQ,UNL,CONICET), Argentina, 2001.

Monsalve, John, Medina de Pérez, Victoria, Ruiz, Ángela, (2006), *Producción se Etanol a Partir de La Cáscara de Banano y de Almidón de Yuca*, Dyna rev.fac.nac.minas, vol.73, no.150, noviembre 2006.

Montaner, Josep María y Zaida Muxí, (2006), *Curitiba: Hacia la ciudad Ecológica*, Culturas La Vanguardia, Miércoles, 12 julio 2006, pp. 16 y 17.

Montaño Salazar, Rodolfo, (2006), *Expansión y Reconversión Económica de La Zona Metropolitana del Valle de México, Una Mirada de 1970 A 2000*, Arquitectura, Ciudad y Entorno (ACE©), Vol.1, núm. 2, España, octubre 2006.

Montiel, Juan Francisco, (2008), *Prospectiva del Ahorro de Energía en el Transporte*, Secretaría de Energía (SENER), Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), 17 de septiembre de 2008.

Moura, Rosa y Fernanda Sánchez, (2005), *Ciudades-modelo: estrategias convergentes para su difusión internacional*, Revista EURE, Vol. XXXI, N° 93, Santiago de Chile, agosto 2005, pp. 21-34.

Munasinghe, Mohan, (1994), *Degradación del Medio Ambiente Urbano y Vulnerabilidad a los Peligros Naturales*, Conferencia Mundial para la Reducción de Desastres Naturales, Comité Técnico, Sesión C, Efectos de los Desastres en Sociedades Modernas, Yokohama, Japón, 23-27 Mayo 1994

Munda, Giuseppe, (2003), *Sostenibilidad urbana y patrimonio cultural: un enfoque multidimensional*, Ecotropía, N° 35, España, 9-22 de octubre de 2003.

Navarro, Herminio Elio, (2003), *Geografía urbana*, Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional de Catamarca, Argentina, 6 de Noviembre de 2003.

Navas Dávila, Gerardo, (2001), *Nuevo Urbanismo y Desarrollo Regional Sostenible: La Manera de Crecer Inteligentemente*, Encuentro sobre Nuevo Urbanismo y Desarrollo Regional Sostenible, Escuela Graduada de Planificación de la U.P.R, Sociedad Puertorriqueña de Planificación, Mayagüez, Puerto Rico, marzo de 2001.

Núñez García, M<sup>a</sup> José, García Triñanes, Pablo, (2002), *Biocombustibles: Bioetanol y Biodiesel*, Dpto de Ingeniería Química, ETSE, Universidad de Santiago de Compostela, España, 2002.

Núñez Vidal, Nelson, (2009), *Sustentabilidad Herramienta indispensable para la competitividad*, ExpokNews Información sobre Responsabilidad Social, México, D.F., 17 Septiembre 2009.

Osnaya, Patricia, (2003), *Avances de México en Materia de Cambio Climático 2001-2002*, Patricia Osnaya (compiladora); Adrián Fernández y Julia Martínez (coordinadores), Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, México 2003.

Palafox, Sergio, (2008), *En Los Próximos Años, México Incrementará 110 por ciento El Consumo de Energía*, Boletín UNAM-DGCS-671, Ciudad Universitaria, México, D.F, 24 de octubre de 2008.

Parnreiter, Christof, (2002), *Ciudad de México: el camino hacia una ciudad global*, EURE, vol.28, no.85, Santiago de Chile, diciembre, 2002.

Partida Bush, Virgilio y Anzaldo Gómez, Carlos, (2003), “Escenarios demográficos y urbanos de la zona metropolitana del valle de México”, CONAPO, *La situación demográfica de México, 2003*, Consejo Nacional de Población, pp. 41-61

Pathiyamattom, Sebastian, (2008), *Produce La UNAM Biocombustibles Sustentables y Amigables con El Entorno*, Boletín UNAM-DGCS-635, Ciudad Universitaria, México, D.F, 8 de Octubre de 2008.

Patiño, Fernando, (1999), *Vulnerabilidades urbanas: el duro aprendizaje de Centroamérica*, Centro de Recursos para el Desarrollo Sostenible de los Asentamientos Humanos en Centroamérica (CERCA), Agosto 1999.

Pérez Arriaga, José Ignacio, (2002), *Energía y desarrollo sostenible*, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad Pontificia Comillas, España, Octubre de 2002.

Pérez, Marta, (2008), “Ciudades más sostenibles mediante políticas urbanas integrales”, Muñoz, Francesc (mod.), *¿Ciudades sostenibles o ciudades creativas? Retos para el urbanismo del Siglo XXI*, Debate virtual, Universitat Oberta de Catalunya, 9-23 octubre de 2008, pp. 5.

Pineda Pablos, Nicolás, (2008), *Un Modelo Conceptual Integrado de Desarrollo Local y Competitividad para las Ciudades Mexicanas*, Simposium sobre Competitividad y Desarrollo Municipal en Sinaloa, Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), Centro de estudios de la Globalización y el Desarrollo Regional, México, 27 de Mayo de 2008.

PNUMA, UNFCCC, (2004), *Cambio Climático: Carpeta de Información*, Publicado por el PNUMA y la UNFCCC, Suiza noviembre de 2004.

PEF, (1996), *Programa de Medio Ambiente 1995-2000*, Poder Ejecutivo Federal (PEF), Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), México, 1996.

Quiroz Miranda, Sergio, (2003), *Izquierda y Conciencia de Clase*, I Conferencia Internacional, La obra de Carlos Marx y los desafíos del siglo XXI, La Habana, 5 al 8 de mayo de 2003.

Rees, William E. y Mathis Wackernagel, (1994), "Ecological Footprints and appropriated carrying capacity: Measuring the Natural Capital Requirements of Human Economy", Jansson, Ann Marie, Monica Hammer, Carl Folke y Robert Costanza, (coord.), *Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability*, International Society for Ecological Economics and Island Press, pp. 362-389.

Ribeiro, Silvia, (2008), *Agrocombustibles: Secretos y Trampas del Banco Mundial*, La Jornada, México, D.F, sábado 5 de julio de 2008.

Ribera, Teresa, (2008), *Keynes y El Cambio Climático*, El País, España, 22 de diciembre de 2008.

Rizzi, Maximiliano, (2009), *Mostaza argentina pasaría de salchichas a tanques de combustible*, Reuters América Latina, viernes 6 de febrero de 2009.

Roca, Jordi, (2009), *Crisis económica, crisis ecológica y el resurgimiento del keynesianismo*, Jornada sobre Crisis Económica y Alternativas, organizada por el IU-ICV en el Congreso de Diputados, Madrid, 20 de febrero de 2009.

Roca, Jordi, (2009b), *Ante la crisis: ¿viva el crecimiento económico?*, Revista de Economía Crítica, número 7, primer semestre, 2009, pp. 134-136

Roccatti, Mireille, (2007), *La Comisión Ambiental Metropolitana: Un Nuevo Esquema de Coordinación*, Instituto de Investigaciones Jurídicas UNAM, Serie Doctrina Jurídica, Núm. 385, México, 4 de abril de 2007.

Rocha Sánchez, Marco Antonio, (2008), *Crecimiento Urbano y Economía Local. Elementos Para Una Política de Desarrollo Económico en El Municipio Metropolitano de Texcoco, Estado De México*, Tesis Doctoral, UNAM, Facultad de Economía, División de Estudios De Posgrado, México, D. F., mayo 2008.

Rojas Valencia, Neftalí, (2009), *Lento, El Avance en La Cultura del Reciclaje*, Boletín UNAM-DGCS-149, Ciudad Universitaria, México, D.F, 14 de marzo de 2009.

Romano Yalour, Margot, (2003), *Desarrollo Sustentable ¿ecológico, económico y social?*, Portal de medio ambiente, España, 16 de junio de 2003

Rueda Palenzuela, Salvador, (1999), *Modelos e Indicadores para ciudades más sostenibles*, Taller sobre Indicadores de Huella y Calidad Ambiental Urbana, Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya, Agencia Europea de Medio Ambiente, Fundació Fòrum Ambiental, marzo de 1999.

Rueda Palenzuela, Salvador, (2002), *Modelos urbanos y sostenibilidad*, 1º Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid 2002.

Sánchez Almanza, Adolfo, (2004), *Panorama histórico de la Ciudad de México*, Gobierno de la Ciudad de México, Miguel Ángel Porrúa-IIEC-UNAM, México, 2004.

Santos Cerquera, Clemencia y Guarneros Avilés, Lizbeth, (2004) “La zona metropolitana de la ciudad de México”, Aguilar, Adrián Guillermo (coord.), *Procesos metropolitanos y grandes ciudades; dinámicas recientes en México y otros países*, H. Cámara de Diputados, LIX Legislatura, Instituto de Geografía, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad-UNAM, CONACyT, editorial Miguel Ángel Porrúa, México 2004, pp. 368-396.

Schteingart, Martha, (2000), *Aspectos conceptuales y metodológicos en estudios urbano-ambiental*, Estudios Demográficos y Urbanos 44, vol. 15, núm. 2, mayo – agosto de 2000, pp. 233-252.

Scioli, Nicolás, (2007), *El divorcio entre la Economía y la Ecología: la necesidad de la armonía*, Eco2site, noviembre 2007.

SDUV, (2005), *La Metropolización*, Foro Nacional de Zonas Metropolitanas, Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SDUV) del Estado de México, 2005.

SEDESOL, CONAPO, INEGI, (2007), *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005*, Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Consejo Nacional de Población (CONAPO), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), México, noviembre de 2007.

SEMARNAP, (1996), *Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 1995-2000*, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), México, 20 de marzo de 1996.

SEMARNAT, (2001), *Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México, 2001.

SEMARNAT, (2005), *Informe Sobre La Situación del Medio Ambiente en México: Compendio de Estadísticas del Medio Ambiente en México*, Cap. 6 Atmósfera, SEMARNAT, México, 2005.

SEMARNAT, (2007), *Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México, noviembre de 2007.

Sevilla Guzmán, Eduardo y Manuel González de Molina, (2008), *El concepto de transición en el pensamiento Marxista: Reflexiones desde la agroecología*, Compendio sobre agroecología, Volumen I, septiembre de 2008, pp. 30-40.

Shah, Tushaar, (2005), *Agotamiento de los recursos naturales – Consecuencias para el desarrollo*, InfoResources Trends, Berna, Suiza, Octubre, 2005

Simioni, Daniela, (2003), *Contaminación atmosférica y conciencia ciudadana*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Publicación de las Naciones Unidas, Santiago de Chile, junio de 2003.

SMA-GDF, (2005), *Inventario de Emisiones De La Zona Metropolitana del Valle de México 2004*, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA-GDF), Dirección General de Gestión Ambiental del Aire, Sistema de Monitoreo Atmosférico, Ciudad de México, 2005.

SMA-GDF, (2006), *La Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México, 1986 – 2005*, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA-GDF), Dirección General de Gestión Ambiental del Aire, Sistema de Monitoreo Atmosférico, Ciudad de México, 2006.

SMA-GDF, (2008), *Manual Administrativo en su parte de Organización y Listados de Procedimientos*, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA-GDF), Gaceta Oficial del Distrito Federal, 12 de Junio de 2008, México, D.F.

Sobrino, Jaime, (2004), *Competitividad territorial: ámbitos e indicadores de análisis*, Economía, Sociedad y Territorio, Dossier especial, México, D.F., 2004, pp.123-183.

Sonnet, Fernando H., (2007), *¿Biocombustibles o Alimentos? Un Análisis desde La Teoría Económica*, Asociación Argentina de Economía Agraria, Instituto de Economía y Finanzas, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, Agosto 2007.

Stern, N., (2007), *Stern Review on The Economics of Climate Change. Executive Summary*, Cambridge University Press, January 2007.

Stix, Gary, (2006), *Energía y cambio climático*, Energía, presente y futuro, Investigación y Ciencia (edición española de Scientific American), número 362, Barcelona, Noviembre 2006, pp. 8-11.

Stratta, José, (2000), *Biocombustibles: Los Aceites Vegetales Como Constituyentes Principales del Biodiesel*, Bolsa de Comercio de Rosario, Investigación y Desarrollo, Departamento de Capacitación y Desarrollo de Mercado, Agosto 2000.

Suárez Lastra, Manuel, Delgado Campos, Javier, (2007), *Estructura y Eficiencia Urbanas. Accesibilidad a Empleos, Localización Residencial e Ingreso en la ZMCM 1990-2000*, Economía, Sociedad y Territorio, enero-abril, año/vol. VI, número 023, El Colegio Mexiquense, Toluca, México, 2007.

Susino Arbucias, Joaquín, (2000), *Movilidad Residencial y Movilidad Cotidiana en Áreas Urbanas*, Universidad de Granada, España, 2000.

Thicke, Michael, (2005), *Aprendiendo de Curitiba: La aplicación de los principios de la sustentabilidad urbana en las ciudades canadienses*, Proyecto final presentado para el curso "Sustentabilidad en la arquitectura y la ciudad", Facultad de Arquitectura de la UNAM, Universidad de Dalhousie, 14 de diciembre, 2005.

Trímboli, Juan, (2008), *Cambio Climático, Ciudades Sustentables y Consumo Responsable*, Encuentro Iberoamericano de Organizaciones de Consumidores, Madrid, España, 28, 29, 30 de mayo 2008.

UITP, (2009), *Integración del transporte público y de la planificación urbana: por un círculo virtuoso*, International Association of Public Transport (UITP), Focus, enero 2009.

Ulloa, Aída, (2007), *Proyectan combustible con cáscara de café: Expertos evalúan la viabilidad de otras plantas para elaborar biodiesel*, El Universal, México, lunes 06 de agosto de 2007.

UNCHS, (2000), *Ciudades Sustentables y Gobierno Local*, Programa de Ciudades Sustentables, United Nations Centre for Human Settlements (UNCHS), United Nations Environment Programme (UNEP), noviembre de 2000.

UNFCCC, (2003), *Informando Sobre Cambio Climático manual del usuario para las directrices sobre comunicaciones nacionales de las Partes no-Anexo I de la CMNUCC*, UNFCCC, Noviembre de 2003.

Urias, Eric, (2006), *Una Alternativa de Inversión para El Sector Energético de México: Aplicación de los Mecanismos de Flexibilidad del Protocolo de Kyoto (1997-2005)*, Tesis de Maestría, UNAM, Posgrado de Economía, FES Aragón, México, noviembre 2006.

Valle Bourrouet, Grettel, (2006), *Hidrógeno y otras fuentes alternativas de energía*, VIII Congreso Nacional de Ciencias, Exploraciones fuera y dentro del aula, 27 y 28 de agosto, 2006 Universidad Earth, Guácimo, Limón, Costa Rica.

Vallicelli, Liana, (2002), *Un modelo de desarrollo sostenible: Curitiba (Brasil)*, CEPAL, Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 48, abril 2002.

Vargas, Miguel, (2002), *Mantenimiento de Vehículos*, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), Dirección de Transporte, México 15 de julio de 2002.

Vargas, Miguel, (2004), *Guía de ahorro de gasolina*, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), Dirección de Transporte, México 15 de enero de 2004.

Weaver, Christopher S., Noriega, Diana, Rodríguez, René, (2002), *Medición de Emisiones a Vehículos Recolectores de Basura en La Ciudad de México*, XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Cancún, México, 27 al 31 de octubre, 2002.

Winchester, Lucy, (2006), *Desafíos para el desarrollo sostenible de las ciudades en América Latina y El Caribe*, Eure, vol.32, no.96, Santiago de Chile, agosto, 2006, pp. 7-25.

Zanella, Rodolfo, (2009), *Los Nanocatalizadores, Aliados Ecológicos*, Boletín UNAM-DGCS-305, Ciudad Universitaria, México, D.F, 20 de mayo de 2009.

Zanoni, José Rafael, (2005), *¿Qué pueden hacer las políticas energéticas por la integración?*, Revista Mexicana de Política Exterior, No 75, Octubre de 2005, México.

Ziccardi, Alicia, (2009), *Ciudades y gobiernos locales: entre la competitividad urbana y la cohesión social*, VI Congreso de La Red de Investigadores en Gobiernos Locales de México (IGLOM), Desarrollo Sustentable, Cohesión Social y Democracia Participativa: La Nueva Agenda del Municipio Mexicano, Universidad Autónoma De Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México, 1 al 3 de octubre 2009.

### ***Consulta a Sitios de Internet***

<http://blog.accabogados.com/2006/09/11/ibs-produce-biodiesel-a-partir-del-reciclaje-de-aceites-usados/>, consultada el 14 de marzo de 2008

<http://chapters.thezeitgeistmovement.com/>, consultada el 17 de diciembre de 2009

<http://green-bubble.org/gobierno/china-legisla-por-primera-vez-sobre-la-economia-de-reciclaje/>, consultada el 2 de abril de 2008

<http://neofronteras.com/especiales/?p=27>, consultada el 1 de diciembre de 2008

<http://www.biodieselpain.com/2007/02/13/desechos-de-naranja-a-fabricar-biocombustible-zumosoil/>, consultada el 30 de junio de 2007

<http://www.biodieselpain.com/2007/11/14/billetes-mas-baratos-a-cambio-de-aceite-reciclado/>, consultada el 8 de marzo de 2008

<http://www.biopersa.com/proyectos/biodiesel>, consultada el 1 de diciembre de 2008

<http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/Alternos>, consultada 10 de enero de 2007

[http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/rendimientos\\_de\\_combustible\\_2007](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/rendimientos_de_combustible_2007), consultada 10 de enero de 2007

<http://www.ecologicosi.com/bioetanol-pulpa-cafe/13.html>, consultada el 12 de septiembre de 2007

<http://www.eluniversal.com.mx/finanzas/59273.html>, consultada el 5 de marzo de 2008

<http://www.eluniversal.com.mx/articulos/35642.html>, consultada el 11 de marzo de 2008



[http://www.eukn.org/espana/news/2007/10/no36\\_UrbanSustainability-URBAN-NET\\_1005.html](http://www.eukn.org/espana/news/2007/10/no36_UrbanSustainability-URBAN-NET_1005.html), consultada 17 de diciembre de 2009

<http://www.frenaclcambioclimatico.org/blog/?p=218> , consultada el 30 de junio de 2007

<http://www.gasolina.com/article.php?story=20070306133856364>, consultada el 20 de junio de 2007

[http://www.ine.gob.mx/dgipea/eeco\\_vehiculos/](http://www.ine.gob.mx/dgipea/eeco_vehiculos/), consultada 10 de enero de 2007

<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/conteos/conteo2005/default.asp?c=6224>, consultada el 27 de marzo de 2007

<http://www.marxismo.org/?q=node/392>, consultada el 5 de enero de 2009

<http://www.rionegro.com.ar/arch200502/22/e22d02.php>, consultada el 28 de noviembre de 2008

<http://www.solenerg.com/2008/05/09/en-chajari-haran-biodiesel-con-aceite-comestible/>, consultada el 28 de noviembre de 2008

[http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id\\_sec=45&id\\_art=3120&id\\_ejemplar=0](http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=45&id_art=3120&id_ejemplar=0), consultada el 11 de marzo de 2008