

### 3. Impacto de las emisiones del sector eléctrico en el norte de México

María Eugenia González-Ávila

#### *Resumen*

El presente trabajo aborda aspectos del efecto emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI) por parte del sector eléctrico ubicado en el norte de México. Donde se identificó que Centrales Eléctricas (CE) como Samalayuca II, Río Escondido y el Carbón II fueron emisoras importantes de GEI ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$ ) durante el periodo 2002 a 2005, por lo cual se propusieron medidas preventivas y de mitigación que eviten daños ambientales y en la salud humana, así como disminuir nuestra contribución al Cambio Climático Global (CCG). Siendo que el norte de México tiene que enfrentar altos requerimientos energéticos, por su dinamismo económico y social, previsto para los próximos años.

Además, la disminución de GEI debe estar acompañada de la aplicación de correctas políticas públicas que estén ligadas al desarrollo de una industria eléctrica moderna, una población consciente en el ahorro de energía y el uso de ésta, así como una industria-empresa abierta a la inversión y uso de otras fuentes alternativas de electricidad. Todo esto permitirá no sólo cumplir con los acuerdos internacionales en cuanto a GEI, sino contribuir al crecimiento sustentable y sostenible ambientalmente de esta región del país.

*Abstract*

In this paper we show some aspects of the Gas Emissions Effect (GEI) produced by Central Power (CP) located in the North of Mexico. Where we identify that CE, like Samalayuca II, Escondido River, and Coal II were great important emission of GEI ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ , and  $\text{SO}_2$ ) during the period of 2002 to 2005. From this situation we to propose preventive and mitigation measures to protect environmental damages and human health avoid, last proposed have the idea to decrease contribution of Global Warming (CCG). It is because the North of Mexico will have high power requirements by the social and economic growth in the next years.

Thus, the decreases of GEI must be accompanied by correct application of public policies that this binding to the development of one it trains electrical modern, a conscientious population in the energy saving and the use of this, as well as one trains open to the investment and use of other alternative sources of electricity. All this will not only allow to fulfill the international agreements as far as GEI, but to contribute environmentally to a sustainable growth of this region of the country.

*Introducción*

La contaminación atmosférica ha sido generada por diversas actividades antropogénicas, entre las que se encuentran la generación de energía que ha ido en aumento en función del crecimiento social y económico del hombre (Sener, 2002:15). De acuerdo a lo reportado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, IDAE (2000) y United Nation Environment Programmer (UNEP, 2000:14) existe una asociación entre el uso masivo de combustibles fósiles para producir energía eléctrica y el aumento de fenómenos como la lluvia ácida, emisión de GEI, adelgazamiento de capa de ozono, y otros tantos daños am-

bientales que se han manifestado como el ya conocido Cambio Climático Global (IDAE, 2000).

En el caso de específico de los GEI, son el resultado del uso intensivo de recursos naturales como petróleo, carbón, gas natural y/o agua, para generar energía, aunque existen otras actividades que también contribuyen a su generación. Las sustancias más representativas de los GEI son el monóxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); óxido de nitroso ( $\text{NO}_x$ ); dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ); ozono ( $\text{O}_3$ ); mercurio (Hg) y partículas finas ( $\text{PM}_{10}$ ), las cuales son productos de la combustión de compuesto provenientes del petróleo, y son usados por las CE. Estas centrales han sido consideradas como las principales fuentes de emisión de este tipo de gases en el mundo (Vaughan *et al.*, 2002:5-6; Miller y Van Atten, 2004:32-81).

Entre los países considerados como emisores de GEI está México, el cual ocupa el quinceavo lugar como emisor de GEI, al haber producido, en 2002, 1.49% de  $\text{CO}_2$  a nivel mundial, y que según estimaciones podría alcanzar a emitir 1.52% de estos gases en 2025 (CMM, 2006). La producción de GEI en el país se presenta principalmente en zonas con alta actividad económica, industrial y poblacional (Sener, 2006:1-35), tal es el caso de las entidades del norte de México (Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas), donde se reportó en 1999 al sector eléctrico que emitió 77% de  $\text{NO}_x$  (óxido de nitrógeno); 78% de  $\text{SO}_x$  (óxido de azufre); 14% de CO (monóxido de carbono); así como 31% de  $\text{PM}_{10}$  (partículas suspendidas menores a 10  $\mu\text{m}$ ); y 42% de  $\text{PM}_{2.5}$  (partículas suspendidas menores a 2.5  $\mu\text{m}$ ) del total regional (INE-Semarnat, 1998). Al respecto, Bazán y Nava (2005:1) han reportado que de las quince centrales más contaminantes del país, seis de ellas se ubican en el norte de México y que coincide con lo reportado por Environmental Defense.

Lo anterior permite dar un panorama general de la situación de GEI emitidos por el sector eléctrico en el norte del país, donde las características geográficas, sociales y económicas de

la región han impedido abordar y solucionar la problemática de contaminación ambiental provocada al producir electricidad para las poblaciones fronterizas mexicanas y algunas poblaciones del sur de Estados Unidos. Ante esta situación, el presente trabajo plantea no sólo la emisión de GEI por parte del sector eléctrico en el norte de México, sino además identifica las principales fuentes emisoras y tipos de gases que tienen impactos ambientales y en la salud humana de esta región del país. Al mismo tiempo que se proponen medidas preventivas y de mitigación para evitar daños en el ambiente. Para el cumplimiento de los objetivos, el trabajo se dividió en seis apartados: en el primero se describe la metodología aplicada, mientras que en el punto dos se indican las características ambientales y socioeconómicas.

En el apartado tres se muestran las CE establecidas en el norte del país, mientras que en el punto cuatro se indican los volúmenes de emisión GEI de las principales CE, así como se hace mención de los principales impactos ambientales y de salud que se tienen reportados para este tipo de gases.

En el apartado cinco se describen la perspectivas de producción y consumo de energía, para lo cual se proponen medidas preventivas y de mitigación que eviten la emisión de GEI. Finalmente, en el punto seis se concluyó acerca de la importancia de reducir la emisión de este tipo de gases y optar por fuentes alternativas para producir electricidad.

### *Metodología*

El trabajo se dividió en dos fases:

*Fase I.* Búsqueda de información. Comprendió la búsqueda y consulta de información tanto impresa, como vía Internet, además de entrevistas con especialistas del tema. Dicha información considera tanto las acciones realizadas por el sector eléctrico: Comisión Federal de Electricidad (CFE); Secretaría de Energía

(SE); Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae); y Fideicomiso para el Ahorro de Energía (Fide) tanto a nivel de producción de energía, emisiones de GEI, medidas en pro del ambiente y de salud humana, así como su contribución a la CCG.

*Fase II.* Análisis de la información y elaboración de bases de datos. Consistió en analizar la información obtenida para la elaboración de mapas, cuadros y figuras, que representa el porcentaje de emisiones por tipo de central eléctrica del periodo 2002 a 2005. Dicha información permitió plantear una discusión de aspectos energéticos y ambientales de las entidades fronterizas, así como proponer medidas que aminoren los impactos detectados.

### *Área de estudio*

#### Clima

Las entidades fronterizas del norte de México están constituidas por: Baja California Norte, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, que presentan un rango de climas que varía desde el muy seco hasta el templado subhúmedo. Así, por ejemplo, en Baja California predomina el clima seco, en Sonora el clima de seco a muy seco; en Chihuahua, Coahuila y Nuevo León muy seco, y en Tamaulipas predomina el clima seco y templado subhúmedo. A excepción de una porción equivalente a menos de 3% de la franja fronteriza (en su extremo noreste) donde predomina el clima subhúmedo, en términos generales la frontera norte es dominada en 96% con climas secos (estepario) y muy secos (desértico), los cuales se presentan casi homogéneamente a lo largo de la frontera (INE-Semarnap, 1998:1-35).

#### Hidrología

El potencial hídrico de esta región del país está en función del clima y características geográficas, las cuales regulan la

precipitación y disponibilidad del agua (INE-Semarnat, 1998:1-35). En las entidades nortenas de México se ubican ocho de las 37 regiones hidrológicas existentes en el país, además cuenta con siete de los 43 ríos más importantes de México. La disponibilidad de agua superficial es baja por la sobreexplotación principalmente y sólo cuenta con dos presas internacionales, La Amistad y Falcón (INE-Semarnat, 1998:1-35).

En lo que respecta a la disponibilidad de agua subterránea, ésta es baja por los escasos niveles de precipitación, altos niveles de evaporación y poca vegetación, que limitan aún más la captura de agua. El agua subterránea proviene principalmente de las Sierras en donde se infiltra al subsuelo (Madrey *et al.*, 1999:39-42). Desafortunadamente la sobreexplotación, mal uso, desperdicio y contaminación de las fuentes de agua, tanto subterráneas como superficiales, han dado por resultado una baja disponibilidad de agua por habitante, ubicándose en un rango de extremadamente bajo, hasta bajo (cuadro 1).

CUADRO 1. Superficie, precipitación y disponibilidad del recurso agua en el norte de México

<i>Estado</i>	<i>Precipitación (%)</i>	<i>Disponibilidad agua (m<sup>3</sup> / habitante)</i>	<i>Déficit</i>
Baja California	0.97	Extremadamente baja < a 1,000	-86.8842
Coahuila	3.13	Baja (1,000-2,000)	-343.654
Chihuahua	6.88	Extremadamente baja < a 1,000	-556.477
Nuevo León	2.52	Extremadamente baja < a 1,000	-312.631
Sonora	5.11	Extremadamente baja < a 1,000	-176.797
Tamaulipas	4.04	Media (5,000-10,000)	-12.404

*Fuente:* CNA, 2002.

### Tipo y uso de suelo

Existen ocho unidades de suelo en esta región norte del país, donde predominan los regosoles, arenosotes, calcisoles y leptosoles, y donde poco menos de 50% de la superficie se ocupa para fines agrícolas (INE-Semarnat, 1998:1-35). Existen además grandes extensiones de superficie cubiertas con vegetación, desérticas o semidesérticas, así como ecosistemas fluviales, marinos y humedales, pastizal y relictos de bosques, y alrededor de 2,326 has. consideradas como Áreas Naturales Protegidas (ANP) que equivalen a 18.8% del total de ANP del país (INE-Semarnat, 1998:1-35).

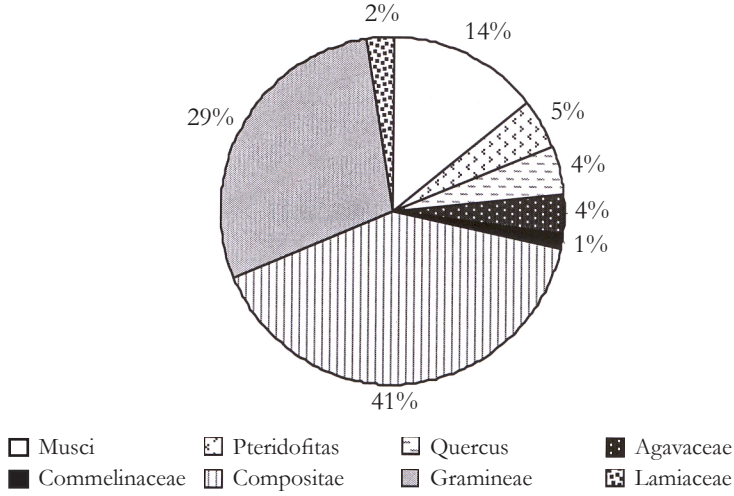
### Flora y fauna

Se estimaron alrededor de 490 especies de flora y 3,164 especies de fauna en la zona, donde un gran porcentaje se reporta como especies en peligro de extinción, otras como especies endémicas y especies migratorias neotropicales (INE-Semarnat, 1998:1-35). En la figura 1 se muestra la proporción de especies de flora estimadas para las entidades del norte de México (Semarnat, 1998:41-43); y en la figura 2 se representa la proporción de grupos de fauna reportados en las entidades fronterizas, donde las aves son el grupo más abundante, seguido de los mamíferos terrestres y voladores.

### Aspectos sociales

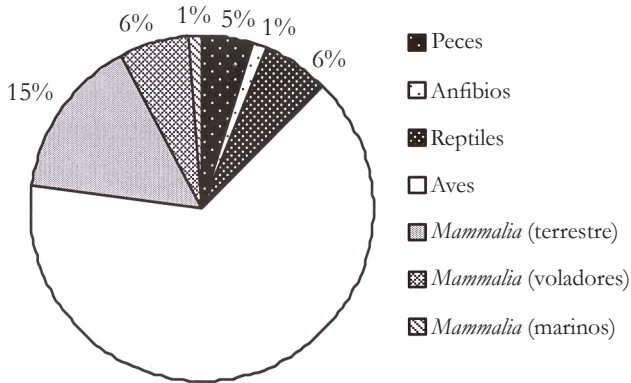
El rápido crecimiento poblacional (gráfica 1) y económico de las entidades fronterizas del norte del país ha implicado altos requerimientos de recursos y servicios que la autoridad tiene, que brindan a estas poblaciones urbanas y rurales, donde destacan Nuevo León y Chihuahua, por su acelerado crecimiento a partir de la década de los 80. Tal hecho se refleja en los valores del Índice de Desarrollo Humano (indicador de educación, salud y economía) que está por encima de la media nacional (cuadro 2).

FIGURA 1. Proporción de especies de flora por entidad en el norte de México



Fuente: Conabio, 1998.

FIGURA 2. Proporción de especies de fauna en estados de la frontera norte

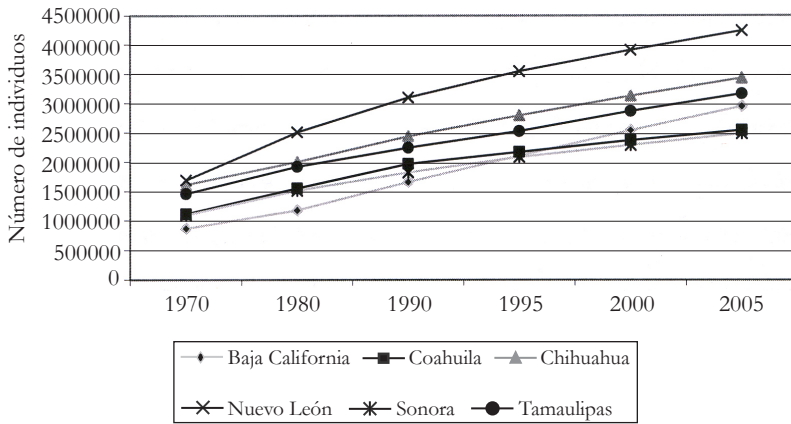


Fuente: Conabio, 1998.



En contraste, hay una disminución de los recursos naturales por la fuerte presión humana sobre recursos como el agua, suelo y aire (Conapo, 2005) traduciéndose en los déficit de agua mencionados en puntos anteriores, así como deforestación y contaminación.

GRÁFICA 1. Crecimiento de la población por entidades fronterizas (1970- 2005)



Fuente: INEGI, 2007.

### Aspectos económicos

La vocación económica natural de la frontera norte es industrial, tal como lo menciona Díaz-Bautista *et al.* (2002:2-4), por sus características geográficas, recursos naturales y ubicación en una zona semidesértica, donde la escasez de agua ha limitado el desarrollo de actividades agropecuarias, pero no así el desarrollo industrial. Además, su amplia frontera con Estados Unidos y sus múltiples vías de comunicación, riqueza minera, energética e infraestructura educacional ha llevado a esta región a ser considerada un foco de desarrollo económico y laboral. Así por ejemplo, de 1993 a 1999 el PIB en esta zona del país creció en 30%, mientras que el PIB nacional sólo creció 20% en términos

CUADRO 2. Índice de desarrollo humano para entidades del norte de México, 2000

Entidad federativa	Esperanza de vida al nacimiento	Porcentaje de las personas alfabetas, de 15 años o más	Porcentaje de las personas que van a la escuela, de 6 a 24 años	PIB per cápita en dólares ajustados	Índice de esperanza de vida	Índice de alfabetización	Índice de matrícula	Índice de nivel de escolaridad	Índice de PIB per cápita	Índice de desarrollo humano (IDH)	Grado de desarrollo humano
Baja California	76.3	96.5	61.9	9571	0.856	0.965	0.619	0.849	0.761	0.822	Alto
Coahuila	76.2	96.1	62.6	10808	0.853	0.961	0.626	0.849	0.782	0.828	Alto
Chihuahua	75.8	95.2	61.0	10324	0.846	0.952	0.610	0.838	0.774	0.819	Alto
Nuevo León	76.8	96.7	62.2	13033	0.863	0.967	0.622	0.852	0.813	0.842	Alto
Sonora	76.1	95.6	65.2	8761	0.851	0.956	0.652	0.855	0.747	0.818	Alto
Tamaulipas	75.5	94.9	62.0	7757	0.842	0.949	0.620	0.839	0.726	0.803	Alto
República mexicana	75.3	90.5	62.8	7495	0.839	0.905	0.628	0.813	0.721	0.791	Medio alto

Fuente: Conapo, 2007.

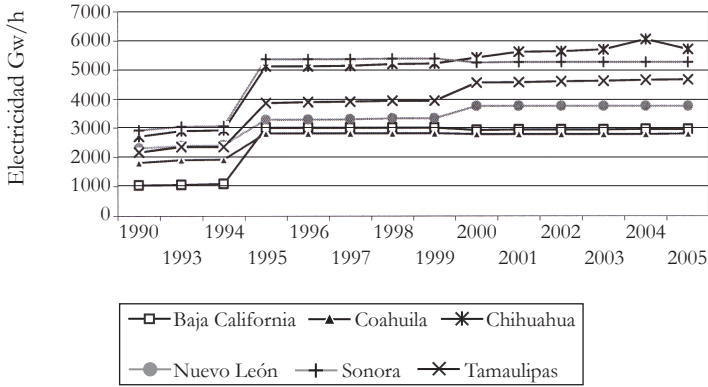
reales. En 2006, la Comisión para Asuntos de la Frontera (CAF) reportó que la región generaba 23% del PIB y contaba con 17% de la población nacional empleada, además de captar 46% del total de turistas extranjeros, y 27% de las divisas de este sector. Además se estimó que 59% de la población ocupada ganaba más de dos salarios mínimos, comparado con 43% del total nacional, y se recibía 29% de la inversión extranjera directa del país (CAF, 2005).

*Centrales eléctricas establecidas en entidades fronterizas de México*

El norte de México es un sitio estratégico para el intercambio comercial, económico y de población, como ya se ha mencionado, por lo cual el uso de energía es indispensable para realizar todo tipo de actividades. Esto explica el establecimiento de un número significativo de CES, destacando la CE de Nava en Coahuila, la cual produce 1,400 MW, mientras que las CES de propiedad federal y productores independientes produjeron alrededor de 15,537 MW, en 2006. Una parte de esta energía se exportó hacia la zona de San Diego, en Estados Unidos (El Colef, 2006:1-35).

Entre los grandes consumidores de energía durante el periodo 1970 a 2005 están Chihuahua y Sonora (gráfica 2) y los principales sectores consumidores de electricidad son: Gran Industria, Mediana Industria, Sector Agrícola y Usos diversos. Así, la Gran Industria consume la mayor parte de la electricidad al estar constituida por empresas manufactureras que ocupan a más de 250 personas y cuyas ventas netas anuales se estima que rebasan 2,010 salarios mínimos anualizados, esta industria creció notablemente a partir de 1995 en Sonora y para 2003 en Baja California. Aunque de manera general se ha observado que el consumo de electricidad ha ido disminuyendo, sobre todo al crear los programas nacionales de ahorro de energía (Sener, 2006:1-35) y el incremento en cuotas tarifarias aplicadas a la industria (De Buen, 2003:1-12).

GRÁFICA 2. Consumo de electricidad por entidad fronteriza (1990-2005)



Fuente: Elaboración a partir del 6to. Informe de Gobierno, 2006.

En el caso de la Mediana Industria (constituida por 51 a 250 empleados), las entidades que destacan en consumo son Baja California y Chihuahua. Mientras que el Sector Agrícola consume energía principalmente para bombeo de agua de riego y actividades relacionadas, donde Sonora destaca como el gran consumidor de electricidad en este sector. En el grupo de Usos Diversos, que comprende el uso de energía para alumbrado público, servicios varios, comercio y uso doméstico (conservación de alimentos, alumbrado público, uso de aparatos electrónicos, etcétera), la entidad que más consumía electricidad en los 90 fue Tamaulipas, y posteriormente en 2005 sería Baja California, la cual tuvo un aumento poblacional considerable y con ello la prestación de servicios públicos, turismo, etcétera (Conapo, 2006).

#### Emisiones de gases de efecto invernadero

Los GEI (bióxido de carbono, CO<sub>2</sub>; metano, CH<sub>4</sub>; óxido nitroso, N<sub>2</sub>O; hidrofluorocarbonos, HFC; perfluorocarbonos, PFC y hexafluoruros de azufre, SF<sub>6</sub>) mencionados al inicio de este trabajo,

son el resultado de actividades antropogénicas realizadas a lo largo de decenas o cientos de años y se han acentuado con la quema excesiva de combustibles fósiles para producir electricidad (CMM, 2006). De acuerdo a lo establecido por el Protocolo de Kyoto (INE, 2006), México debe disminuir su emisión de GEI en los próximos años para evitar contribuir al CCG y sus consecuentes efectos tanto a nivel de salud humana como ambiental. Enseguida se describen brevemente las características y efectos de los GEI, así como las principales CE emisoras de este tipo de gases en el norte del país.

#### Metano ( $\text{CH}_4$ )

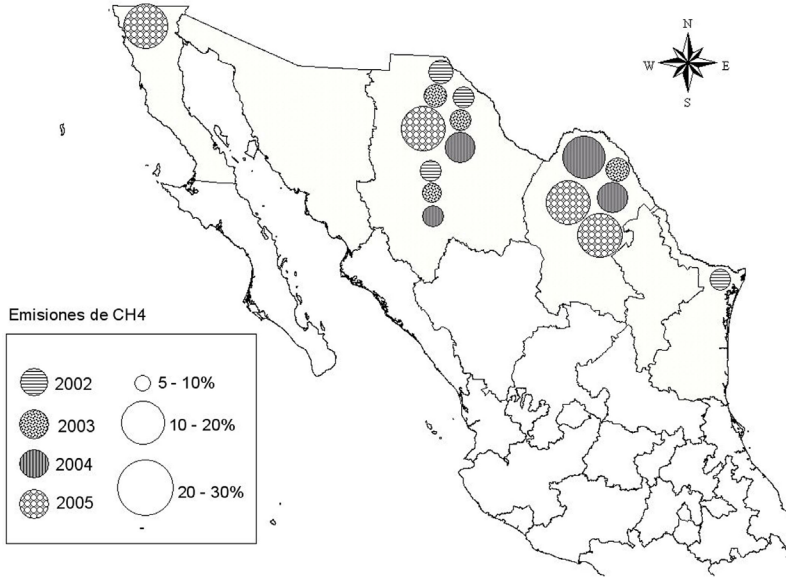
El metano es un gas que se presenta como resultado de la descomposición anaerobia de los materiales biodegradables y es un compuesto predominante en el gas natural, el cual se extrae de los yacimientos petroleros (Sener, 2004:110). El  $\text{CH}_4$  es una sustancia más reactiva incluso que el  $\text{CO}_2$ , aun cuando sus moléculas tienen un tiempo de vida corto en la atmósfera, si se compara con el dióxido de carbono (Manahan, 2007:420-459).

Las CE ubicadas en Chihuahua (Samalayuca II), y Río Escondido en Coahuila, son las principales emisoras de metano, con totales de entre 1.5 (103 ton/año) y 1.0 (103 ton/año) para el periodo 2002 a 2005, respectivamente (figura 3).

#### Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )

Presente durante el proceso de combustión de sustancias como petróleo y carbón; cuando se une con agua tiende a retener radiaciones infrarrojas provenientes de la reirradiación de luz solar por parte de la tierra, causando una elevación de la temperatura ambiental, provocando el denominado CCG (Jiménez, 2006:320-350). Además, los niveles excesivos de  $\text{CO}_2$ , al tener contacto con el agua, se transforma en una sustancia corrosiva que puede dañar la vida acuática (Manahan, 2007:420-459).

FIGURA 3. Porcentaje de emisión de metano, por central eléctrica y año



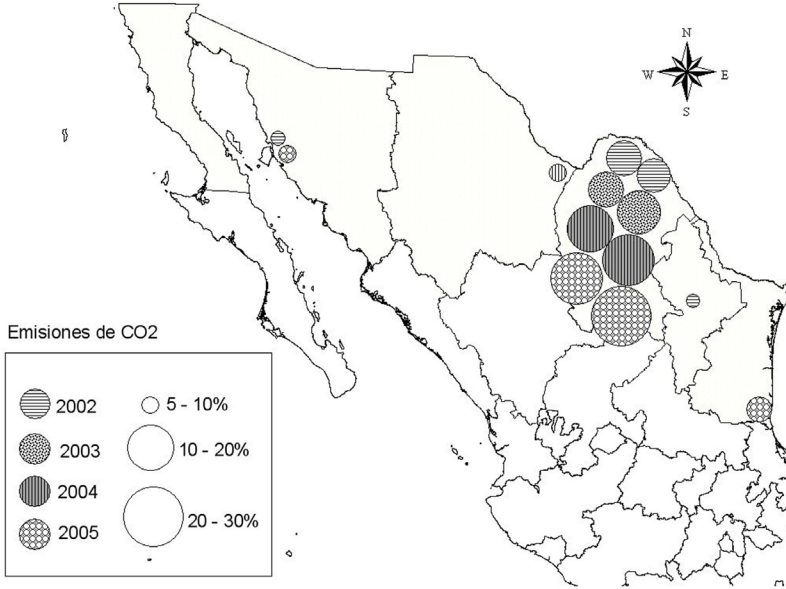
Fuente: Elaborado a partir de información de Sener, 2002-2005.

Las principales CE emisoras de CO<sub>2</sub> se ubican en Coahuila (Río Escondido y el Carbón II) figura 4, ya que usan carbón para producir electricidad, y éste tiene un Índice Promedio de Emisiones de CO<sub>2</sub> (89.46 kg/giga joules) más alto que combustibles como diésel (69.29 kg/giga joules) y el gas natural (50.26 kg/giga joules) (CCE, 2004:14-84).

### Monóxido de Carbono (CO)

Gas inodoro, incoloro, insaboro y tóxico; es más ligero que el aire y tiene alta difusividad, que se forma durante procesos de combustión deficientes y se encuentra en concentraciones altas al combustionarse carbón, gas natural o petróleo (Jiménez, 2006:320-350). Los efectos que causa una alta concentración de este gas en la salud humana son una disminución de la capaci-

FIGURA 4. Porcentaje de emisión de dióxido de carbono, por central y año



Fuente: Sener, 2002-2005.

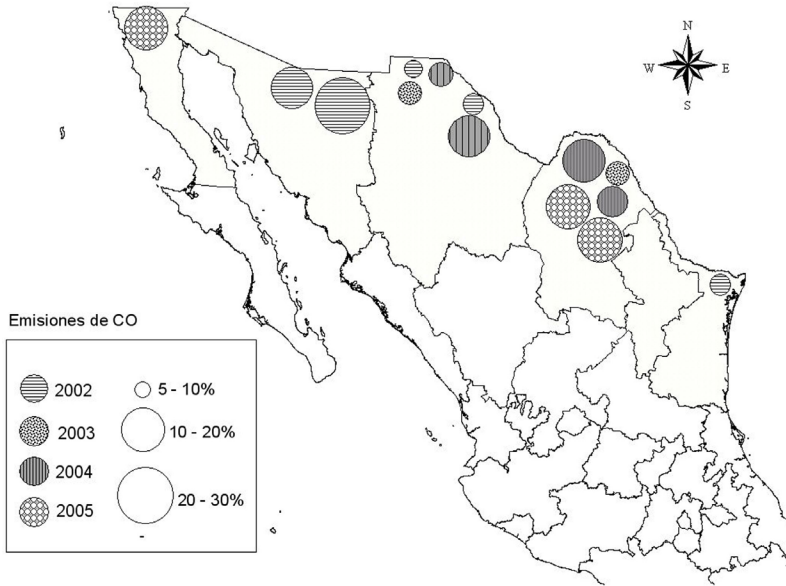
dad de concentración y rendimiento intelectual por un decremento en el transporte de  $O_2$  en la corriente sanguínea, esto al competir el  $CO$  con el  $O_2$  en los sitios activos de la hemoglobina (Jiménez, 2006:320-350).

Las principales emisoras de  $CO$  son Pueblo Nuevo en Sonora, al presentar los niveles de emisión más altos en el año 2000. En segundo lugar se ubican la CE Samalayuca II ubicada en Tamaulipas y las CE de Coahuila (Río Escondido y Carbón II).

#### Óxidos de nitrógeno, $NO_x$

Estos gases, se presentan al quemar combustibles fósiles a altas temperaturas en presencia de nitrógeno y oxígeno en la atmósfera produciendo óxido nítrico ( $NO$ ), que se convierte en

FIGURA 5. Porcentaje de emisión de monóxido de carbono, por central y año



Fuente: Sener, 2002-2005.

dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) al tener contacto con la atmósfera  $\text{NO}_x$  (CCE, 2005:14-84).

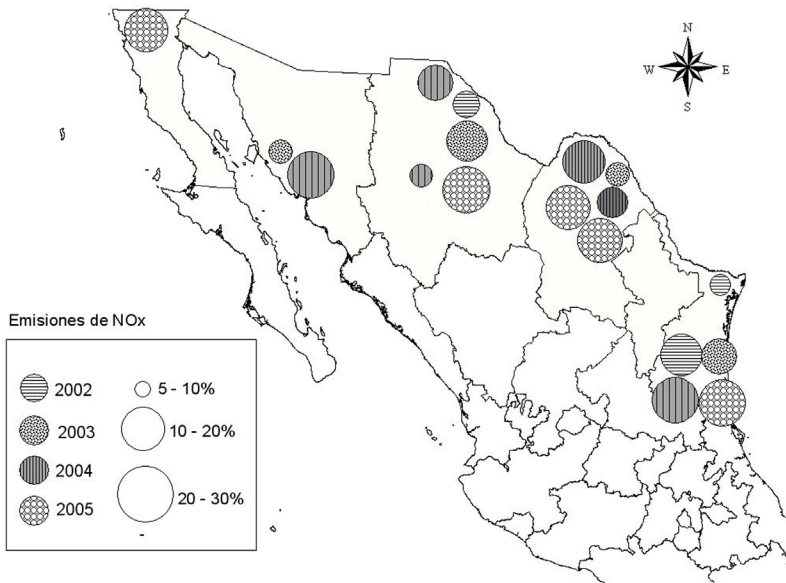
El  $\text{NO}$  es un gas incoloro, inerte en temperatura normal pero oxidante a temperaturas altas, en concentraciones normales se presenta en el esmog, aunque no ocasiona daños aparentes en la salud (Jiménez, 2006:320-350). Por su parte, el  $\text{NO}_2$  es un gas pardo rojizo y de olor desagradable, que a temperatura ambiente está en equilibrio con el  $\text{NO}$  (reacción de dimeración exotérmica), y es el principal causante del color del esmog, su presencia se detecta por su olor cuando sobrepasa  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Jiménez, 2006:320-350).



Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) tienen un carácter ácido que junto con el  $\text{SO}_2$  contribuyen a la lluvia ácida y “esmog” (Mahanan, 2007:420-459). Estas características provocan en el humano irritación de pulmones, bronquitis y neumonía, así como aumentan la susceptibilidad a padecimientos respiratorios sobre todo en ancianos y niños (CCE, 2005:15-35).

La CE Samalayuca II y Altamira en Tamaulipas, son de las principales emisoras de  $\text{NO}_x$ , aunque que de manera general este tipo de gas se ha incrementado en la mayoría de las CE fronterizas (figura 6).

FIGURA 6. Porcentaje de emisión de óxidos de nitrógeno, por central y año



Fuente: Sener, 2002-2005.

Algunos estudios al respecto de las externalidades (costo y beneficio de los impactos ambientales) realizados por la CEPAL (2004:25-28) mostró que tanto las centrales Samalayuca, Altamira, Carbón II y Río Escondido provocan impactos ambientales considerables al emitir  $\text{NO}_x$ , aun cuando esté por debajo de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), su impacto es negativo, por lo cual recomendaron el monitoreo de este gas, sobre todo por ser precursor de ozono ( $\text{O}_3$ ) y causante de acidificación de cuerpos de agua y suelo, y de formar parte de la lluvia ácida. Además, el análisis del costo económico de este estudio concluyó que los costos de daño causado por CE Altamira y las CE de Puerto Libertad, Carbón II y Río Escondido es muy alto, sobre todo por los efectos a largo plazo en la salud de la población cercana a las centrales (CEPAL, 2004:25-28).

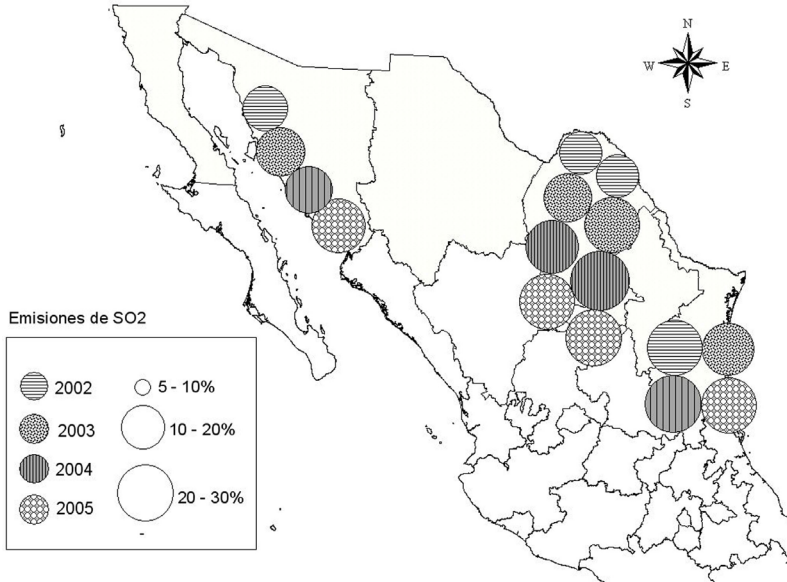
#### Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )

El  $\text{SO}_2$  se produce por la quema de combustibles fósiles, y en segundo lugar por procesos industriales como la fundición, altos hornos, refinería, transporte, etcétera (CCE, 2005:15-35). Este gas es incoloro, agrio, que reacciona con otras sustancias en la atmósfera y forman partículas sulfatadas (Jiménez, 2006:320-350). Dicho gas afecta a la salud humana y se presenta como muerte prematura en bebés, síntomas y enfermedades respiratorias, pérdida de la capacidad pulmonar y alteraciones en el tejido y estructura del pulmón, siendo que ataca los mecanismos de defensa del sistema respiratorio (CCE, 2005:15-35). Además, este gas es también causante de la lluvia ácida, que afecta a bosques y acidifica lagos, así como causa daños en organismos acuáticos, cultivos, edificios y monumentos históricos (Jiménez, 2006:320-350), dependiendo de los tiempos de exposición, características morfológicas y fisiológicas de la flora y fauna expuesta.

Las principales emisoras de  $\text{SO}_2$  en el año 2000 fueron las centrales de Río Escondido y Carbón II en Coahuila (figura

7), las cuales, según reporta la Sener, son responsables de emitir al menos 5% del total de partículas sulfatadas que redujeron la visibilidad del Parque Nacional de Big Bend (Sener, 2002a).

FIGURA 7. Porcentaje de emisión de dióxido de azufre, por central y año



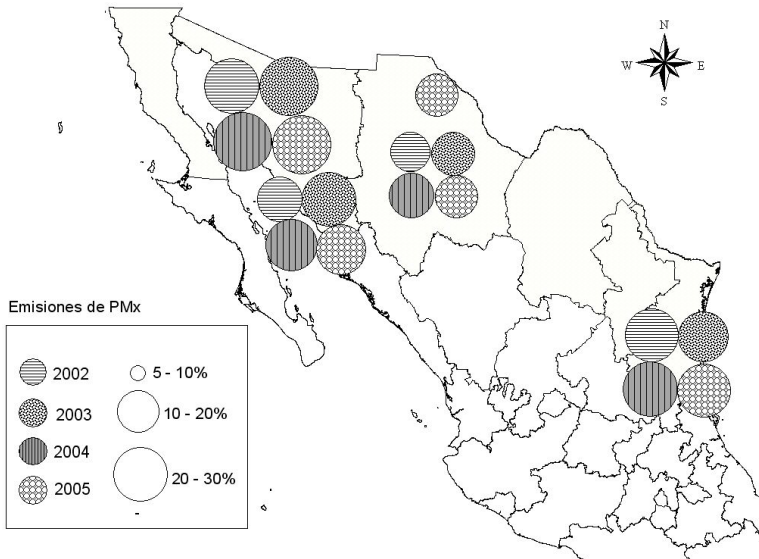
Fuente: Sener, 2002-2005.

### Material particulado (PM<sub>x</sub>)

Este tipo de material está compuesto por partículas sólidas que son transportadas por el aire y sistemas líquidos, excepto el agua pura y cuyo tamaño es microscópico. El tamaño de la partícula varía PM<sub>10</sub> (10 micras) y PM<sub>2.5</sub> (2.5 micras). En general, se sabe que el tamaño de la partícula es inversamente proporcional a su efecto en la salud humana, es decir, a menor tamaño de partícula, incrementa la probabilidad de su depósito en pulmones (Ballester, 2005:159-175). A este respecto, se ha reportado que existe una asociación entre los problemas cardia-

cos y respiratorios como el asma, bronquitis y enfisema, con la presencia de partículas en el ambiente (CCE, 2005:15-35). Además de que estas partículas reducen la visibilidad al dispersar y absorben parte de luz, lo cual reduce la cantidad de energía utilizada en el proceso fotosintético de la vegetación, por su parte en la fauna se puede ver afectada su visibilidad y sistema respiratorio (CCE, 2005:15-35). La CE que más  $PM_x$  produce es Altamira, en Tamaulipas (figura 8), por lo que es importante monitorear a la población que vive cerca de la central, sobre todo niños y ancianos.

FIGURA 8. Porcentaje de emisión de partículas suspendidas por central y año



Fuente: Sener, 2002-2005.

*Prospecciones de consumo de energía eléctrica*

La evolución en cuanto a tipo de centrales y tecnología estimadas para regiones como el noroeste (Sonora y Sinaloa) indica que la capacidad instalada será 3,336 MW durante el periodo 2006-2015 (Sener, 2006:1-35) mientras que la región noreste (Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas) fue de 6,447 MW para 2005 y se espera un incremento neto de 67 MW para el periodo 2006-2015 (Sener, 2006:1-35).

La producción antes citada será generada principalmente por productores independientes, los cuales consideran esta zona norte del país como estratégica desde el punto de vista geográfico, comercial y económico, tanto para generar electricidad como para consumirla. Además, la tendencia de reconversión energética dará un incremento del número de Centrales de Ciclo Combinado (CCC) que usan gas natural, se espera que disminuya la emisión de contaminantes (Laguna, 2002:53-56), esto debido a que el gas natural usado en CCC emite sólo 5,11 g. de CO<sub>2</sub> eq/kWh en comparación con los 1,182 g. de CO<sub>2</sub> eq/kWh que emiten las centrales que usan carbón, aunque hay que indicar que las CCC no estarán libres de emitir una pequeña proporción de NO<sub>x</sub>.

En los próximos años, para el norte de México, se tienen prospectados 11 proyectos eléctricos que incrementarán la capacidad eléctrica de la región en 1,908 MW. Ante tal situación, en el cuadro 3 se proponen una serie de medidas preventivas y de mitigación por sector, que permitan un crecimiento poblacional y económico al menor costo ambiental y en salud humana.

*Conclusión*

Al enfrentar los requerimientos energéticos es indispensable que las actividades sociales y económicas del norte del país cuenten con adecuadas políticas públicas, así como con un desarrollo de

### CUADRO 3. Medidas preventivas y de mitigación

*Sector*

*Medida preventiva*

---

GOBIERNO FEDERAL Y ESTATAL

- Ampliar y actualizar las bases de datos en cuanto a emisiones de GEI por parte del sector eléctrico en las entidades fronterizas
- Impulsar el desarrollo de inventarios de emisiones por entidad y/o la realización de un 2do. Inventario de Emisiones para las entidades de la frontera norte de México
- Mejorar la infraestructura de transporte público, sobre todo en las principales ciudades fronterizas, así como establecer programas de no emisión de contaminantes y sanciones correspondientes.
- Realizar estudios de factibilidad de recursos naturales para la generación de energía eólica, solar, fotovoltaica y por biomasa por entidad fronteriza
- Propiciar el uso eficiente y reconversión de centrales eléctricas a formas de generación de electricidad más sustentable
- La formulación de estrategias de reforestación para captura de CO<sub>2</sub>, donde se consideren las especies locales de la región, sobre todo porque la disponibilidad de agua en el norte de México es baja
- Desarrollo de edificaciones que requieran consumos bajos de energía
- Establecer políticas públicas que incentiven a la industria para entrar a los programas de industria limpia y auditorías ambientales
- Hacer un uso eficiente de la energía primaria que contiene el carbón, así como su paulatina sustitución por combustibles que liberen menos CO<sub>2</sub>, tal como el gas natural
- Proponer proyectos de planeación urbana e industrial acorde con las proyecciones de vulnerabilidad ante el CCG y la disponibilidad de agua
- Propiciar formas de captación de agua mediante el incremento de áreas verdes en las ciudades, así como el desarrollo de infraestructura
- Propiciar programas de conservación de playas para mitigar el efecto de mareas altas, sobre todo en zonas como Baja California, Sonora y Tamaulipas principalmente
- Desarrollar programas pesqueros en función del efecto de CCG en las entidades del norte de México (Tamaulipas y Sonora)
- Evaluar los impactos económicos y sociales que tendría el CCG en las zonas turísticas donde el recurso natural es su fuente de ingreso

---

*(Continúa)*

(Continuación cuadro 3)

*Sector*

*Medida preventiva*

SALUD

- Llevar a cabo estudios conjuntos (México-Estados Unidos) acerca de los efectos de las emisiones de gases sobre las poblaciones cercanas y el ambiente circundante, su dispersión y efectos a largo plazo sobre salud humana y medio ambiental
- Realizar pruebas sobre la influencia de contaminantes, así como la relación dosis-respuesta y factores a modificar su efecto
- Apoyar y promover del uso de energía renovable y nuclear como alternativas menos impactantes ambientalmente
- Realizar estudios epidemiológicos relacionados con el CCG sobre todo en zonas como Tamaulipas, Sonora y Baja California

EDUCACIÓN

- Promover campañas de educación ambiental (cultura del agua, manejo de residuos, ahorro de energía, etc.)
- Capacitar a la población en cuanto a acciones a tomar en caso de emergencias meteorológicas (huracanes, ciclones, inundaciones, etc.) sobre todo en áreas detectadas como vulnerables

LEGAL

- Desarrollar legislación ambiental para la generación, uso, explotación y disposición de residuos generados para producir energía renovable
- Realizar auditorías obligatorias para las centrales eléctricas que se ubican en las entidades fronterizas que, en caso de estar por arriba de lo especificado en la normatividad ambiental, establecer la sanción correspondiente de acuerdo al impacto identificado
- Propiciar incentivos fiscales para que las industrias limpias e industrias que eviten la emisión de GEI o apoyen el desarrollo de proyectos tales como captación de agua y/o carbono, servicios ambientales, etc.

INVESTIGACIÓN

- Propiciar y apoyar el desarrollo de especialistas e investigadores en el campo del CCG y sus efectos a nivel ecológico, fisiológico, fenológico genético, de comportamiento, etc.

(Continúa)

(Continuación cuadro 3)

*Sector*

*Medida preventiva*

INVESTIGACIÓN

- Realizar estudios específicos sobre el efecto en la fisiología y respuesta de especies (flora y fauna) localizadas en las entidades del norte de México
- Establecer y mantener porcentajes mínimos de cobertura vegetal en zonas urbanas y en áreas rurales que ya no tienen un uso agrícola
- Mejorar las técnicas agrícolas existentes para hacer eficiente el uso de agua, y en caso necesario aplicar técnicas de goteo para evitar pérdidas por evaporación
- Realizar estudios de adaptación de cultivos ante las nuevas condiciones climáticas y redistribuir los cultivos acorde con la disponibilidad de agua
- Identificar puntualmente las zonas con alta y muy alta vulnerabilidad ante el CCG en el norte de México, con el fin de aplicar medidas preventivas
- Evaluar el efecto del CCG en ecosistemas desérticos y zonas áridas
- Establecer corredores biológicos entre las Áreas Naturales Protegidas y áreas con vegetación, para mantener el intercambio genético y la variabilidad biológica en estos ecosistemas
- Restaurar y conservar ecosistemas naturales que actúen como barreras naturales ante huracanes, mareas altas, etc. (arrecifes, humedales, etc.)
- Estudiar la erradicación de las plagas que atacan a la vegetación de la región, y redoblar esfuerzo en campañas contra éstas
- Realizar estudios de razas de ganado adaptables a las nuevas condiciones climáticas y la disponibilidad de agua
- Llevar a cabo estudios de mercado para la producción y explotación de la energía renovable

*Fuente:* Elaboración propia.

la industria eléctrica, donde se dé una reconversión energética a corto plazo, además de concientizar a la población y empresas en el uso eficiente de electricidad, ahorro de ésta, y demandar edificaciones ecológicas, entre otras acciones. Todo esto permitirá cumplir no sólo con los acuerdos internacionales firmados para disminuir la emisión de gases efecto invernadero y CCG, sino además hacer que se aplique y cumplan leyes, normas, reglamen-



to ambientales, además de propiciar la realización de estudios de monitoreo ambiental en torno a las principales centrales emisoras, lo cual llevará a tener una región norte sostenible y sustentable tanto socioeconómicamente como ambientalmente.

*Agradecimientos*

La autora agradece al Técnico Académico M.C. Juan Milton J. Aragón Palacios (El Colef, Monterrey), por su valiosa ayuda en la elaboración de las figuras presentadas en este trabajo.



## Bibliografía

- Aguirre C. Holt J. y Lafón A., *Estrategias para la conservación de los pastizales del desierto de Chihuahua*, Ecopa, 2007, pp. 8-10, <[http://www.nature.org/wherewework/northamerica/mexico/files/ecopad\\_2007\\_final.pdf](http://www.nature.org/wherewework/northamerica/mexico/files/ecopad_2007_final.pdf)>.
- Álvaro M., Foroughbakhch R., Jurado E. y Rocha A., “El cambio climático y la fenología de las plantas”, en *Ciencia*, UANL, año/vol. v, núm. 004, octubre-diciembre, 2002, pp. 493-500.
- Ballester, F., “Contaminación atmosférica, cambio climático y salud”, en *Revista Española de Salud Pública*, Madrid, Ministerio de Sanidad y Consumo de España, año/vol. 79, No. 002, marzo-abril, 2005, pp. 159-175.
- Bazán, N.G. y P.M. Nava, “Sector eléctrico: Emisiones a la atmósfera”, en *Energía y Debate*, agosto-septiembre, 2005, <<http://www.energiaadebate.com.mx/Articulos/agost-sep-2005/sector.html>>.
- Centro Mario Molina, CMM, *Hacia una estrategia nacional de acción climática para el sector de energía*, capítulo 3, <[http://www.centromariomolina.org/doctos/accion\\_climatica/Capitulo%203.pdf](http://www.centromariomolina.org/doctos/accion_climatica/Capitulo%203.pdf)>.
- Comisión Económica para América Latina (CEPAL), *Evaluación de las externalidades ambientales de la generación termoeléctrica en México*, 2004, pp. 25-28, <<http://www.funtener.org/pdfs/ExternalidadesTermosMxL644.pdf>>.
- Comisión para Asuntos Fronterizos (CAF), *Programa de Desarrollo Regional 2001-2006*, 2006, <<http://fronteranorte.fox.presidencia.gob.mx/acalli.php?art=desarrolloprograma>>.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE), *Estadísticas de venta por entidad (1988 a 2005)*, 2007b, <<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/transmisionydistribucion/estadisticasdeventas/>>.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), *La diversidad biológica de México: Estudio de país*, México, 1998, <[http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC\\_Diversidad\\_Biologica\\_de\\_Mexico\\_Estudio\\_de\\_Pai](http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC_Diversidad_Biologica_de_Mexico_Estudio_de_Pai)>.
- Comisión Nacional de Población (Conapo), *Proyecciones de la población de México 2005-2050: Estatales*, 2007, <<http://www.conapo.gob.mx/00cifras/5.htm>>.
- \_\_\_\_\_, *Población por entidad*, 2005, <<http://www.conapo.gob.mx/publicaciones/inicios/001.htm>>.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), *Disponibilidad de agua subterránea por entidad*, 2002, <<http://www.conagua.gob.mx/eCNA/Espaniol/Directorio/Default.aspx>>.
- Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCE), en *Emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas en América del Norte*, 2004, pp. 14-84, <[http://www.cec.org/files/PDF/POLLUTANTS/PowerPlant\\_AirEmission\\_es.pdf](http://www.cec.org/files/PDF/POLLUTANTS/PowerPlant_AirEmission_es.pdf)>.
- \_\_\_\_\_, en *Balance. Emisiones y transferencia de contaminantes en América del Norte 2002*, 2005, pp. 15-35, <<http://www.cec.org/takingstock/index.cfm?varlan=espanol>>.
- De Buen, O., “Tarifas horarias para la mediana industria y el uso racional de la energía eléctrica”, en *Transición energética*, 13 de julio, 2003, pp. 1-12, <<http://www.funtener.org/pdfs/tarifashorarias.pdf>>.
- Díaz-Bautista, A., J.J. Avilés y C.M. Rosas, *Desarrollo económico de la frontera norte de México*, 2002, Observatorio de la economía latinoamericana, pp. 2-4, <<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/Diaz-AvilesChimal.pdf>>.
- El Colegio de la Frontera Norte (El Colef), “Diagnóstico integral de la frontera norte”, sector energía, 2006, pp. 1-35, <<http://fronteranorte.fox.presidencia.gob.mx/archivos/pdf/06%20ENERGIA.pdf>>.

- Gay, C., *Propuesta universitaria sobre Cambio Climático Global*, 2001, <<http://www.atmosfera.unam.mx/cambio/universitario5.html>>.
- Instituto de Diversificación y Ahorro Energético (IDAE), *Impactos ambientales en la producción eléctrica. Análisis de ciclo de vida de ocho tecnologías de generación eléctrica*, Madrid, Fondo IDAE, 2000, <<http://www.appa.es/impactos/05impactos1.htm>>.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), *Banco de Información Económica (BIE): Producto Interno Bruto por entidad*, 2007, <<http://dgcnesyp.inegi.gob.mx/cgi-win/bdieinti.exe/NIVM1500010003#ARBOL>>.
- Instituto Nacional de Ecología (INE), *Cambio climático en México. Protocolo de Kyoto*, 2006, <[http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx/ccygob/cooperacioninternacional/cooperacioninternacional.html](http://cambio_climatico.ine.gob.mx/ccygob/cooperacioninternacional/cooperacioninternacional.html)>.
- \_\_\_\_\_ y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (INE-Semarnat), *Reporte del estado ambiental y de los recursos naturales en la frontera norte de México*, 1998, pp. 25-35, <[http://www.ine.gob.mx/publicaciones/descarga.html?cv\\_pub=109&tipo\\_file=pdf&filename=109](http://www.ine.gob.mx/publicaciones/descarga.html?cv_pub=109&tipo_file=pdf&filename=109)>.
- Johnson, A.M. y R. Álvarez, *Pollution Without Borders. How Power Plants in USA-Mexico Borders Threaten Human Health and the Environmental*, 2003, <[http://www.environmentaldefense.org/documents/3116\\_PollutionWithoutBorders.pdf](http://www.environmentaldefense.org/documents/3116_PollutionWithoutBorders.pdf)>.
- Jiménez, C.B., *La contaminación ambiental en México*, México, Limusa, 2006, pp. 320-350.
- Laguna, M.I., “La generación de energía eléctrica y el ambiente”, en *Gaceta Ecológica*, México, Instituto de Ecología, núm. 065, octubre-diciembre, 2002, pp. 53-56.
- Lorente, I., D. Gamo, J.I. Gómez, L. Santos, A. Camacho, L. Galindo y J. Navarro, “Los efectos del cambio climático”, en *Ecosistemas*, año/vol. XII, núm. 001, enero-abril, 2004.

- Lluch-Cota, D., “El sector pesquero. Capítulo ‘Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad y el cambio climático en México’”, en Julia Martínez y Adrián Fernández (comp.), *Cambio climático. Una visión desde México*, 2004, pp. 327-330, <<http://www.ine.gob.mx/publicaciones/new.consultaPublicacion.php>>.
- Liverman, D., “Climate Change Impact a Vulnerability in Mexico”, en Semarnap-UNAM-U.S., *Country Studies. México ante el cambio climático*, México, Segundo Taller del País, 1995.
- \_\_\_\_\_, *Cambio climático y la zona fronteriza. Introducción y evaluación*, 1999, <<http://americas.irc-online.org/borderlines/spanish71999/b156esp/b156camb.html>>.
- Manahan, S., *Introducción a la química ambiental*, México, Reverte, UNAM, 2007, pp. 420-459.
- Magaña, V., C. Conde, O. Sánchez y C. Gay, “Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México”, en *México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*, México, UNAM-INE-Semarnat, 1999, <[http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/cambio\\_climatico/costas.pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/cambio_climatico/costas.pdf)>.
- Mederey, L. y R.A. Jiménez, “Los recursos hidrológicos del centro de México ante un cambio climático global. Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México”, en *México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*, capítulo III (Recursos hidrológicos), México, UNAM-INE-Semarnat, 1999, <[http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/cambio\\_climatico/hidrologicos.pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/cambio_climatico/hidrologicos.pdf)>.
- Miller, P. y C. Van Atten, *Emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas del Norte*, Québec, Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte, 2004, pp. 32-81, <[http://cec.org/files/PDF/POLLUTANTS/PowerPlant\\_AirEmission\\_es.pdf](http://cec.org/files/PDF/POLLUTANTS/PowerPlant_AirEmission_es.pdf)>.

- Organización de Naciones Unidas (ONU), Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, CMNUCC, 1992, <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>>.
- Ortiz, O.M., *Componentes naturales de uso de suelo vulnerables a las variaciones del nivel del mar en la costa atlántica de México*, 2006.
- Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap), México. *Primera comunicación nacional ante la convención Marco de las Naciones Unidas, sobre el cambio climático*, 1997.
- \_\_\_\_\_, *Reporte del estado ambiental y de los recursos naturales en la frontera norte de México*, 1998, pp. 41-43, <[http://www.ine.gov.mx/ueajei/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_pub=109&id\\_tema=3&dir=Consultas](http://www.ine.gov.mx/ueajei/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=109&id_tema=3&dir=Consultas)>.
- Secretaría de Energía (Sener), *Efecto de las emisiones de plantas de eléctricas mexicanas y americanas sobre la visibilidad del parque Big Bend*, 2002a, pp. 15-16, <<http://www.senado.gob.mx/comisiones/directorio/energia/body/reuniones/docs/Barnes%202.pdf>>.
- \_\_\_\_\_, *Energía y medio ambiente. Hacia el desarrollo sustentable*, 2002b, <[http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pe/pema2003.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pe/pema2003.pdf)>.
- \_\_\_\_\_, *Prospecciones del sector eléctrico 2004-2014. Glosario*, 2004, pp. 110, <[http://www.energia.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/prospec\\_elec\\_04\\_13.pdf](http://www.energia.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/prospec_elec_04_13.pdf)>.
- \_\_\_\_\_, *Reporte de actividades en materia de cambio climático 2005-2006. 1er Reporte público anual de acción climática*, 2005, <<http://www.semarnat.gob.mx/queessearnat/cambioclimatico/Pages/cicc.aspx>>.
- \_\_\_\_\_, *Sexto Informe de Gobierno. Apartado de energía*, 2006, pp. 1-35, <<http://fronteranorte.fox.presidencia.gob.mx/archivos/pdf/06%20ENERGIA.pdf>>.
- \_\_\_\_\_, *Estadísticas energéticas*, 2007, <<http://www.energia.gob.mx/webSener/portal/index.jsp?id=71>>.

Townsend, P.A., M.A. Ortega-Huerta, J. Bartley, V. Sánchez-Cordero, J. Soberon, R.H. y D.R.B. Stockwell, “Future Projections for Fauna Under Global Changes Scenarios”, *Nature*, 2000, 416, 626-629.

United Nation Environment Programmer (UNEP), *Global Environmental Outlook*, 2000, pp. 14, <<http://www.unep.org/geo2000/>>.

Vaughan, S., Z. Patterson, P. Millet y G. Block, *Retos y oportunidades ambientales en el dinámico mercado de electricidad en América del Norte*, 2002, pp. 5-6, <[http://www.cec.org/files/PDF//CCA\\_Art13electricidad\\_Esp.pdf](http://www.cec.org/files/PDF//CCA_Art13electricidad_Esp.pdf)>.

Villers-Ruiz, L. y L. Trejo, “Vegetación de México y escenarios aplicando un incremento de 2°C en temperatura y disminución del 10% en la precipitación”, en Semarnap-UNAM-U.S., *Country Studies. México ante el cambio climático*, México, Segundo Taller del País, 1995.

\_\_\_\_\_, e I. Trejo-Vázquez, “El cambio climático y la vegetación en México”, en Carlos Gay García (comp.), *México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*, capítulo IV, Ecosistemas Forestales, Semarnap, UNAM, U.S., Country Studies Program, 2000, pp. 63-82.