

M • É • X • I • C • O

PRIMERA COMUNICACIÓN NACIONAL ANTE LA CONVENCION MARCO
DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO



1a edición: noviembre de 1997

Consultas: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
Periférico sur 4209, Fracc. Jardines en la Montaña
14210 Tlalpan, D.F.
www.semarnap.gob.mx

Impreso y hecho en México

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	5
RESUMEN EJECUTIVO	7
EXECUTIVE SUMMARY	13
I. MÉXICO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO	19
II. RESULTADOS BÁSICOS	27
III. CONTEXTO NACIONAL	35
IV. DESARROLLO INSTITUCIONAL Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN	49
V. INVENTARIO DE GASES DE INVERNADERO	73
VI. VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO	81
VII. COOPERACIÓN INTERNACIONAL	139

PRESENTACIÓN

La humanidad inicia su tránsito hacia el siglo XXI con nuevos desafíos, como el de profundizar los esfuerzos dirigidos al conocimiento y a la mitigación del cambio climático global.

Hoy en día la comunidad internacional, impulsada por la necesidad de contar con un mayor conocimiento científico sobre las causas y consecuencias que tendría el cambio climático sobre la mayor parte de los habitantes de la Tierra, enfrenta este fenómeno con una mayor cooperación y con una actitud más comprometida.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático establece que los países en desarrollo deberán presentar su primera comunicación nacional tres años después de que este instrumento entre en vigor para estas Partes, según los artículos 4.1 (Compromisos) y del 12 (Transmisión de información relacionada con la aplicación). En el caso de México, la Convención Marco entró en vigor en 1994, por lo que en 1997 responde a las disposiciones antes mencionadas con el presente informe, el cual tiene el carácter de *primera comunicación nacional*. Éste fue elaborado con base en las guías para las Comunicaciones de las Partes de la Convención no incluidas en el Anexo I de la misma, de acuerdo con la decisión 10/CP.2, acordada durante la Segunda Conferencia de las Partes de la Convención (COP II) en 1996.

El objetivo fundamental de este informe es proporcionar una visión general de las circunstancias nacionales respecto al cambio climático, los estudios que se han realizado y las medidas —directas e indirectas— que se están tomando respecto al cambio climático.

En específico, para la elaboración de la versión preliminar del Inventario Nacional de Emisiones Antropogénicas, por Fuentes y Sumideros, de Gases de Efecto Invernadero, en su versión preliminar, se contó con el apoyo financiero del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), a través del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF).¹

Para la elaboración del mismo, se tomaron los datos de emisiones de México del año 1990 y se utilizó la metodología preparada por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Agencia Internacional de Energía (AIE).

Con dicha metodología se sistematizó la información de tal forma que los resultados obtenidos pudieran ser comparados con los de otros países y alimentar una base de datos PICC/Estados Unidos, que permite la realización de evaluaciones globales.

Los resultados del inventario fueron analizados en dos talleres nacionales y en varios internacionales. En diciembre de 1995 se presentó una publicación con la versión preliminar del Inventario.

Los resultados del Inventario de México también fueron analizados y aprobados por la Unidad sobre Atmósfera del PNUMA, que contó con la participación de expertos en el tema de ICF Incorporated de Estados Unidos y de la OCDE.

Posteriormente, con fondos del U.S. Country Studies Program, se actualizó el inventario preliminar calculando las emisiones producidas por la generación de energía del sector; se mejoró la metodología para la obtención de datos en el área de emisiones en gases de invernadero en la agricultura, y específicamente de metano, en el ganado. Además se precisaron, con mayor detalle, las emisiones de todos los gases de efecto invernadero por cambio de uso de suelo.

Este inventario actualizado, con datos base de 1990, se encuentra en revisión final y será publicado próximamente.

La coordinación para la elaboración del inventario y de los estudios de escenarios y vulnerabilidad estuvieron a cargo del Gobierno Federal, a través del Instituto Nacional de Ecología, de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con la amplia colaboración de diversos centros de investigación de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En particular, cabe resaltar la destacada participación del Centro de Ciencias de la Atmósfera, del Instituto de Geografía, del Programa Universitario de Energía, y de los Institutos de Ecología y de Ingeniería, así como de la Coordinación de Investigación Científica.

Por parte de otros organismos de la Administración Pública Federal, también se contó con la valiosa participación del Instituto de Investigaciones Eléctricas, del Instituto Mexicano del Petróleo, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias y del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Los resultados obtenidos fueron revisados por la Secretaría de Energía y por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

En esta primera comunicación nacional, se incluyen los resultados detallados de los estudios de escenarios climáticos y de vulnerabilidad.

Considerando que en su versión preliminar, el Inventario Nacional de Emisiones ya fue ampliamente consultado y publicado, y que su actualización está concluida y próxima a publicarse, en esta comunicación sólo se incluyen los resultados básicos del inventario actualizado.

Con esta primera comunicación nacional, México cumple su compromiso y reitera su apoyo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, bajo el principio de responsabilidad común pero diferenciada, en correspondencia con sus circunstancias nacionales.

Cabe mencionar que los estudios de actualización del inventario, los escenarios y las investigaciones sobre vulnerabilidad contaron con asesoría técnica y el patrocinio del U.S. Country Studies Program. También se contó con asesoría y apoyo financiero del gobierno canadiense para la primera etapa del inventario. Los estudios iniciales sobre mitigación de emisiones tuvieron apoyo del Banco Mundial, a través del GEF.

¹ El proyecto GF/4102-92-01 (PP/3011), se formalizó el 7 de noviembre de 1994 y el estudio se concluyó en septiembre de 1995.

RESUMEN EJECUTIVO

México apoya el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas establecido en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Por ello, en su calidad de país en desarrollo ha venido realizando una serie de estudios tendientes a mejorar el conocimiento en la materia.

De dichos estudios se desprende que el país se ubica entre los primeros 15 con mayores emisiones de bióxido de carbono y entre los 20 con mayores emisiones per capita. Sin embargo, su participación global es menor al 2% del total mundial.

El cumplimiento de los compromisos se ha dado a través de los resultados del *Estudio de País de México sobre Cambio Climático*, que comprende el inventario de emisiones antropogénicas por fuentes y sumideros, de gases de efecto invernadero; escenarios de emisiones futuras; escenarios climáticos; y estudios relativos a la vulnerabilidad potencial del país al cambio en el clima sobre la agricultura, los bosques, la hidrología, las zonas costeras, la desertificación y la sequía, los asentamientos humanos y el sector energía e industria.

Además, de 1993 a la fecha, el gobierno mexicano ha organizado estudios, talleres, publicaciones y conferencias, tanto nacionales como internacionales, sobre inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero, vulnerabilidad, mitigación y adaptación al cambio climático.

CIRCUNSTANCIAS NACIONALES

Datos básicos

México tiene una extensión territorial de 1'964,381.7 km², con gran diversidad de climas: los cálidos-subhúmedos cubren el 23% del territorio nacional; los secos el 28%; los muy secos 21%, y los templados-subhúmedos el 21% de su superficie. Su patrimonio biológico es uno de los más importantes del mundo, razón por la cual está incluido en la lista de los 12 países megadiversos.

A finales de 1995, la población registrada era de 91.2 millones de habitantes, de los cuales más del 60% vivía en localidades de más de 15 mil habitantes.

En 1996, el PIB de México ascendió a 334,790 millones de dólares. Su producción de petróleo crudo fue de 2,858.0 miles de barriles diarios. Por su parte, la participación de los principales sectores económicos en el PIB puede desglosarse como sigue: agropecuario 5.9%; industrial 28.8% (donde las manufacturas constituyen el 74.7% de su valor); y servicios 65.3%.



Recursos naturales

En México, los recursos naturales y el medio ambiente están sometidos a tendencias de deterioro crónicas que se expresan en elevadas tasas de pérdida de biodiversidad, deforestación, erosión de suelos, desertificación, contaminación de las principales cuencas hidrológicas y contaminación atmosférica en las grandes zonas metropolitanas. Estas tendencias se agravan por una distribución territorial de asentamientos humanos y actividades económicas totalmente inadecuada respecto a la distribución espacial de los recursos hídricos, ya que la mayor densidad de población se presenta en las zonas centro, norte y noroeste, donde el agua es escasa, mientras que las regiones menos habitadas del sureste concentran la mayor parte del recurso hídrico.

Recursos forestales

En México, los bosques, las selvas y otras áreas con vegetación natural ocupan 141.7 millones de hectáreas, aproximadamente un 72% del territorio nacional. De esta superficie, 56 millones de ha son de bosques y selvas, de las cuales 32.5 millones de ha están ocupadas por formaciones cerradas y 22.9 millones de ha son abiertas. Los bosques de coníferas ocupan 21 millones de ha, las latifoliadas 9.5 y 1.4 los mesófilos. Las selvas incluyen en su integración vegetación del trópico húmedo y del seco. La vegetación del trópico húmedo incluye selvas altas y medianas y ocupa aproximadamente 14.1 millones de hectáreas.

Ganadería

El sector ganadero creció aceleradamente, principalmente entre los años setenta y mediados de la década de los ochenta, como resultado de un patrón extensivo de ganadería que implicó extender el área dedicada al pastoreo. En 1994, el hato ganadero sumaba 23.2 millones de cabezas de ganado bovino, 10.1 de porcino, 6.0 de caprino y 3.9 de ovino. En 1997, la superficie dedicada a la ganadería es de alrededor de 114 millones de hectáreas.

Recursos energéticos

Las reservas probadas de hidrocarburos ascendieron en 1997 a 50,812 millones de barriles, de los cuales, el 80% correspondió a petróleo crudo y condensados, y el 20% a gas natural. También se cuenta con 662.9 millones de toneladas de carbón distribuidas en cuatro cuencas principales. Por otra parte, se estima que las reservas de uranio alcanzan los 14.5 miles de toneladas. Además México posee un potencial apreciable en fuentes alternativas de energía, como la geotérmica, nuclear, solar y eólica.

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE GASES DE INVERNADERO POR FUENTES Y SUMIDEROS

En 1996 comenzaron las tareas de actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto de Invernadero de México, tomando como datos base los de 1990. Las fases de discusión y consulta están prácticamente terminadas y en breve se publicará el inventario actualizado.

Este Inventario incluye gases de invernadero directos: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O); indirectos (que contribuyen a la formación atmosférica del ozono): monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles no-metano (COVNM). Cabe destacar los siguientes indicadores básicos del Inventario:

- En México, las emisiones provienen principalmente del uso de combustibles para la generación de energía, el cambio de uso del suelo, la agricultura y procesos industriales.

- Del total de las emisiones de gases de invernadero, el bióxido de carbono contribuye con el 96.42%, el metano con el 0.79%, y otros gases con el 2.79%.
- El sector energético es la fuente antropogénica de CO₂ más importante de México.
- El sector transporte representa el 32% de las emisiones por consumo de combustibles fósiles, seguido por el de la generación eléctrica (23%) y la industria (22%). El rubro transporte es también el principal contribuyente a las emisiones de NO_x, CH₄, N₂O y CO.
- En 1990, cerca del 84% de la energía de uso final y del 62% de la electricidad generada, se producían por medio de combustibles fósiles.
- Se estima que entre 1987 y 1993, las emisiones per capita de CO₂ decrecieron en 7.1%, al descender de 3.75 a 3.48 toneladas.
- En el mismo periodo, la intensidad de las emisiones de CO₂, medidas como emisiones por PIB, en dólares constantes 1993, se redujo en 6.1%.

ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD

En los estudios de vulnerabilidad se consideraron los posibles efectos del cambio climático sobre la agricultura, asentamientos humanos, zonas costeras, desertificación y sequía meteorológica, ecosistemas forestales, recursos hidrológicos y los posibles efectos sobre los sectores energético e industrial. Algunos resultados relevantes se presentan dividiendo el territorio nacional en tres grandes zonas geográficas (norte, centro y sur).

Zona norte

En caso de que se presentara una duplicación en las concentraciones atmosféricas de CO₂, los climas áridos y semiáridos del norte de México podrían aumentar su área de influencia, mientras que los semifríos desaparecer. Alrededor del 10% de todos los tipos de vegetación de los ecosistemas forestales se verían afectados por las condiciones secas y cálidas. Grandes extensiones de pastizales y de bosques templados resentirían la presencia de climas más calientes, por lo que podrían incrementarse las zonas con bosques tropicales secos y muy secos, así como las zonas de matorrales desérticos. Resultaría probable que determinadas áreas de la región norte del país, ya no serían aptas para el cultivo de maíz de temporal. Un posible aumento en el nivel del mar afectaría la laguna deltaica del río Bravo en Tamaulipas.

Zona centro

Por concentrar el mayor volumen de población y actividades económicas, esta zona presentaría una situación de alta vulnerabilidad. Los climas templados húmedos y subhúmedos tenderían a desaparecer en esta zona, aumentando los secos y los cálidos. La sequía y la desertificación, aun cuando en la actualidad presentan grados bajos, aumentarían y se agravarían los problemas de disponibilidad de agua. Los campos de cultivo de maíz de temporal pasarían de ser medianamente aptos a no aptos. Los ecosistemas forestales más afectados en la región central del país serían los bosques templados y los bosques húmedos. La zona costera también se consideraría vulnerable al ascenso del nivel del mar.

Zona sur

La zona sur del país es la que, para distintos escenarios, presenta los menores impactos ante un cambio climático. Por ejemplo, los recursos hídricos no rebasarían los índices de vulnerabilidad considerados en el estudio, aunque en el caso de las costas del Golfo de México y del Mar Caribe se presentan regiones susceptibles al ascenso del nivel del mar. Las zonas de producción de petróleo son las más sensibles, principalmente las que forman parte del conjunto de actividades industriales. En agricultura, de presentarse dicho cambio, la superficie apta para el cultivo de maíz de temporal desaparecería en las regiones sur y sureste, y la franja costera considerada como no apta se extendería hacia el interior.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Política energética

La actual política energética de México, desde la perspectiva ambiental, está influida por la contaminación atmosférica derivada del uso de combustibles fósiles, lo cual ha motivado una serie de medidas de mitigación:

- *En mejoramiento de combustibles:* Desde finales de 1995 aumentó el consumo de gasolinas sin plomo y el diesel sufrió mejoras mediante una reducción drástica en su contenido de azufre. Lo anterior se tradujo en una disminución de la contaminación atmosférica.
- *En sustitución de combustibles:* se busca reducir el consumo de combustóleo de alto contenido de azufre y aumentar significativamente la participación del gas natural, lo que implica menores emisiones de CO₂.
- *Para el ahorro y uso eficiente de la energía:* se han establecido programas de ahorro de energía a escala nacional; se promueve la difusión de la cogeneración en la industria y se elaboran Normas Oficiales Mexicanas (NOM), que regulan los consumos energéticos de instalaciones y aparatos eléctricos.

Gestión ambiental y de recursos naturales

En los últimos tres años, México ha realizado un enorme avance en el desarrollo de su plataforma institucional, normativa y programática para la gestión ambiental. Con el respaldo de estas nuevas capacidades, están en curso una serie de políticas y programas que tienen objetivos específicos de acuerdo con las prioridades nacionales en materia de medio ambiente y recursos naturales, y que también representan importantes medidas de mitigación en torno al cambio climático. Cabe destacar las siguientes:

- Con el *Programa de Áreas Naturales Protegidas* se ha incrementado la superficie bajo protección y, sobre todo, se han canalizado importantes recursos bajo un novedoso esquema de financiamiento, planeación, asesoría, administración y participación social, para cada una de las 27 áreas naturales prioritarias.
- El fomento a la silvicultura cuenta con dos programas que incorporan plenamente la dimensión ambiental: el *Programa de Plantaciones Forestales Comerciales* y el *Programa de Desarrollo Forestal*. Este último, con subsidios directos a los productores, busca garantizar adecuados planes de manejo y conservación. Ambos cuentan con el respaldo de la reciente reforma a la Ley Forestal (1997), orientada a fortalecer la vinculación entre la legislación ambiental y forestal, regular las plantaciones forestales comerciales, mejorar los servicios técnicos y reforzar los sistemas de control para abatir la tala ilegal.

- Además, se están aplicando medidas para mejorar el *Programa Nacional de Reforestación*, en cuanto a su focalización hacia zonas ambientalmente críticas y al incremento de la tasa de supervivencia de la vegetación nueva.

En el ámbito de la industria y la contaminación urbana, destacan las siguientes acciones, que también presentan un carácter de mitigación respecto al cambio climático:

- Se fomenta la regulación ambiental multimedios, considerando el carácter agregado y acumulativo de los procesos de contaminación, y su transferencia entre diferentes medios. Para esto se puso en marcha el *Sistema Integrado de Regulación y Gestión Ambiental*, que se verá reforzado con el *Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes*.

- En relación a la reorganización urbana, al transporte y al mejoramiento de la calidad del aire en las cuatro zonas metropolitanas más densamente pobladas e industrializadas del país, están funcionando programas para el mejoramiento de la calidad del aire, que concentran sus estrategias en la obtención de las siguientes metas: industria y vehículos limpios, transporte eficiente, ordenamiento urbano y recuperación ecológica.

Instrumentación conjunta

En la actual fase piloto, se iniciaron proyectos de captura de carbono en Bahía Kino, Sonora; en zonas forestales de Chiapas; en la Sierra Norte de Oaxaca; en bosques tropicales de Campeche, y en la Reserva de la Mariposa Monarca, que ya cuentan con sus respectivos términos de referencia. También se cuenta con un proyecto en el área de ahorro de energía, el cual estudia el potencial eólico de la región de La Ventosa, Oaxaca.



EXECUTIVE SUMMARY

Mexico supports the principle of common but differentiated responsibilities established in the Framework Convention on Climate Change. For this reason, in its condition as a developing country Mexico has carried out a series of studies with a view to improving existing knowledge about this issue. As regards the effects of global climate change, Mexico has several geographical regions that could be seriously affected. Global climate change would seriously threaten a number of ecosystems, industrial activities, human settlements, and especially, large areas of farmland where non-irrigated maize—a socially strategic crop—is traditionally grown.

According to these studies our country ranks among the 15 most important CO₂ emitters and among the top 20 nations in terms of per capita CO₂ emissions. However, in terms of the volume, Mexico contributes less than 2% of global emissions.

The results of Mexico's Country Study were used in designing the actions aimed at fulfilling these commitments. One of the preliminary steps of the Study involved the realization of an inventory of anthropogenic green house gas emissions, by sources and sinks. Once the inventory had been carried out, projections of future emissions and climate scenarios were made, followed by a study to identify the areas that would be most vulnerable to climatic changes. The resources and activities most threatened by climatic changes include agriculture, forests, water resources, coastal regions, regions exposed to desertification and drought, human settlements, and the energy and industry sectors.

From 1993 to the present, the Mexican government has carried out a number of studies, workshops and national and international conferences, and has produced a number of publications about the greenhouse effect, including the inventory, risk analyses, mitigation policies, and strategies for adapting to climate change.

Mexico's Country Study was carried out with the support of the United States Country Studies Program, which was created to support the realization of climate change studies in developing countries.

THE CURRENT SITUATION

Basic information. Mexico has a total area of 1,964,381.7 square kilometers, and a variety of climates, including hot, sub-humid regions (which make up 23% of the national territory), dry (28%), very dry (21%), and temperate sub-humid (21%). Mexico is one of the world's most important biological reserves, and is one of twelve countries classified as megadiverse.



Mexico's population at the end of 1995 was 91.2 million, of which more than 60% live in cities with over 15,000 inhabitants.

In 1996 Mexico's Gross Domestic Product (GDP) was estimated at US\$ 334,790 million. The country reported an annual rate of crude oil production of 2.858 million barrels per day. Agriculture contributed 5.9% of GDP; industry 28.8% (and manufacturing accounted for 74.7% of industry's share); and services, 65.3%.

NATURAL RESOURCES

Mexico's natural resources and environment suffer from chronic degradation, as is reflected in its high rates of loss of biodiversity, deforestation, soil erosion, desertification, the severe pollution of the country's major water resources, not to mention the air of its principal cities. The aforementioned problems are further exacerbated by the fact that the country's population and economic activities are not distributed in accordance with the availability of water, which is more plentiful in the southeastern region of Mexico. Mexico's population, on the other hand, is concentrated in the central, northern and northeastern regions of the country, where water is scarce.

Forest resources

Approximately 72% of Mexico's territory (*ie*, 141.7 million square hectares) is covered with forests, jungles, and other types of natural vegetation. Of this total, 56 million hectares are forests and jungles, of which 32.5 million ha are closed formations, and 22.9 million ha are open. Conifer forests cover 21 million hectares, latifoliate, 9.5 million ha, and mesophyll forests, 1.4 million. Jungles include both humid and dry tropical vegetation. Humid tropical vegetation includes high and medium jungles, and covers approximately 14.1 million hectares.

Livestock production

Livestock production grew rapidly in Mexico between the 1960s and the mid-eighties. Extensive production methods were used, and growth was therefore based on a substantial increase in the area of pasture. In 1994, the livestock population included 23.2 million head of cattle, 10.1 million head of pigs, 6.0 million goats, and 3.9 million sheep. In 1997, a total of 114 million hectares were devoted to livestock production.

Energy resources

Mexico's proven hydrocarbon reserves in 1997, totaled 50,812 million barrels, 80% of which were crude oil and condensates, and 20% natural gas. Mexico also has estimated coal reserves totaling 662.9 million tons, located in four deposits. The country's uranium reserves have been estimated at 14.5 thousand tons. In addition, Mexico has significant potential in terms of its sources of alternative energy, such as geothermal, nuclear, solar and eolian energy.

NATIONAL INVENTORY OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS, BY SOURCE AND SINK

In 1996, work was started to update Mexico's National Inventory of Greenhouse Gas Emissions. The baseline for the updated version is 1990. The stage of consultation and discussion of the preliminary draft is practically finished and the updated version will be published shortly.

This inventory includes the emissions of direct greenhouse gases: carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O); indirect greenhouse gases (which contribute to the atmospheric formation of ozone): carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x); and non-methane volatile organic compounds (NMVOC). The following basic indicators were derived from the inventory:

- In Mexico, emissions are produced mainly by fuel consumed to generate energy, processes of land use change, agriculture, and the oil and gas industry and industrial processes.
- Carbon dioxide accounts for 96.42% of total greenhouse gas emissions, methane for 0.79%, and other gases for 2.79%.
- The energy sector's emissions constitute the country's most important source of anthropogenic emissions, especially in terms of carbon dioxide emissions.
- The transportation sector, on the other hand, accounts for 32% of emissions produced by the consumption of fossil fuels; electric generation accounts for 23%; and industry for 22%. The transport sector also produces the greatest amount of NO₂, CH₄, N₂O, and CO.
- In 1990, close to 84% of final energy use, and 62% of the electricity generated were produced by means of fossil fuels.
- Between 1987 and 1993, per capita emissions of CO₂ declined by 7.1%, from 3.75 tons per person in 1987 to 3.48 tons in 1993.
- During the same period, the intensity of CO₂ emissions, measured in terms of emissions per unit of GDP (constant 1993 Gross Domestic Product USD), declined by 6.1%.

VULNERABILITY STUDIES

Vulnerability studies were carried out to determine the possible effects of climate change on agriculture, human settlements, coastal regions, desertification and meteorological drought, forest ecosystems, and water resources, as well as the possible effects of climate change on the energy and industrial sectors and the sea level on Mexico's Gulf Coast region. The following is a summary of the results of these studies for the three large regional divisions: the northern, central and southern regions.

Northern Zone

Supposing that CO₂ atmospheric concentrations were two times the preindustrial ones, the area with arid and semi-arid climates in northern Mexico would increase, while semi-cold climate would disappear. About 10% of the vegetation of forested ecosystems would be affected, due to drought and hot weather. Large extensions of pasture land and temperate forests would also be affected by warmer climates, and the extension of dry and very dry tropical forests could increase, as well as desert covered with matorral (bramble). Certain areas of the northern region may become unsuitable for growing non-irrigated maize crops. Sea level may rise affecting the Pánuco River delta in Tamaulipas.

Central Zone

This region would be particularly vulnerable to the effects of climate change, due to its very density of population and the concentration of economic activity within this area. This region's humid temperate and sub-humid temperate climates would disappear, being replaced by dry and hot climates. Drought and desertification—which today are relatively scarce—would increase their occurrence, and further exacerbate the shortage of water. The arable land—which today is suitable or very suitable for growing non-irrigated maize crops—would become unsuitable. The forest ec-

cosystems that would be most affected in this region would be the temperate and humid forests. The coastal region would also be vulnerable to the effects of a rising sea level.

Southern Zone

Mexico's southern zone is the one that—in several scenarios— would be the least affected by climate change. For example, the effects on this region's water resources would not be greater than the vulnerability indices considered in the study. Some areas of the Gulf coast and the Caribbean sea would be susceptible to a rise in the sea level. Petroleum producing areas would be the industrial activities that would be the most affected. The area of arable land suitable for growing non-irrigated maize would disappear in the southern and southeastern regions, and the coastal strip which is not suitable for this crop would extend itself toward the interior.

MEASURES FOR MITIGATING THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE

Energy Policy

Mexico's current energy policy from the environmental point of view is affected by air pollution caused by fossil fuel consumption. This situation has spurred the application of several measures aimed at mitigating the problem:

- *The use of improved fuels:* Since 1995, there has been a significant increase in the use of unleaded gasoline and low-sulfur diesel. Both these measures have helped reduce air pollution.
- *Fuel conversion.* A policy is being implemented to promote the use of natural gas instead of high-sulfur fuel oil, thus helping reduce CO₂ emissions.
- *Energy conservation and efficiency.* Energy conservation programs have been implemented on a national scale. These programs are designed to promote industrial co-generation. In addition, mandatory standards (NOMs), are being elaborated to regulate energy consumption by electrical installations and apparatus.

The control of the environment and natural resources

During the last three years, Mexico has significantly improved its institutional, normative and programmatic capabilities in the area of environmental control. With the support of these new capabilities, a series of policies and programs are being implemented, which have specific objectives aimed at furthering national priorities in the control of the environment and natural resources. These policies and programs also include measures designed to significantly mitigate the effects of global climate change. These measures include:

- The Protected Natural Area program has increased the amount of land and resources under control, and above all—through the application of an innovative scheme for planning, financing, and administering these programs while promoting community participation— has helped channel significant amounts of resources to ensure adequate protection for each of the 27 protected areas that have been conferred the highest priority.
- The Forestry Program includes two projects aimed at fulfilling environmental goals: the Commercial Forest Planting project, and the Forest Development project. In the latter project, direct subsidies are given to local producers, along with technical advice to ensure the implementation of suitable conservation and administrative practices. These programs are supported by recent (1997) reforms to the National Forest Law, which seek to: strengthen the linkages between forest-

ry laws and environmental legislation; regulate commercial forest planting activities; improve technical services; and reinforce controls aimed at stopping illegal cutting.

- Measures are being carried out to improve the National Reforestation Program by focusing actions in environmentally critical areas to ensure the survival of new vegetation.

- As regards industrial and urban pollution, actions are being carried out in the following areas. These actions, of course, help mitigate the effect of climate change.

- Given the cumulative and aggregate nature of environmental pollution, a program is being implemented to regulate multiple sources of pollution and their influence on one another. For this purposes, an Integrated System for Environmental Regulation and Administration has been developed, which will be further strengthened by a system for Registering Emissions and the Transfer of Contaminants.

- As regards actions aimed at re-organizing cities, transportation systems and improving air quality in Mexico's four principal metropolitan and industrial areas, programs have been launched to improve air quality. To achieve their goals, these programs focus their attention on five principal areas: cleaner industry; non-polluting vehicles; efficient transportation; urban planning; and environmental recovery.

Joint Implementation

In its current, pilot phase, joint implementation projects are being launched in the following areas: carbon sequestration projects are being initiated in Bahía Kino in Sonora, and in forested areas of Chiapas. Three other projects, which have already defined their terms of reference, are being carried out in the northern mountain regions of Oaxaca, in the tropical forests of Campeche, and in the Monarch Butterfly Reserve. An additional project aimed at promoting energy efficiency through the use of eolian energy, is being developed for the La Ventosa region of Oaxaca.



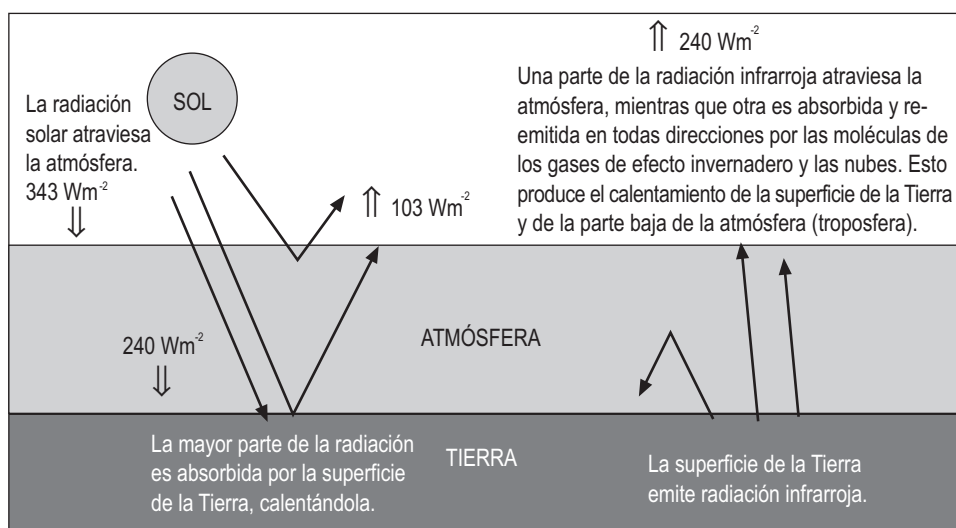
I. MÉXICO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

UNA VISIÓN GLOBAL

La capa más baja de la atmósfera, conocida como troposfera, contiene a los gases que son responsables, en gran parte, de la temperatura del planeta y, por lo tanto, de crear condiciones aptas para la vida.

Los gases referidos son principalmente el vapor de agua, el bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), y los clorofluorocarburos (CFC), también conocidos como gases de efecto invernadero. A excepción de los CFC, todos estos gases existen de manera natural y representan menos del 1% de la atmósfera y atrapan parte del calor (radiación infrarroja o de onda larga) que emite la superficie de la Tierra al absorber la energía solar que la calienta (Figura 1). Esta retención es lo que se conoce como “efecto invernadero”, un proceso esencial dentro del sistema climático. En ausencia de estos gases, la temperatura promedio del planeta sería de -18°C en lugar de 15°C , como ocurre en situación normal.

FIGURA 1



Fuente: Versión simplificada del diagrama publicado en “Climate Change 1994”, Intergovernmental Panel on Climate Change.

Debido al aumento en las concentraciones atmosféricas de varios gases de efecto invernadero, la temperatura de la tierra se ha incrementado en aproximadamente medio grado centígrado en los últimos 100 años, y de continuar esta tendencia, podría agravarse el fenómeno del cambio climático global.

Las concentraciones de CO₂ y de N₂O se han incrementado a causa de la quema de combustibles fósiles y de la deforestación. El CH₄ ha aumentado debido, entre otras causas, al incremento de los hatos ganaderos, a la fermentación entérica de materia orgánica y a la explotación del gas natural. Los CFC son producidos por el hombre y utilizados en la fabricación de refrigerantes, solventes e impelentes.

TABLA 1. PRINCIPALES GASES DE EFECTO INVERNADERO

Gas	Principales fuentes	Concentra- ciones pre- industriales	Concentra- ciones actuales	Potenciales de calentamiento global			Cre- cimiento (ritmo anual) %	Vida atmosférica (años)
				20	100 años	500		
Bióxido de Carbono CO₂*	Quema de combustibles fósiles, producción de cemento, cambios en uso de suelo tropical.	280	350	1	1	1	1.6	50 a 200
Metano CH₄*	Cultivo de arroz, rellenos sanitarios, ganadería, combustión de biomasa, producción y consumo de combustibles fósiles.	0.8	1.7	62	24.5	7.5	0.02	10
Óxido Nitroso N₂O**	Agricultura (pastoreo en regiones tropicales), quema de biomasa, procesos industriales (producción de ácido adípico y ácido nítrico), quema de combustibles fósiles.	288	310	290	320	180	0.8	150

*Partes por millón

**Partes por mil millones

Fuente: Cuadro elaborado a partir de varias publicaciones internacionales, principalmente *Climate Change 1994*, Intergovernmental Panel on Climate Change.

El más abundante de estos gases es el CO₂, que se encuentra en concentraciones de 350 partes por millón (ppm). El bióxido de azufre, que se encuentra presente en una proporción máxima de 0.05 ppm, contribuye a la deposición ácida de la lluvia, a la corrosión de algunos materiales y a la disminución de la visibilidad. Los óxidos de nitrógeno son precursores de la lluvia ácida, del *smog* fotoquímico y de la reducción del ozono en la estratósfera. Los CFC, en 0.003 ppm, contribuyen al adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico y, junto con el metano, el óxido nitroso y el bióxido de carbono, son responsables del aumento de la temperatura del planeta y de producir posibles cambios climáticos graves a través del incremento del efecto de invernadero.

No obstante que la composición atmosférica ha sufrido variaciones naturales a lo largo de millones de años, las emisiones antropogénicas están produciendo cambios en el clima del planeta en unos cuantos decenios. Por ejemplo, se ha observado que la temperatura media de la superficie terrestre ha aumentado entre 0.3 y 0.6°C desde 1886. También los cambios regionales han sido eviden-



tes: el calentamiento reciente ha sido mayor sobre las latitudes medias de los continentes en invierno y primavera, con pocas áreas de enfriamiento, como el norte del océano Atlántico; mientras que las lluvias han aumentado sobre los continentes en latitudes altas del hemisferio norte, en especial durante la época de frío. Otro síntoma del calentamiento global ha sido el aumento del nivel medio del mar de 10 a 25 centímetros.

A pesar de que no hay suficientes datos para determinar si han ocurrido cambios globales consistentes en la variabilidad climática o eventos climáticos extremos durante el siglo XX, a escala regional existen evidencias claras de cambios en algunos indicadores. Por ejemplo, la fase caliente persistente de “El Niño” de 1990 a principios de 1995, que causó sequías e inundaciones en muchas áreas, no resultó un fenómeno común durante los últimos 120 años. También se han observado menos heladas en grandes áreas y aumento en la cantidad de lluvia durante eventos climáticos extremos.

Recientemente se ha detectado que las concentraciones de CO₂ se incrementan año con año en aproximadamente un 1.6%. Se estima que este aumento se debe principalmente a las emisiones producidas por la quema de combustibles fósiles, que no se equilibran con los sumideros de CO₂ (fotosíntesis en la vegetación terrestre, acuática continental y marina, entre otros). Es decir, la actividad industrial está emitiendo alrededor de 6 mil millones de toneladas de carbono por año, de las cuales alrededor de 3 mil millones permanecen y se acumulan en la atmósfera. También se ha observado un aumento en las concentraciones atmosféricas de metano y óxido nitroso, los cuales se incrementaron en un 112% y un 7%, respectivamente, desde la era preindustrial hasta 1992.

Las principales predicciones globales sobre las consecuencias del cambio climático se pueden resumir en los siguientes puntos:

De mantenerse los niveles de emisiones de CO₂ a la atmósfera iguales a los alcanzados en 1994, conllevarían al aumento sostenido de las concentraciones atmosféricas por al menos 200 años, alcanzando cerca de 500 ppmv (casi el doble de la era preindustrial de 280 ppmv) para fines del siglo XXI.

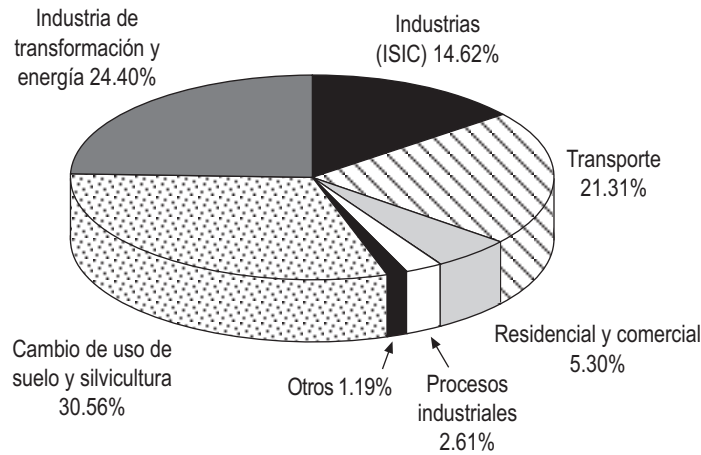
Una variedad de modelos del ciclo del carbono indican que la estabilización de las concentraciones de este gas en la atmósfera en 450, 650 o 1000 ppmv podría alcanzarse sólo si las emisiones antropogénicas globales de CO₂ bajaran a los niveles de 1990 en los próximos 40, 140 o 240 años respectivamente, y posteriormente se mantuvieran de manera sustancial por debajo de este nivel.

- De continuar el aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero, la temperatura promedio de la Tierra se podría incrementar entre 1 y 3.5°C para el año 2100, lo que significaría un aumento mayor a cualquier otro observado en los últimos 10 mil años.
- El nivel medio del mar podría incrementarse entre 15 y 95 centímetros (la estimación más aceptada es de 50 cm) adicionales para el año 2100, las zonas costeras y los pequeños estados insulares serían los más afectados.
- Aun si se estabilizaran las concentraciones de gases de invernadero para el año 2100, las temperaturas seguirían incrementándose durante varias décadas, y el nivel del mar continuaría subiendo durante siglos, debido a la larga vida en la atmósfera de muchos gases de invernadero y a la inercia térmica de los océanos.
- Los posibles eventos climáticos extremos (inundaciones, huracanes, etc.) asociados al cambio climático, podrían causar grandes estragos.
- Algunos de los cambios pronosticados incluyen efectos potencialmente perjudiciales, tanto a la economía como a la calidad de vida, de la presente y de futuras generaciones, manifestándose en problemas de salud, escasez de agua y alimentos, así como en la pérdida de viviendas y en la degradación de ecosistemas, entre otros.



MÉXICO: INCIDENCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO Y VULNERABILIDAD

Las emisiones totales de bióxido de carbono de México están asociadas principalmente al cambio de uso de suelo, a la generación de energía y al transporte. Si bien México se encuentra entre los 20 países con mayores emisiones de gases de invernadero *per capita*, éstas son muy inferiores a las de los países desarrollados.



Industria de transformación y energía	108,473.18
Industria (*)	64,971.20
Transporte	94,705.60
Residencial y comercial	23,558.68
Otros	5,301.98
Procesos industriales	11,621.00
Cambio de uso de suelo y silvicultura	135,857.333

* Según la Clasificación Internacional del Sector Industrial, que incluye la producción de cemento y metalurgia, entre otras industrias.

PAÍSES CON MAYORES EMISIONES DE CARBONO (C) PER CAPITA 1994

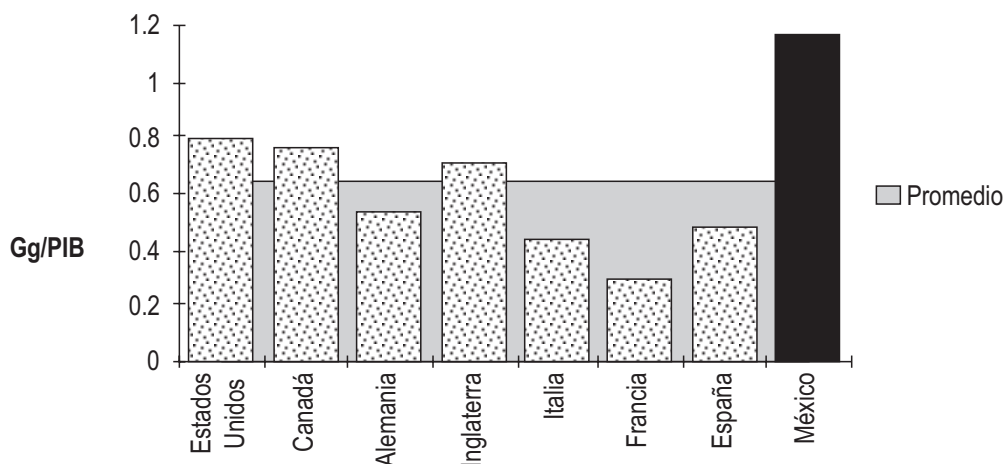
País	Emisiones anuales <i>per capita</i> (Tons)
1. Estados Unidos	5.26
2. Kazajstán	4.71
3. Australia	4.19
4. Canadá	3.97
5. Rusia	3.08
6. Corea del Norte	2.90
7. Alemania	2.89
8. Reino Unido	2.62
9. Ucrania	2.43
10. Japón	2.39
11. Polonia	2.31
12. África del Sur	2.07
13. Corea del Sur	1.98
14. Italia	1.81
15. Francia	1.56
16. Irán	1.09
17. México	0.96
18. China	0.71
19. Brasil	0.39
20. India	0.24

Fuente: G. Marland, R.J. Andres T. A. Boden, "Global , Regional and National CO₂ Emission Estimates from Fossil Fuel Burning, Cement Production and Gas Flaring: 1950-1992" (Electronic database) (Oak Ridge, Tenn. Carbon Dioxide Information Analysis Center. Oak Ridge National Laboratory, 1995). World watch estimates based on *ibid.*, and on British Petroleum, *BP Statistical Review of World Energy* (London: Group Media & Publications, 1995). Population Reference Bureau, 1994 *World Population Data Sheet* (Washington, D. C.: 1994); World Bank, *The World Bank Atlas 1995* (Washington, D. C.: 1995).

A medida que los países se desarrollan, tienden a aumentar sus emisiones *per capita*, al tiempo que aumentan su intensidad energética y, por lo tanto, la relación entre sus emisiones de gases de invernadero con respecto al producto interno bruto.

México presenta una menor eficiencia energética que el promedio de países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), lo que significa que genera más emisiones de gases de invernadero por unidad de PIB que ellos. Sin embargo, son los países más desarrollados los que emiten mayores cantidades de gases de efecto invernadero a la atmósfera *per capita*; lo cual sustenta el principio de la responsabilidad común, pero diferenciada, ante el fenómeno del cambio climático.

GENERACIÓN DE EMISIONES DE CO₂ POR UNIDAD DE PIB
DE MÉXICO Y DE OTROS PAÍSES DE LA OCDE
Gg=10⁹ gramos



Fuente: United Nations. *Climate Change Bulletin*, 2do. trimestre, 1996, p. 5.

MÉXICO: VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Este informe presenta los resultados detallados de un estudio que identifica las zonas, recursos y actividades económicas que registrarían mayor vulnerabilidad ante los efectos potenciales del cambio climático.

Agricultura:

Las regiones identificadas como más vulnerables serían el norte y el centro del país.

Asentamientos humanos:

Regiones de mayor vulnerabilidad:
Centro (Distrito Federal, Estado de México, Guanajuato, Jalisco).

Desertificación:

48.21% de la superficie del país tendría altos índices de vulnerabilidad.

Estados más vulnerables:

Aguascalientes, Baja California, Coahuila, Jalisco, Colima, Nayarit, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Sonora e Hidalgo.

Sequía meteorológica:

Estados más vulnerables:
Norte de Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Campeche y Chiapas.

Ecosistemas forestales:

Los bosques templados serían muy vulnerables, cerca del 50% de la cobertura vegetal cambiaría.

Recursos hidrológicos:

Las cuencas más vulnerables serían: Pánuco y Lerma-Chapala-Santiago; y la Península de Baja California.

Industria y energía:

Sectores de alta vulnerabilidad:

Industria petrolera.
Industria eléctrica.
Industria petroquímica.

Zonas costeras:

Zonas de mayor vulnerabilidad:

Tamaulipas (Laguna deltaica del río Bravo).
Veracruz (Laguna de Alvarado, río Papaloapan).
Tabasco (Complejo deltaico Grijalva-Mezcapala-Usumacinta).
Yucatán (Los Petenes).
Quintana Roo (Bahía de Sian Ka'an y Chetumal).

LA CONVENCIÓN MARCO: COMPROMISOS

Como ya se mencionó, el incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero está vinculado con actividades primordiales de la economía, por lo que las políticas dirigidas a controlar las emisiones de estos gases tendrán un efecto directo en los actuales medios de producción.

Las medidas de adaptación al cambio climático incluyen ajustes en prácticas, procesos o estructuras y tienen como fin reducir los impactos adversos y aprovechar los efectos potencialmente benéficos del cambio climático.

El éxito de la adaptación dependerá de los avances tecnológicos, de los arreglos institucionales, la disponibilidad de financiamiento, la transferencia de tecnología y el intercambio de información. Las opciones de adaptación para muchos países en desarrollo son muy limitadas, debido a la escasez de recursos económicos y tecnológicos.

La Asamblea General de las Naciones Unidas, en su sesión de 1990, decidió crear el Comité Intergubernamental de Negociación de una Convención Marco sobre Cambio Climático (CIN). El CIN redactó el texto de la Convención y lo aprobó el 9 de mayo de 1992 en la sede de las Naciones Unidas. Dicha Convención se abrió para su firma en la Cumbre para la Tierra en Río de Janeiro en

LAS PARTES QUE SON PAÍSES DESARROLLADOS Y LAS DEMÁS PARTES INCLUIDAS EN EL ANEXO I SE COMPROMETEN ESPECÍFICAMENTE A LO QUE SE ESTIPULA A CONTINUACIÓN:

a) Cada una de esas Partes adoptará políticas nacionales¹ y tomará las medidas correspondientes de mitigación del cambio climático, limitando sus emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero y protegiendo y mejorando sus sumideros y depósitos de gases de efecto invernadero. Esas políticas y medidas demostrarán que los países desarrollados están tomando la iniciativa en lo que respecta a modificar las tendencias a más largo plazo de las emisiones antropógenas de manera acorde con el objetivo de la presente Convención, reconociendo que el regreso antes de fines del decenio actual a los niveles anteriores de emisiones antropógenas de bióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal contribuiría a tal modificación; y teniendo en cuenta las diferencias de puntos de partida y enfoques, estructuras económicas y bases de recursos de esas Partes, la necesidad de mantener un crecimiento económico fuerte y sostenible, las tecnologías disponibles y otras circunstancias individuales, así como la necesidad de que cada una de esas Partes contribuyan de manera equitativa y apropiada a la acción mundial para el logro de ese objetivo. Esas Partes podrán aplicar tales políticas y medidas conjuntamente con otras Partes a contribuir al objetivo de la Convención y, en particular, al objetivo de este inciso;

b) A fin de promover el avance hacia esa meta, cada una de esas Partes presentará con arreglo al artículo 12, dentro de los seis meses siguientes a la entrada en vigor de la Convención para esa Parte y periódicamente de allí en adelante, información detallada acerca de las políticas y medidas a que hace referencia el inciso a) así como acerca de las proyecciones resultantes con respecto a las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción de los sumideros de gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal para el periodo a que se hace referencia en el inciso a), con el fin de volver individual o conjuntamente a los niveles de 1990 las emisiones antropógenas de bióxido de carbono y de otros gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal. La Conferencia de las Partes examinará esa información en su primer periodo de sesiones y de allí en adelante en forma periódica, de conformidad con el artículo 7.

¹ Ello incluye las políticas y medidas adoptadas por las organizaciones regionales de integración económica.

Fuente: Secretaría del Cambio Climático. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Artículo 4, Compromisos, inciso 2.

junio de 1992, en cuya ocasión la firmaron 154 países (y la Comunidad Europea). La Convención entró en vigor el 21 de marzo de 1994.

Según el texto de la Convención, su objetivo último, y de todo instrumento jurídico conexo que adopte el órgano supremo de la Convención, denominado la Conferencia de las Partes, es lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

Todas las partes de la Convención, teniendo en cuenta sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y el carácter específico de sus prioridades nacionales y regionales de desarrollo, de sus objetivos y de sus circunstancias, tienen, entre otros, los siguientes compromisos:

- Elaborar, actualizar periódicamente y publicar inventarios nacionales de las emisiones antropógenas —por fuentes y sumideros— de gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal;
- Formular, aplicar, duplicar y actualizar programas nacionales de manera regular y, cuando sea apropiado, programas regionales que incluyan medidas tanto para mitigar el cambio climático, mediante el control de las emisiones de los gases de efecto invernadero antes mencionados, como para facilitar la adecuada adaptación al cambio climático.

Los países en desarrollo, como México, no forman parte de los Anexos que a continuación se mencionan.

ANEXO I		ANEXO II
Alemania	Islandia	Alemania
Australia	Italia	Australia
Austria	Japón	Austria
Belarús a/	Letonia a/	Bélgica
Bélgica	Lituania a/	Canadá
Bulgaria a/	Luxemburgo	Comunidad Económica Europea
Canadá	Noruega	Dinamarca
Comunidad Económica Europea	Nueva Zelanda	España
Checoslovaquia a/	Países Bajos	Estados Unidos de América
Dinamarca	Polonia a/	Finlandia
España	Portugal	Francia
Estados Unidos de América	Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	Grecia
Estonia a/	Rumania a/	Irlanda
Federación de Rusia a/	Suecia	Islandia
Finlandia	Suiza	Italia
Francia	Turquía	Japón
Grecia	Ucrania a/	Luxemburgo
Hungría a/		Noruega
Irlanda		Nueva Zelanda
		Países Bajos
		Portugal
		Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte
		Suecia
		Suiza
		Turquía

a/ Países que están en proceso de transición a una economía de mercado.

II. RESULTADOS BÁSICOS

En México a través del INE/SEMARNAP, para dar cumplimiento a los compromisos adquiridos en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y con el Protocolo de Montreal, se desarrollan actividades que permiten abordar ordenadamente los diferentes trabajos y acciones que se realizan en torno del cambio climático, la capa de ozono y la variabilidad climática. En torno a la Convención Marco, se desarrollaron las investigaciones del *Estudio de País sobre Cambio Climático*, que comprendieron el inventario de emisiones antropogénicas, por fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero; escenarios de emisiones futuras; escenarios climáticos; y estudios sobre la vulnerabilidad potencial del país en siete diferentes áreas.

Para realizar los estudios de vulnerabilidad climática se han utilizado modelos de simulación del clima y modelos de pronóstico climático, para estudiar el fenómeno de “El Niño” y la sequía interestival. Se estudiaron los impactos del cambio climático en la agricultura, los bosques, la hidrología, las zonas costeras, la desertificación, los asentamientos humanos, así como en el sector energía.

Dichos estudios se elaboran con el apoyo técnico y en algunos casos financiero de diversas instituciones como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, el Instituto Interamericano de Investigación sobre Cambio Global (IAI), el Servicio Meteorológico Nacional, el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, el Instituto Internacional de Investigación (sobre “El Niño”) (IRI) y el sistema de supercómputo de la UNAM, entre otros.

La Unidad de Protección al Ozono, del Instituto Nacional de Ecología, está encargada de vigilar que el programa de eliminación de sustancias agotadoras de la capa de ozono se lleve a cabo puntualmente con la colaboración del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y recursos del Fondo del Protocolo de Montreal.

En el rubro de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero, es importante la actualización bianual del mismo, lo que dependerá de los recursos que se puedan obtener para su realización. Por lo pronto, se llevan a cabo estudios para determinar factores de emisión de gases de efecto invernadero en sistemas vivos y los flujos entre los diferentes medios: aire, suelo, etcétera.

El Instituto Nacional de Ecología coordina los estudios de evaluación de tecnologías para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero que realiza el Instituto de Ingeniería de la UNAM: 11 tecnologías en el área de energía y dos en la forestal. Dichos estudios cuentan con financiamiento de la Agencia Internacional para el Desarrollo de Estados Unidos y del Banco Mundial.

En la actualidad también se estudia la posibilidad de estructurar una oficina gubernamental para la mitigación de gases de efecto invernadero, ya que las acciones de implementación conjunta podrán requerir, en un futuro cercano, de metodologías para la determinación y monitoreo del



ahorro y captura de emisiones de bióxido de carbono. Asimismo, esta oficina se haría cargo de dar seguimiento a los estudios ya elaborados, con el fin de que las industrias se inscriban, voluntariamente, en un programa gubernamental para el registro de acciones, que eviten o capturen emisiones de gases de efecto invernadero.

De 1993 a la fecha, el gobierno mexicano ha organizado talleres, publicaciones, conferencias, cursos (en total más de 15), tanto nacionales como internacionales, entre los que destaca la Décima Segunda Sesión Plenaria del Pánel Intergubernamental sobre Cambio Climático, realizada en la Ciudad de México, en septiembre de 1997. Estas sesiones trataron sobre temas de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero, vulnerabilidad, mitigación y adaptación al cambio climático, de los cuales se cuenta con las respectivas memorias.

Considerando que esta primera comunicación debe destacar la información de los inventarios y estudios realizados, a continuación se presenta una síntesis de los resultados del Inventario Nacional Actualizado de Emisiones de Gases de Invernadero para 1990 (como ya se comentó, los resultados del inventario preliminar ya fueron discutidos ampliamente y publicados) y de los estudios de vulnerabilidad. En los apartados respectivos de este informe, se puede consultar la información detallada.

De manera complementaria, en este mismo informe se documenta el contexto nacional, el desarrollo de las instituciones y de las medidas de mitigación que está adoptando el gobierno mexicano.

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES ANTROPOGÉNICAS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR FUENTES Y SUMIDEROS

El primer paso para tomar medidas efectivas de mitigación al cambio climático es elaborar un inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero, pues permite estimar emisiones de manera sistemática y consistente a nivel nacional e internacional. Lo anterior es un requisito previo para evaluar la factibilidad y el costo-efectividad de instrumentar estrategias y adoptar tecnologías para la reducción de emisiones.

Además, el inventario proporciona información consistente que permite a todos los países firmantes de la Convención Marco comparar las contribuciones relativas de sus diferentes fuentes al cambio climático.

Los resultados del inventario actualizado se sintetizan a continuación y, como ya se anotó, en el capítulo V se presenta la información detallada.

La actualización para 1990 del Inventario Nacional de Emisiones Antropogénicas de Gases de Efecto Invernadero de México (realizada en 1996, y actualmente en prensa) incluye gases de efecto invernadero directos: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), así como indirectos (que contribuyen a la formación atmosférica del ozono): monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles no-metano (COVNM).

Los resultados muestran que las emisiones provienen principalmente del uso de combustibles para la generación de energía, el cambio de uso de suelos, la agricultura y las emisiones debidas a fugas asociadas a la producción de petróleo y gas.

- Las emisiones del sector energético son la fuente antropogénica más importante de México
- En particular, el sector energético constituyó la fuente más importante de bióxido de carbono.
- El sector transporte representa 32% de las emisiones por consumo de combustibles fósiles, seguido por el de la generación eléctrica (23%) y la industria (22%). El sector del transporte es también el principal contribuyente a las emisiones de NO_x , CH_4 , N_2O y CO .

- En 1990, cerca del 84% de la energía de uso final y de 62% de la electricidad generada se produjeron por medio de combustibles fósiles.
- Se estima que entre 1987 y 1993, las emisiones per cápita de CO₂ decrecieron en 7.1%, de 3.75 a 3.48 toneladas.
- En el mismo periodo, la intensidad de las emisiones de CO₂, medidas como emisiones por Producto Interno Bruto (PIB), se redujo en 6.1%.

TABLA RESUMEN DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE MÉXICO PARA 1990

Categoría de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero	CO ₂ top/down	CO ₂ bottom/up	CH ₄	N ₂ O	NOx	CO	NMVOC
Total nacional de emisiones y captura	459278.333	444488.970	3641.655	11.779	1012.874	11032.531	800.770
1 Total de energía (combustibles+fugas)	311800.000	297010.637	1081.358	3.962	962.792	8725.420	800.770
2 Procesos industriales	11621.000	11621.000					
3 Agricultura			1793.297	5.817	11.082	195.111	
4 Cambio de uso de suelo y silvicultura	135857.333	135857.333	241.000	2.000	39.000	2112.000	
5 Desechos			526.000				

FIGURA 1. EMISIONES DE GASES DE INVERNADERO DE MÉXICO 1990 (Gg)

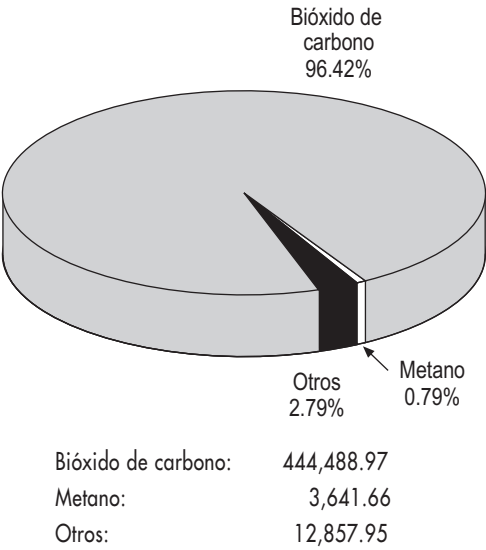
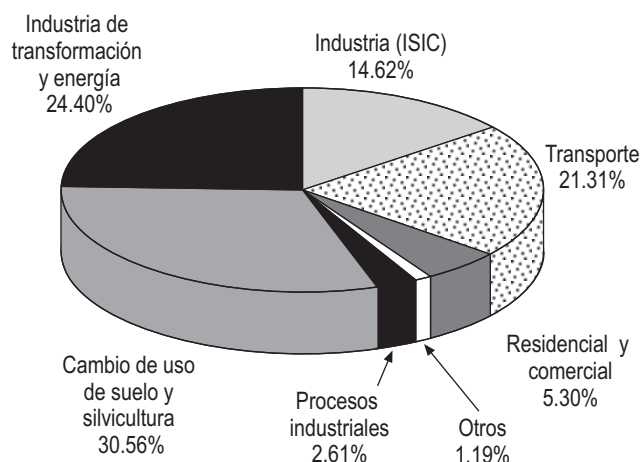


FIGURA 2. EMISIONES DE BIÓXIDO DE CARBONO EN MÉXICO 1990 (Gg)



Industria de transformación y energía:	108,473.18
Industria (ISIC):	64,971.20
Transporte:	94,705.60
Residencial y comercial:	23,558.68
Otros:	5,301.98
Procesos industriales:	11,621.000
Cambio de uso de suelo y silvicultura:	135,857.333

*ISIC: "Industrial Sector International Classification". Clasificación internacional del sector industrial que incluye la producción de cemento y metalurgia, entre otras industrias.

ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD

Las medidas de adaptación surgen como respuesta a los efectos que se prevén, producto del cambio climático global, tanto sobre el ser humano y sus actividades, como sobre el medio ambiente. Es por esto que resulta importante contar con el análisis de las áreas y zonas geográficas del país que presentarían mayor vulnerabilidad ante potenciales efectos del cambio climático.

Dentro del *Estudio de País: México*, se realizaron estudios de vulnerabilidad en las áreas de agricultura, asentamientos humanos, zonas costeras, desertificación y sequía meteorológica, ecosistemas forestales, recursos hidrológicos y los sectores energético e industrial. Para realizar este análisis, fue necesario elaborar escenarios climáticos regionales actuales y de cambio. Los resultados básicos por zonas geográficas del país se describen a continuación, y en el capítulo VI se presenta la información completa por línea de investigación.

Zona norte

La zona norte de México comprende once entidades federativas: Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa al noroeste; Chihuahua, Durango, Coahuila y Zacatecas al centro norte y Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí al noreste. Actualmente esta zona presenta condiciones difíciles, ya que predominan los climas secos y áridos, con excepción de las partes montañosas en las que el clima es templado húmedo, templado, subhúmedo y semifrío.

Con base en las variaciones de temperatura y precipitación dadas por los Modelos de Circulación General (MCG), en condiciones de una duplicación en las concentraciones de CO₂, los climas áridos y semiáridos aumentarían su superficie, extendiéndose hacia el sur del país, mientras que los semifríos desaparecerían. Se puede decir que esta zona permanecería sin cambios drásticos en cuanto al clima, aunque podría presentarse una mayor presión climática y, por tanto, aumentar la demanda de agua y energía.

En esta zona se presentaron los índices más graves de sequía, que van desde fuerte a muy severa. En el modelo Canadian Climate Center Model (CCCM), su superficie aumentaría en 36% y en el modelo GFDL (Geophysical Fluids Dynamics Laboratory) en 30%.

En lo que concierne a la hidrología de la región, existen zonas hidrológicas que para el escenario base rebasan los índices de vulnerabilidad que se establecieron específicamente para el estudio. Esta situación se presenta en Baja California y parte de Tamaulipas, que corresponde a la región hidrológica del Pánuco. El resto de la zona tiene tres índices rebasados, con excepción del centro de Tamaulipas, que presenta solamente uno. Al aplicar los MCGs, los únicos cambios, dependiendo del modelo utilizado, se presentarían en Tamaulipas, donde aumentaría el número de índices rebasados, indicando un aumento de la vulnerabilidad.

Los resultados de un posible aumento en el nivel del mar de 0 a 2 m revelan que la costa del Golfo de México se vería afectada en el delta del Pánuco, y particularmente en la zona deltaica del río Bravo, dadas sus características geomorfológicas.

Ante estas condiciones, sectores como el industrial, el energético, el de agricultura y el de asentamientos humanos en la zona norte se verían afectados. El grado de afectación variaría, de acuerdo con el MCG utilizado, en función de los grados en que aumente la temperatura y la precipitación, ya que ésta disminuye en el CCCM y aumenta en el GFDL-R30.

En los sectores energético e industrial, la diferencia entre los resultados de los dos modelos es grande, ya que en el modelo CCCM, la escasez de agua haría más vulnerables —con grados de vulnerabilidad altos y muy altos— a las centrales hidroeléctricas y termoeléctricas de vapor, así como a las industrias que en sus procesos requieran altos volúmenes de agua. Mientras tanto, en el modelo GFDL-R30, las zonas con estos valores se reducirían considerablemente.

Cerca del 10% de todos los tipos de vegetación de los ecosistemas forestales se verían afectados, por las condiciones secas y cálidas. Este porcentaje incluiría al matorral xerófilo del sur de Chihuahua, del centro-este de Coahuila, del norte de Zacatecas y de San Luis Potosí. Grandes áreas de pastizales y bosques templados del norte del país se enfrentarían con climas más calientes, por lo que se piensa que se incrementarían las zonas con bosques tropicales secos y muy secos, así como las zonas de matorrales desérticos.

En cuanto al cultivo de maíz de temporal, de acuerdo con los rangos agroclimáticos utilizados en este trabajo, la mayor parte de esta zona no es apta para su cultivo, con excepción de Tamaulipas y el sur de Sinaloa, consideradas medianamente aptas en el escenario base. Si bien es cierto que actualmente grandes áreas de esta zona son utilizadas para este cultivo, los rendimientos que se obtienen son muy bajos (de menos de una tonelada por hectárea) y con altos niveles de pérdidas en las cosechas. Los cambios registrados con el modelo CCCM indican que la parte sur de Sinaloa se volvería no apta y la parte norte de Nuevo León medianamente apta.

Cada uno de los estados que conforman esta zona tienen entre uno y tres millones de habitantes, con excepción de Baja California Sur que, con menos de un millón de habitantes, presenta una densidad de población menor a 50 hab/km². En general, la población de los estados del norte del país se concentra en las zonas urbanas (70% de la población se considera urbana), por lo cual presentan vulnerabilidad ante un cambio climático. De acuerdo con los resultados del estudio, la vul-



nerabilidad es baja en Sonora, Chihuahua, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y la península de Baja California, y media en Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Sinaloa.

Zona centro

La zona centro del país comprende los siguientes catorce estados: Nayarit, Jalisco, Colima y Michoacán en la costa del Pacífico; Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, México, Distrito Federal, Morelos, Tlaxcala y Puebla al centro; y Veracruz en el Golfo de México. En ella se tienen las mayores densidades demográficas e industriales del país (sobre todo en el Estado de México y el Distrito Federal) por lo que sus requerimientos de agua, energía y alimentos son muy grandes. El 60% de la población de esta zona es urbana. La competencia por el uso de suelo, principalmente para uso urbano e industrial en perjuicio del uso agropecuario y forestal es igualmente muy alta. Por ser ésta la zona del país en donde la modificación del medio ambiente por acciones antrópicas es evidente, y debido a la densidad de población, las consecuencias de un posible cambio climático serían extremadamente negativas.

Los climas de esta zona son los cálidos subhúmedos en las costas, tanto en el Pacífico como en el Golfo, los semicálidos y templados en las zonas altas y montañosas y los secos en el centro. De acuerdo con los modelos de circulación general, los climas templados húmedos y subhúmedos tenderían a desaparecer de esta zona, aumentando los secos y los cálidos y apareciendo los áridos en pequeñas áreas (CCCM). La sequía, aun cuando presentaría grados bajos, aumentaría en severidad afectando a los estados de Tlaxcala, Puebla, Veracruz y Michoacán, principalmente. Este último estado tendría también un alto grado de vulnerabilidad a la desertificación en más de 50% de su superficie, junto con Jalisco, Colima, Nayarit, Querétaro, Hidalgo y Guanajuato.

Además, la región presenta problemas de abastecimiento de agua, ya que las zonas hidrológicas aquí localizadas tienen déficit de agua desde el escenario base, principalmente en lo que respecta a la cuenca de Lerma-Chapala-Santiago y a la parte correspondiente a la cuenca del río Pánuco. Esta situación empeoraría ante un cambio climático. Los corredores industriales de Irapuato-Celaya-Salamanca-León (en el estado de Guanajuato) y de Tula-Vito-Apasco (en el estado de Hidalgo) se verían severamente afectados.

Los campos de cultivo de maíz de temporal en Jalisco, Nayarit, Guanajuato, Aguascalientes, México, Colima y el norte de Michoacán pasarían de ser medianamente aptos y aptos a no aptos, disminuyendo el potencial agrícola de estos estados.

Aunado a estos escenarios, como se mencionó, la zona tiene la mayor parte de la población del país, con ritmos de crecimiento acelerados. Se calcula que para el año 2050 varios de estos estados tendrán más de ocho millones de habitantes, lo que implicaría grandes demandas de agua y servicios que la zona no estaría en condiciones de proveer, por lo que los grados de vulnerabilidad son de los más altos.

Los ecosistemas forestales más afectados en esta región central del país serían los bosques templados del oriente de Michoacán, la parte norte del estado de Morelos y los bosques húmedos y templados de la sierra Zongolica, en Veracruz.

Las costas de Veracruz se consideran vulnerables al ascenso del nivel del mar considerado a partir del nivel medio de las pleamares altas y los dos metros de altura, en especial la Laguna de Alvarado.

Zona sur

La zona sur del país comprende los siguientes siete estados: Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Estos últimos cuatro constituyen el sureste mexicano.



Los climas que predominan en esta región son los cálidos. Los cambios principales se presentarían en Oaxaca y Chiapas.

El grado de sequía, que en el escenario base prácticamente es nulo en Tabasco, parte de Veracruz, Campeche, Oaxaca y Chiapas, aumentaría en el modelo CCCM y quedaría sin cambios en el GFDL-R30. La mayor parte de la superficie de Chiapas presentaría aumentos en los grados de sequía. Esta situación se presentaría también en Quintana Roo y al este de la península de Yucatán, en donde aumentaría de leve a fuerte.

En lo que concierne a los recursos hídricos, la zona sur no presentaría modificaciones en los escenarios de los modelos CCCM y GFDL-R30 con respecto al escenario base. En el sureste, Tabasco y Chiapas, las modificaciones serían leves. Para los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, en donde los escurrimientos no se dan de manera superficial sino subterránea, de acuerdo con los resultados del estudio no se rebasaría el escenario actual.

En las costas del Golfo de México y del Mar Caribe se presentan regiones susceptibles al ascenso del nivel del mar, específicamente en el delta de los ríos Grijalva-Usumacinta en Tabasco, en las costas del noreste de Campeche y en la región de Sian Ka'an, esta última considerada como reserva de la biosfera.

Las actividades industriales del sureste (industria pesada y ligera o de transformación) muestran diferentes grados de afectación ante un cambio climático. En el modelo CCCM, las industrias tienen una vulnerabilidad mayor (de media a alta), mientras que en el modelo GFDL-R30 (de baja a alta) debido a las diferencias en la precipitación y, por lo tanto, en la disponibilidad de agua. Por lo que toca al sector energético, las zonas de producción de petróleo, como las plataformas de extracción en la Sonda de Campeche serían las más vulnerables si hubiera un aumento en el nivel del mar.

En la actividad agrícola, la mayor parte de la superficie está considerada como medianamente apta para el cultivo del maíz de temporal, con excepción de las costas de Guerrero y Oaxaca, consideradas como no aptas. Tabasco, Chiapas y parte de Campeche se consideran como aptas. Sin embargo, en esta zona se encuentra gran parte de las selvas del país.

De darse un cambio climático, de acuerdo con el modelo CCCM, la superficie apta desaparecería de las zonas sur y sureste del país; la franja costera, considerada como no apta, se extendería hacia el interior. La mayor parte de la Península de Yucatán se volvería no apta. En el modelo GFDL-R30, la zona apta aumentaría y la medianamente apta cambiaría a no apta.

Los bosques templados húmedos y fríos localizados en las zonas montañosas de Oaxaca y Chiapas serían los ecosistemas forestales más afectados de la zona, y según el modelo CCCM podrían incluso desaparecer.

III. CONTEXTO NACIONAL

DATOS BÁSICOS

- México, se encuentra en la porción norte del continente americano; tiene como límites las siguientes coordenadas extremas:
 - Al norte: 32° 43' 06'' (Monumento 206 de la frontera internacional México-Estados Unidos)
 - Al oeste: 118° 27' 24'' (Isla Guadalupe)
 - Al este: 86° 42' 36'' (Isla Mujeres)
 - Al sur: 14° 32' 27'' (desembocadura del río Suchiate)
- México colinda en su parte norte con Estados Unidos de América, a lo largo de una frontera de 3,152.2 km y al su-
reste con Guatemala y Belice con una frontera conjunta de 1,149.2 km de extensión; la longitud de sus costas conti-
nental es de 11,122.5 km, por lo cual ocupa el tercer lugar en América, después de Estados Unidos y Canadá.
- La extensión territorial del país es de 1'964,381.7 km², con una superficie continental de 1'959,248.3 km² y una insular
de 5,133.4 km²; esta extensión lo ubica en el decimocuarto lugar entre los países del mundo con mayor territorio.
- La división política del territorio nacional está constituida por 31 estados y un Distrito Federal. La capital del país es
la Ciudad de México, localizada a 2,240 m de altura sobre el nivel del mar.
- Debido a su latitud y a su topografía, México cuenta con una gran diversidad de climas: desde los cálidos, con
temperaturas medias anuales mayores a 26 °C, hasta los fríos, con temperaturas menores a 10 °C; sin embar-
go, el 93% del territorio nacional oscila entre temperaturas de 10 °C y 26 °C; este porcentaje comprende climas
cálidos-subhúmedos con 23% del territorio nacional; secos con 28%, muy secos 21% y templados-subhúmedos
con 21%.
- El 36% de la superficie del país corresponde a zonas con pendientes menores al 10%; el resto incluye regiones se-
rranas.
- El mar territorial es una franja con una amplitud de 12 millas náuticas, medidas a partir de la línea de base (línea de
costa). La zona económica exclusiva abarca una superficie de 3 millones 146 mil 145 km².
- Conforme a las cifras del Censo de Población y Vivienda, 1995, a finales de ese año la población mexicana alcan-
zaba un total de 91.2 millones de habitantes, lo que lo ubicaba en el onceavo lugar mundial.
- En 1996, el Producto Interno Bruto de México ascendió a 334,790.1 millones de dólares. Por otra parte, la producción
de petróleo crudo fue de 2,858,000 miles de barriles diarios.

BIODIVERSIDAD

El patrimonio biológico de México es uno de los más importantes del mundo, razón por la cual está incluido en la lista de los 12 países megadiversos, que en conjunto albergan entre 60% y 70% del total de las especies del planeta.

La megadiversidad de México se debe, principalmente, a que su posición latitudinal se encuentra en dos de las regiones biogeográficas, la Neoártica y la Neotropical. Si a ello se suman la compleja topografía y la variedad de climas del país se explica la existencia de prácticamente todos los ecosistemas del planeta.

Así, el país concentra entre el 10 y el 15% de las especies terrestres, entre las que destacan: 717 especies de reptiles (primer lugar mundial), 295 de anfibios (cuarto lugar), 500 de mamíferos (segundo lugar), 1,150 de aves (onceavo lugar) y posiblemente el cuarto lugar en angiospermas (plantas con flor), ya que se calculan 25,000 especies.

No se tiene información precisa sobre los invertebrados, pero se sabe que México cuenta con 52 de las 1,012 especies reconocidas de las mariposas de la familia Papilionidae.

La amplia gama de recursos y ecosistemas costeros del país da como resultado que en términos de litorales y superficie marina, México ocupe el decimosegundo lugar entre los mejor dotados del mundo. Así, en las aguas interiores y mares nacionales hay una gran diversidad de especies de peces (se calcula que existen 2,122 especies tanto de agua dulce como marino), tortugas, crustáceos, moluscos, equinodermos, esponjas, corales y mamíferos. De estos últimos, sólo en el Mar de Cortés se encuentran 35% de las especies de cetáceos del planeta y 82% de todas las especies de mamíferos marinos del Pacífico nororiental.

A nivel de flora, las variaciones van desde la vegetación xerófita a las de los desiertos y selvas exuberantes de más de 40 metros de altura, en áreas con precipitaciones superiores a cuatro mil milímetros anuales. Entre estos extremos existe una gran variedad de comunidades arbustivas formando extensos matorrales; pastizales; bosques de coníferas y de encinos en casi todos los sistemas montañosos; palmares y selvas con diferente grado de caducidad de follaje; litorales con manglares muy desarrollados o de apenas un metro de altura; comunidades vegetales pioneras en las dunas costeras, entre otros.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS

En México hay cuatro grupos de climas: cálidos húmedos, templados húmedos, fríos y secos.

Las regiones naturales de clima cálido son la selva húmeda o tropical y la sabana. Estas regiones se localizan principalmente al sur de México y abarcan gran parte de estados como Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. El grupo de climas templados húmedos se ubica principalmente en el centro del país en importantes áreas de estados como Puebla, Estado de México, Guanajuato, Querétaro y Michoacán.

El grupo de climas fríos se localiza solamente en las regiones más elevadas de los grandes volcanes de México como el Pico de Orizaba, Malinche, Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Nevado de Toluca y Volcán de Colima. El grupo de climas secos es el que ocupa una mayor extensión en el país. Las regiones naturales con este tipo de clima, estepa y desierto, tienen en común las temperaturas extremas, pero se diferencian entre sí por tener escasas o muy escasas lluvias.

Los climas muy secos se localizan en el norte de la Altiplanicie mexicana, a altitudes menores de 1,500 m.s.n.m., así como en la porción de la llanura costera del Pacífico y en las zonas litorales de la Península de Baja California con excepción de su extremo noroeste.

Sin embargo, algunas entidades, sobre todo aquellas con muy variado relieve, tienen casi todos los tipos de climas. En términos generales, la distribución porcentual que ocupan tales tipos de clima es: cálido húmedo, 4.7%; cálido subhúmedo, 23.0%; seco, 28.3%; muy seco, 20.8%; templado subhúmedo, 20.5%; y templado húmedo con 2.7% del territorio.

México es uno de los países con mayor diversidad en su relieve, lo que influye tanto en sus condiciones naturales (clima, suelo, vegetación) como en sus actividades económicas.

Con base en sus características geológicas y morfológicas, el territorio mexicano se divide en 15 provincias fisiográficas. Algunas de estas provincias se comparten con los países vecinos; tal es el caso de la Gran Llanura de Norteamérica, en el norte del país, que es una pequeña penetración en México de un área que se extiende hasta Canadá, y de la provincia llamada Cordillera Centroamericana, la cual ocupa una mayor superficie en los países ubicados al sur de la frontera mexicana.

Por su parte, el sureste de México, y específicamente los estados de Oaxaca y Chiapas, son las entidades con mayor biodiversidad y conforman una de las 15 regiones críticas de biodiversidad en el mundo, que en conjunto representan sólo el 1% de la superficie del planeta y contienen entre el 30 y 40% de las especies conocidas.

DINÁMICA DE LA POBLACIÓN

En 1995 la población de México ascendía a 91 millones 158 mil 290 habitantes, de acuerdo con los resultados definitivos del Censo Nacional de Población y Vivienda 1995, realizado por el INEGI, lo que significa casi 10 millones más que al inicio de 1990.

La situación demográfica actual en México es resultado del rápido crecimiento que tuvo la población hasta los años setenta. Aunque su ritmo de crecimiento comenzó a disminuir desde entonces, la población ha seguido aumentando significativamente en números absolutos. La tasa de crecimiento disminuyó en los últimos 25 años, pasando de un promedio anual de 3.2% entre 1950-1970 a un 2.06% para el quinquenio 1990-1995, de manera que la población se incrementó de 48.2 millones en 1970 a 91.1 millones de habitantes en 1995.

Uno de los avances más importantes del desarrollo económico y social del México contemporáneo ha sido la reducción significativa de la mortalidad y de la morbilidad. Desde 1930 se ha dado un descenso importante de la mortalidad, la cual se ha reflejado en un incremento significativo de la esperanza de vida al nacimiento.

El descenso de la fecundidad es el principal factor del cambio demográfico en México durante los últimos decenios. Frente a la disminución paulatina de la mortalidad, la de la fecundidad es más reciente y con pendiente más acentuada. En 1960, la tasa global de fecundidad era superior a los 7 hijos por mujer, mientras que en 1995, según las estimaciones del Consejo Nacional de Población, llegó a un promedio de 2.65 hijos.

En los últimos decenios la migración interestatal ha involucrado a millones de mexicanos: en 1960 poco más de 5.5 millones de personas vivían en una entidad diferente a la de su nacimiento; en 1970 el número se incrementó a 7.5 millones y en 1990 a casi 14 millones de personas, es decir, 17.4% de los habitantes del país. Para 1995 ese segmento aumentó en 3.3 millones de personas respecto a 1990, de tal forma que el 19% de la población reportó haber nacido en una entidad diferente a la de su residencia.

Proceso de urbanización

México es un país predominantemente urbano. Los rasgos más sobresalientes de su proceso de urbanización consisten en que, en un primer periodo, experimenta un crecimiento intensivo de la po-

DISTRIBUCIÓN DE LOS SUELOS DOMINANTES DE MÉXICO¹

Unidad de suelos	Superficie (Km²)	%
Leptosoles	467 978	23.96
Regosoles	361 335	18.50
Calcisoles	355 475	18.20
Feozems	189 457	9.70
Vertisoles	162 112	8.30
Arenosoles	121 096	6.20
Cambisoles	91 799	4.70
Luvisoles	46 876	2.40
Gleysoles	29 297	1.50
Alisoles	29 297	1.50
Andosoles	23 438	1.20
Kastañozems	21 485	1.10
Solonchaks	21 485	1.10
Planosoles	13 672	0.70
Acrisoles	9 766	0.50
Nitisoles	7 813	0.40
Fluvisoles	781	0.04

¹ De acuerdo con la clasificación de suelos FAO/ UNESCO/ISRIC, 1988.

Fuente: Semarnap, 1996.

blación urbana —alcanzando entre 1950 y 1960 una tasa de crecimiento de 7.2% anual— además de un aumento del tamaño y del número de ciudades; así como la preeminencia de la Ciudad de México y la aparición de las zonas metropolitanas de Guadalajara y Monterrey, con más de un millón de habitantes.

Un periodo posterior se caracteriza por la urbanización de expansión física y de estructura informal además de un decaimiento de las áreas centrales consolidadas y una expansión horizontal que invade grandes extensiones de suelo agrícola.

La población urbana, con una tasa de crecimiento anual de 4.6% aumenta de 23.8 millones a 37.6 millones de habitantes. De esta forma, entre 1970 y 1980, el 56.2% de la población total habitaba en 229 ciudades de más de 15 mil habitantes. En este periodo aparece Puebla entre las ciudades de más de un millón de habitantes; de esta forma, junto con la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey, es la ciudad que presenta la mayor dinámica en términos demográficos. En suma, estas cuatro zonas metropolitanas contribuyen con el 47.8% de la población del grupo de ciudades con más de un millón de habitantes.

En 1990 la población urbana llega a poco más de 49 millones de habitantes, equivalentes a 60.8% de la población total, observando una tasa de crecimiento anual de 2.8% en el periodo 1980-1990, notablemente inferior al 4.7% del decenio anterior. Su distribución por tamaño de ciudades presenta cambios significativos. Las ciudades de más de un millón de habitantes reducen su peso dentro de la población urbana al 45%, aunque continúan en el rango principal de la jerarquía urbana.

Otro de los intervalos que disminuyó su participación es el de 100 mil a 500 mil habitantes, al pasar de 27.2% en 1980 a 23.2% en 1990. A su vez, los centros urbanos con poblaciones de 500 mil a un millón, ganan 8.4 puntos porcentuales, ascendiendo del cuarto al tercer lugar de la jerarquía, con 15.2%, equivalente a 7.5 millones de personas. Un comportamiento similar se observa en los intervalos de las ciudades pequeñas (15 mil a 20 mil habitantes, 20 a 50 mil, y de 50 mil a cien mil), cuyas participaciones avanzan de 2.7 a 2.8% en el primer caso, de 7.7 a 8.0% en el segundo y, finalmente, de 4.3% a 5.7 en el tercero.

Parte de estos cambios se deben a la reorientación de los flujos migratorios hacia las ciudades de la frontera norte, debido principalmente a la apertura económica y a la expansión de la industria maquiladora.

En el umbral del siglo XXI, México continúa con un proceso de urbanización de tal magnitud que en 1995 más del 60% de la población total habitaba en localidades de más de 15 mil habitantes, y contaba con un sistema de ciudades mucho más diversificado y menos concentrado que el que se dio en el periodo de rápida urbanización.

El patrón de distribución territorial del país puede observarse a través de las características urbanas y rurales. En 1995 el 59.9% de la población vivía en poco más de 300 ciudades, mientras que el otro 40% residía en más de 200 mil localidades menores a los 15 mil habitantes, lo cual significa un incremento de 44 mil 536 localidades más que las registradas en 1990. El mayor aumento ocurre en las localidades de uno a 2 mil 500 habitantes, a razón de 8 859 localidades nuevas anuales, lo cual da cuenta del gran dinamismo que registran los asentamientos rurales dispersos en el extenso territorio nacional.

El dinamismo en la aparición de pequeños asentamientos rurales va acompañado por una disminución progresiva de su tasa de crecimiento poblacional, que durante los últimos 25 años fue menor al 1% en promedio anual, mientras que la población urbana creció a un ritmo tres veces mayor.

ECONOMÍA

En 1996, el Producto Interno Bruto de México ascendió a 334,790.1 millones de dólares. La participación de los principales sectores económicos en el PIB fue la siguiente: el agropecuario con 5.9%; el industrial con 28.8%, donde las manufacturas constituyen el 74.7% de su valor; y el sector de los servicios con 65.3%, sobresaliendo comercio, restaurantes y hoteles con un 21.1%. La producción de petróleo crudo fue de 2,580.000 miles de barriles diarios.

ASPECTOS MACROECONÓMICOS Y SECTORIALES BÁSICOS

A partir de diciembre de 1982, la política económica del país cambió sus prioridades para enfrentar las restricciones provenientes del exterior, así como para iniciar un vuelco en la especialización productiva e inserción internacional de la economía mexicana. El agotamiento definitivo del modelo de industrialización sustitutiva de importaciones, vigente por más de tres décadas, la caída de la cotización internacional del petróleo y el aumento de las tasas internacionales de interés, dieron inicio a una grave crisis acentuada por devaluaciones recurrentes del peso mexicano y procesos inflacionarios muy severos.

Debido a la débil competitividad internacional de la planta productiva del país y a su elevada exposición financiera, se inició un proceso de saneamiento de las finanzas públicas y una importante modificación del contenido de las exportaciones. La inclusión de bienes no tradicionales en la oferta exportable (automóviles, autopartes, vidrio, cerveza, cemento, manufacturas diversas de las maquiladoras, etcétera) implicó cambiar el motor del crecimiento económico del país: de la inversión y el gasto públicos se pasó al dinamismo de las exportaciones y la inversión privada.

El monto y la composición de las ventas mexicanas al exterior se modificaron sustancialmente. Éstas pasaron de 15,512 millones de dólares en 1980, representando un 11% del producto interno bruto (PIB) de ese año, a 95,999.7 millones de dólares en 1996, representando un 28.6% del PIB de ese año. En 1980 la composición de las exportaciones era la siguiente: 67% petróleo crudo, 20% manufacturas diversas, 10% productos agropecuarios y 3% bienes extractivos. Para 1996, la composición de las exportaciones mexicanas fue de 83.65% manufacturas diversas, 12.13% para el petróleo crudo, 3.74% de productos agropecuarios y 0.48% de bienes extractivos.

Después del periodo más difícil de la crisis financiera y del ajuste estructural (1982-1987), se reactivó la economía nacional mediante la aceleración del proceso de desregulación y privatización económicas y la profundización de la apertura comercial. Proceso que, habiendo tenido un importante antecedente con el ingreso formal de México al Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio (GATT), se amplió con la puesta en marcha del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y con el ingreso de México a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en 1994. El proceso de recuperación económica se interrumpió en 1995, año en el cual, el PIB registró una profunda caída de -6.2%, con un grave repunte inflacionario del 52%. Con la excepción de las actividades agropecuarias, todas las actividades económicas registraron tasas negativas de crecimiento.

La evolución de las variables macroeconómicas básicas durante 1996 y 1997 ha sido mucho mejor. La tasa de crecimiento promedio anual del PIB correspondiente a 1996 fue de 5.1% y se estima que la del presente año (1997) será de 6.5%. El índice de precios al consumidor vuelve a registrar una tendencia a la baja: 28% en 1996 y 16% en 1997, proyectándose una inflación de un dígito hacia el año 2000.

El actual ciclo expansivo con inflación a la baja está liderado por aquellos sectores económicos cuya tasa de crecimiento promedio anual es superior a la del PIB total, como la construcción



(10.2%) las manufacturas (8.7%), el transporte, el almacenamiento y las comunicaciones (7.9%), y servicios, como comercio, restaurantes y hoteles (6.8%). Los escenarios macroeconómicos estimados para el periodo 1997-2000 son los siguientes:

	1997	1998
PIB (tcma %)	6.5	5.2
Inflación (dic-dic %)	16	12
Tipo de cambio nominal (promedio anual)	7.940	8.740
Precio internacional del petróleo (dpb)	16.43	15.5
Balance público (% del PIB)	-0.5	-1.25

tcma= tasa de crecimiento medio anual.

Fuente: SHCP, Criterios Generales de Política Económica para 1998; y SHCP, PRONAFIDE.

Para el bienio 1999-2000 se espera tener un crecimiento del PIB mayor al 5% anual, con una tasa de inflación de un dígito.

RECURSOS HÍDRICOS

Los recursos hídricos en México están constituidos por ríos, lagos, lagunas y aguas subterráneas. Considerando la superficie continental del país, los cuerpos de agua ocupan el 1.4%, de la cual, el agua salobre ocupa el 55.6%, las presas el 17%, los pantanos del sureste el 15.6%, las zonas laguneras del Golfo el 4.1% y los lagos y lagunas el 7.6%.

El problema central del recurso agua no es la escasez sino más bien la distribución del mismo: su disponibilidad se concentra principalmente en el sureste del país donde la densidad de población y la demanda de agua son bajas. En contraste, en el centro, norte y noroeste donde la densidad de población es mayor y las demandas son altas, el agua es escasa.

El agua se aprovecha en diversos usos que se diferencian por ser consuntivos y no consuntivos. Los primeros impactan en la disponibilidad porque aprovechan el agua y sólo retornan una parte de ésta; los no consuntivos, como el uso en generación hidroeléctrica, retornan la totalidad del agua aprovechada.

Se estima que en 1995 la extracción total para los principales usos fue de 186.7 km³, de los cuales 73.5 km³ se destinaron para los consuntivos, distribuidos de la siguiente manera: agrícola 61.2, doméstico 8.5, industrial 2.5, acuacultura intensiva 1.3; y los restantes 113.2 km³ se destinaron para la generación de energía hidroeléctrica, clasificada como no consuntiva

En 1996 las centrales termoeléctricas (incluye carbueléctricos geotérmica y nuclear) generaron el 79.3% de la energía producida en el país y las hidroeléctricas el 20.7%. Las termoeléctricas y las hidroeléctricas utilizaron 113.2 km³ de agua.

Entre las plantas hidroeléctricas más importantes destacan las siguientes: La Angostura, Chicocacán, Malpaso y Peñitas, en el río Grijalva; El Infiernillo, La Villita y Caracol, en el río Balsas; y Temascal, en el Papaloapan. Recientemente se incorporaron Agua Prieta, Aguamilpa, Zimapán y Huites.

Los principales problemas, en el caso de las hidroeléctricas, son los derivados de la incompatibilidad en el tiempo de generación (en horas pico) con los requerimientos de otros usos como el riego.

EXTRACCIÓN DE AGUA PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN 1994 (km³)

Región	Centrales	Centrales	Total
Noroeste	0.000	14.8	14.8
Norte	0.070	3.8	3.8
Noreste	0.113	2.8	2.8
Lerma - Balsas	0.022	34.1	34.1
Valle de México	0.041	0.4	0.4
Sureste	0.005	57.4	57.4
Total	0.151	113.2	113.4

Fuente: Comisión Federal de Electricidad, 1994

Se estima que para el año 2000 la demanda de agua será de 142 km³/año para hidroelectricidad, y de 2.89 km³/año para el enfriamiento en termoeléctricas. La mayor parte de los requerimientos en termoeléctricas son debidos a la puesta en marcha de la planta de Petacalco.

DEMANDA DE AGUA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL AÑO 2000 (km³)

Región	Generación media esperada (GWh/año)			Consumo de agua dulce 1_ /			Extracción de agua dulce 2_ /			
	Hidros	Termos	Total	Subt	Sup	Total	Res	Hidros	Termos	Total
Noroeste	3,568	23,187	26,775	0.0005	0.000	0.0005	0.000	18.7	0.000	18.7
Norte	443	39,668	40,111	0.087	0.022	0.109	0.003	3.8	0.000	3.8
Noreste	3,037	29,329	32,366	0.013	0.000	0.013	0.000	3.6	0.000	3.6
Lerma - Balsas	12,078	28,880	40,958	0.026	0.000	0.026	0.000	51.9	2.654	54.5
Valle de México	88	17,936	18,024	0.004	0.000	0.004	0.057	0.4	0.000	0.4
Sureste	13,094	8,496	21,590	0.010	0.000	0.010	0.000	63.7	0.232	64.0
Total	32,308	147,496	179,804	0.145	0.022	0.167	0.060	142.1	2.886	145.0

Notas: 1_ / Se refiere exclusivamente a las plantas termoeléctricas, ya que en las hidroeléctricas no hay consumo.
2_ / La extracción consignada en la columna de extracción en termoeléctricas es adicional a la que se asienta en la de los consumos, estos volúmenes son totalmente retornados a su fuente original. La mayor parte de los requerimientos en termoeléctricas se debe a la entrada en operación de Petacalco.

Fuente: Comisión Federal de Electricidad, 1994.

RECURSOS ENERGÉTICOS

Actualmente, la evaluación que se hace de los recursos energéticos con que cuenta el país, y la consideración de los impactos ambientales adversos que su uso excesivo implica, ha permitido definir nuevas políticas y metas sectoriales.

Las reservas probadas de hidrocarburos ascendieron en 1997 a 50,812 millones de barriles, de los cuales, el 80% correspondieron a petróleo crudo y condensados y el 20% a gas natural. Los

yacimientos más ricos y rentables están ubicados en la región marina del sureste del país. La explotación de las reservas de gas natural, de acuerdo con los ritmos de producción correspondientes a 1996, se estima que se prolongue aproximadamente hasta el año 2030.

En las principales cuencas hidrológicas del país se tienen 204 proyectos en diferentes etapas (operación, desarrollo y estudio) que corresponden a una generación de 82,319 gigawatts/hora (GWH). De este potencial técnicamente factible se explota un 34%.

Se cuenta con 662.9 millones de toneladas de carbón distribuidas en cuatro cuencas principales: Villa de Fuentes-Río Escondido, Coahuila; Colombia, Nuevo León; la Mixteca, Oaxaca; y Barranca, Sonora. Igualmente, se estima que las reservas de uranio ascienden a 14.5 miles de toneladas. No obstante, el potencial uranífero podría ser mayor en tanto que las actividades de exploración no se han continuado desde hace casi 15 años.

Distribuidos en diversos puntos del territorio nacional, existen más de 500 focos termales (volcanes de lodo, fumarolas, pozos de agua, solfataras y agua caliente). Actualmente se tienen reservas probadas por 700 megawatts (MW) de capacidad equivalente en Cerro Prieto, Baja California; además de 380 MW en Los Azufres, Michoacán y en Los Humeros, Puebla. En estos campos se tienen en operación plantas con capacidad de 753 MW y en programa otras con 250 MW para entrar en operación antes del año 2000. Adicionalmente, de acuerdo con estudios actuales de exploración, se estima que otros focos con capacidad equivalente a 1,000 MW podrían entrar en operación durante la primera década del próximo siglo.

El país se encuentra en una de las regiones de mayor insolación, por lo que ya se han realizado actividades orientadas hacia la utilización térmica y fotovoltaica de la energía solar. Los usos actuales principales de esta fuente energética se vinculan con el calentamiento de agua, la electrificación rural, las comunicaciones, los señalamientos y el bombeo de agua.

Estudios recientes indican que en La Venta, Oaxaca, el aprovechamiento del potencial eólico podría ampliarse hasta 600 MW, siendo en la actualidad de 1.6 MW. Por otra parte, respecto a la biomasa, se estima que el uso de la leña y el bagazo de caña representa alrededor del 7% del consumo energético nacional. La leña se usa principalmente en la cocción de alimentos, sobre todo en las comunidades rurales. El bagazo de caña es el principal energético utilizado en los ingenios azucareros y participa con el 1.6% del consumo nacional de energía.

En resumen, México posee un apreciable potencial en fuentes alternativas de energía, como la geotérmica, nuclear, solar, eólica y marimotriz, entre otras.

La evolución de la producción nacional de hidrocarburos, de las ventas internas de petrolíferos y gas natural, así como de las exportaciones de petróleo crudo, petrolíferos y gas natural durante el periodo 1980-1994 se registran en los siguientes cuadros.

MÉXICO : PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS 1980-1996

Producto	Unidad	1980	1985	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Petróleo crudo	MDB	1,936	2,631	2,548	2,676	2,668	2,673	2,685	2,617	2,858
Gas natural	MMPCD	3,548	3,604	3,652	3,634	3,584	3,576	3,625	3,759	4,185
Líquidos del gas*	MDB	193	282	429	448	448	454	453	445	419

* Incluye condensados estabilizados

MBD= Miles de barriles por día. MMPCD= Millones de pies cúbicos por día

Fuente: Petróleos Mexicanos.

MÉXICO: VENTAS INTERNAS DE PETROLÍFEROS Y GAS NATURAL 1980-1996 (MILES DE BARRILES DIARIOS)

Productos	1980	1985	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Combustóleo	243	348	421	409	391	381	453	391	411
Gasolinas	314	324	446	480	484	491	503	481	483
Diesel	215	201	210	224	227	234	248	228	244
Gas licuado	101	179	197	216	237	249	255	255	285
Otros	96	86	70	76	92	89	98	79	78
Total	968	1,138	1,344	1,403	1,431	1,444	1,555	1,434	1,481
Gas natural	203	191	198	216	213	203	214	229	241

Fuente : Petróleos Mexicanos.

MÉXICO: EXPORTACIONES DE PÉTRÓLEO CRUDO 1980-1996 (MILES DE BARRILES DIARIOS)

Tipo de crudo	1980	1985	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Maya	370	832	827	877	923	857	800	719	883
Istmo	458	607	283	329	287	262	179	158	189
Olmecca			157	163	158	218	328	429	492
Total	828	1,439	1,277	1,369	1,368	1,337	1,307	1,308	1,544

Fuente : Petróleos Mexicanos.

MÉXICO: EXPORTACIONES DE PETROLÍFEROS Y GAS NATURAL 1980-1996 (MILES DE BARRILES DIARIOS)

Producto	1980	1985	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Gas Licuado	14.6	18.2	47.2	36.9	19.1	17.8	25.3	25.1	22.7
Gasolinas		19.6	0.7		1.2	6.7	4.2	6.1	23.4
Turbosina		5.3	14.8	16.6	15.1	16.8	15.8	19.1	10.0
Diesel	1.2	15.0	31.1	20.1	28.4	26.9	20.3	15.6	12.4
Combust- óleo	28.8	29.1	7.7	7.7	22.9	39.8	1.7	14.4	0.1
Otros	2.0	52.5	8.6	18.2	30.4	47.9	42.5	38.4	21.9
Total	46.6	139.7	110.1	99.5	117.1	155.9	109.8	118.7	90.8
Gas Natural*						0.7	2.8	3.2	6.3

* Expresado en MBD de combustóleo equivalente.

Fuente: Petróleos Mexicanos.

La capacidad nacional de generación de energía eléctrica por tipo de central se registra en el cuadro siguiente:

CAPACIDAD EFECTIVA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR TIPO DE CENTRAL 1980-1996
(MEGAWATTS)

	1980	1985	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Hidroeléctricas	5,992	6,532	7,805	7,932	7,932	8,171	9,121	9,329	9,823
Vapor	6,616	9,599	11,367	12,553	12,788	12,574	13,274	13,594	14,295
Ciclo combinado	540	1,450	1,687	1,826	1,817	1,818	1,898	1,890	1,912
Turbogás	1,190	1,789	1,788	1,777	1,777	1,777	1,777	1,682	1,675
Combustión interna	137	112	82	115	149	149	149	128	121
Dual						1,400	2,100	2,100	2,100
Carboeléctrica		900	1,200	1,200	1,200	1,900	1,900	2,250	2,600
Geotermoeléctrica	150	425	700	720	730	740	753	753	744
Nucleoeléctrica			675	675	675	675	675	1,309	1,309
Eólica							2	2	2
TOTAL	14,625	20,807	25,304	26,798	27,068	29,204	31,649	33,037	34,580

Fuente: Informe de Operación, varios años, Comisión federal de Electricidad

RECURSOS FORESTALES Y USOS DEL SUELO

Los bosques, las selvas y otras áreas con vegetación natural ocupan 141.7 millones de hectáreas, es decir, un 72% del territorio mexicano aproximadamente. La distribución que tienen los recursos forestales es la siguiente:

SUPERFICIE FORESTAL POR ECOSISTEMA (HECTÁREAS Y PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN)

Ecosistema	Superficie (ha)	Porcentaje
Bosques	30,433,893	21.47%
Selvas	26,440,061	18.65%
Vegetación de zonas áridas	58,472,398	41.25%
Vegetación hidrófila y halófila	4,163,343	2.94%
Áreas forestales perturbadas	22,235,474	15.69%
Total	141,745,169	100%

Fuente: SARH. 1994. Inventario Nacional Forestal Periódico.

México posee 56 millones de ha de bosques y selvas, de las cuales 32.5 millones son formaciones cerradas y 22.9 millones son formaciones abiertas.

Los bosques de coníferas en México ocupan 21 millones de ha, las latifoliadas 9.5 y 1.4 el mesófilo.

Las selvas incluyen en su integración vegetación del trópico húmedo y del trópico seco; la vegetación de trópico húmedo incluye los tipos de selva alta y mediana y ocupa aproximadamente 14.1 millones de hectáreas.

Los ecosistemas forestales de México revisten la mayor importancia debido a sus características tanto biológicas como socioeconómicas, dentro de las cuales destacan:

1. Biológicas; por ser un país megadiverso, los ecosistemas forestales de México contienen el 10% de la biodiversidad del mundo, incluyendo un alto número de especies endémicas;

2. Ambientales; porque son elementos de estabilización de suelos y juegan un importante papel en la conservación de los ciclos de agua, en la captura de carbono, y en para la regulación climática.
3. Sociales; porque son más de once millones de mexicanos los que viven dentro de ecosistemas forestales y éstos a su vez les representan una fuente de productos de subsistencia; y
4. Económicas; debido a que son fuente de productos maderables y no maderables.

Deforestación

El cambio en el uso de suelo forestal a otros usos ha sido la causa principal de la deforestación (principalmente por la expansión de las fronteras agrícola y pecuaria). Entre los años de 1970-1990 los terrenos agrícolas se incrementaron 39%, los dedicados a la ganadería 15% y el área forestal se redujo 13%. También entre las principales causas del proceso de deforestación, se encuentran la ganaderización, el monocultivo itinerante, la tala clandestina y los incendios.

La cifra promedio de deforestación en México entre los años de 1990-1995 es del orden de 500 mil hectáreas anuales.

DEFORESTACIÓN EN MÉXICO: TENDENCIAS 1990-1995
DEFORESTACIÓN ANUAL POR REGIONES

Región	Deforestación (miles de ha)	Porcentaje
Noreste	92.3	18.17
Noroeste	96.3	18.96
Occidente	62.1	12.22
Centro	67.5	13.29
Sureste	189.8	37.36
Total	508.0	100

Fuente: Estimaciones de la FAO con cifras del Inventario Nacional Forestal Periódico de 1994.

DEFORESTACIÓN EN MÉXICO: PRINCIPALES CAUSAS

Causa	Contribución a la deforestación (%)
<i>Bosques</i>	
Incendios	50%
Ganadería	28%
Agricultura	17%
Otros	5%
<i>Selvas</i>	
Ganadería	60%
Incendios	Entre el 7 y el 22%
Agricultura	Entre el 10 y el 14%
Otros	Entre el 4 y el 23%

Fuente: Programa Forestal y de Suelos 1995-2000, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.



Agricultura

La agricultura en México ha enfrentado grandes problemas, lo que limita su contribución a los objetivos nacionales. Entre otros problemas podemos destacar:

- Un bajo crecimiento de la producción en los últimos 30 años.
- Las crecientes importaciones para satisfacer la demanda interna.
- Grandes problemas de rentabilidad, capitalización y productividad.
- Desigualdad entre los niveles de desarrollo productivo y tecnológico entre regiones y actividades.
- Más de las tres cuartas partes de la población que vive en el campo mexicano se encuentran en condiciones de pobreza.¹

El sector agropecuario experimentó un acelerado crecimiento entre las décadas de los cuarenta y los sesenta, que promovió el avance de la frontera agrícola.

La actividad agrícola creció a una tasa superior al 4% anual, sobrepasando la tasa de crecimiento poblacional (2.8% entre 1940 y 1960). Este crecimiento no pudo ser sostenido, debido a que las mejores tierras para la agricultura habían sido ocupadas y no se logró un incremento significativo en la productividad.

Entre 1965 y 1980 el crecimiento del sector agrícola creció a tasas inferiores al 2.5% (menor a la tasa de crecimiento poblacional) y de esta forma, México se convirtió en un importador de productos agrícolas.

En las actividades agropecuarias están ocupados cerca de 9.7 millones de personas (como productores y trabajadores) de los 23 millones de habitantes que viven en el campo.²

Entre 1970 y 1995, la superficie cosechada por habitante, pasó de 0.36 ha a 0.21 ha. En la actualidad se cosechan en promedio anual, cerca de 18 millones de ha, de las cuales 12.5 millones son de temporal y 5.5 millones son de riego.

En la composición de la producción agrícola, es de destacarse que los granos (arroz palay, frijol, maíz y trigo, principalmente) ocupan el 77.4% de la superficie cosechada del país y representan menos de la mitad del valor de su producción, mientras que la producción de hortalizas y la de hortifrutícola utilizan el 6.7% de la superficie y representan la tercera parte del valor de la producción.

PRODUCCIÓN AGRÍCOLA: ESTRUCTURA EN 1994

Cultivos	Superficie cosechada	Valor de la producción
Estructura relativa en porcentaje		
Granos	77.4	45.6
Oleaginosas	4.3	3.4
Hortalizas	1.8	13.9
Hortifrutícolas	4.9	19.2
Plantaciones	8.6	19.2
Forrajes	3.0	14.0
TOTAL	100%	100%

Fuente: SAGAR e INEGI.

¹ Programa Agropecuario y de Desarrollo Rural 1995-2000, SAGAR.

² Encuesta Nacional de Empleo 1995, INEGI. Se considera como población rural a aquella que habita en poblaciones menores a los 2,500 habitantes.

Ganadería

El sector ganadero creció aceleradamente, principalmente entre los años sesenta y mediados de la década de los ochenta, cuando el número de cabezas de ganado se incrementó 15%. Esto se logró a través de la extensión del área dedicada al pastoreo. Al igual que las áreas agrícolas, gran parte de las nuevas tierras de pastoreo fueron creadas a expensas de la eliminación de bosques y selvas por medio de programas oficiales de desmontes, principalmente en el sureste del país. En 1955 la superficie dedicada a la ganadería era de alrededor de 50 millones de ha. En la actualidad (1997), se sitúa en alrededor de 114 millones de hectáreas.

En México, la población ganadera (hato ganadero) está compuesta principalmente por bovinos. La ganadería bovina ha reproducido su carácter extensivo; ocupando crecientes extensiones de terreno con matorrales, bosques o pastos naturales. A la superficie ocupada por la ganadería debe agregarse la dedicada indirectamente a esta actividad, para la producción de forrajes.

HATO GANADERO: EVOLUCIÓN 1980-1994
(MILES DE CABEZAS)

Año	Bovino	Porcino	Caprino	Ovino	Aves*	Total
1980	22,366	13,785	8,179	4,124	161	48,615
1985	22,478	13,411	8,409	4,742	189	49,229
1990	23,170	11,282	7,213	3,800	190	45,655
1994	23,234	10,053	5,993	3,887	194	43,361

* Millones de cabezas. Incluye aves productoras de huevo, carne y guajolotes.

Fuente: *Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos, 1995*, INEGI.

IV. DESARROLLO INSTITUCIONAL Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN

DESARROLLO INSTITUCIONAL

En los últimos años, México ha acelerado el desarrollo de su plataforma jurídica, institucional y programática para el despliegue de una amplia gama de políticas ambientales, respaldadas en una creciente corresponsabilidad entre el gobierno y la sociedad. Este desarrollo favorece una sinergia entre la atención a los problemas ambientales locales y nacionales con el cumplimiento de nuestros compromisos internacionales en relación a problemas globales, como es el del cambio climático.

A continuación se presenta una breve síntesis del desarrollo institucional, enfatizando en aquellos elementos que, en forma directa o indirecta, representan un activo a favor de las acciones relacionadas con el cambio climático. Asimismo, se mencionan las acciones que están en curso en el país en materia energética, industrial, urbana, forestal y de uso del suelo que son consistentes con las medidas de mitigación promovidas a escala internacional en relación con las emisiones de gases de efecto invernadero.

A partir de los años ochenta, la política ambiental mexicana comenzó a adquirir un enfoque integral:

- En 1982 se creó la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), para formular e impulsar la política ecológica; ese mismo año se expidió la Ley Federal de Protección al Ambiente (LFPA), como un nuevo instrumento jurídico.
- En 1987 la Constitución fue modificada para otorgarle al Estado facultades para imponer modalidades a la propiedad privada tendientes a la preservación y restauración del equilibrio ecológico; y facultar al Congreso para expedir las leyes que establecieran la concurrencia entre las medidas del Gobierno Federal con las de los gobiernos de los estados y municipios del país.
- En 1988 fue promulgada la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), así como las leyes respectivas en las entidades federativas; esta ley contempla las disposiciones en materia de ordenamiento ecológico, evaluación de impacto y riesgo ambiental, protección de la flora y la fauna, uso racional de los recursos naturales, prevención y restauración ecológica de recursos naturales, participación social y educación ecológica, así como medidas de control, seguridad y sanciones.
- En 1989 se crea la Comisión Nacional del Agua como autoridad única en el ámbito federal en materia de administración del agua, otorgándole autonomía técnica y operativa; en la respectiva Ley de Aguas Nacionales, con la reforma de 1992, se mejoró la regulación del uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, así como la preservación de su calidad.



SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE RECURSOS NATURALES Y PESCA (SEMARNAP)

En diciembre de 1994 el H. Congreso de la Unión aprobó la creación de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), cuya misión consiste en sentar las bases para una transición al desarrollo sustentable. En la presente etapa la estrategia se concentra en frenar los procesos de deterioro ambiental y de los recursos naturales.

SEMARNAP agrupa, en una sola institución, las siguientes atribuciones:

- El fomento a la protección, restauración y conservación de los ecosistemas, recursos naturales, bienes y servicios ambientales para propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable.
- La regulación ambiental de las actividades productivas relacionadas con el uso y aprovechamiento de los recursos naturales.
- El establecimiento y la vigilancia coordinados y corresponsables de las normas oficiales mexicanas para la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y el ambiente.
- La promoción del ordenamiento ecológico del territorio nacional, en coordinación con las autoridades federales, estatales y municipales y con la participación de la sociedad.

Para ello se organizan bajo una sola dependencia federal, las políticas, programas, y recursos fiscales para el fomento forestal y pesquero, la conservación y restauración de suelos, el cuidado ecológico de la zona federal marítimo terrestre del país y la planeación de la política ambiental, y se coordinan las políticas y programas de la Comisión Nacional del Agua, del Instituto Nacional de Ecología, de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, del Instituto Nacional de la Pesca y del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

- En 1992 se transformó la SEDUE en la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), con atribuciones para formular, conducir y evaluar la política ecológica, y con el soporte de dos entidades especializadas: el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).

En la presente administración federal, se impulsan avances cualitativos en el desarrollo institucional de la gestión ambiental: se crea la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca en diciembre de 1994 (ver recuadro); entre 1995 y 1996 se elaboran los programas sectoriales de Medio Ambiente, Forestal y de Suelos, Pesca y Acuicultura e Hidráulico; en 1996 se reforma la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA); y en materia de planeación ambiental, en estos últimos tres años se ha realizado un esfuerzo enorme de definición de estrategias y elaboración programática, bajo el enfoque de un desarrollo sustentable.

En el *Plan Nacional de Desarrollo 1995–2000* se definen los lineamientos estratégicos para reactivar el crecimiento económico, con un claro compromiso a favor de políticas e instrumentos que contribuyan a la transición del desarrollo nacional hacia la sustentabilidad; y con un reconocimiento de los riesgos para el propio futuro económico del país de no frenarse las tendencias de deterioro de los recursos y del medio ambiente. En el marco de este plan, se terminaron los cuatro programas sectoriales mencionados anteriormente. Los programas fueron elaborados con el soporte de un amplio proceso de diálogo y con-

sulta con los Consejos Consultivos para el Desarrollo Sustentable y los Consejos Técnicos Consultivos; con legisladores, instituciones académicas y científicas, y gobiernos locales.

Si bien los programas responden a una temática sectorial, comparten los siguientes componentes principales:

- *Protección, conservación y restauración del medio ambiente y los recursos naturales.* Se orienta principalmente a la conservación del equilibrio ecológico, la regulación de las actividades relacionadas al uso de los recursos naturales y al levantamiento de los inventarios nacionales que permiten realizar con certidumbre el ordenamiento ecológico.
- *Manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y de la pesca.* El objetivo es diversificar el aprovechamiento de los recursos naturales y mejorar ecológicamente la actividad productiva, para lograr un mejor control de los efectos ambientales y reducir el riesgo y el deterioro.

- *Modernización de la regulación ambiental de la industria.* Implica un nuevo enfoque normativo que prioriza la regulación multimedios de los procesos de contaminación con énfasis en la prevención más que en las soluciones al final del tubo. La modernización de la regulación ambiental de la industria promueve, mediante estímulos administrativos e incentivos económicos, programas voluntarios de gestión ambiental que vayan más allá del cumplimiento normativo obligatorio.
- *Inspección, vigilancia y control.* Este aspecto de la gestión ambiental se orienta a establecer una nueva forma de relación entre los inspectores federales y las comunidades locales, a fin de involucrarlas en el proceso de proteger los recursos y hacer cumplir la normatividad ambiental de manera más eficaz. El objetivo es asegurar el cumplimiento de la normatividad ambiental fortaleciendo los instrumentos de fomento, control y prevención sobre los de corrección.
- *Educación, capacitación y difusión.* Las acciones programadas en esta materia buscan consolidar en la sociedad el profundo cambio de actitud que significa la incorporación de la concepción del desarrollo sustentable en la vida cotidiana, en los procesos productivos y en la gestión pública.
- *Investigación y desarrollo tecnológico.* Los propósitos fundamentales en este sentido son: la conservación y rehabilitación de los hábitat y las especies; la transferencia de tecnologías que garanticen la sustentabilidad ambiental; y el mejoramiento de los procesos económicos.

Este esfuerzo de programación sectorial facilita la elaboración de un marco integral: el Programa para Atender la Agenda del Desarrollo Sustentable (PAADS) o Agenda 21 de México, que forma parte de los compromisos contraídos por la comunidad internacional en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD), realizada en Río de Janeiro en 1992. Al respecto, cabe mencionar el inicio del proyecto de cooperación con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), para formular la estrategia nacional para atender la Agenda 21 y probar el procedimiento para la evaluación de políticas sobre un tema específico y establecer recomendaciones consensadas para la incorporación de la dimensión ambiental en políticas públicas relevantes. Asimismo, cabe destacar la integración del Informe 1997 de México ante la Comisión de Desarrollo Sustentable (CDS) de las Naciones Unidas, la cual da seguimiento a la Agenda.

MITIGACIÓN

De igual forma, se han elaborado una serie de programas especiales, entre los cuales destacan aquellos que convergen con los propósitos y acciones relacionadas con el cambio climático:

- *Programas específicos 1997-2000 para Mejorar la Calidad del Aire en las Zonas Metropolitanas del Valle de México, Guadalajara, Monterrey y del Valle de Toluca*
- *Programa de Áreas Naturales Protegidas 1995-2000*
- *Programa para la Minimización y el Manejo Integral de los Residuos Industriales 1997-2000*
- *Programa de Normalización Ambiental Industrial 1997-2000*
- *Sistema Integrado de Regulación y Gestión de la Industria (SIRG)*
- *Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC)*
- *Programa de Conservación de la Vida Silvestre y Diversificación Productiva en el Sector Rural 1997-2000*
- *Programa de Desarrollo Forestal*
- *Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales*
- *Programa Frontera XXI*

En lo que respecta al desarrollo del marco jurídico ambiental, con fecha 13 de diciembre de 1996 se publicó el Decreto por el que se reforma la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). La integración del proyecto de reformas a este ordenamiento legal fue el resultado del esfuerzo conjunto que durante más de 18 meses realizaron los poderes Legislativo y Ejecutivo federales, a través de las comisiones de Ecología y Medio Ambiente de las cámaras de Diputados y Senadores. La reforma a la LGEEPA surge de los siguientes propósitos:

- Incrementar la eficiencia del sistema regulatorio ambiental ampliando los alcances y reduciendo al mínimo los costos sociales.
- Ampliar las perspectivas de gestión gubernamental y de participación social.
- Orientar las decisiones de producción y consumo hacia objetivos colectivos de protección ambiental.
- Promover el cambio tecnológico con un enfoque preventivo.
- Plantear reglas claras que den seguridad a la inversión y difundan decisiones a largo plazo en favor de la protección ambiental.
- Generar oportunidades que promuevan la adaptación tecnológica y el desarrollo de nuevas alternativas productivas.
- Crear una atmósfera de confianza entre la autoridad ambiental y el sector privado.

Posteriormente, en mayo de 1997, se formalizó la reforma a la Ley Forestal en respuesta a las preocupaciones de diversas organizaciones sociales y empresariales. La Semarnap, en coordinación con las comisiones de Bosques y Selvas de la H. Cámara de Diputados y de Silvicultura y Recursos Hidráulicos del H. Senado de la República, y con la participación del Consejo Técnico Consultivo Nacional Forestal, inició en julio de 1996 el proceso de consulta para la revisión de dicha Ley. La reforma se orientó a:

- Reforzar la vinculación entre la legislación ambiental y forestal;
- Regular las forestaciones (plantaciones forestales comerciales) para minimizar sus impactos ambientales, facilitar la participación del sector social y otorgar seguridad jurídica a quienes realizan este tipo de actividad;
- Fortalecer los mecanismos de autorización del aprovechamiento de los recursos forestales maderables y no maderables, considerando los usos tradicionales de las comunidades indígenas;
- Mejorar los sistemas de control para la movilización de productos forestales, con el fin de abatir la tala ilegal;
- Fortalecer el capítulo de sanciones a los infractores de la legislación y la normatividad forestales;
- Propiciar el mejoramiento de la calidad de los servicios técnicos forestales; y
- Regular y controlar la sanidad de los productos forestales de importación, para evitar la entrada de plagas y enfermedades forestales.

Adicionalmente, se emitieron normas oficiales mexicanas para evitar que la extracción de leña sea un factor de degradación de las áreas arboladas y para regular el uso del fuego en actividades agropecuarias a fin de reducir los riesgos de incendios forestales. Asimismo, se encuentran en proceso otras normas tendientes a evitar la destrucción de los humedales costeros y para inducir la recuperación de los terrenos en uso pecuario.

En el ámbito de los acuerdos y compromisos internacionales, también se presentan avances substanciales en materia normativa, institucional y programática. Entre ellos, destacan los siguientes:

- a) La definición y puesta en marcha de una serie de acciones prioritarias relacionadas con los compromisos internacionales derivados de:



- La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
 - El Convenio de Basilea sobre Movimiento Transfronterizo de Residuos Peligrosos.
 - El Protocolo de Montreal sobre Sustancias que Reducen la Capa de Ozono.
 - La Convención Sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre.
- b) La conformación y participación en instituciones regionales asociadas al Tratado de Libre Comercio con los Estados Unidos y Canadá (impulsadas en el marco del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte, como documento vinculante paralelo al propio Tratado):
- La Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte (CCAAN).
 - El Banco para el Desarrollo de América del Norte (BANDAN).
 - El Fondo Ambiental de América del Norte.
 - Asimismo, la prevención y control de la contaminación ambiental en la frontera norte, mediante la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) y el Programa Ambiental Frontera XXI.
- c) La cooperación activa con la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD).

POLÍTICA ENERGÉTICA

El sector energético ha jugado un papel decisivo en el desarrollo económico y social de México. Durante un periodo prolongado, esta política priorizó como meta la autosuficiencia en el abasto de energía; actualmente, se añaden otras metas igualmente importantes: el fomento del ahorro de energía, la eficiencia técnica y económica en su uso y suministro, la referencia de los precios internos a los precios internacionales y la consideración de las nuevas pautas que establece la política ambiental del país sobre el sector energético.

El cuidado de los recursos naturales y la protección del medio ambiente son partes consustanciales del conjunto de políticas promovidas por el sector energético, el cual ha desarrollado una concientización ambiental que impulsa acciones para compensar o revertir el impacto negativo de algunos usos de la energía; debido a ello, se fijan criterios en la selección de tecnologías y en la evaluación de proyectos, de modo que se incorpore la consideración ambiental en las decisiones productivas y de servicios.

El ahorro y uso eficiente de la energía convencional, el mejoramiento de la calidad de los combustibles automotrices (gasolinas y diesel), así como de la sustitución de combustóleo de alto contenido de azufre por gas natural para la generación de energía eléctrica en zonas ambientalmente críticas y en la industria, así como el fomento del empleo de energías alternativas económicamente rentables, son aspectos que se recogen en la política energética de México.

La futura dinámica del consumo de energía en el país dependerá de diversos factores críticos, dentro de los cuales sobresalen el dinamismo económico internacional, el avance tecnológico y sus efectos sobre la eficiencia energética y los costos de producción, así como la regulación ambiental sobre los procesos productivos, de servicios, transporte y urbanización.

La calidad de los combustibles es un tema de particular relevancia, debido a que la legislación ambiental de todos los países tiende a establecer especificaciones más estrictas en los combustibles para transporte (gasolina y diesel, principalmente) y en los combustibles de uso industrial (combustóleo de bajo contenido de azufre y mayor uso del gas natural).

Sin duda, la necesidad de responder a la agudización del fenómeno global del cambio climático traerá cambios en el uso de combustibles fósiles, en los esquemas de generación de electricidad y, más allá del sector energético, en la conservación, extensión y uso sustentable de los recursos forestales del planeta.

POLÍTICA DE MEJORAMIENTO DE COMBUSTIBLES

México ha avanzado significativamente en este sentido. Consciente de su papel en la lucha contra la contaminación y con el apoyo de los análisis realizados por el Grupo de Política de Combustibles (GPC, grupo intersecretarial de alto nivel), Petróleos Mexicanos (PEMEX) ha desarrollado proyectos de inversión que han permitido continuar el suministro de combustibles de mejor calidad en mayores cantidades. La mayoría de estas inversiones, se han agrupado en el denominado “Paquete Ecológico”, que contempla proyectos estratégicos para la producción de gasolinas, diesel y combustóleo de calidad ecológica internacional y para desarrollar tecnologías para la refinación de combustibles de mayor calidad, principalmente.

Dicho paquete fue considerado en el programa ecológico de PEMEX, como parte del Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (PICCA), emitido por el Departamento del Distrito Federal (DDF), en septiembre de 1989, y desde esa fecha se han adicionado nuevos proyectos. De hecho, el actual Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (PROAIRE), tiene como una de sus estrategias centrales mejorar la calidad de las gasolinas de consumo vehicular y la de los combustibles de uso industrial.

En el mercado nacional se ha incrementado el consumo de gasolinas sin plomo, por este motivo, mientras que en 1991 el consumo de estas gasolinas representó tan sólo el 10% del consumo nacional, al mes de agosto de 1997 alcanzó un 93.5%. De manera específica se ha dejado de comercializar gasolina con plomo en la frontera norte, en la Zona Metropolitana del Valle de México y en Monterrey.

Por lo que respecta al diesel, ha sido mejorado de manera trascendental mediante una reducción drástica en su contenido de azufre. El diesel de 1% de azufre, que en 1991 representaba el 79% del mercado, actualmente no se comercializa y ha sido sustituido por diesel desulfurado de 0.5% de azufre, y por Diesel Sin con tan sólo 0.05% de azufre (actualmente PEMEX-Diesel). Desde el mes de mayo de 1997 el PEMEX-Diesel ya había alcanzado una penetración del 100% en el mercado automotriz, lo cual demuestra la magnitud del esfuerzo realizado por la industria petrolera nacional para producir combustibles de mayor calidad.

Por otra parte, se concluyó la planta hidrodesulfuradora de residuales en la refinería de Tula, la cual permite producir el combustóleo de bajo contenido de azufre.

POLÍTICA DE SUSTITUCIÓN DE COMBUSTIBLES

A partir de 1993, la Secretaría de Energía (SE) ha coordinado los trabajos del GPC, lo cual ha permitido delinear una política integral de combustibles para México. Una de las principales conclusiones del grupo es la reorientación de la política nacional de combustibles en el periodo 1994-2005, que consiste en reducir el consumo de combustóleo de alto contenido de azufre y aumentar significativamente la participación del gas natural.

Asimismo, se convertirán de combustóleo a gas natural alrededor del 70% de las plantas termoeléctricas ubicadas en zonas ambientalmente críticas. En el proceso de planeación del sector energético se han considerado e incorporado normas ambientales con el propósito de armonizar los cambios que se vayan dando, para hacer compatible la sustitución de combustibles con la protección ecológica.

En mayo de 1995 se modificó la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el ramo del petróleo, para permitir la participación de los sectores social y privado, en el transporte, almacenamiento y distribución del gas natural; así como a ser propietarios de ductos, instalaciones y

equipos, los cuales pueden construir y operar, con el propósito de estimular el uso de este combustible principalmente para la generación eléctrica y el uso industrial. Adicionalmente, esta modificación impulsa el uso del gas natural en los sectores residencial y comercial.

POLÍTICA DE AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

Uno de los elementos de la Política Energética Nacional es el ahorro y uso eficiente de la energía, lo cual ha sido plasmado en los programas de desarrollo del sector energético. Lo anterior propició la creación de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) en 1989 y del Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (FIDE) en 1990.

Cabe señalar que a través del uso racional de energéticos fósiles se pueden conseguir reducciones en la emisión de gases de efecto invernadero. El FIDE promueve auditorías energéticas y financiamiento de adecuaciones y proyectos demostrativos en industrias, comercios, instituciones educativas y servicios públicos, complementados con acciones de difusión y capacitación. Asimismo, el Fideicomiso coordinó a partir de 1996 la instrumentación del horario de verano, que permitió dejar de quemar aproximadamente 1.7 millones de barriles de petróleo, reduciendo con ello la emisión de una gran cantidad de gases de efecto invernadero.

Por su parte, la CONAE tiene entre sus funciones el establecimiento de programas de ahorro de energía a escala nacional, promueve la difusión de la cogeneración en la industria y elabora Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que regulan los consumos energéticos de instalaciones y aparatos eléctricos.

A principios de la presente década se modificó la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. En la actualidad las prioridades de la inversión pública se orientan al fortalecimiento en las áreas de transmisión y distribución, en tanto que se ha permitido la participación privada en la generación de energía, a través de diversas modalidades previstas en las disposiciones contenidas en la citada Ley y su Reglamento: producción independiente, autoabastecimiento, cogeneración y pequeña producción, así como importación para autoconsumo y exportación.

OPCIONES ADICIONALES PARA LA MITIGACIÓN DE GASES DE INVERNADERO

Dentro del estudio “Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y estrategias de mitigación en México”, realizado por el Programa Universitario de Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México (PUE-UNAM), se establecieron tres escenarios que contemplan el análisis de tecnologías de eficiencia energética:

- Cogeneración para cinco ramas industriales (incluyendo cambios en la tecnología actual y en las nuevas plantas).
- Lámparas compactas fluorescentes en el sector residencial.
- Iluminación eficiente en el sector comercial.

Para determinar los requerimientos energéticos de México en el año 2005 se utilizó el modelo STAIR, y para la estimación de costos, el modelo ETO (Energy Technology Optimization), que calcula los costos mínimos para los diferentes escenarios.

A grandes rasgos, los resultados obtenidos muestran que:

- La tecnología de ciclo combinado es preferible económicamente sobre otras tecnologías de generación eléctrica;
- Las necesidades adicionales de gas natural deberán cubrirse por medio de importaciones;
- El modelo es sumamente dependiente del transporte y suministro de gas natural;



- La cogeneración resulta altamente rentable, al evitar la construcción de nuevas plantas generadoras;
- Los resultados en las emisiones totales de CO₂ dejan en claro que la mayor mitigación está en la generación eléctrica.

NUEVA POLÍTICA AMBIENTAL HACIA LA INDUSTRIA

El sistema normativo en materia ambiental en México se desarrolló rápidamente a partir de la década de los años ochenta alcanzando logros muy significativos. Desde hace aproximadamente cuatro años se inició una etapa de revisión en congruencia con las nuevas condiciones y exigencias ambientales del país y de los mercados globalizados. Del énfasis en el comando y control en la solución de los problemas ambientales al final de los procesos que los causan y en las tradicionales labores de inspección y vigilancia, se ha pasado a otro enfoque, sin perder ventajas y avances del anterior.

Este nuevo enfoque normativo en materia ambiental alienta el establecimiento de niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes, de acuerdo con las características del medio receptor (agua, suelo, atmósfera) y no tanto de la fuente emisora (industrias específicas). Igualmente, fomenta la regulación ambiental multimedios preocupándose por el carácter agregado y acumulativo de los procesos de contaminación, y por su transferencia entre diferentes medios. Fortaleciendo el control, prioriza la prevención de la contaminación fomentando la innovación tecnológica, la sustitución y el mejoramiento de insumos, procesos y energía, lo cual hace que la normalización sea más efectiva ambientalmente y más eficiente económicamente.

Mediante el diseño de estímulos administrativos y la promoción de incentivos económicos, este enfoque pretende ir más allá de las metas y obligaciones que en materia ambiental tienen los establecimientos industriales. En este marco, los acuerdos voluntarios de gestión ambiental de los procesos industriales tienen mucha relevancia, incrementándose los casos promisorios de autorregulación.

Pueden señalarse las siguientes líneas como las actuales guías del desarrollo de normas ambientales para la industria en México:

- Deben ser de observancia generalizada para un número relativamente grande de actores, procesos o actividades;
- De ser posible, deben ser aplicables a todos los agentes que contribuyan al problema y diferenciadas por tipo de ecosistema, si ello es conveniente;
- Su aplicación debe ser gradual para permitir un ajuste menos costoso;
- Los efectos potenciales sobre los demás medios requieren ser considerados evitando o reduciendo la transferencia entre los mismos;
- Deben analizarse los efectos derivados que puedan afectar a otros sectores (por ejemplo, considerar los efectos sobre la demanda y disponibilidad de combustibles);
- El tiempo de aplicación debe ser lo más prolongado posible para dar certidumbre a los agentes normados.

La modernización de la regulación ambiental de la industria se respalda en el nuevo enfoque normativo que prioriza la regulación multimedios de los procesos de contaminación, con énfasis en la prevención más que en las soluciones al final del tubo. Asimismo, promueve, mediante estímulos administrativos e incentivos económicos, programas voluntarios de gestión ambiental que vayan más allá del cumplimiento normativo obligatorio.

En consecuencia, en 1997 se inició la instrumentación de un sistema coherente y eficaz, que evite divergencias institucionales, sobrerregulación e ineficiencias administrativas, denominado Sistema

Integrado de Regulación y Gestión Ambiental de la Industria (SIRG). El SIRG se constituye mediante tres elementos básicos íntimamente relacionados: la Licencia Ambiental Única (LAU), la Cédula de Operación Anual (COA) y el Programa Voluntario de Gestión Ambiental (PVG).

En forma complementaria, el proyecto en curso del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) responde a una de las ideas principales surgidas de la Cumbre de Medio Ambiente de Río de Janeiro en 1992, referida a extender la experiencia de varios países que han modificado o adecuado sus instrumentos de regulación ambiental para incluir un inventario multi-medios de sus emisiones y transferencia de contaminantes. México se sumó a esa iniciativa, con el desarrollo de un Proyecto Piloto en el estado de Querétaro y constituyendo el Grupo Nacional Coordinador que elaboró la Propuesta Ejecutiva del RETC.

Mediante el RETC, con un enfoque multi-medios y el desarrollo de capacidades para la administración de bases de datos relacionales, sistemas de información geográfica y modelos para la estimación indirecta de fuentes no puntuales y establecimientos no sujetos de reporte, se podrán conocer las emisiones y las transferencias de contaminantes prioritarios en relación con todos los sectores de la economía y a lo largo de todos los municipios y estados del país.

Asimismo, el RETC es una herramienta básica de gestión ambiental para que, a diferentes niveles (empresas, asociaciones, gobiernos municipales, estatales y federal), puedan emprenderse acciones relacionadas con:

- Planes de acción para reducción de gases de efecto invernadero en cumplimiento a la Convención sobre Cambio Climático;
- Cumplimiento de la normatividad ambiental;
- Evaluación y comunicación de riesgos ambientales;
- Prevención de la contaminación y reducción de residuos en la fuente y a lo largo del proceso;
- Control de la contaminación del aire;
- Administración de cuencas hidrológicas;
- Prevención de riesgos químicos;
- Programas de difusión pública sobre niveles de cumplimiento normativo y desempeño ambiental de los establecimientos y acceso público a la información ambiental;
- Administración ambiental y certificación.

Licencia Ambiental Única (LAU)

La LAU es la columna vertebral del SIRG. En ella se articulan la COA y el PVG. La licencia es un instrumento de regulación directa, de carácter obligatorio para los establecimientos industriales de jurisdicción federal, que permitirá coordinar en un solo proceso la evaluación, dictamen y seguimiento de las obligaciones y trámites que les corresponde a éstos, según el caso, en materia de impacto ambiental y riesgo, emisiones a la atmósfera, aprovechamiento de aguas nacionales, descarga de aguas residuales a cuerpos de agua y bienes propiedad de la nación, así como en relación con la generación y tratamiento de residuos peligrosos. Introduce como nuevo enfoque: la consideración integral de la contaminación ambiental que genera cada establecimiento industrial al relacionar los efectos contaminantes sobre diferentes medios (agua, suelo, atmósfera).

Cédula de Operación Anual (COA)

La COA es el instrumento de seguimiento, actualización e información por establecimiento industrial en materia de emisiones y transferencia de contaminantes. Con ella se busca favorecer el control progresivo de la contaminación y actualizar las bases de licenciamiento. Parte importante de la Cédula es la información anual que proporciona sobre el desempeño del establecimiento industrial, la cual permitirá generar anualmente un Inventario de Emisiones y Transferencia de Contaminantes y alimentar bases de datos especializadas capaces de dar mayor solidez a la toma de decisiones por parte de la autoridad ambiental; dichas bases de datos se integran al Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

Programa Voluntario de Gestión Ambiental (PVG)

Pretende desarrollar la capacidad de gestión ambiental en cada establecimiento industrial y que la protección ambiental forme parte del sistema de administración total del mismo. Su propósito es lograr una protección integral, continua y creciente, privilegiando la prevención y disminución de la contaminación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales en todas las etapas de las cadenas productivas y comercial, así como el uso de tecnologías de proceso antes que de equipos de control.

La operación del RETC representará un instrumento fundamental para la definición de prioridades de política ambiental; además, garantizará información pertinente sobre los efectos ambientales de la industria.

ESTRATEGIAS DE CONSUMO DE ENERGÍA

El uso eficiente de la energía es la estrategia más costo-efectiva para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del sistema energético. Aunque presente en los planes de energía oficiales desde 1976, hasta hace poco no se había realizado un esfuerzo de inversión estructurado a nivel nacional con este propósito por parte del sector público. Por mandato constitucional, dicho sector es responsable del suministro y administración de la energía. Históricamente, el sector energético había estado más enfocado a cubrir la creciente demanda de un país en desarrollo, que a administrar eficientemente la demanda.

En 1979, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) realizó un esfuerzo por manejar la demanda, al ofrecer información a los consumidores sobre el ahorro de energía. Este programa fue apoyado, como se ha señalado anteriormente, con la creación del Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (FIDE) y de la Comisión para el Ahorro de Energía (CONAE).

ESTRATEGIAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA

La reorientación de la política nacional de combustibles en el periodo 1994-2005, que consiste en reducir el consumo de combustóleo y aumentar la participación del gas natural, principalmente en la generación de energía eléctrica (en plantas localizadas en zonas ambientalmente críticas) y para el sector industrial, ayudará notablemente a evitar la emisión de una importante cantidad de CO₂, ya que el factor de emisión de dicho gas es menor que el del combustóleo en 38%.

Con las modificaciones a la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el ramo del petróleo se permite a los sectores social y privado transportar, almacenar y distribuir gas natural, así como ser propietarios de ductos, instalaciones y equipos, los cuales pueden construir y operar, con el propósito de estimular el uso de este combustible, principalmente para generación eléctrica y uso industrial, además de su empleo en los sectores comercial y residencial, con lo que se ha abierto una perspectiva más amplia para su uso.

Otro aspecto interesante surge de las diversas modalidades previstas en las disposiciones contenidas en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento: producción independiente, autoabastecimiento, cogeneración y pequeña producción, importación para autoconsumo y exportación. La cogeneración incrementa la eficiencia en el uso de combustibles y contribuye a moderar el crecimiento de emisiones de gases de efecto invernadero.

REORGANIZACIÓN URBANA, TRANSPORTE Y MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE

Dentro de las acciones y políticas que se están llevando a cabo en el país para mitigar las emisiones de contaminantes está la construcción de un inventario de emisiones por tipo de fuente y contaminante. En 1989 se elaboró un inventario de emisiones para la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), según el cual las fuentes industriales y de servicios participaban con un 8.4% del total de emisiones a la atmósfera y los vehículos con un 77%. El 24% de las emisiones de NOx provenían de fuentes industriales y de servicios, correspondiendo un 75% a fuentes vehiculares. Por su parte, el 13% de las emisiones de HC tenían como fuente a las industrias y los servicios, y el 53% al transporte vehicular.

En 1995 se elaboró un nuevo inventario de emisiones con información disponible hasta 1994, el cual no es comparable con resultados del inventario de 1989, debido a que fueron elaborados con distintas metodologías de estimación y construcción. El más reciente registra que el total de emisiones de gases y partículas a la atmósfera es de 4'009,629 ton/año, de las cuales el 13% corresponde a la industria y los servicios, y un 75% al sector transporte. La contribución de las fuentes industriales es de 50.3% en SO₂ y 25% en NO_x, mientras que los vehículos automotores emiten el 71% de los NO_x, el 99% del CO, el 54% de los HC y el 27% del SO₂.

La contribución vehicular en partículas es menor al 5% del total, sin embargo, cabe subrayar que su grado de toxicidad y la exposición de las personas asociada a este sector es mucho más significativo. Cabe resaltar que la contribución de los servicios representa el 39% del total de HC, sector en el que el mercadeo y distribución de gas LP tienen aportaciones significativas. Estimaciones preliminares de estas emisiones indican que podrían ser del orden de 250 mil toneladas anuales, es decir, un 24% del total de los hidrocarburos emitidos.

De acuerdo con el inventario de unidades económicas existentes en la ZMVM, en 1994 habían 4,623 establecimientos industriales y 13,269 establecimientos de servicios, los cuales, junto con el 20% de la población nacional que habita en esta zona y un parque vehicular correspondiente que se estima entre 2.5 y 3 millones de automotores (el cual ha crecido de manera persistente durante los últimos años a tasas cercanas al 10% anual), hace que la presión sobre la cuenca atmosférica resulte excesiva.

En las cuatro de las zonas metropolitanas más densamente pobladas e industrializadas del país (Valle de México, Guadalajara, Monterrey y Valle de Toluca) en el bienio 1996-1997 se han puesto en ejecución programas específicos para el mejoramiento de la calidad del aire, los cuales, con algunas particularidades, concentran sus estrategias en la obtención de cuatro grandes metas:

Metas	Estrategias
i) Industria limpia	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de las concentraciones de las emisiones de Pb, HC, NO_x, SO₂ y de partículas suspendidas totales, provenientes de fuentes industriales y de servicios • Reducción de las emisiones por unidad de valor agregado en la industria y los servicios • Mejoramiento e incorporación de nuevas tecnologías mejoramiento y sustitución de energéticos industriales • Incentivos económicos • Inspección y vigilancia industrial • Información y educación ambientales y participación social
ii) Vehículos limpios	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de las emisiones vehiculares por kilómetro recorrido • Mejoramiento y sustitución de energéticos automotrices • Incentivos económicos • Inspección y vigilancia vehicular • Información y educación ambientales y participación social
iii) Transporte eficiente y nuevo orden urbano	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación del total de kilómetros recorridos por vehículos automotores oferta amplia de transporte público, seguro y eficiente • Integración de políticas metropolitanas (desarrollo urbano, transporte y ecología) • Incentivos económicos • Inspección y vigilancia vial y de transporte • Información y educación ambientales y participación social
iv) Recuperación ecológica	<ul style="list-style-type: none"> • Abatimiento de la erosión por avance de la mancha urbana sobre suelo forestal y agrícola • Recuperación ecológica de ecosistemas urbanos y urbanos/rurales • Integración de políticas metropolitanas (desarrollo urbano, transporte y ecología) • Incentivos económicos, información y educación ambientales y participación social

INVENTARIO DE EMISIONES 1994
(TON/AÑO)

Tipo de Fuente	PST	SO ₂	CO	NOx	HC	Total
Industria						
Generación de energía eléctrica	162.72	19.32	1,291.08	17,854.92	97.32	19,425.36
Refinación de petróleo/petroquímicas	6.84	84.96	4.68	28.44	157.56	282.48
Industria química	973.68	3,442.92	2,600.64	2,476.68	7,198.37	16,692.29
Minerales metálicos	549.84	621.84	1,458.36	553.44	461.04	3,644.52
Minerales no metálicos	1,675.32	11,710.56	323.28	4,933.56	3,167.64	21,810.36
Productos vegetales y animales	111.36	841.80	40.08	260.16	238.68	1,492.08
Madera y derivados	384.36	3,912.24	463.32	1,821.96	1,442.40	8,024.28
Productos de consumo alimenticio	799.32	2,110.56	405.96	1,069.44	397.08	4,782.36
Industria del vestido	459.96	2,404.80	733.92	1,091.16	605.04	5,294.88
Productos de consumo (varios)	66.60	108.72	74.16	678.36	303.84	1,231.68
Productos de impresión	775.92	19.44	15.00	13.68	5,015.04	5,839.08
Productos metálicos	196.92	559.08	653.40	467.88	1,547.64	3,424.92
Productos de consumo de vida media	98.88	37.80	100.68	69.96	599.40	906.72
Productos de consumo de vida larga	93.36	172.20	523.80	196.20	2,958.60	3,944.16
Artes gráficas	0.00	0.00	0.00	0.00	8,787.80	8,787.80
Otros	2.64	5.16	7.68	4.08	121.32	140.88
Servicios						
Lavado y desengrase	0.00	0.00	0.00	0.00	29,044.28	29,044.28
Consumo de solventes	0.00	0.00	0.00	0.00	42,005.30	42,005.30
Almac. y distribución de gasolina	0.00	0.00	0.00	0.00	20,127.12	20,127.12
Mercadeo y distribución de gas LP	0.00	0.00	0.00	0.00	242,272.03	242,272.03
Oper. de lavado en seco (tintorerías)	0.00	0.00	0.00	0.00	12,213.40	12,213.40
Superficies arquitectónicas	0.00	0.00	0.00	0.00	21,597.84	21,597.84
Panaderías	0.00	0.00	0.00	0.00	2,290.90	2,290.90
Pintura automotriz	0.00	0.00	0.00	0.00	5,975.50	5,975.50

Pintura de tránsito	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3,381.05	3,381.05
Esterilización en hospitales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.12	20.12
Incineración en hospitales	0.00	0.00	0.00	0.54	0.51	0.02	1.07
Uso de asfalto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19,095.32	19,095.32
Plantas de tratamiento de aguas residuales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56.10	56.10
Combustión en hospitales	8.13	20.13	18.43	73.57	2.89	123.15	123.15
Combustión residencial	372.10	1,483.23	729.50	3,807.70	289.73	6,682.26	6,682.26
Combustión comercial/institucional	696.54	5,713.44	199.66	1,457.14	61.22	8,128.00	8,128.00
Transporte							
Auto particular	10,321.00	6,061.50	1,044,008.00	31,913.00	253,865.70	1,346,169.20	1,346,169.20
Pick-up	1,049.00	353.80	73,419.40	2,675.30	19,373.64	96,871.14	96,871.14
Microbús	397.00	827.40	224,077.60	9,395.70	66,472.89	301,170.59	301,170.59
Combi	42.00	650.40	134,954.00	4,918.00	35,108.70	175,673.10	175,673.10
Taxi	612.63	3,072.70	529,530.00	15,982.00	126,574.80	675,772.13	675,772.13
Autobús (R-100)	1,900.00	366.00	5,655.00	6,751.30	2,337.20	17,009.50	17,009.50
Foráneos, suburbanos	120.00	102.20	57,332.70	2,485.60	2,055.10	62,095.60	62,095.60
De carga	360.00	37.00	271,321.10	5,867.60	46,099.68	323,685.38	323,685.38
De carga (más de dos ejes)	1,902.00	266.00	4,735.80	7,204.00	2,079.50	16,187.30	16,187.30
Autobús municipal	2,075.00	400.00	1,777.70	2,591.40	781.60	7,625.70	7,625.70
Locomotoras	38.52	26.28	50.52	414.00	16.84	546.16	546.16
Locomotoras de patio	24.91	36.50	52.12	293.96	29.59	437.08	437.08
Aeropuerto	0.00	0.00	1,583.23	1,294.89	523.43	3,401.55	3,401.55
Vegetación							
Vegetación	0.00	0.00	0.00	0.00	38,909.00	38,909.00	38,909.00
Suelos							
Suelos	425,337.00	0.00	0.00	0.00	0.00	425,337.00	425,337.00
Total	451,613.55	45,467.98	2,358,141.34	128,645.59	1,025,759.26	4,009,627.72	4,009,627.72

Fuente: DDF, Edo. Méx, SEMARNAP, Secretaría de Salud, 1996, Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000, pp. 76-77.

INVENTARIO DE EMISIONES 1994
PORCENTAJE EN PESO POR CONTAMINANTE

Tipo de Fuente	PST	SO ₂	CO	NOx	HC
Industria					
Generación de energía eléctrica	0.04	0.04	0.05	13.88	0.01
Refinación de petróleo/petroquímicas	0.00	0.19	0.00	0.02	0.02
Industria química	0.22	7.57	0.11	1.93	0.70
Minerales metálicos	0.12	1.37	0.06	0.43	0.04
Minerales no metálicos	0.37	25.76	0.01	3.84	0.31
Productos vegetales y animales	0.02	1.85	0.00	0.20	0.02
Madera y derivados	0.09	8.60	0.02	1.42	0.14
Productos de consumo alimenticio	0.18	4.64	0.02	0.83	0.04
Industria del vestido	0.10	5.29	0.03	0.85	0.06
Productos de consumo (varios)	0.01	0.24	0.00	0.53	0.03
Productos de impresión	0.17	0.04	0.00	0.01	0.49
Productos metálicos	0.04	1.23	0.03	0.36	0.15
Productos de consumo de vida media	0.02	0.08	0.00	0.05	0.06
Productos de consumo de vida larga	0.02	0.38	0.02	0.15	0.29
Artes gráficas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86
Otros	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
Servicios					
Lavado y desengrase	0.00	0.00	0.00	0.00	2.83
Consumo de solventes	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10
Almac. y distribución de gasolina	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96
Mercadeo y distribución de gas LP	0.00	0.00	0.00	0.00	23.62
Oper. de lavado en seco (tintorerías)	0.00	0.00	0.00	0.00	1.19
Superficies arquitectónicas	0.00	0.00	0.00	0.00	2.11
Panaderías	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
Pintura automotriz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58
Pintura de tránsito	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
Esterilización en hospitales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Incineración en hospitales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Uso de asfalto	0.00	0.00	0.00	0.00	1.86
Plantas de tratamiento de aguas residuales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Combustión en hospitales	0.00	0.04	0.00	0.06	0.00
Combustión residencial	0.08	3.26	0.03	2.96	0.03
Combustión comercial/institucional	0.15	12.57	0.01	1.13	0.01
Transporte					
Auto particular	2.29	13.33	44.27	24.81	24.75
Pick-up	0.23	0.78	3.11	2.08	1.89
Microbús	0.09	1.82	9.50	7.30	6.48
Combi	0.01	1.43	5.72	3.82	3.42
Taxi	0.14	6.76	22.46	12.42	12.34
Autobús (R-100)	0.42	0.80	0.24	5.25	0.23
Foráneos, suburbanos	0.03	0.22	2.43	1.93	0.20

De carga	0.08	0.08	11.51	4.56	4.49
De carga (más de dos ejes)	0.42	0.59	0.20	5.60	0.20
Autobús municipal	0.46	0.88	0.08	2.01	0.08
Locomotoras	0.01	0.06	0.00	0.32	0.00
Locomotoras de patio	0.01	0.08	0.00	0.23	0.00
Aeropuerto	0.00	0.00	0.07	1.01	0.05
Vegetación					
Vegetación	0.00	0.00	0.00	0.00	3.79
Suelos					
Suelos	94.18	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente: DDF, Edo. Méx, SEMARNAP, Secretaría de Salud, 1996. *Programa para mejorar la calidad del aire en el Valle de México 1995–2000*, pp. 78–79.

Debido al impacto ambiental del transporte urbano y de la industria, así como por la magnitud poblacional que habita y es usuaria del automóvil en zonas urbanas, el Instituto Nacional de Ecología (INE) recomienda que en ciudades con poblaciones cercanas o mayores a los 500 mil habitantes se instalen, al menos, cuatro estaciones de monitoreo. En la actualidad, 50 ciudades del país cuentan, al menos, con una estación de monitoreo –manual o automática– de la calidad del aire. De ellas, Guadalajara, Toluca, Monterrey y Tijuana, además de la Ciudad de México, presentan con frecuencia altos niveles de ozono y de partículas suspendidas en el aire por arriba de los umbrales de tolerancia.

Del total de ciudades que cuentan con sistemas de monitoreo ambiental, 47 tienen estaciones manuales para medir partículas suspendidas totales y óxidos de azufre, y 29 ciudades tienen estaciones automáticas de monitoreo. La ciudad con la red más amplia es la Ciudad de México, la cual cuenta con 32 estaciones automáticas y 19 manuales; por su parte, Toluca cuenta con 7 estaciones automáticas y 5 manuales, y San Luis Potosí, con 5 estaciones automáticas y 8 manuales.

Además del monitoreo sistemático de los contaminantes referidos y con la coordinación de las dependencias gubernamentales correspondientes a las representaciones estatales de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, de la Secretaría de Salud, los gobiernos de las entidades federativas y de las ciudades respectivas, se vienen instrumentando diversas acciones y políticas que promueven el mejoramiento de los combustibles, la sustitución de los mismos, el ahorro y uso eficiente de la energía y la creación de sinergias favorables a la reducción de las concentraciones de los contaminantes mencionados. Los programas aludidos son:

- *Programa para mejorar la calidad del aire en el Valle de México 1995–2000.*
- *Programa de administración de la calidad del aire del área metropolitana de Monterrey.*
- *¡Claro! Aire Limpio. Programa para el Valle de Toluca 1997–2000.*
- *Programa para el mejoramiento de la calidad del aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara 1997–2001.*

GESTIÓN AMBIENTAL DE LOS RECURSOS FORESTALES Y DEL USO DEL SUELO

Una estrategia central de la política ambiental y de recursos naturales de México, es frenar las tendencias hacia el agotamiento de los recursos naturales y procurar un nuevo impulso a procesos productivos que aprovechen todo el capital natural del país con criterios de sustentabilidad. En particular, pueden identificarse dos grandes rubros de acciones y políticas en curso que, directa e indirectamente, coadyuvan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a conservar los sumideros y depósitos naturales del CO₂ en el país.

- El propósito de contener el agotamiento de los recursos naturales está desplegando renovadas políticas y programas de protección al medio ambiente que privilegian el cuidado de la biodiversidad y de las funciones de los ecosistemas, lo que a su vez, promueve gradualmente prácticas productivas sustentables en el sector rural.
- El objetivo de conservar y aprovechar al máximo la vocación forestal de nuestros suelos y ecosistemas viene generando nuevos instrumentos de fomento y gestión ambiental de los recursos forestales, tanto de carácter técnico e institucional como de índole económica.

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

México es reconocido mundialmente por su gran riqueza natural. Se ubica entre los doce países considerados como biológicamente megadiversos, ya que en su territorio alberga una parte sustancial de la mayoría de los ecosistemas y especies vivientes del planeta. Por ello, la conservación y la protección de esa biodiversidad constituyen una alta prioridad en la política ambiental del país.

En 1996 se hizo público el Programa de Áreas Naturales Protegidas de México 1995-2000. En él, dichas áreas constituyen el instrumento total en la conservación de la biodiversidad y de los bienes y servicios ecológicos, al representar la posibilidad de reconciliar la integridad de los ecosistemas con instituciones y mecanismos de manejo sólidamente fundamentados en nuestra legislación.

Entre los propósitos de la estrategia en materia de áreas naturales se encuentran los siguientes: ampliar la superficie bajo protección y, paralelamente, mejorar la eficiencia en la conservación de la biodiversidad. Recientemente fueron seleccionadas 27 áreas naturales protegidas, a manera de proyectos piloto, hacia las cuales se dirigen los esfuerzos de integración institucional, financiamiento, manejo y administración. Al atender estas áreas se cubre la parte de mayor riqueza natural en la superficie decretada y se protege a los ecosistemas más representativos del país.

También, se crearon el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas y el Consejo Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

Para estos fines se utilizan como instrumentos las declaratorias, los convenios y acuerdos de participación; el financiamiento fiscal y las fuentes financieras internacionales; los mecanismos de intercambio económico voluntario; los programas de manejo y los programas operativos anuales; los sistemas de administración, la convergencia con programas sectoriales y la normatividad. Todo ello con el fin de crear un sistema fuerte, con capacidad financiera y administrativa, que contribuya efectivamente a las metas de conservación ecológica y aprovechamiento sustentable del capital natural del país.

En la actualidad, México cuenta con 99 áreas naturales protegidas que ocupan once millones 687 mil 563 hectáreas, es decir, casi el 6% del territorio nacional.

Es de mencionarse que por primera vez en México, se tiene destinado para el adecuado desarrollo de las áreas naturales protegidas un considerable monto de recursos, de fuentes de financiamiento diversas: en 1997 se programaron 28 millones 840 mil pesos de recursos fiscales para atender a 11 áreas piloto; otras 14 cuentan con apoyo de los recursos del Global Environmental Facility (GEF por sus siglas en inglés) y del Programa Ambiental Frontera Norte (parcialmente financiado por el Banco Mundial).

Ante la necesidad de atender los múltiples y diversos requerimientos de conservación de las áreas naturales protegidas, los recursos propios y aun con el financiamiento externo, no son suficientes. Es por ello que se ha llevado a cabo un esfuerzo sin precedente para obtener recursos adicionales de diversas fuentes. Se han firmado importantes acuerdos con empresas del sector privado con objeto de apoyar la administración y el manejo de áreas naturales protegidas y de especies en peligro de extinción, con una aportación estimada de 10 millones de pesos anuales para siete áreas natura-

les protegidas. Por otro lado, Petróleos Mexicanos aporta la cantidad de 4 millones 700 mil pesos para la Conservación y Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna “Laguna de Términos”.

DEFENSA DE LA FRONTERA SILVÍCOLA

Se estima que 80% de los suelos en México sufre algún grado de deterioro. A ello contribuye de manera significativa la pérdida de masa forestal. Particularmente severo es el caso de las selvas del sur del país, las cuales reducen su superficie entre 1 y 2% al año. De no revertir estas tendencias, se tendrían consecuencias muy graves para el país.

La recuperación de la frontera silvícola implica restaurar los terrenos degradados —ya sea porque han perdido su cubierta vegetal original o porque los suelos se encuentran degradados o en procesos de degradación—, y realizar labores de prevención a través de un manejo adecuado, tanto de los bosques como del suelo mismo.

Para ello, se despliega una estrategia que considera la integración de un adecuado marco normativo, la aplicación de incentivos directos, la prestación de servicios de asistencia técnica y una divulgación que permita a los productores utilizar las mejores tecnologías en el manejo de sus tierras.

En este mismo sentido, se dirige el esfuerzo nacional que se realiza a través del Programa Nacional de Reforestación (PRONARE). Este programa se reorienta hacia la restauración de áreas estratégicas, el enriquecimiento de masas forestales, la introducción de especies adecuadas y el desarrollo eficaz de los programas de agroforestería. Entre las metas está la producción de 340 millones de árboles. A partir de 1993, se han inducido cambios sustanciales en el PRONARE dándole un carácter fundamentalmente rural, en comparación con las aproximadamente 40 especies, en su mayoría decorativas, producidas hasta 1992. Actualmente, se reproducen 347 especies principalmente regionales y utilitarias.

Con objeto de impulsar la corresponsabilidad de los agentes sociales involucrados y la concertación de acciones en la materia, se creó el Consejo Técnico Consultivo Nacional para la Restauración y Conservación de Suelos y se consolidaron los trabajos con la Red de Información en Suelos y Lucha contra la Desertificación (RISDE).

Adicionalmente, se ha puesto en operación la Red Nacional de Bancos de Germoplasma de la cual se estima que en breve exista una filiación de 25 bancos y la aprobación de una Norma Oficial Mexicana sobre germoplasma. Esto permitirá, para el año 2000, que la reforestación rural se realice con semillas certificadas, contando con asistencia técnica y capacitación.

En apoyo al mejor manejo de las tierras, se hacen modificaciones al marco normativo. Se trabaja en las normas relacionadas con agostaderos, humedales, minas y candelilla. Asimismo, se iniciaron los trabajos para la realización y discusión del anteproyecto de una nueva Ley de Suelos.

PROGRAMA PARA EL DESARROLLO FORESTAL (PRODEFOR)

México cuenta con un importante potencial forestal que, sin embargo, no ha sido desarrollado cabalmente. De los 21.6 millones de ha forestales con potencial comercial, únicamente se aprovechan 7.1 (33% de la superficie con potencial). El aprovechamiento racional de los recursos forestales es condición para el mejoramiento de las condiciones de vida de doce millones de mexicanos que habitan en los bosques, en las selvas y en las zonas áridas del país. El reciente Programa de Desarrollo Forestal, que constituye el primer gran esfuerzo del gobierno mexicano para atender la problemática del sector forestal, pone énfasis en la conservación y el aprovechamiento de los recursos silvícolas proporcionando apoyos directos para que los productores contraten la elaboración o ac-

tualización de programas de manejo forestal; para que efectúen labores de conservación y se capaciten en técnicas de manejo, buscando el desarrollo regional y comunitario del país.

Las estrategias de este Programa son: aumentar la superficie bajo aprovechamiento, mediante apoyos para Programas de Manejo y Estudios Técnicos; incrementar rendimientos, mediante apoyos a la asistencia técnica y a la capacitación; generar mayor valor agregado mediante apoyos a la organización productiva; y diversificar productos y usos, mediante el otorgamiento de apoyos a la diversificación, el aprovechamiento de recursos no maderables y la promoción de usos alternativos del bosque.

En 1997 inició el Programa con un esquema que permite conjuntar crecientes recursos fiscales federales, crédito externo y aportaciones de los gobiernos de los estados y de los propios productores forestales.

PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES

México cuenta con grandes ventajas agroecológicas y de mercado para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales a escala internacional. De hecho, se tienen identificadas 12 millones de ha de terrenos con amplia vocación productiva para esta actividad.

Con base en este potencial productivo, el Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales (PRODEPLAN). Se pretende inducir un modelo sustentable de plantaciones forestales comerciales y contribuir a superar los altos índices de degradación.

Como resultado de este programa se espera establecer 875,000 ha de plantaciones en los próximos 25 años. El esquema base del PRODEPLAN permitirá reembolsar hasta 65% de los costos en que los beneficiarios incurran por el establecimiento y el mantenimiento de las plantaciones durante los primeros años.

La administración de los recursos corre a cargo de un Fideicomiso creado para tal fin. Es de resaltar que los subsidios del PRODEPLAN se asignarán en licitación pública, mediante un procedimiento de subasta sucesiva.

Para 1997, se tiene autorizada la operación de 250 millones de pesos: 190 millones para plantaciones destinadas a materias primas celulósicas; y 60 millones para plantaciones para la obtención de otras materias primas.

Los proyectos elegidos deberán asegurar que las plantaciones no sustituirán a la vegetación existente y que su desarrollo no alterará los ecosistemas regionales. Las plantaciones propiciarán la creación de un nuevo capital natural, ya que recuperarán áreas actualmente degradadas para el uso forestal.

- Estrategias forestales de mitigación

El sector forestal merece especial atención, pues en la actualidad constituye la segunda fuente más importante de emisiones de carbono a nivel mundial y la primera en América Latina (IPCC, 1992).

A pesar de ser hoy en día una fuente neta de emisiones, los bosques tienen el potencial de convertirse en grandes sumideros de carbono (Dixon et al., 1994). En años recientes se han realizado numerosos análisis de mitigación en el sector forestal, particularmente a nivel global (Trexler y Haugen, 1993). Estos análisis han demostrado que existe un gran potencial para el secuestro de carbono dentro de este sector. Además, muchas opciones forestales parecen competitivas con los ahorros del sector energético (Dixon *et al.*, 1993, Sedjo *et al.*, 1995).

De cualquier forma, aún no se cuenta con procedimientos estándar para estimar las implicaciones, en términos económicos y de carbono, de reducir las emisiones de este gas y de incrementar su absorción en los ecosistemas forestales (EAP, 1995). Además existe la necesidad de análisis



detallados de mitigación en el país, que permitieran hacer estimaciones más realistas acerca de la tierra técnica y sociopolíticamente disponible para las distintas opciones de mitigación, la cantidad de carbono secuestrada por unidad de área y los costos y beneficios asociados con cada opción.

El análisis de opciones de mitigación en el bosque es particularmente difícil, ya que existen grandes lagunas de información respecto a las densidades de carbón en la vegetación y los suelos, particularmente dentro de los ecosistemas tropicales. A diferencia de la quema de combustibles fósiles, en la que el carbono es emitido de una vez por todas, los bosques son simultáneamente fuentes y sumideros de carbono. Además, las emisiones y secuestro de carbono tienen una compleja dinámica temporal en lo concerniente a estanques de carbono con tiempos de residencia contrastantes. Finalmente, los aspectos socioeconómicos de las opciones forestales por lo general se encuentran estrechamente relacionados con otros usos de tierra.

Existen muchos retos para derivar escenarios futuros de secuestro y emisión de carbono en el sector forestal. En primer lugar, existen grandes discrepancias respecto a la cubierta forestal y los índices de deforestación actuales en el país.

Una opción de mitigación se puede definir como cualquier acción que tenga como resultado un incremento neto en la densidad de carbono de un área dada y/o la sustitución de combustibles fósiles. A nivel biofísico, las dos opciones básicas de mitigación de carbono son:

- a) Evitar (ahorrar) emisiones de carbono, y
- b) Aumentar la fijación y almacenamiento de carbono.

Lo primero se puede lograr evitando la degradación y tala de áreas forestales. Esto normalmente se logra a través del cuidado de áreas naturales protegidas y el manejo sustentable de bosques naturales. Las emisiones de carbono se pueden evitar también quemando biomasa cosechada sustentablemente en lugar de combustibles fósiles para la producción de energía (por ejemplo, usar plantaciones energéticas para abastecer de energía a plantas generadoras de electricidad) y sustituyendo productos de madera por productos industriales que se fabrican utilizando combustibles fósiles de manera intensiva o sustituyendo leños por cemento.

El segundo enfoque incluye incrementar la densidad de carbono en un área determinada y/o la reserva de carbono almacenada. En este caso, la opción básica es reforestar la tierra, por ejemplo, restaurando o estableciendo plantaciones industriales y/o bioenergéticas en tierras degradadas. Alternativamente, se pueden considerar acciones para incrementar la densidad de carbono en bosques existentes (aumentando la época de rotación, cambiando a tala selectiva de baja intensidad, etc.).

Una vez identificadas las opciones de mitigación, es necesario estimar el secuestro neto de carbono y por unidad para cada una de ellas. Estos parámetros servirán de base para estimar las implicaciones del secuestro de carbono en escenarios futuros alternativos del sector forestal.

- Unidad de secuestro de carbono

Un correcto análisis de las implicaciones de emprender una opción de mitigación de carbono debe incluir las diferentes reservas de carbón que se puedan crear o salvar con el proyecto (Swisher, 1991; EAP, 1995). Estas reservas de carbono incluyen el almacenado en la vegetación (sobre y bajo el nivel del suelo), en materias en descomposición, suelos y productos de madera, y el carbono ahorrado al quemar madera con fines de producción de energía en lugar de combustibles fósiles. Son necesarios los promedios de carbono almacenados en los ecosistemas forestales y en los productos de madera, pues las diferentes reservas de carbono aumentan o disminuyen con la época de rotación (por ejemplo, en el proyecto de plantaciones, el carbón almacenado en la vegetación aumenta constantemente durante la época de rotación, decrece abruptamente durante la cosecha y vuelve a crecer al replantarse los árboles). De esta manera, si se utiliza una estimación puntual —por ejemplo, el



contenido de carbono al final de la época de rotación— sobrestimaría o subestimaría la cantidad real de carbono secuestrada por el proyecto.

Idealmente, el horizonte de planeación deberá ser lo suficientemente largo como para asegurar que todas las reservas hayan alcanzado un estado de estabilidad o estén cerca de hacerlo. Los términos a incluirse variarán, de acuerdo con el tipo de proyecto. Por ejemplo, en la mayor parte de las plantaciones de restauración no habrá productos maderables, mientras que en los proyectos de bioenergía todo lo cosechado servirá usualmente de combustible. Se puede lograr un almacenamiento adicional de carbono en la reserva de productos de madera tomando en consideración la sustitución potencial de éstos por productos de intensa utilización de combustibles fósiles tales como el cemento, el acero y otros materiales para construcción.

- Unidad de secuestro neto de carbono

Con el fin de incorporar cualquier opción forestal a un análisis de mitigación de carbono, es necesario estimar el secuestro “neto” de carbono asociado con la opción propuesta. Esto implica definir un “caso de referencia”, y el horizonte temporal de la opción de mitigación. El caso de referencia indica la cantidad de carbono que se podría secuestrar si no se implantara la opción. Así, el beneficio de carbono de una opción dada (el “secuestro neto de carbono”) es la diferencia entre el total de carbono secuestrado con y sin el proyecto.

Siguiendo este procedimiento evitaremos, por ejemplo, declarar beneficios de carbono por una plantación establecida talando bosques naturales. Por lo que toca al horizonte temporal, debemos distinguir conceptualmente dos alternativas de secuestro de carbono: el carbono ahorrado al sustituir combustibles fósiles y el secuestrado por la vegetación, suelos y productos de madera. En el primer caso, el secuestro neto de carbono es simplemente la cantidad evitada durante el periodo de duración del proyecto (usualmente, la suma de los ahorros de carbono anuales por sustitución de combustibles fósiles).

En el segundo caso, el secuestro neto de carbono dependerá en gran parte del horizonte temporal seleccionado. Si se utilizan promedios a largo plazo —estables— de las diferentes reservas de carbono para estimar el total de carbono almacenado, es de suponer que el proyecto tendrá una duración infinita. De no ser éste el caso, el total de carbono almacenado deberá ser ajustado por un factor que tome en consideración el valor de tener una tonelada de carbón fuera de la atmósfera por un espacio limitado de tiempo. Por ejemplo, tener un proyecto de plantación en marcha durante una o dos rotaciones y entonces convertir la tierra a la agricultura. El valor ajustado del total de carbono almacenado será considerablemente menor al obtenido en estado estable, y será menor cuanto más pequeño sea el periodo de tiempo considerado.

- Opciones de mitigación en el sector forestal

En la tabla 1 se describen siete opciones para conservar los bosques existentes y aumentar el área forestal actual. Estas opciones incluyen, dentro de la conservación de bosques existentes, las áreas naturales protegidas, la administración de bosques naturales y la diseminación de estufas de cocina de combustión de madera mejoradas. En el rubro de la reforestación, plantaciones de restauración, plantaciones de pulpa para papel, plantaciones para producción de energía y sistemas agroforestales.

INSTRUMENTACIÓN CONJUNTA DE PROYECTOS

Los costos incrementales de reducir emisiones de gases de invernadero en los países desarrollados y en los que están en vías de desarrollo son muy diferentes. Los primeros enfrentan costos incremen-



tales mayores, de tal manera que la misma cantidad de dinero invertida en un país en desarrollo producirá reducciones mucho mayores de dichos gases (mitigación) que si se invirtiera en uno desarrollado. La propuesta de la instrumentación conjunta implica compartir el ahorro de emisiones tomando en consideración conceptos tales como el de la responsabilidad común pero diferenciada y el de la distribución equitativa de los beneficios ambientales y económicos.

TABLA 1. PROCEDIMIENTO SEGUIDO PARA CALCULAR EL SECUESTRO NETO DE CARBONO POR OPCIÓN DE MITIGACIÓN

Opción	Secuestro neto de carbono
Conservación	
Áreas Naturales Protegidas*	Emisiones evitadas por deforestación (inmediatas más posteriores). Emisiones estimadas por ciertos modelos, suponen que 10% de la biomasa quemada se convierta en carbón vegetal y una pérdida en los suelos de 30% (estimación alta) o sin pérdidas en los suelos (estimación baja).
Administración de bosques naturales *	Igual que el anterior. Supone cosechas basadas en tala selectiva de baja intensidad, de manera que la biomasa total de los bosques administrados sea similar a la del bosque natural original. El carbono almacenado en los productos de madera se suma al secuestro neto.
Estufas de cocina alimentadas con leña mejorada	Emisiones evitadas por el uso sustentable de la leña. El secuestro de carbono incorpora la leña ahorrada en el uso final corregida por un factor que considera el corte total de madera en el lugar cosechado.
Reforestación	
Plantaciones de restauración	Supone que las plantaciones se establecen en tierras degradadas, con densidades de carbono de 5 tonC/ha (templados) y 10 tonC/ha (tropicales). Las plantaciones alcanzan una densidad de carbono de 70% (vegetación más suelos) de los bosques naturales. Existe 50% de ganancia en el carbono del suelo de las tierras forestales degradadas. Las estimaciones altas y bajas difieren en el contenido supuesto de carbono de los suelos.
Plantaciones industriales *	Supone que las plantaciones se establecen en tierras agrícolas/pastizales con densidades de carbono de 5 tonC/ha (templados) y 10 tonC/ha (tropicales). Supone también que las plantaciones alcanzan 70% de la densidad de carbono de los bosques naturales. Existe una ganancia de 50% en el carbono del suelo del uso alternativo del suelo. Las estimaciones altas y bajas difieren en el contenido supuesto de carbono de los suelos.
Plantaciones para la generación de energía*	El contenido incremental de carbono de las tierras forestales degradadas (con el mismo contenido de carbono anotado arriba), más el secuestro anual adicional proveniente de los ahorros (por ejemplo, la no combustión) de combustibles fósiles (bunker).
Agroforestales*	Contenido incremental de carbono de los sistemas agrícolas actuales. Los sistemas agroforestales dan una ganancia de 50% en los contenidos de carbono de los suelos.

Nota: * Se supone que el uso de tierra alternativo es agricultura anual o un pastizal degradado con 5 tonC/ha de densidad de carbono en la vegetación y materias en descomposición (en las regiones templadas) o 10 tonC/ha (en las regiones tropicales).



La intención es ver la posibilidad de acreditar —selectivamente por tipo de gas— estas reducciones en los inventarios de los países desarrollados, mientras que los países en vías de desarrollo podrían recibir la cooperación financiera y tecnológica para realizar tales reducciones. Es decir, significa la posibilidad de sustraer del inventario de emisiones de gases de invernadero del país que otorga los recursos financieros que harán posible la conservación de sumideros en países de menor desarrollo. La meta es hacer que los países desarrollados y en transición hacia economías de mercado regresen, individual o conjuntamente, para el año 2000, a los niveles de emisión de gases de efecto de invernadero que tenían en 1990.

Formalmente y a escala internacional, esta alternativa se encuentra en etapa piloto, lo cual significa que ningún país puede solicitar una acreditación de emisiones en estos proyectos. Posteriormente, con la experiencia y el desarrollo de metodologías y criterios, a partir del año 2000 se iniciará la plena instrumentación conjunta.

A pesar de que el significado de la instrumentación conjunta, en el contexto del Artículo 4.2 de la Convención, se refiere a los países pertenecientes al Anexo I, después de la Primera Conferencia de las Partes de Berlín en 1995, este concepto se amplió para incluir a los países no pertenecientes a dicho Anexo.

RESUMEN DE INSTRUMENTACIÓN CONJUNTA DE PROYECTOS (FASE PILOTO)

1. Proyecto ILUMEX. Éste es el primer proyecto desarrollado con el esquema de Instrumentación Conjunta por nuestro país. Se realiza a través de la Comisión Federal de Electricidad y cuenta con la colaboración internacional del gobierno de Noruega y el Global Environment Facility (GEF). Su duración será de 1995 a 2006.
ILUMEX es un proyecto de administración de la demanda energética que promueve el reemplazo inicial de 200,000 focos incandescentes por lámparas compactas fluorescentes en las ciudades de Monterrey y Guadalajara. Dichas lámparas consumen 25% menos energía que los focos convencionales lo que permite una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la generación de energía eléctrica. Para el año 2006 se deberán haber sustituido 1.7 millones de focos.
2. Captura de carbono: comunidades forestales en la Sierra Norte de Oaxaca (en etapa inicial, términos de referencia completos).
En el marco de la iniciativa de la Semarnap de reducir las tasas de deforestación y promover la administración correcta de los recursos forestales se encuentran dos acciones prioritarias que pueden contribuir a reducir las emisiones de gases de invernadero, en especial las de CO₂. Con base en el trabajo del Consejo Civil para la Silvicultura sustentable, A. C., en apoyo al diseño de estrategias para la conservación y el uso de los recursos forestales de las tierras públicas de la Sierra Norte de Oaxaca por las comunidades de Ixeto, Uzachi y Ucefo, cuatro comunidades implementarán una fase piloto del programa que cubrirá 45,150 hectáreas.
3. Secuestro de carbono y administración sustentable de los bosques en el estado de Chiapas. (en curso).
Este proyecto de secuestro de carbono asiste al desarrollo de pequeñas empresas de productos forestales en dos regiones de Chiapas dentro de regiones con poblaciones indígenas. Inicialmente, los agricultores participarán colocando árboles dentro de sus plantaciones. Más adelante se espera que se instrumenten planes para la administración de áreas comunales de bosques o tierras degradadas. Aunque la escala temporal para la entrada de insumos es de tres años, se mantendrán asesorías y financiamiento por lo menos durante 25 años, con el fin de aumentar los prospectos de sustentabilidad.
El proyecto cuenta con la asistencia técnica de la Universidad de Edimburgo, será ejecutado por la Unión de Crédito Pajal y monitoreado por el Colegio de la Frontera Sur (Ecosur). Además del servicio de secuestro directo de carbono, se esperan beneficios sociales y ecológicos importantes.

4. Desarrollo comercial sustentable de los bosques tropicales lluviosos en el estado de Campeche (en etapa inicial, términos de referencia en revisión).
La participación local en el proyecto corresponde a una empresa llamada Silvicultura del Ejido de Champotón, formada con capital aportado en iguales proporciones por los Ejidatarios y Maderas Ese, S. A. de C. V., una compañía de productos forestales. El proyecto se orienta a la creación de una economía forestal sustentable, por medio del desarrollo de métodos para obtener maderas comerciales de bosques tropicales lluviosos y otros recursos, con la intención de aumentar el nivel socioeconómico de los habitantes, incrementar la biodiversidad y enfrentar el calentamiento global. Se espera, asimismo, terminar con las prácticas de tala y quema agrícola. Los productos de los bosques tropicales lluviosos incluirían productos biológicos, ecológicos, generación de oxígeno (a través de la fotosíntesis y los sumideros de carbono) y ecoturismo.
5. Diagnóstico agrológico forestal de productividad en suelos y vegetación de bosque y determinación de la capacidad de captura de carbono en la Reserva Especial de la Biosfera Mariposa Monarca (en etapa inicial, términos de referencia en revisión).
La evaluación de captura de carbono de este proyecto se efectuará mediante el estudio de la capacidad de producción de biomasa. Esta estimación se realizará teniendo como base un estudio detallado de agrología forestal definiendo las características, composición y estructura de los suelos y vegetación del bosque así como su productividad natural y distribución. La capacitación será un factor determinante en el manejo de los recursos de las comunidades y permitirá zonificar con precisión los santuarios y programas de manejo correspondientes a cada área, haciendo óptima la captura de carbono. El proyecto tendrá una duración de 12 meses, a partir de la operación del presupuesto y los medios de trabajo.
6. Recurso del viento (en etapa inicial, términos de referencia completos).
Electricidad del Sureste, S.A. de C.V., se propone instalar y operar una central eolieléctrica en la región de La Ventosa, Oaxaca, con una capacidad de 27 MW, con posibilidades de ampliación. La distribución se efectuará en los ejidos de Aguascalientes, La Mata, La Ventosa y La Venta.
7. Implicaciones del secuestro de carbono por el cultivo de halófitas en el estado de Sonora (en curso).
Genética y Sistemas de Ingeniería Solar (Génesis), S.A. de C.V. y Salt River Project, de Arizona, han creado este proyecto de cultivo comercial de salicornia en Bahía de Kino, Sonora, con el objetivo de obtener secuestros de carbono y producir al mismo tiempo una variedad de productos que van desde la comercialización de las puntas de esta planta como alimento, hasta la obtención de materiales para construcción utilizando su fibra para fabricar conglomerados. Uno de los principales atractivos de este cultivo, además de sus múltiples productos, reside en su resistencia al agua salada, por lo que puede ser regado con agua de mar.

V. INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE MÉXICO

El desarrollo de un inventario de emisiones que identifique y cuantifique las principales fuentes y sumideros de gases de invernadero de un país es básico para cualquier estudio sobre cambio climático. El proceso del inventario es importante por dos razones:

- 1) Provee la base para el desarrollo de una metodología comprensiva y detallada para estimar fuentes y sumideros de gases de invernadero.
- 2) Proporciona un mecanismo común y consistente que le permite a todos los países signatarios de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático estimar sus emisiones y comparar las contribuciones relativas al cambio climático de las diferentes fuentes de emisiones y gases de invernadero.

Estimar emisiones de manera sistemática y consistente a nivel nacional e internacional es un requisito previo para evaluar la factibilidad y el costo-efectividad de instrumentar posibles estrategias de mitigación y adoptar tecnologías para la reducción de emisiones.

La actualización para 1990 del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto de Invernadero de México (realizada en 1996, y actualmente en prensa) incluye gases de invernadero directos: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), indirectos (que contribuyen a la formación atmosférica del ozono): monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles no-metano (COVNM). La Tabla 1 y la Figura 1 (en las páginas siguientes) muestran un resumen de las emisiones de gases de invernadero. Como se puede observar, las emisiones provienen principalmente del uso de combustibles para la generación de energía, el cambio de uso de suelos, la agricultura y las emisiones debidas a fugas asociadas a la producción de petróleo y gas.

BIÓXIDO DE CARBONO

En 1990, las emisiones totales de bióxido de carbono fueron de 444,489 Gg (10^9 gramos). El sector energético constituyó la fuente más importante de este gas con 297,011 Gg.

En conjunto, todas las fuentes de energía relacionadas con la combustión representan la mayor contribución (67%). Sin embargo, solamente las emisiones del sector forestal y las producidas por cambios de uso de suelo representan 30.57% de las emisiones nacionales de CO_2 .



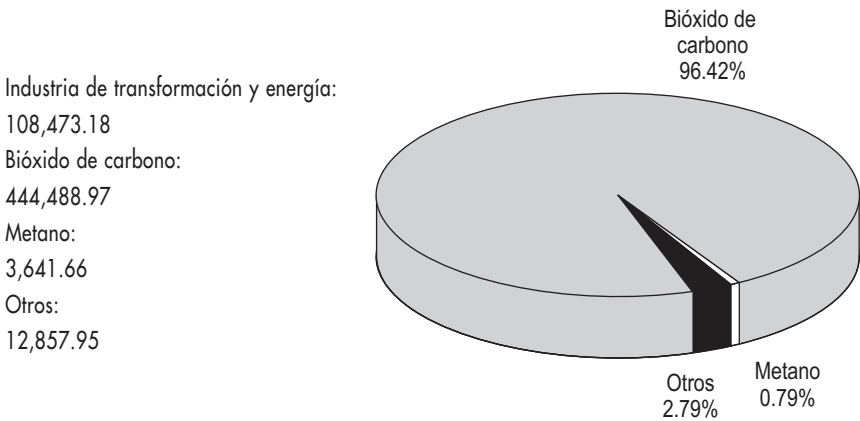
TABLA 1. RESUMEN DEL INVENTARIO NACIONAL DE GASES DE INVERNADERO, 1990 (Gg=10⁹ GRAMOS)

Categoría de fuentes y sumideros de gases de invernadero	CO ₂ top/down*	CO ₂ bottom/up**	CH ₄	N ₂ O	NOx	CO	NM VOC
Total nacional de emisiones y captura	459278.333	444488.970	3641.655	11.779	1012.874	11032.531	800.770
I Total de energía (combustibles+fugitivas)	311800.000	297010.637	1081.358	3.962	962.792	8725.420	800.770
A Consumo de combustibles	311800.000	297010.637	41.778	3.962	962.792	8725.420	800.770
1 Industria de transformación y energía		108473.181	3.441	0.063	298.351	281.464	
2 Industria (ISIC***)		64971.198	1.794		111.547	20.692	
3 Transporte		94705.603	36.060	2.228	521.675	8420.319	800.770
4 Pequeñas combustiones		23558.679	0.459	1.671	20.918	1.861	
5 Agricultura y acuicultura		5301.976	0.023		10.301	1.084	
B Emisiones fugitivas de combustibles			1039.580				
1 Combustibles sólidos			70.270				
2 Petróleo y gas natural			969.310				
2 Procesos industriales	11621.000	11621.000					
3 Agricultura			1793.297	5.817	11.082	195.111	
A Fermentación entérica			1700.905				
B Administración de abono			48.101				
C Cultivo de arroz			35.000				
D Suelos agrícolas				5.510			
E Quema in situ de residuos agrícolas			9.291	0.307	11.082	195.111	
5 Cambio de uso de suelo y silvicultura	135857.333	135857.333	241.000	2.000	39.000	2112.000	
A Captura/emisión en bosques administrados	-31551.667	-31551.667					
B Tala de bosques	217734.000	217734.000	241.000	2.000	39.000	2112.000	
C Captura en tierras abandonadas	-50325.000	-50325.000					
6 Desechos			526.000				
A Tiraderos de desechos sólidos			468.000				
B Tratamiento de aguas residuales (urbano)			58.000				

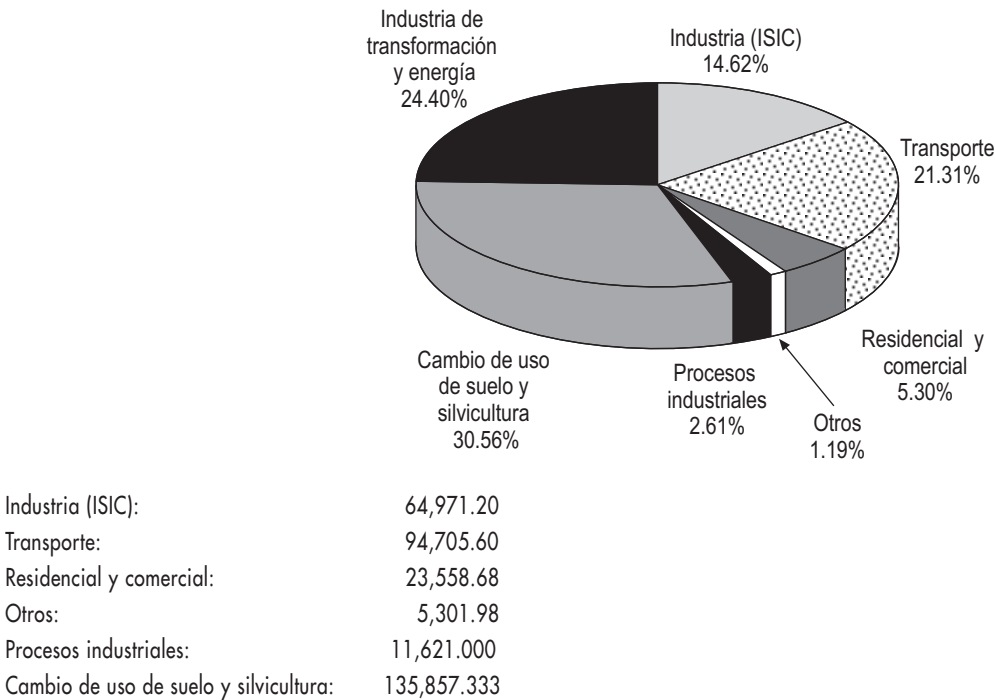
*Top-down: Desagregación que va de la demanda total de energía hacia usos finales.

**Bottom-up: Integración de los usos finales de la energía hacia la demanda total.

FIGURA 1. EMISIONES DE GASES DE INVERNADERO DE MÉXICO 1990 (Gg=10⁹ GRAMOS)



FIGURAS 2. EMISIONES DE BIÓXIDO DE CARBONO EN MÉXICO 1990 (Gg)



*ISIC: Industrial Sector International Classification. Clasificación internacional del sector industrial que incluye la producción de cemento y metalurgia, entre otras industrias.

METANO

El metano es (desde el punto de vista molecular) un gas de invernadero con un potencial de calentamiento veintiún veces superior al del CO₂. Las emisiones para 1990 son de 3,641 Gg. La agricul-

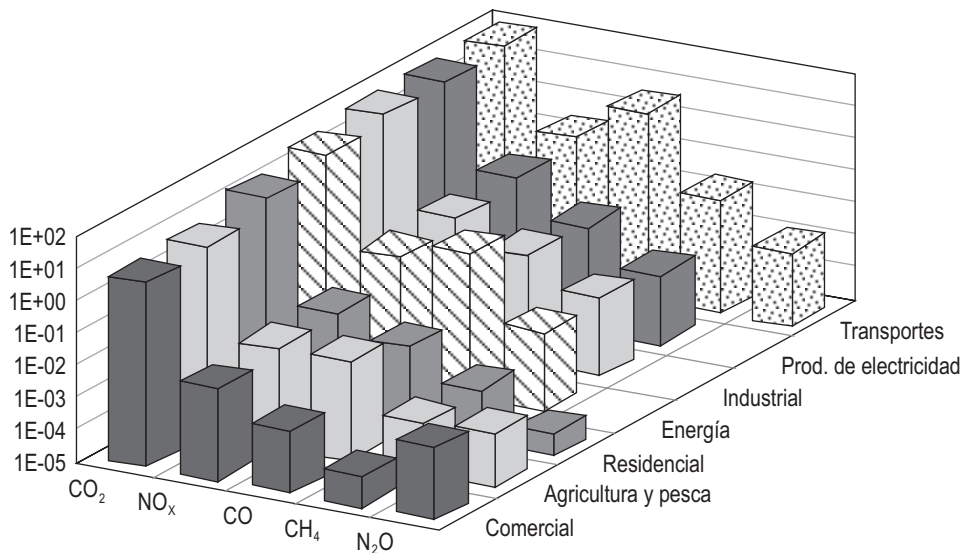
tura y la ganadería son sus principales fuentes, con una participación de 49.34% (1,793.3 Gg), seguidas por las emisiones fugitivas de la industria del petróleo y una pequeña contribución de la explotación de carbón, que aportan el 28.55% (1,039.58 Gg). Los desechos cuentan por 14.44% (526 Gg). La quema de combustibles alcanza 1.15% y, finalmente, los cambios de uso del suelo aportan 6.62%. Si se toma en consideración el potencial de calentamiento del metano (21), estas emisiones equivalen a una cantidad de CO₂ de 17.20% del total.

ENERGÍA E INDUSTRIA

Las emisiones del sector energético (Figura 3) son la fuente antropogénica más importante de México. En 1990, cerca del 84% de la energía de uso final y de 62% de la electricidad generada se producen por medio de combustibles fósiles.¹ Lo que resta se produce por generación hidroeléctrica, geotérmica y por combustión de leña y bagazo. México emitió 297 10¹² gramos (Tg=10¹² gramos) de CO₂, debido al consumo de combustibles fósiles y 40.5 Tg, por el uso de combustibles basados en biomasa (no incluidos en los totales). Las emisiones de CO₂ asociadas con el uso de energía aumentaron 14.06% entre 1987 y 1993, tasa de crecimiento similar a la del consumo de energía de uso final, incluyendo a la producción de electricidad y al sector energético. Las emisiones de NO_x, CO y CH₄ se incrementaron en 19.8%, 35.6% y 30.7%, respectivamente, mientras que las emisiones de N₂O aumentaron en 6% debido al decreciente consumo de combustóleo en los sectores industrial y del transporte.

De 1987 a 1993 las emisiones per cápita de CO₂ decrecieron en 7.1% de 3.75 a 3.48 toneladas. La intensidad de las emisiones de CO₂, medidas como emisiones por Producto Interno Bruto (PIB) se redujo en 6.1%, pasando de 798.0 a 749.3 toneladas de CO₂ por millón de dólares constantes de 1993.

FIGURA 3. EMISIONES DE GASES DE INVERNADERO POR SECTOR 1990 (Tg=10¹² GRAMOS)



***ISIC: Industrial Sector International Classification. Clasificación internacional del sector industrial que incluye entre otros la producción de cemento y la metalurgia.

¹ Datos de la Secretaría de Energía indican que para 1995 el 85% de la energía para uso final energético y 61% de la electricidad generada se producen por medio de combustibles fósiles (sin incluir carbón). Para este año se incluye la opción nuclear entre las formas restantes de generación.

Si se analizan las fuentes de energía de cada una de las emisiones, queda claro que el combustóleo, la gasolina y el gas natural fueron los principales contribuyentes a las emisiones de CO₂. La gasolina fue la fuente principal de emisiones de CO. Las emisiones de NO_x se debieron principalmente al uso de gasolina, combustóleo y diesel. Mientras que las emisiones de CH₄, tuvieron al combustóleo y la gasolina como sus principales precursores. Lo mismo sucedió en el caso de las emisiones de N₂O, aunque en este caso se contó igualmente con el uso del diesel.

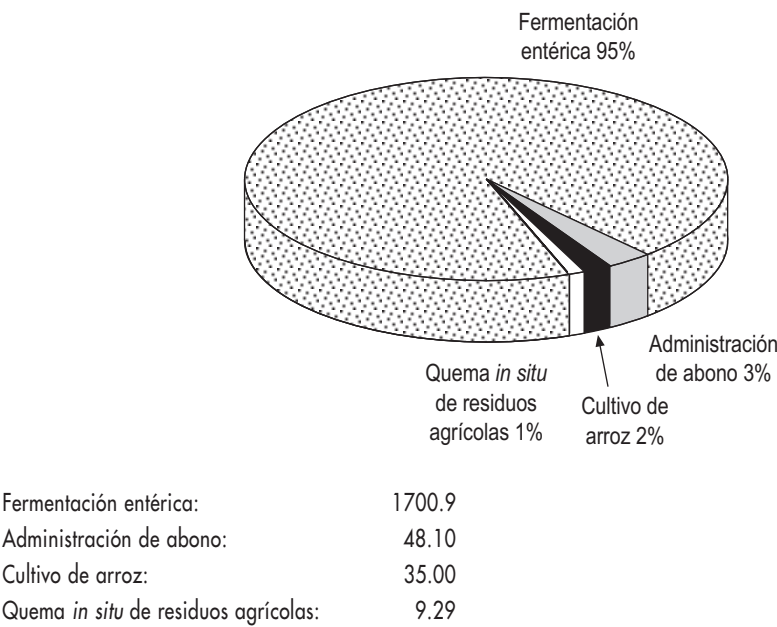
En el caso de las emisiones por sector, el de los transportes representa 32% de las emisiones de México por consumo de combustibles fósiles, seguido por el de la generación eléctrica (23%) y la industria (22%). El sector del transporte es también el principal contribuyente a las emisiones de NO_x, CH₄, N₂O y CO. Los indicadores revisados aquí, a pesar de reportar emisiones de gases de efecto invernadero, no son lo suficientemente analíticos como para permitir obtener conclusiones adicionales. Para completar esta investigación se deberá estudiar el consumo de energía por sector de uso final.

El bióxido de carbono como producto intermedio de procesos industriales no generadores de energía fue calculado únicamente en el caso de la producción de cemento, resultando de 11,621 Gg en 1990.

AGRICULTURA Y CAMBIO DE USO DE SUELO

Las emisiones de gases de invernadero provenientes de la agricultura (Figura 4) (sin incluir el uso de energía) surgen principalmente del abono y la fermentación entérica del estiércol del ganado (11,749 Gg de metano), de cultivos específicos (i.e., 35 Gg de metano producidos por arrozales), del uso de fertilizantes (5.55 Gg de N₂O) y de una familia de gases de invernadero originados por la quema prescrita de desechos de cultivos in situ. Las emisiones de gases de efecto invernadero diferentes del CO₂ provenientes de la quema prescrita de desechos de cultivos ya se incluyen en el inventario.

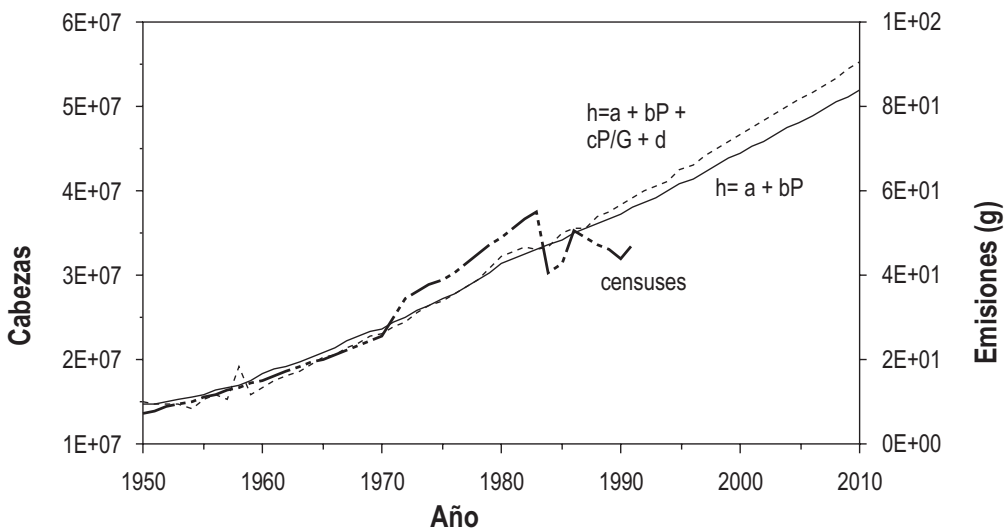
FIGURA 4. EMISIONES DE METANO DE LA AGRICULTURA 1990 (Gg)



Un modelo para pronosticar el número de cabezas de ganado basado en la población, en el ingreso anual y el crecimiento anual del PIB permitió estimar las emisiones de metano para los años futuros (Fig. 5). Los expertos fueron muy precavidos con respecto al impacto que pudieran tener los recientes cambios a la Constitución relacionados con la propiedad de la tierra y el TLC. Sin embargo, el modelo tiene la capacidad de mostrar la sensibilidad de los incrementos a los salarios reales, como en los años 70, y los decrementos en la demanda ocasionados por la reciente crisis financiera. Este modelo muestra también que una vez que se recupere el crecimiento económico, las alzas en la demanda traerán consigo el regreso a las tendencias históricas dominadas por el crecimiento poblacional.

En lo que concierne a cambios de uso de suelo, este reporte incluye estimaciones de emisiones de gases de invernadero provenientes de esta fuente en México para el año de 1990. Estudios anteriores han demostrado que la deforestación constituye la segunda mayor fuente de emisiones de gases de invernadero en nuestro país, después de la quema de combustibles fósiles. Por tanto, actualizar las emisiones debidas a cambios de uso del suelo es de vital importancia para el inventario nacional. El reporte está basado en una revisión profunda de la información existente sobre índices de deforestación, áreas reforestadas o en crecimiento y características biológicas de los bosques relacionadas con el carbono. El análisis cubre bosques tropicales perennifolios, bosques templados caducifolios de coníferas, bosques cerrados de hojas anchas y bosques abiertos.

FIGURA 5. TAMAÑO DE REBAÑO Y EMISIONES DE METANO



En esta parte se utilizó tanta información local —tanto de fuentes oficiales como de estudios de caso— como fue posible, utilizando los valores por defecto del IPCC solamente cuando no se disponía de ésta. El estudio cubre todos los tipos de bosques cerrados del país: tropicales perennifolios, tropicales caducifolios, templados de coníferas, templados de hojas anchas y bosques abiertos.

Se creó un modelo que imita el procedimiento de conteo propuesto por el IPCC (por ejemplo, el modelo MINERG). Esto permitió mantener resultados consistentes con la metodología propuesta por el IPCC y tener a la vez mucha mayor flexibilidad en los parámetros cambiantes, utilizando estimaciones múltiples y análisis de sensibilidad.

Las emisiones actualizadas de bióxido de carbono producidas por el cambio de uso de suelos y la silvicultura para 1990 son de 135,857.33 Gg, lo que representa un incremento de 21.5% en relación con el Inventario Preliminar, debido al mejor conocimiento de las tasas de deforestación y del secuestro de carbono en tierras administradas y abandonadas. Éstas representan 31.4% del total de emisiones de CO₂. Si se considera un potencial de calentamiento del metano de 21, la participación del cambio de uso de suelos en las emisiones totales de gases de efecto invernadero es de 26.8% y la de la agricultura de 7.1 por ciento. En conjunto, ambas fuentes contribuyen con 33.9%.

TIRADEROS DE DESECHOS SÓLIDOS

En México, los rellenos sanitarios contribuyen con 0.468 Tg, lo que representa 12.85% de las emisiones de metano del país. De esto, 41.6% se concentra en el Distrito Federal y 58.4% se distribuye en el país, produciéndose principalmente en las grandes ciudades restantes.

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE MÉXICO EN EL CONTEXTO MUNDIAL

México se clasifica entre los primeros 15 países más importantes emisores de gases de efecto invernadero (Tabla 2).

En 1990, México contribuyó aproximadamente con el 2% de las emisiones globales, mientras que Estados Unidos produjo el 19%, y la exUnión Soviética el 13%. En lo que respecta al bióxido de carbono, el sector energético mexicano emitió 296,756.87 Gg. Desde el punto de vista de las emisiones per capita de CO₂, produjo 4.1 toneladas de CO₂/persona.

En términos de eficiencia energética, México tiene niveles menores que los alcanzados por los países industrializados, debido a la insuficiente actualización tecnológica y a que, siendo un país en vías de desarrollo, produce bienes de capital de menor valor agregado, como cemento o vegetales, mientras que las naciones industrializadas elaboran “chips” o aparatos electrónicos.

TAREAS PENDIENTES DEL INVENTARIO

Algunas categorías del inventario, como los solventes y algunos procesos industriales, no se procesaron, pero serán incluidas en futuras actualizaciones del inventario. Otra tarea pendiente es la de terminar de establecer los procedimientos para la actualización anual de todas las partes del inventario.

TABLA 2. PAÍSES CON MAYORES EMISIONES DE CARBONO (C) POR QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES, 1994.

País	Total de emisiones (Millones de Ton.)
1. <i>Estados Unidos</i>	1371
2. China	835
3. <i>Rusia</i>	455
4. <i>Japón</i>	299
5. <i>Alemania</i>	234
6. India	222
7. <i>Reino Unido</i>	153
8. <i>Ucrania</i>	125
9. <i>Canadá</i>	116
10. <i>Italia</i>	104
11. <i>Francia</i>	90
12. Polonia	89
13. Corea del Sur	88
14. México	88
15. África del Sur	85
16. Kazajstán	81
17. <i>Australia</i>	75
18. Corea del Norte	67
19. Irán	62
20. Brasil	60

Fuente: G. Marland, R.J. Andres T. A. Boden, "Global , Regional and National CO₂ Emission Estimates from Fossil Fuel Burning, Cement Production and Gas Flaring: 1950-1992" (Electronic database) (Oak Ridge, Tenn. Carbon Dioxide Information Analysis Center. Oak Ridge National Laboratory, 1995). World watch estimates based on *ibid.*, and on British Petroleum, BP Statistical Review of World Energy (London: Group Media & Publications, 1995). Population Reference Bureau, *1994 World Population Data Sheet* (Washington, D. C.: 1994); World Bank, *The World Bank Atlas 1995* (Washington, D. C.: 1995).

Nota: Los países en cursivas pertenecen al Anexo I de la Convención Marco sobre Cambio Climático.



VI. VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Las medidas de mitigación y adaptación surgen como respuesta a los efectos que se prevé que el cambio climático global pudiera tener, tanto sobre el ser humano y sus actividades, como sobre el medio ambiente. Es por esto que resulta importante contar con el análisis de las áreas y zonas geográficas del país que presentan mayor vulnerabilidad ante potenciales efectos del cambio climático.

Dentro del *Estudio de País: México*, se realizaron estudios de vulnerabilidad en las áreas de agricultura, asentamientos humanos, zonas costeras, desertificación y sequía meteorológica, ecosistemas forestales, recursos hidrológicos y los sectores energético e industrial. Para realizar este análisis, fue necesario elaborar escenarios climáticos regionales actuales y de cambio.

ESCENARIOS CLIMÁTICOS REGIONALES ACTUALES Y DE CAMBIO

Escenario actual

Existen múltiples criterios para determinar los escenarios climáticos regionales actuales que se deben emplear, dependiendo de las necesidades de cada uno de los estudios de vulnerabilidad desarrollados (Tabla 1).

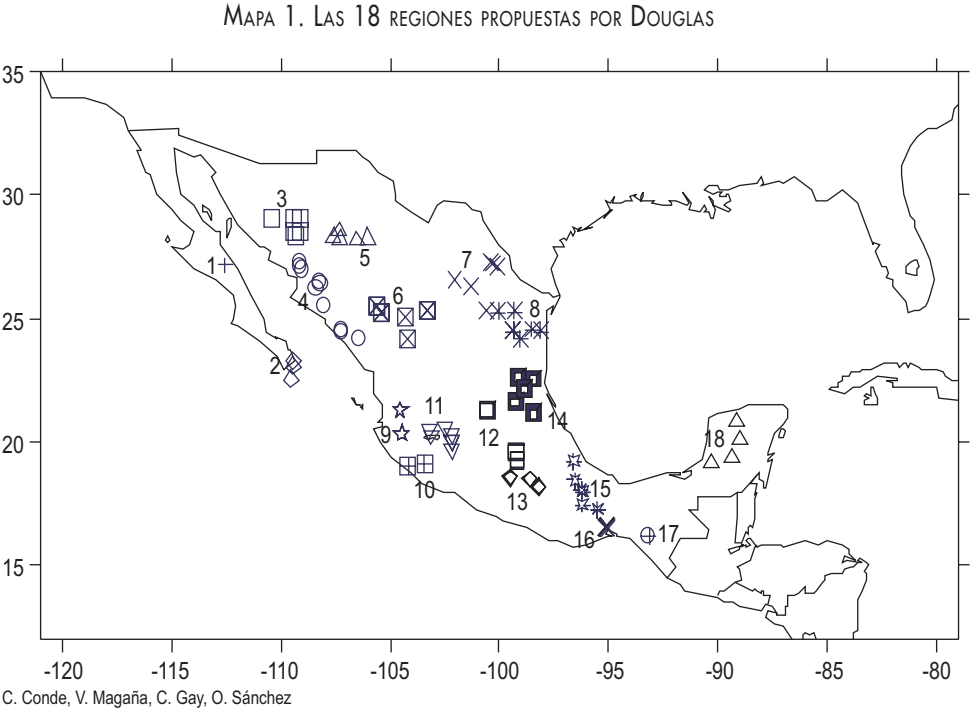
Entre otros factores que influyen en esta determinación se pueden mencionar el tipo, disponibilidad e integridad de las series y la escala espacial de los datos requeridos. Así, en algunas líneas de vulnerabilidad fue necesario contar con datos diarios de temperatura (máxima y mínima), precipitación y radiación en sitios aislados (agricultura). En otras se utilizaron promedios mensuales, estacionales y/o anuales de las variables climáticas básicas. En algunos de ellos se requirieron series de tiempo mayores de 30 años, o bien, datos como la velocidad del viento (desertificación). También, dependiendo de los requerimientos de cada estudio, se utilizaron datos diarios y/o mensuales obtenidos de la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

El método que se empleó para regionalizar es crucial en cualquier estudio de vulnerabilidad. Es evidente que, por la resolución espacial de los Modelos de Circulación General (MCG's), las unidades de exposición (bosques, regiones agrícolas o hidrológicas, etcétera) pueden no haber sido definidas con exactitud.

Un escenario regional se construyó a partir de la base de datos de Arthur Douglas, de la Universidad de Creighton, Nebraska, la cual contiene los promedios de temperatura (92 puntos) y precipitación (279 puntos) de más de 30 años, incluyendo el periodo de 1950 a 1980.

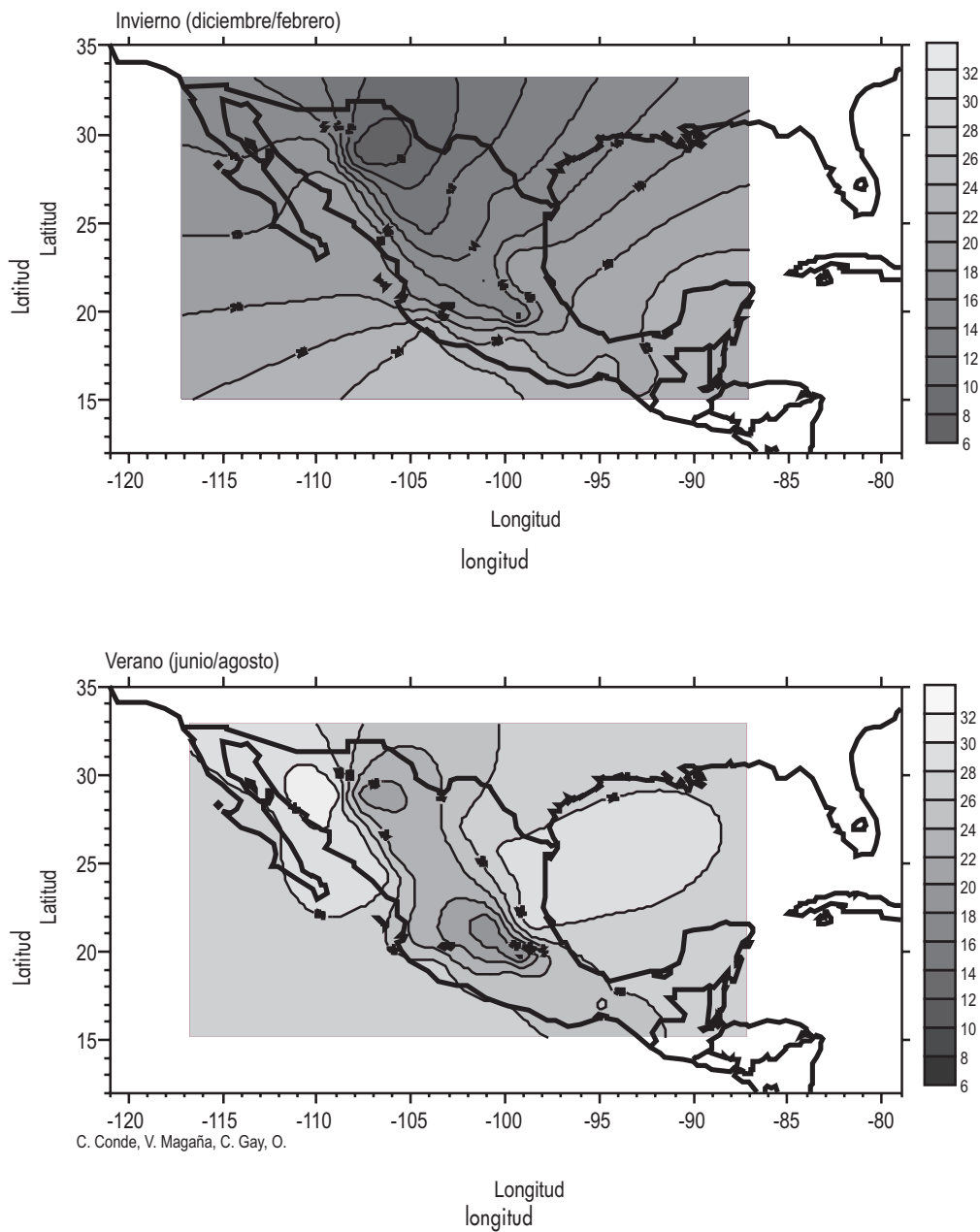


Douglas agrupa estos datos en 18 regiones, considerando la densidad de localización de las estaciones meteorológicas, altitud y precipitación análoga de la base de datos, mismas que se ilustran en el Mapa 1. En los Mapas 2 y 3 se muestran las isolíneas generadas a partir de los datos de temperatura y precipitación. Este escenario fue empleado en los estudios de agricultura, desertificación y sequía. Se realizó una interpolación directa para construir las isolíneas o áreas que caracterizaron la temperatura y precipitación del país. Asimismo, en los Mapas 2 y 3 se presentan los resultados para verano e invierno. Cuando las necesidades de los estudios lo requerían (Tabla 2), la base de datos de Douglas fue completada con otros datos de estaciones climatológicas obtenidos del SMN.

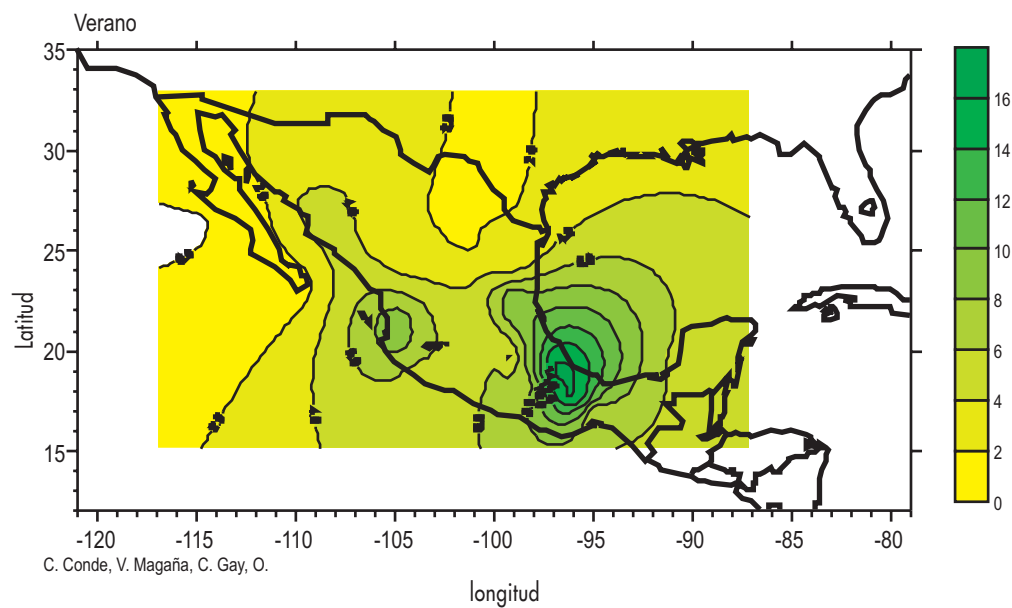
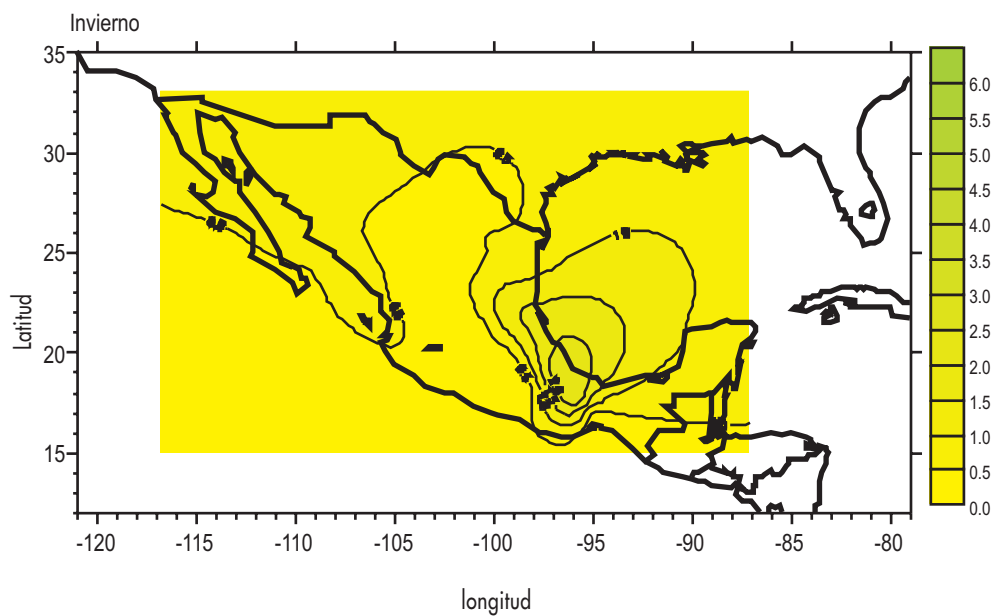


Los símbolos representan las estaciones climatológicas con datos de temperatura para cada región.

MAPA 2. ESCENARIOS BASE DE TEMPERATURA (1950-1980)
BASE DE DATOS DE DOUGLAS (°C)



MAPA 3. ESCENARIO BASE DE PRECIPITACIÓN (1950-1980)
BASE DE DATOS DE DOUGLAS (MM/DÍA)



Escenarios de cambio climático regionales I (interpolación)

Para los estudios de vulnerabilidad del Estudio de País: México (exceptuando el de zonas costeras), se sugirieron dos métodos para generar escenarios de cambio climático, con el fin de estudiar los posibles impactos de este fenómeno:

Método de sensibilidad

El primero consiste en establecer incrementos arbitrarios de temperatura (+2 y +4 °C) y de precipitación ($\pm 10\%$ y 20%) y combinaciones de éstos (por ejemplo, +2°C y +20%).

Ciertas líneas de vulnerabilidad (ecosistemas forestales y agricultura) aplicaron los escenarios incrementales así propuestos, a fin de realizar estudios de sensibilidad del sistema estudiado a cambios climáticos arbitrarios (Tabla 2).

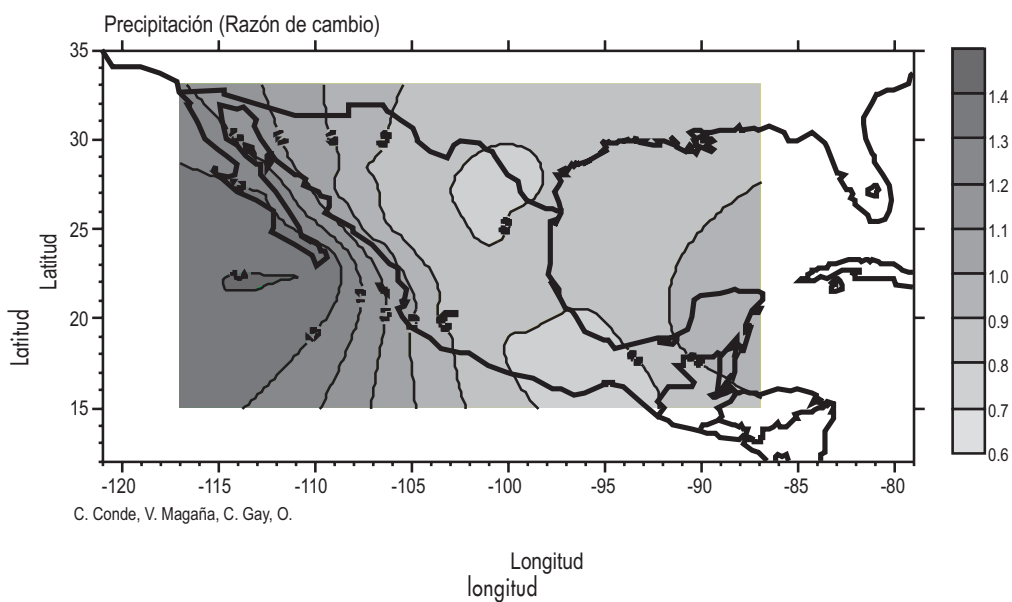
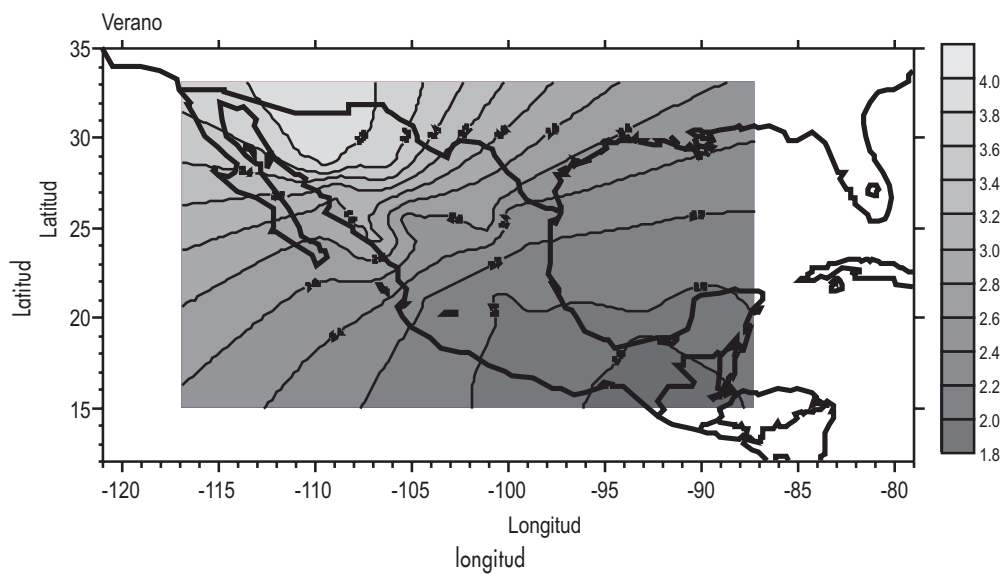
Método con modelos de circulación general

El segundo se basa en la utilización de los incrementos en la temperatura y las razones de cambio en la precipitación y la radiación, calculadas a partir de las simulaciones de dos Modelos de Circulación General (MCGs): el GFDL-R30 (Geophysical Fluids Dynamics Laboratory) y el CCCM (Canadian Climate Center Model) (Tabla 1).

La regionalización de los escenarios de cambio climático a partir de los MCGs plantea inicialmente algunas consideraciones. Los datos de estos modelos corresponden a puntos de malla horizontales con una resolución mínima de entre 100 y 200 kilómetros. Esto introduce errores de aproximación en las variaciones de los parámetros requeridos, al interpolar o utilizar el punto más cercano al estudiado. Además, se decidió que todas las líneas de vulnerabilidad aplicaran la interpolación de las variaciones $2xCO_2$ de los modelos GFDL-R30 y CCCM.

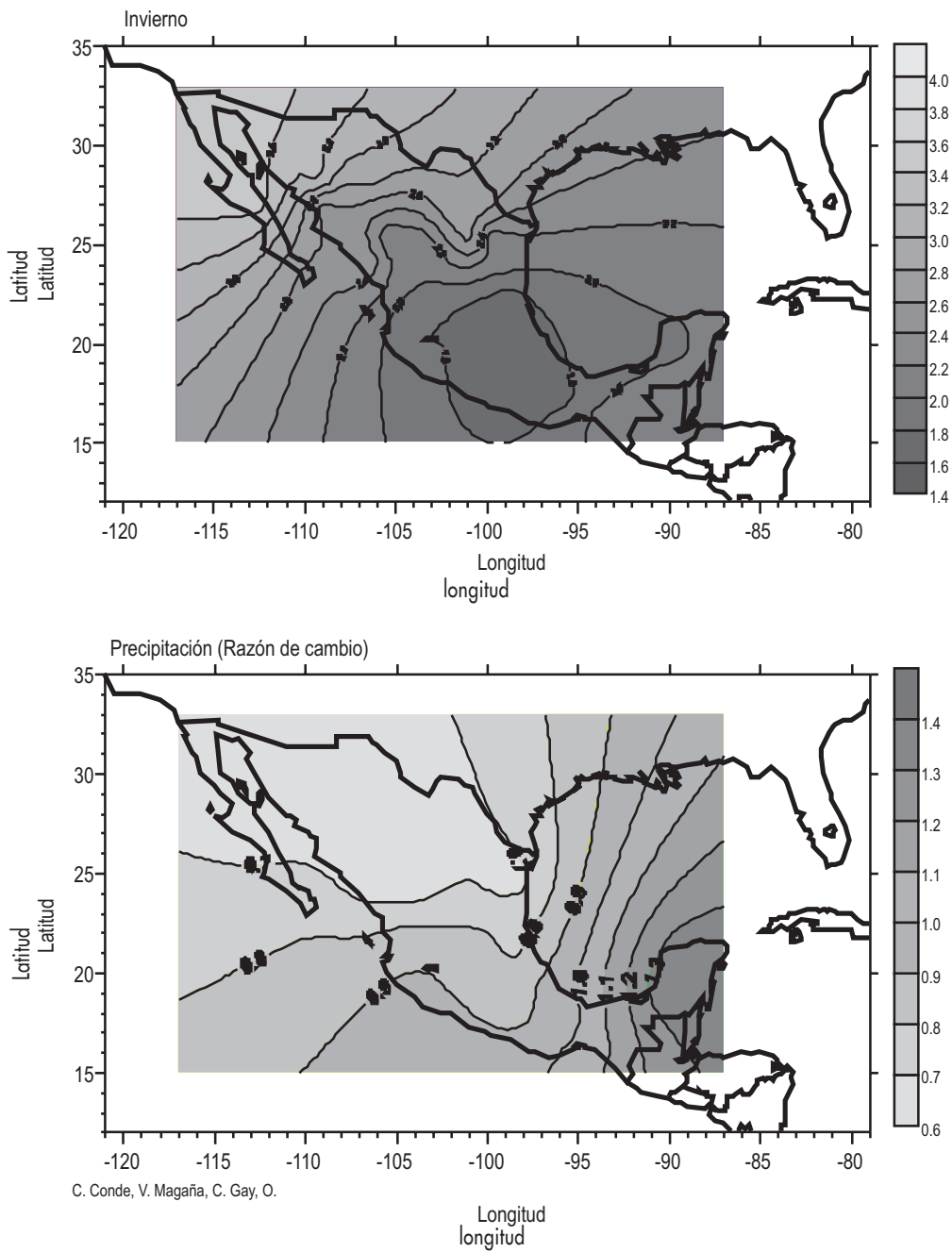
Para llevar a cabo la regionalización, se aplicó primero el método de interpolación directa para cada punto de las 18 regiones de Douglas, generación de los posibles escenarios de cambio climático correspondientes, de acuerdo con los modelos GFDL-R30 y CCCM. Con estos datos se elaboraron los mapas, para las variaciones de temperatura y precipitación para invierno y verano (Mapas 4 y 5 para el modelo CCCM. Los Mapas 6 y 7 muestran los resultados correspondientes al modelo GFDL-R30).

MAPA 4. INCREMENTOS DE TEMPERATURA Y RAZONES DE CAMBIO PARA LA PRECIPITACIÓN.
MODELO CCCM ($^{\circ}\text{C}$)

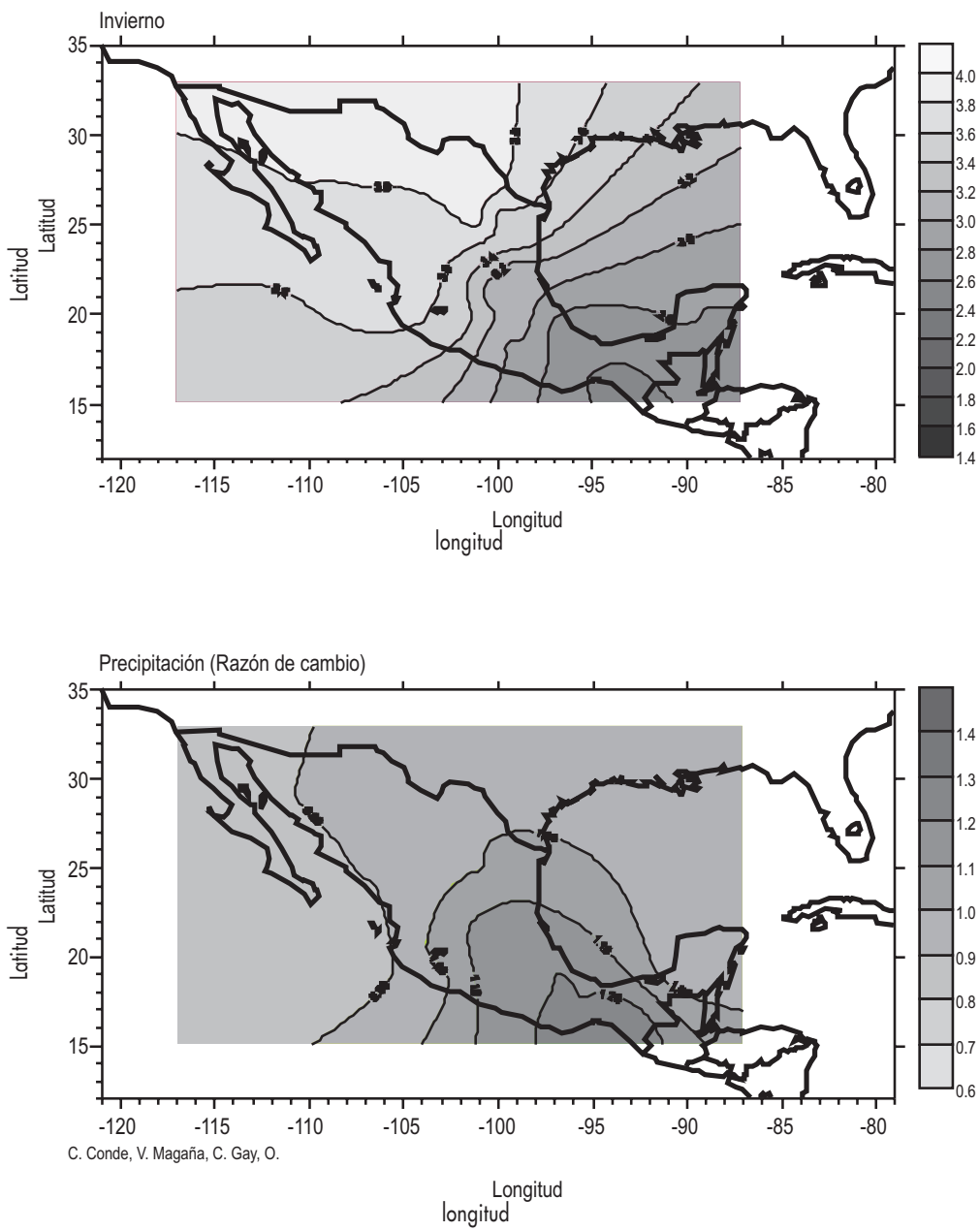


C. Conde, V. Magaña, C. Gay, O.

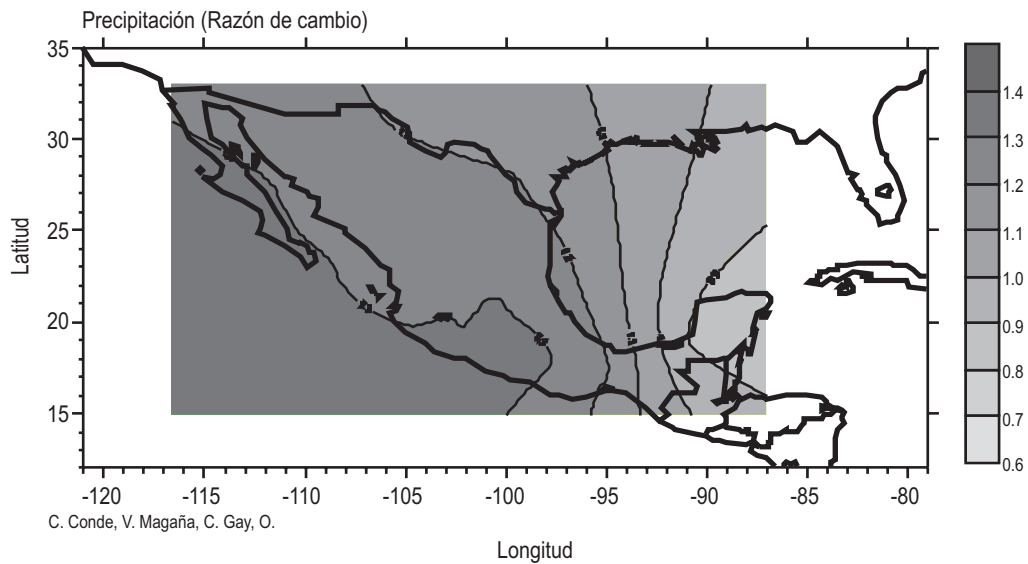
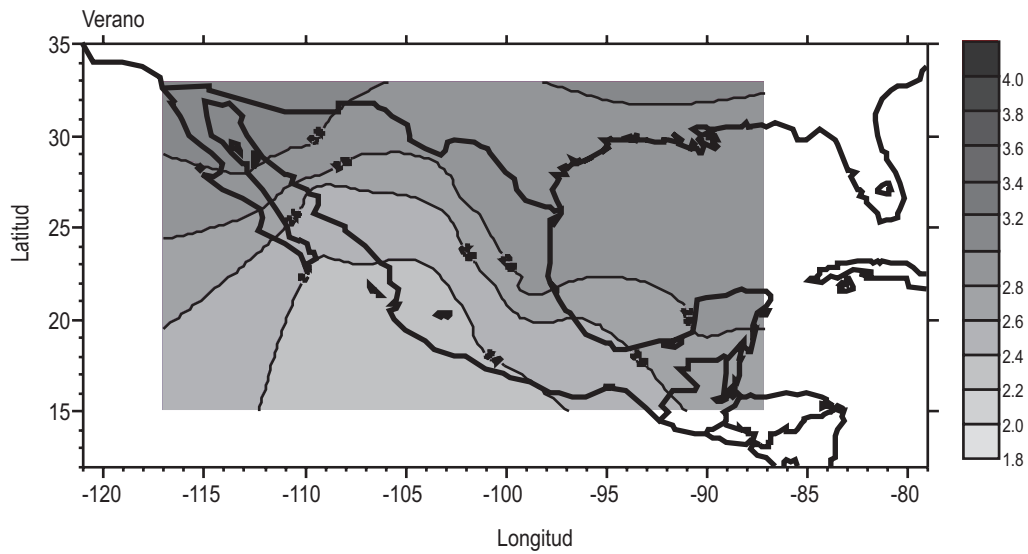
MAPA 5. INCREMENTOS DE TEMPERATURA Y RAZONES DE CAMBIO PARA LA PRECIPITACIÓN.
MODELO CCCM (°C)



MAPA 6. INCREMENTOS DE TEMPERATURA Y RAZONES DE CAMBIO PARA LA PRECIPITACIÓN.
MODELO GFDL



MAPA 7. INCREMENTOS DE TEMPERATURA Y RAZONES DE CAMBIO PARA LA PRECIPITACIÓN.
MODELO GFDL



En los dos casos anteriores se obtienen, de los dos modelos, resultados que difieren tanto en magnitud como en signo. El modelo GFDL-R30 muestra altos incrementos en la temperatura —entre 2.5°C y 4.5°C— y de precipitación —entre 10% y 20%— (así como en la radiación). Utilizando el modelo CCCM se obtuvieron incrementos en la temperatura más moderados —entre 1.5°C y 3.5°C— y decrementos en la precipitación —entre -10% y -20%— (y en la radiación).

Estos comportamientos se ven reflejados en los estudios de vulnerabilidad, donde los resultados inferidos a partir de los escenarios incrementales con disminuciones en la precipitación se asemejan a los resultados del modelo CCCM; mientras que en el caso opuesto se acercan a los del GFDL-R30. Se entiende entonces que para un país con amplias regiones áridas o semi-áridas y con problemas agudos ante las sequías, en algunas líneas de vulnerabilidad se denote al escenario GFDL-R30 como “positivo” u “optimista”, lo que no coincide necesariamente con otros resultados de este mismo Estudio de País.

Escenarios de cambio climático regionales II (estadísticos)

Los escenarios climáticos generados a partir del uso de modelos asocian patrones de circulación de gran escala actuales y de cambio climático con los climas regionales o locales. Estos escenarios se desarrollaron como parte del Estudio de País: México y si bien no fue posible emplearlos en las diferentes líneas de vulnerabilidad, existe el interés por aplicarlos durante estudio subsecuentes.

Para mejorar el análisis regional, se emplearon las corridas de control y de doblamiento de CO₂ obtenidas a través de INTERNET para los modelos NCAR (National Center for Atmospheric Research) y GFDL (Geophysical Fluids Dynamics Laboratory). Se generaron así los escenarios actuales y de cambio climático, recurriendo primero al análisis estadístico del comportamiento de las variables locales de interés (temperatura y precipitación), frente a variables de gran escala observadas; tales como la presión a nivel del mar (SLP), la temperatura de superficie del océano (SST), la temperatura en 500 y 700 mb (t500 y t700) y la altura geopotencial en 500 y 700 mb (z500 y z700).

Para los nuevos escenarios se utilizan los modelos acoplados MCG (GFDL y NCAR), a fin de generar las anomalías que nos dan los escenarios ante un doblamiento de bióxido de carbono.

Los escenarios regionales de temperatura y precipitación fueron elaborados estableciendo ecuaciones de regresión entre las series de tiempo de temperatura (o precipitación) de cada una de las 18 regiones de Douglas, tomada como variable dependiente, y las de SLP y SST para dos puntos distintos con correlación extrema (en total cuatro variables independientes), para un periodo que abarca de 1947 a 1987. Con esta metodología, los incrementos en la temperatura resultaron ser más moderados que los que se obtuvieron con la primera metodología; además, no existe diferencia en el signo de las anomalías de precipitación entre el NCAR y GFDL. La estructura de las iso-líneas es semejante para ambos modelos en invierno, pero varía substancialmente para verano, especialmente en la región noroeste.

TABLA 1 . DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO, DE ACUERDO CON LOS MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL

Sector o línea	Métodos	Escenario base	Escenario Cambio climático MCG	Variables climáticas	Rangos de variación
Escenarios climáticos	i) Interpolación	1950 - 1980: 18 regiones 97 - 279 estaciones (Douglas)	CCCM (1989): 3.75°x3.75° 10 niveles	T (°C) med max, min	Método I: CCCM: 1.5°C< ΔT < 3.5°C ΔPcp < 0 -20%<ΔPcp<-10% GFDLR30: 2.5°C< ΔT < 4.5°C ΔPcp > 0 10%<ΔPcp<20% Método II: GFDLR30: 1.5°C< ΔT < 2.5°C ΔPcp > 0 NCAR 1.5°C< ΔT < 2.5°C ΔPcp > 0
			GFDLR30 (1994): 2.22°x3.75 14 niveles	Pcp (mm)	
	II) Estadísticos		TRANSIENTE (GFDLR30) Cuarta, séptima y décima décadas NCAR (1994)	S (hrs sol) Diarios Mensuales Estacionales Anuales	

TABLA 2. ESCENARIOS Y MODELOS CLIMÁTICOS EMPLEADOS EN CADA LÍNEA DE VULNERABILIDAD

Sector o línea	Métodos	Escenario base	Escenario Cambio climático incremental	Escenario Cambio climático MCG	Variablesclimáticas	Medida de vulnerabilidad	Regiones más vulnerables
Agricultura(Maíz de temporal)	Ceres- Maize Mapas de aptitud	Aptitud 30 Años Douglas + CLICOM: 158 y 171 estaciones. CERES 10 A 20 años 7 sitios (CLICOM)	T: +2, +4 °C Pcp ± 10, ± 20%	CCCM GFDLR30	T (°C)med, max, min. Pcp (mm) S (hrs sol) Diarios Mensuales	Cambio en aptitud. Variación en los rendimientos.	Centro Norte
Bosques	Holdridge Rzedowski - García	30 años 365 estaciones Clasificación climática de García*	+2°C, - 10%	CCCM GFDLR30	T (°C)med Pcp (mm) Mensuales	Cambio en las zonas de vida de Holdridge Afectación sobre la vegetación actual	Bosques templados
Hidrología	Modelo de balance térmico - hidrológico Fórmula de Turk(Evaporación)	30 años 491 estaciones hidrométricas		CCCM GFDLR30 MTC	T (°C)medPcp (mm) Mensuales	5 índices (escurrimiento, disponibilidad, almacenamiento, consumo, extracción)	V(Centro) VI (Lerma-Chapala-Santiago) IX (Baja California)
Desertificación	Modelo de erosión hídrica Modelo de erosión eólica	30 años (1941-1970) 106 estaciones mensuales Base de datos en SOTER		CCCM GFDLR30	T (°C)med. Pcp (mm) (vientos)	5 rangos por erosión. Cambio en áreas	Centro Sur Norte

* García, 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación climática de Köppen. Offset, Larios, México, 217 pp.

TABLA 2 (CONTINUACIÓN)

Sector o línea	Métodos	Escenario base	Escenario Cambio climático incremental	Escenario Cambio climático MCG	Variables climáticas	Medida de vulnerabilidad	Regiones más vulnerables
Sequía	Modelo de severidad	Douglas 30 años		CCCMGFDLR30	Pcp (mm) mensuales Estacional	5 índices de severidad. Cambios positivos y negativos	Norte Centro Sur
Asentamientos humanos	Proyecciones	20 años de datos población (70-90): crecimiento, densidad morbilidad, suministro de agua		CCCMGFDLR30	T (°C)med Pcp (mm) mensuales	5 grados de vulnerabilidad Aumento en el Stress	Centro Norte
Energía e industria	Proyecciones	30 años 365 estaciones Clasificación Climática de García*		CCCMGFDLR30	Pcp (mm) mensuales Estacional	5 grados de vulnerabilidad	Centro Norte
Zonas costeras	0.5 M/Década hasta 2 M	115 cartas topográficas escala 1:50 000		Ascenso del nivel del mar 2m		2m SNM	Costas de Tabasco Sur de Veracruz Península de Yucatán

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Con el fin de poder aplicar los resultados aportados por los 23 puntos de los GCM al clima actual de México, con ayuda de un sistema de información geográfica (SIG) se realizó una cartografía mediante una rejilla de 0.5 x 0.5 grados de latitud, longitud para representar de mejor manera las características climáticas del país. Se seleccionaron 365 estaciones meteorológicas que representaron cada uno de los 770 cuadros en los que se encontraba dividido el territorio mexicano, y que tuvieran datos de temperatura media y precipitación total a nivel mensual, para un periodo de 30 años, comprendidos entre 1950 y 1980.

Con esta base de datos y con base en la clasificación climática realizada para México por García (1988), se generó un mapa de clima actual para el país. Los tipos climáticos fueron agrupados en 16, de un total de 29, que define García. Se aplicaron las modificaciones de temperatura y precipitación, según señalan los modelos CCCM Y GFDL-R30, con lo cual se obtuvieron los mapas de clima resultantes.

Los mapas de los dos escenarios climáticos futuros se superpusieron con los del clima actual. Se obtuvieron mapas en donde se muestran las áreas del país que presentarían modificaciones en el tipo climático, según cada modelo, en oposición a las que permanecerían sin cambio.

Debido a que los modelos CCCM y GFDL-R30 proponen una graduación en los cambios de temperatura y precipitación, dependiendo del área geográfica del país (aumentos en temperatura entre 2 y 4°C, e incrementos o decrementos en precipitación de entre -30% y +60%), en primer lugar se evaluaron las variaciones climáticas que tendrían diferentes regiones geográficas de México, tanto en lo que toca a los valores absolutos para las variables temperatura y precipitación como en relación con el clima actual.

TABLA 3. CLIMA ACTUAL

Clima actual y % de superficie que ocupa	Grupo climático	Temperatura media anual	Temperatura Mes más frío	Precipitación y/oP/T
Cálidos (27.23%)	Cálidos húmedos	22°C	> 18°C	Lluvias todo el año
	Cálidos subhúmedos	22°C	> 18°C	Lluvias de verano P/T > 55 para tipo 2
Semicálidos 9%	Semicálidos	18°C<T<22°C	< 18°C	Igual que climas cálidos
Templados (6.4%)	Templados	12°C<T<18°C	- 3<T<18°C	Diferencia entre tipo 1 y tipo 2 por P/T
Semifrío (2.3%)	Semifrío	5°C<T<12°C	- 3<T<18°C	Su límite no se establece por P/T, sino conforme a las fórmulas r_h y r_s señaladas en el texto
Secos (33%)	Secos	Igual que cálidos, semicálidos y templados		
Áridos (22%)	Áridos	Igual que cálidos, semicálidos y templados		

Resultados

- *Clima actual*

Para definir los grupos climáticos se siguieron los parámetros generales y la clasificación establecidos por García (temperatura, lluvia y cociente de Precipitación/Temperatura: P/T). Los subgrupos aquí señalados se realizaron en función de esos mismos parámetros (Tabla 3). En el Mapa 8 se muestran las principales regiones climáticas del país.

Los climas cálidos húmedos presentan una temperatura media anual superior a 22°C; el mes más frío se ubica por arriba de los 18°C, con lluvias todo el año. Los cálidos subhúmedos 2 y 1 presentan los mismos rangos de temperatura que el tipo anterior, en general con lluvias de verano. Los grados de humedad fueron establecidos por el cociente P/T. El subíndice 2 señala a los más húmedos, con un P/T mayor a 55.

En general, todos los climas cálidos se extienden por la vertiente del Pacífico, desde el paralelo 24° norte hacia el sur y por la del Golfo de México, desde el paralelo 23° norte hacia el sur. También se encuentran en la mayor parte de la península de Yucatán y las montañas del norte de Chiapas (García, 1988). Aproximadamente 27.23% de la superficie del país está cubierta por este grupo.

Los climas semicálidos son aquellos cuya temperatura media anual oscila entre 18° y 22°C. El mes más frío puede ser inferior a los 18°C. Los rangos de humedad son los mismos que los descritos para los cálidos y han sido establecidos de igual manera. Este subgrupo ocupa 9% de la superficie del país, principalmente las partes bajas de la Sierra Madre Occidental y la porción norte de la Sierra Madre Oriental.

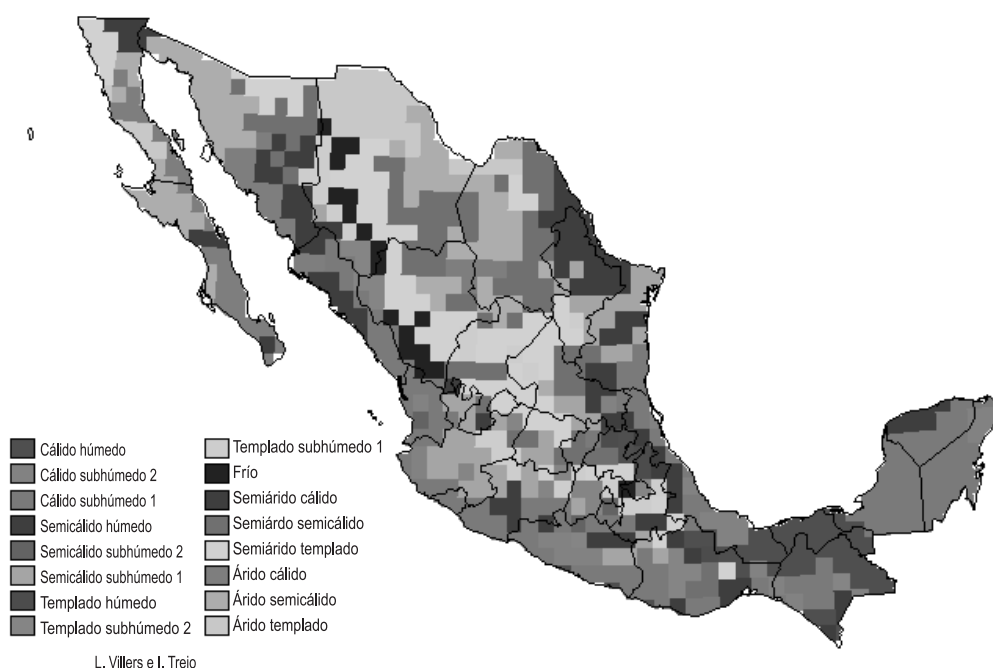
Los climas templados presentan una temperatura media anual que va de 12°C a 18°C. La temperatura media del mes más frío oscila entre -3°C y 18°C. Al igual que en los casos anteriores, el P/T indicaría la separación por grados de humedad entre los subíndices 1 y 2. Estos climas ocupan 6.4% de la superficie del territorio y se localizan en la mayor parte de las zonas montañosas del país.

El clima semifrío presenta una temperatura media anual entre 5° y 12°C. La temperatura media del mes más frío se establece en los mismos rangos que el tipo anterior. Este clima se encuentra en las partes más altas de las principales montañas de México y ocupa 2.3% de la superficie.

Los climas secos y áridos se definen con el factor r_h ,¹ que marca el límite entre los secos y los húmedos o subhúmedos. Entre los climas secos y los áridos se utiliza el factor r_s .² En estos casos los gradientes de temperatura fueron establecidos de igual manera que los climas cálido, semicálido y templado señalados anteriormente. Estos tipos climáticos son los que presentan mayor superficie del territorio. En el primer caso, los secos ocupan 33% y en el segundo 22%. En total: 55 por ciento.

1. Cantidad mínima necesaria de lluvia anual (expresada en cm) para que el clima sea húmedo o subhúmedo. Este valor está relacionado con el régimen de lluvia y la temperatura. $r_h=2t+28$ y $2t+21$ (régimen de lluvias en verano); $r_h=2t+14$ (lluvias todo el año); $r_h=2t$ (lluvias en invierno).
2. $r_s=r_h/2$, según la fórmula indicada para cada régimen de lluvia.

MAPA. 8. CLIMA ACTUAL



- *Aplicación de los modelos al clima actual*

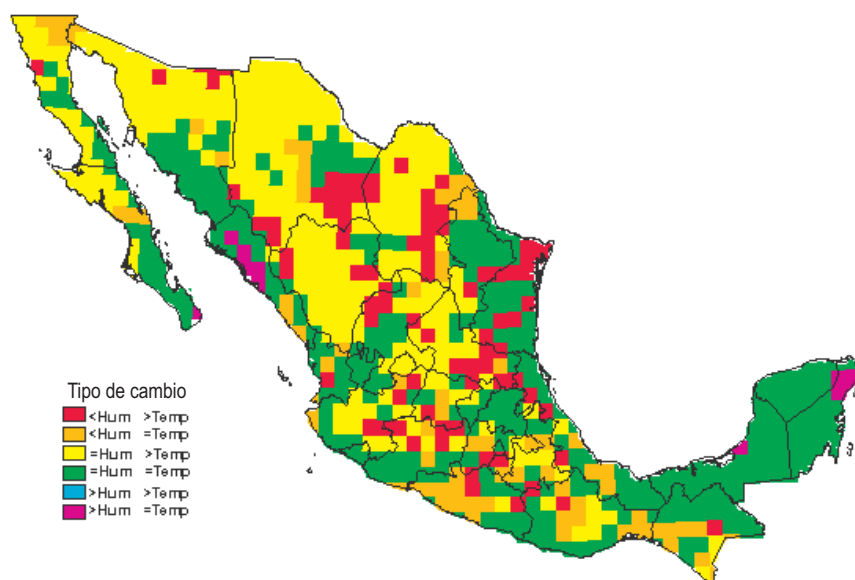
Las variaciones climáticas a nivel nacional a que quedarían sujetas distintas áreas geográficas del país, según señalan los modelos CCCM y GFDL-R30, son muy contrastantes. Para el modelo CCCM, los incrementos en temperatura en la mayor parte del país varían de 1.5°C a 2.5°C. Los estados del norte presentan incrementos de 3°C a 4°C. En particular, la franja fronteriza norte (estados de Chihuahua, Sonora y Baja California) alcanzaría incrementos de hasta 4 y 4.5°C.

En el caso del modelo GFDL-R30, los incrementos de temperatura para la mayor parte del país serían del orden de 2.5 a 3.5 °C, mientras que en estados fronterizos como Chihuahua, Coahuila y Sonora se incrementaría de 3.5 a 4.0 °C.

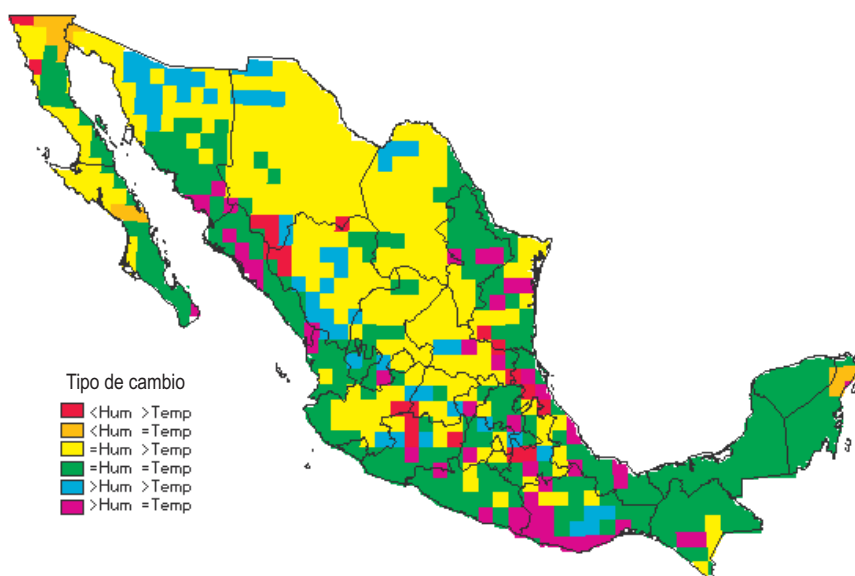
Con respecto a las variaciones en precipitación, los rangos de variación son muy amplios. Para el caso del modelo CCCM los decrementos van de -20% a -10% con respecto a la precipitación actual. En el caso del modelo GFDL-R30 la precipitación se incrementaría de +10 a +30% para la mayor parte del país.

Los mapas 9 y 10 muestran el resultado de la sobreposición del mapa del clima actual con cada uno de los dos modelos. Se señalan las áreas que presentarían variaciones de precipitación (humedad) y temperatura con respecto al clima actual. Esto significa que existirían áreas geográficas y sectores (industria, asentamientos humanos) que tendrían que tolerar condiciones más secas y cálidas que las actuales, en el caso de disminuir la precipitación (modelo CCCM) o por el contrario, estar expuestas a condiciones de mayor humedad con igual o mayor temperatura como lo propone el modelo GFDL-R30.

MAPA 9. VARIACIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD
MODELO CCCM



MAPA 10. VARIACIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD
MODELO GFDL-R30



La superficie que cubrirían los diferentes tipos climáticos, de acuerdo con los modelos CCCM y GFDL-R30, se señalan en la Tabla 4. Según los escenarios climáticos, los climas cálidos incrementarían su superficie en 1% para el modelo CCCM y en 10% para el GFDL-R30, debido principalmente al incremento en los subhúmedos 1. Los climas semicálidos decrecerían en 3% para el CCCM y prácticamente quedarían igual en el modelo GFDL-R30. Los climas templados decrecerían en 3% para el CCCM y en 2% para el GFDL-R30, debido principalmente a los decrementos en los subhúmedos 2 y 1. Los climas semifríos desaparecerían en ambos modelos. Los climas secos aumentarían en 20%, según el CCCM y en 12%, según el GFDL-R30. El aumento se presentaría en todos los subtipos, desde el cálido hasta el templado. Los climas áridos decrecerían en 13% en el modelo CCCM y en 17% en el modelo GFDL-R30. Estos decrementos se deben principalmente a la desaparición del templado árido y al fuerte decremento del semicálido.

En general la superficie total del país que presentaría algún cambio con respecto al clima actual es de 52% según el modelo CCCM y de 58% según el modelo GFDL-R30.

TABLA 4. SUPERFICIE (%) DEL PAÍS CUBIERTA POR CADA TIPO DE CLIMA

Tipo de clima (Clasificación de García)	Actual	Modelo CCCM	Modelo GFDL
Cálido húmedo	5.86	6.67	7.85
Cálido subhúmedo 2	3.67	1.71	6.35
Cálido subhúmedo 1	17.70	20.20	22.80
Semicálido húmedo	2.10	0.54	1.30
Semicálido subhúmedo 2	0.38	0.13	2.02
Semicálido subhúmedo 1	6.58	5.02	5.97
Templado húmedo	0.56	0.28	0.28
Templado subhúmedo 2	2.67	1.31	2.12
Templado subhúmedo 1	3.13	2.06	1.52
Semifrío	2.31	0.00	0.00
Seco cálido	11.00	18.10	18.38
Seco semicálido	10.50	21.96	15.68
Seco templado	11.60	12.49	10.86
Árido cálido	6.07	7.96	4.33
Árido semicálido	11.37	1.58	0.51
Árido templado	4.72	0.00	0.00

VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA AL CAMBIO CLIMÁTICO

Este estudio se desarrolló aplicando dos métodos:

En primer lugar, se utilizó el modelo CERES-MAIZE para simular los rendimientos en la producción de maíz de temporal para distintas formas de administración de cultivos y diferentes condiciones de clima, semillas y suelos. Después de calibrar el modelo, se simularon las condiciones de cambio climático y se analizaron los impactos en la producción (Gráfica 1). En caso de encontrar reducciones en los rendimientos, se propusieron medidas de adaptación. Finalmente, se evaluó la viabilidad de dichas medidas con un análisis de costo-beneficio muy simple. Este mode-



lo se aplicó en siete sitios de la República Mexicana (Tabla 5): Atlacomulco (México), Izúcar e Ixcamilpa (Puebla), Tuxpan y Coatepec (Veracruz), y Magdalena y La Huerta (Jalisco). Los estados en los que se localizan estos sitios son los que cuentan con la mayor producción de maíz de temporal del país.

El segundo método se valió de rangos óptimos de temperatura y precipitación para la producción de maíz de temporal, para crear mapas agroclimáticos teóricos (mapas de aptitud potencial) de las regiones aptas para la producción de primavera-verano.

En el caso del modelo CERES-MAIZE se realizaron ajustes para obtener coeficientes genéticos (dependiendo principalmente de parámetros climáticos), de manera que las variaciones propuestas por el modelo simulen simultáneamente la fenología y los promedios de producción observados. Esto fue necesario puesto que el cálculo de los coeficientes que dependen de la temperatura arrojaron valores fuera del rango propuesto por el modelo.

TABLA 5. LOCALIZACIÓN, ALTURA Y SERIES DE TIEMPO PARA LOS SITIOS SELECCIONADOS

Sitio	Estado	Latitud norte	Longitud oeste	Altura (msnm)	Años
Atlacomulco	México	19° 49´	99° 42´	2,520	1961-1974
Izúcar	Puebla	18° 37´	98° 28´	1,285	1974-1989
Ixcamilpa	Puebla	18° 02´	98° 42´	806	1975-1990
Coatepec	Veracruz	19° 32´	96° 55´	1,110	1967-1985
Tuxpan	Veracruz	20° 57´	97° 24´	25	1971-1988
La Huerta	Jalisco	19° 22´	105° 00´	28	1962-1986
Magdalena	Jalisco	20° 55´	103° 58´	1,359	1961-1988

Escenario base

Para los mapas de aptitud a nivel nacional, se usó información sobre precipitación mensual de 171 estaciones meteorológicas y datos de temperatura media mensual de 158 estaciones.

Para desarrollar este escenario fue necesario contar con información sobre clima y administración de cultivos. La información sobre el clima (temperatura diaria máxima y mínima, lluvia) para el modelo CERES se obtuvo del Servicio Meteorológico Nacional, al igual que la información sobre radiación solar. Cuando únicamente se contaba con información mensual promedio, se generó información diaria por medio de otro programa. La información sobre administración de tierras y cultivos fue proporcionada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR) y el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) o fue obtenida en cada uno de los lugares estudiados.

Con este método, el escenario base (Mapa 11) revela que la mayor parte del país (59.6%) no es apta para la producción de maíz de temporal. Este porcentaje corresponde a las zonas áridas y semiáridas del norte, noroeste y centro de México y la costa del Pacífico, desde Jalisco hasta Chiapas. La zona apta (7.6%) se localiza en algunas regiones de Veracruz, Oaxaca, Tabasco y Chiapas. El resto del país (32.8%) sólo es moderadamente apto para este cultivo. Hoy en día se cultiva maíz en todo el país, aún donde los suelos no son aptos, lo que explica las grandes pérdidas sufridas por los productores y los bajos rendimientos (menos de 1 tonelada/hectárea) en más de la mitad del territorio. Las zonas de mayor producción son las que se localizan dentro de las áreas de irrigación (Sinaloa, Sonora, península de Baja California y distritos de riego de Santiago, en Jalisco).



GRÁFICA 1. ESCENARIOS

Rendimiento (Ton/Ha)

Sitios

MAPA 11. ÁREAS POTENCIALMENTE APTAS PARA LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ DE TEMPORAL.

Escenarios de cambio climático

Estos modelos se desarrollaron considerando, en primer lugar, incrementos arbitrarios de temperatura (+2°C, +4°C) y precipitación ($\pm 10\%$ o 20%) y combinaciones de los dos. Una vez realizados estos cambios, se hicieron análisis de sensibilidad con el modelo CERES (que introduce además cambios en la radiación solar) y con los mapas de aptitud potencial. El modelo CERES fue empleado también para estudiar el efecto fisiológico de duplicar las concentraciones de CO₂ bajo condiciones de cambio climático (etiquetas CC2X y GF2X en la Gráfica 1).

Además, las variaciones bajo condiciones de 2XCO₂ se consideraron con base en los resultados de dos Modelos de Circulación General (CGMs), el GFDL-R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) y el CCCM (Canada Climate Center Model). El CCCM y los escenarios de sensibilidad con reducciones en precipitación produjeron resultados similares. Por otra parte, el GFDL-R30 y los escenarios con incrementos en precipitación del 10 o 20% dieron resultados comparables.

- *Modelo GFDL-R30*

Al emplear los resultados de este modelo en el CERES-MAIZE, se observaron reducciones en los rendimientos (excepto para Atlacomulco), debido al alto nivel de precipitación que predice, el cual causa un lavado de nutrientes y “presiones” en el nitrógeno (Gráfica 1). Las medidas de adaptación en este caso se basan en un aumento en los fertilizantes.

Considerando los mapas de aptitud, 75% de la superficie del país no sería apta para el cultivo de maíz, 8.4% sería moderadamente apta y 15.9% sería apta.

El contraste entre el escenario base y el de cambio obtenido con el modelo GFDL-R30 se muestra en la Mapa 12. El incremento en las áreas no aptas se debería en gran medida a la pérdida de superficie de aptitud media. Por el contrario, la ganancia en superficies aptas en el centro del país sería por el aumento de la temperatura mínima en tierras altas como Atlacomulco.

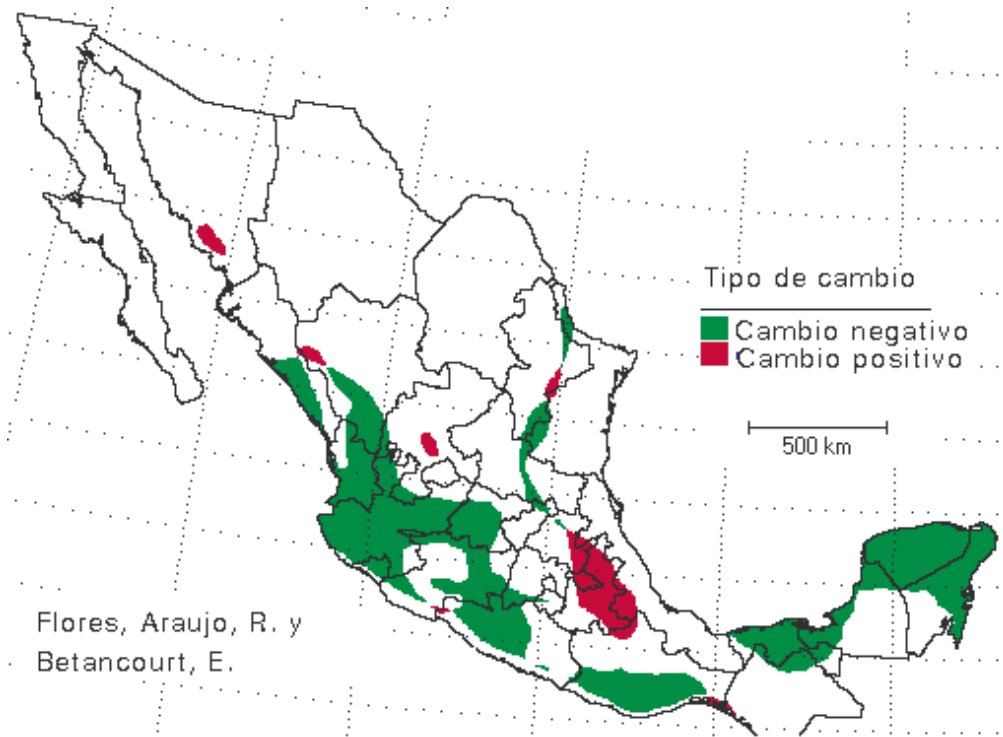
- *Modelo CCCM*

Este modelo pronostica variaciones de rendimiento positivas y negativas, dependiendo de cada zona. Por ejemplo, para Atlacomulco, Coatepec y Tuxpan, prevé condiciones favorables para el cultivo de maíz (Gráfica 1). Sin embargo, se analizaron medidas de adaptación para los sitios de Jalisco y Puebla.

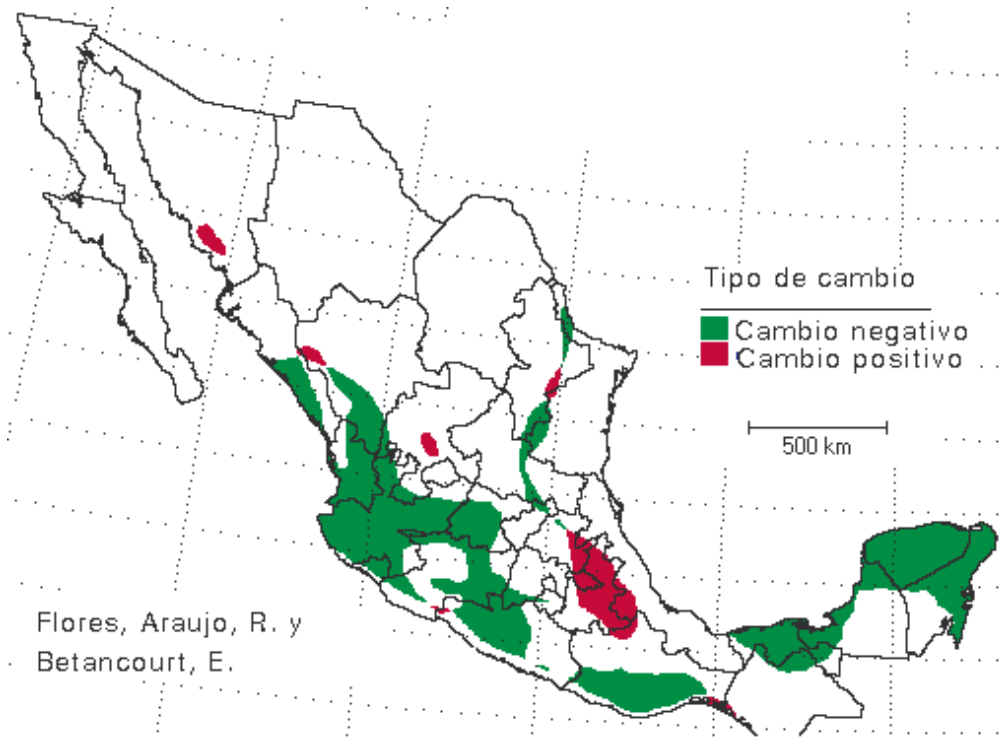
En este caso, los mapas de aptitud muestran que el 75.5% del país no es apto para este cultivo, 22% lo es moderadamente y únicamente 2.5% es apto.

El cambio negativo entre las superficies aptas en el escenario base y el CCCM se debe a la pérdida de regiones de aptitud media. No obstante, algunos cambios positivos se pueden encontrar también en las tierras altas en el centro del país (Mapa 13).

MAPA 12. ÁREAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ DE TEMPORAL VULNERABLES AL CAMBIO CLIMÁTICO.
MODELO GFDL-R30



MAPA 13. ÁREAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ DE TEMPORAL VULNERABLES AL CAMBIO CLIMÁTICO.
MODELO CCCM



Medidas de adaptación y análisis costo-beneficio

Como se mencionó anteriormente, se realizaron experimentos de adaptación usando diferentes volúmenes de fertilizantes y riego, cambios en las fechas de siembra y en los tipos de semilla. Las combinaciones de estas medidas positivas también incrementaron la producción. Sin embargo, su costo las vuelve improbables.

El incremento en las cantidades de fertilizante resultó ser una medida de adaptación común para todos los sitios de estudio. Se experimentó con urea, pues este procedimiento es considerado como el más económico.

La Gráfica 2 muestra que la medida de adaptación tiene impactos positivos en los rendimientos de los siete sitios para los escenarios básico y de cambio climático, considerando también los escenarios que incluyen los efectos fisiológicos de una concentración del doble de CO₂.

Para obtener una tasa de costo-beneficio (Gráfica 3) se hizo un análisis de costos muy simple, que no considera las fluctuaciones de los costos en el tiempo. Los precios de las semillas, fertilizantes y toneladas de maíz.

En la Gráfica 3 se hace especial contraste entre los beneficios obtenidos, considerando los escenarios observados y los de cambio climático (S/A significa sin adaptación y C/A con adaptación). Para los sitios de Puebla, ni siquiera ahora es económicamente viable la producción sin incrementar los fertilizantes. Sin tomar en cuenta estos dos sitios, la medida de adaptación propuesta es benéfica bajo condiciones de cambio climático.

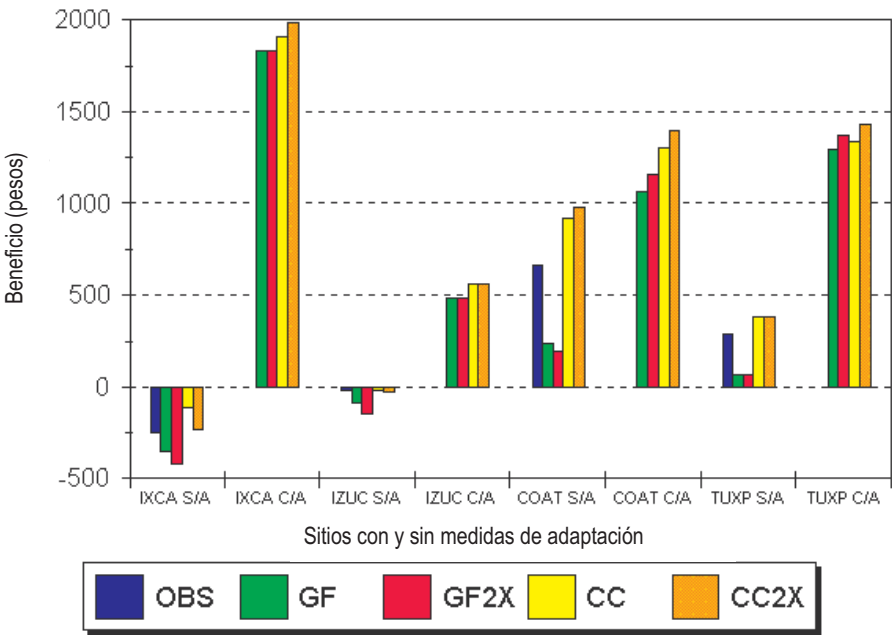
GRÁFICA 2. ADAPTACIÓN

Rendimiento Ton/Ha

Sitios



GRÁFICA 3. BENEFICIOS ESPERADOS EN LOS SITIOS DE PUEBLA Y VERACRUZ CON Y SIN MEDIDAS DE ADAPTACIÓN



ASENTAMIENTOS HUMANOS

La vulnerabilidad de los asentamientos humanos ante un cambio climático estaría también en función de factores no climáticos, los cuales, al combinarse, pueden recrudecer o mitigar los efectos de este fenómeno.

Entre los factores no climáticos más importantes podemos señalar: crecimiento demográfico, urbanización, industrialización y la presencia de enfermedades. Por su parte, los factores climáticos, de acuerdo con las predicciones de los modelos aplicados se refieren a aumentos en el nivel del mar, en la precipitación y en la temperatura. Las principales consecuencias de éstos serían la inundación de zonas costeras, mayor frecuencia de islas de calor en ciertos asentamientos urbanos, periodos de sequía y temporadas más húmedas y cálidas. Estas variaciones pueden, a su vez, propiciar cambios en la distribución y la conducta de los asentamientos humanos.

Probablemente, los asentamientos humanos más vulnerables sean aquellos que se encuentran en zonas con una gran presión ambiental, ya sea debido a altas concentraciones demográficas, procesos de urbanización demasiado rápidos, alta incidencia de enfermedades, o a un marcado deterioro general del medio ambiente.

Es el caso, por ejemplo, de las grandes zonas urbanas del país o de las zonas pobladas con una deficiente dotación de servicios y malas condiciones sanitarias.

Para evaluar la vulnerabilidad de los escenarios al cambio climático, se utilizaron cuatro criterios: crecimiento y distribución demográfica, urbanización, morbilidad y consumo de agua.

Escenario base

- *Crecimiento y distribución de la población*

El crecimiento demográfico del país en los últimos años se ha caracterizado por su tendencia a aumentar en números absolutos. Esta tendencia seguramente se mantendrá en el futuro próximo con un crecimiento de población que se mantiene en números absolutos, pero a un ritmo menor. Se puede definir cuáles son las zonas con mayor o menor vulnerabilidad desde el punto de vista de la distribución regional de acuerdo con dos variables principales: la concentración absoluta de población y la densidad de población (la relación del número de habitantes por km²).

En cuanto a la concentración de población, las zonas más pobladas se localizan en una franja central que incluye, de oeste a este, a los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Estado de México, Distrito Federal, Puebla y Veracruz. Adicionalmente se pueden agregar los estados de Oaxaca y Chiapas hacia el sur, y el estado de Nuevo León en la zona norte del país. En cada uno de ellos se concentran más de 3 millones de habitantes. Los estados mencionados concentran, en conjunto, 62.2% de la población total del país.

Considerando la densidad de población se obtiene una visión bastante similar, pero posiblemente más definida. Se destaca una gran agrupación central en el país donde existen las mayores concentraciones demográficas por unidad de superficie (más de 100 hab/km²). El Distrito Federal y el Estado de México sobresalen con una densidad de población de más de 300 hab/km². Les siguen Aguascalientes, Guanajuato, Morelos, Tlaxcala y Puebla, con densidades que fluctúan entre 100 y 300 hab/km². Con densidades menores (50-100 hab/km²) se completa una franja central que va desde los estados de Colima, Michoacán y Jalisco en el oeste, hasta el estado de Veracruz, en el Golfo de México.

- *Proceso de urbanización*

La población urbana se caracteriza por su rápido crecimiento, (en 1990 representaba 61% de la población nacional). Dicho crecimiento es incluso mayor que el rural o el de la población total. En este caso, la definición de áreas vulnerables se relaciona directamente con dos variables: el acelerado ritmo de crecimiento (tasas de crecimiento) y el porcentaje de población urbana con respecto a la total.

Tomando en cuenta la tasa de crecimiento de la población urbana, es importante identificar aquellos estados que registran los mayores ritmos de crecimiento urbano. Al combinarse estas dos variables, se identificaron los espacios de mayor vulnerabilidad. Las tasas de crecimiento urbano más altas (por arriba de 5.1%) se registran en la porción central del país, donde sobresalen los estados de Hidalgo, Zacatecas, Guanajuato, Querétaro y Estado de México. Hacia la zona sur destacan los estados de Tabasco, Quintana Roo y Yucatán, con un ritmo acelerado de urbanización, al igual que los estados de Oaxaca, y Chiapas que presentan altas concentraciones de población en números absolutos. En la zona norte resalta el estado de Baja California Sur.

En relación con la población total, se observa que las mayores concentraciones urbanas (más de 60% de la población total) se encuentran en algunos estados de la región centro, como son Jalisco, Colima, Aguascalientes, Guanajuato, Estado de México, Distrito Federal y todos los estados de la frontera norte.

- *Morbilidad*

Los efectos de un cambio climático en la salud pueden ser directos, a través de ondas de calor o inundaciones, por ejemplo; o indirectos, como en el caso de los cambios en la frecuencia de trans-



misión de enfermedades infecciosas o aquellas transmitidas por vectores. La vulnerabilidad de los asentamientos humanos en este caso también estará relacionada con su dotación de recursos naturales, su desarrollo técnico y de servicios públicos. Para una primera evaluación de las zonas más vulnerables de México se toman en cuenta dos grupos de enfermedades, de acuerdo con su forma de transmisión: enfermedades infecciosas transmitidas por vector (dengue, oncocercosis, paludismo, leishmaniasis, tripanosomiasis, etc.) y enfermedades infecciosas que no se transmiten por vector (cólera, paratifoidea, salmonelosis, fiebre tifoidea, shigelosis, etc.).

En el primer grupo de enfermedades, la transmisión se realiza a través de un agente intermedio infeccioso (generalmente un insecto). La proliferación de estos insectos está directamente relacionada con ciertas condiciones de temperatura, humedad o presencia de cuerpos de agua. El segundo grupo de enfermedades no se transmite por medio de ningún vector y se relaciona directamente con la distribución y la calidad del agua superficial. Las condiciones propicias se encuentran en zonas de inundaciones o con servicios de drenaje deficiente. En 1993, la mayor morbilidad se localizó fundamentalmente en algunos estados de la porción sur de las vertientes del Golfo de México y del Océano Pacífico, coincidiendo con zonas tropicales húmedas y semi-secas. Asimismo, hubo una alta concentración de esta morbilidad en la zona central del país, que coincide con áreas de alta urbanización.

- *Consumo de agua*

La disponibilidad de este recurso está directamente relacionada con el clima, en particular con la precipitación. Al crecer los centros urbanos, sus necesidades de agua aumentan. Bajo las condiciones de un cambio climático, los estados con climas áridos o semi-áridos probablemente experimenten situaciones de desertificación y/o aridez, siendo más vulnerables en el consumo de agua. Para 1991, los mayores consumos de agua por habitante se encontraban en Baja California Sur, Chihuahua y Coahuila, con un suministro de más de 350 litros/día por habitante.

En el centro del país destacan Aguascalientes, Colima, Distrito Federal y Jalisco. En la porción sur, el estado de Quintana Roo.

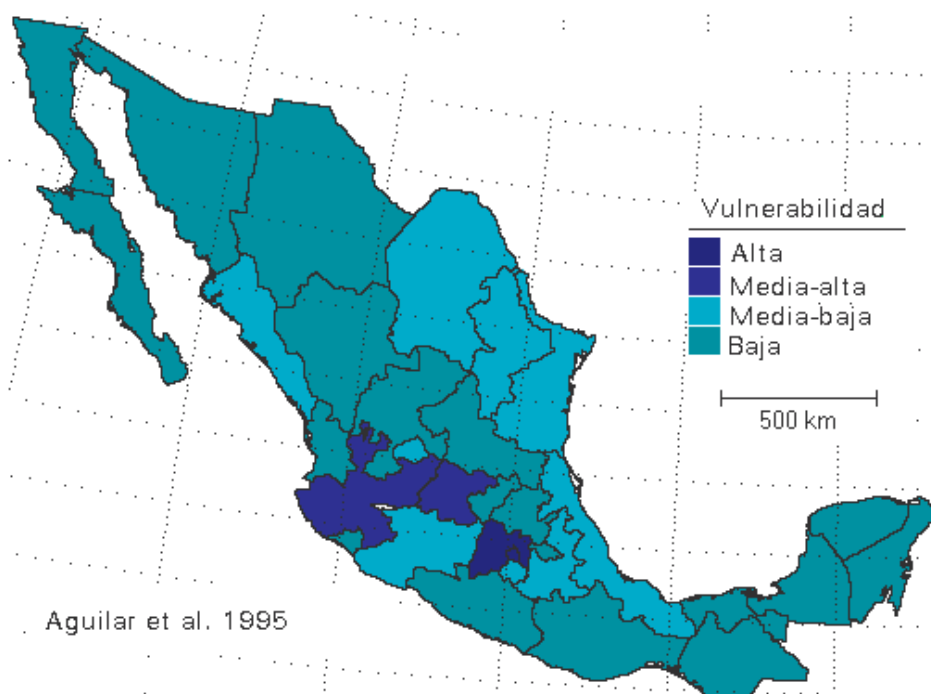
Grados de vulnerabilidad general

De acuerdo con las variables antes señaladas, se calculó el grado de vulnerabilidad general para cada uno de los estados del país de acuerdo con la siguiente escala:

1. Vulnerabilidad baja
2. Vulnerabilidad muy baja
3. Vulnerabilidad media
4. Vulnerabilidad alta
5. Vulnerabilidad muy alta

El Distrito Federal y el Estado de México presentan una alta vulnerabilidad; Guanajuato y Jalisco media-alta; el resto de los estados registran una vulnerabilidad media-baja y baja.

MAPA 14. VULNERABILIDAD DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO



ZONAS COSTERAS

Introducción

Para realizar este estudio se seleccionó la zona costera del Golfo de México, debido a que se trata de una unidad oceanográfica natural altamente productiva, que representa 27% de los litorales de México. En ella se localizan:

- Cerca de 70% de los ríos, estuarios, lagunas y pantanos tropicales costeros.
- Seis de los 10 principales puertos pesqueros del país.
- Tres de los cinco puertos industriales de México.
- Más de 80% del petróleo crudo y 90% de la producción de gas.
- Constituye un hábitat de gran importancia para la biodiversidad, incluyendo pantanos costeros, pastizales marinos, bosques de manglar, lagunas costeras y estuarios, bocas estuarinas que comunican aguas protegidas con el mar y la descarga estuarina en la meseta continental marina.
- Sus pantanos son cruciales para las aves acuáticas y son usados de modo intensivo por aves migratorias (Epomex, 1994¹).

Además, a diferencia de lo que sucede en la costa del Pacífico, en la cual —por su origen y comportamiento geológico de colisión de placas— dominan las líneas de costa en levantamiento, en el Golfo prevalecen las costas pasivas o de descenso. Los tramos de costas de hundimiento causan problemas por el ascenso aparente en el nivel del mar.

La costa mexicana circundante al Golfo de México tiene un desarrollo longitudinal de 3,117 km. incluyendo al litoral del Mar Caribe. En su mayor parte, el relieve costero está constituido por una amplia franja de llanura costera que llega a medir de 30 a 150 km. de ancho.

La repercusión del calentamiento global sobre la costa no implica una elevación homogénea del mar. Durante los últimos cien años, en todas las latitudes la elevación global del nivel medio del mar ha sido de +/- 15 cm; sin embargo, la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency) de Estados Unidos ha predicho que el nivel del mar podría ascender a un máximo de 4.5 m en corto tiempo. Hay mucha controversia al respecto, en especial por las variaciones que ocurren a escala local.

Existen diversos factores atenuantes que están controlando los cambios en el nivel medio del mar; van desde cambios en las masas oceánicas debido al aporte de hielo y glaciares en las regiones polares, como respuesta al calentamiento climático con todas sus consecuencias (variaciones en el volumen del océano, cambios en el campo gravitacional debido a la redistribución del hielo, agua y ajuste dentro del manto de la Tierra, etcétera), hasta cambios en el régimen de descargas de los ríos o cambios en las corrientes oceánicas, por mencionar sólo algunos.

Metodología

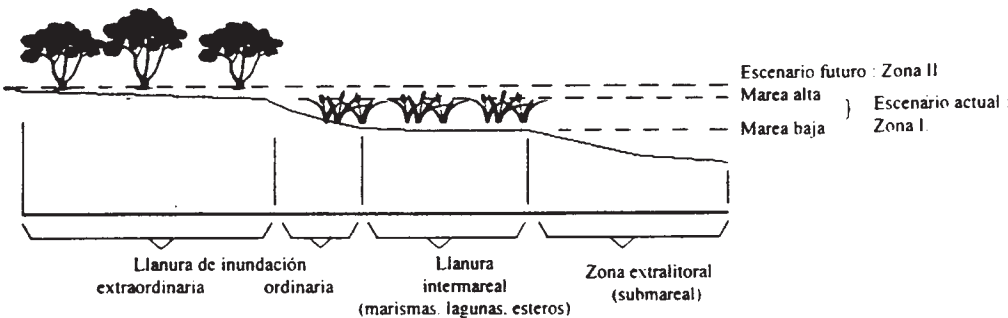
Se evaluó el estado actual de las condiciones fisiográficas de la costa del Golfo de México a partir de las características geomorfológicas del litoral mediante la interpretación de fotografías aéreas, imágenes de satélite y la verificación de campo.

La zonificación de los escenarios básicos se basó en la distribución actual de los componentes geomorfológicos del perfil longitudinal de la costa, dividiéndose en dos zonas: la cubierta alternativamente por la marea o zona intermareal (Escenario Base), de impacto directo en las variaciones del nivel del mar, y la franja adyacente comprendida entre el nivel medio de las pleamares altas y los dos metros de altura aproximadamente (Escenario Futuro), que por su disposición constituye un área de amortiguamiento o riesgo potencial (Figura 1).

La zonificación de los escenarios futuros se identificó a partir de una base de datos altimétricos equidistantes a cada 90 m a lo largo del litoral, generando con esta información los modelos digitales del terreno con el objeto de conocer la distribución de las áreas críticas.

Además, se llevó a cabo el reconocimiento del uso del suelo, con el objeto de estimar el grado de vulnerabilidad del litoral.

FIGURA 1. ZONIFICACIÓN DE ESCENARIOS



Con el fin de facilitar la interpretación de los resultados, la costa se dividió en 5 zonas:



Para cada una de ellas se realizó la evaluación de las zonas de intermareas y de amortiguamiento o riesgo potencial.

Resultados

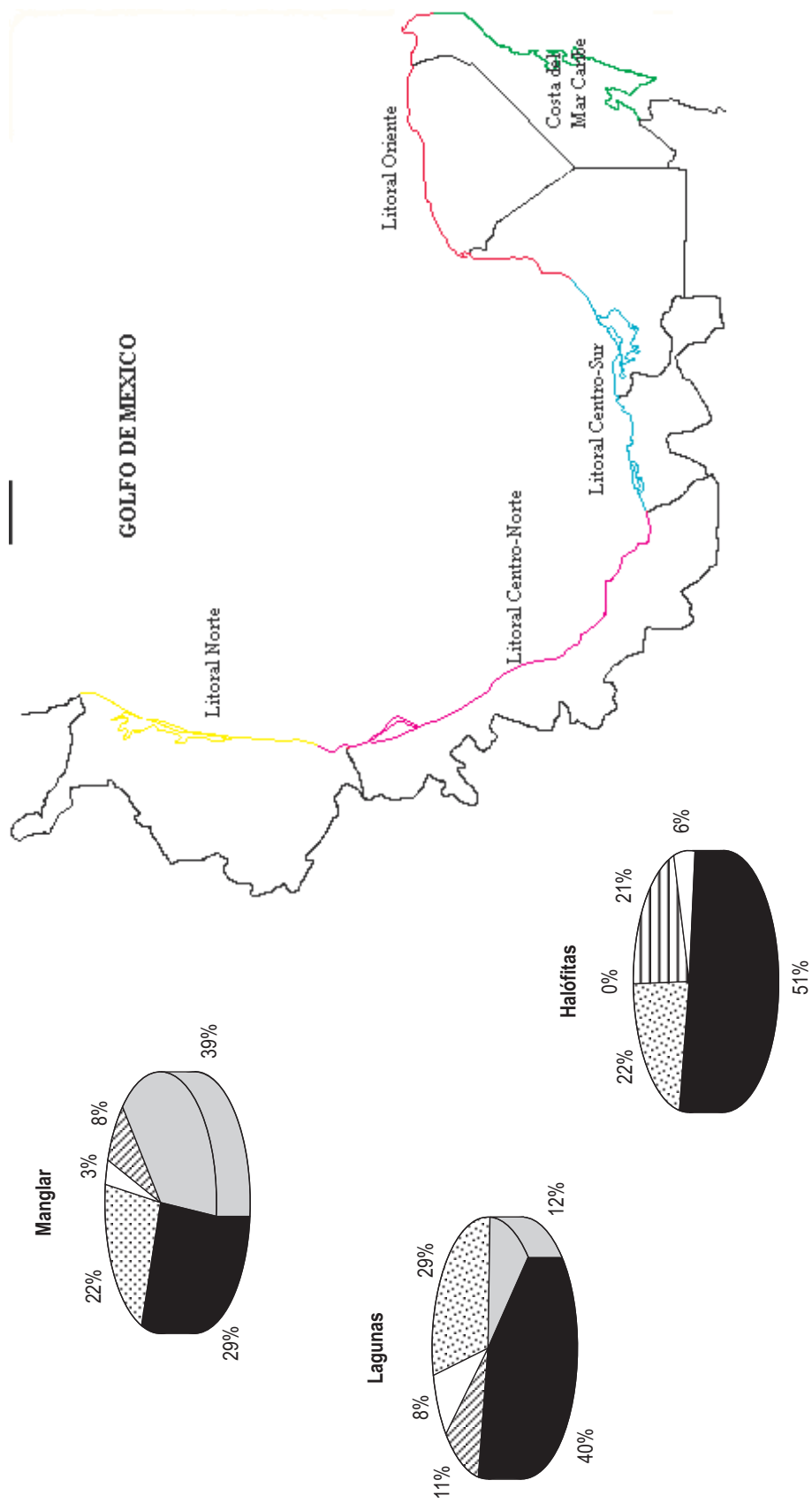
• *Escenario base. Zona I o intermareal*

En esta zona se evaluaron marismas con manglar y marismas con halófitas, comunidades que —entre otros aspectos importantes— actúan en la estabilización de las costas a través del sistema de raíces superficiales que fijan y protegen la playa; promueven la formación del suelo al capturar detritus, condición que se da cuando el nivel del mar es estable o varía ligeramente, pero cuando se eleva, las zonas de manglar migran tierra adentro.

Se considera la probabilidad de modificaciones importantes debido a que si la línea de costa avanza tierra adentro, el manglar también lo hará; siempre y cuando los mangles no estén sometidos a un desequilibrio ecológico importante, como son las perturbaciones que el hombre provoca (deforestación, rellenos y cambios de drenaje) o las derivadas de efectos naturales (huracanes, sedimentación), que pueden causar modificaciones en los ecosistemas.

La distribución de estos tipos de vegetación costera predomina hacia el sur del Golfo de México, debido a una mayor distribución de los recursos hídricos, representados por amplios sistemas fluviodeltaicos de la franja tropical (Figura 2).

FIGURA 2. ZONA | O INTERNAREAL



• *Escenario futuro. Zona II, de amortiguamiento o riesgo potencial*

En esta zona se sitúan áreas susceptibles o vulnerables a la penetración de la cuña salina, como son las lagunas, los pantanos y los esteros. Al ser afectadas por altas concentraciones de sal, se modifican las propiedades del sustrato, del suelo y del agua, por ende, del ecosistema en general. Los pantanos presentan una distribución centro-sur a lo largo de la costa de Tabasco y Campeche.

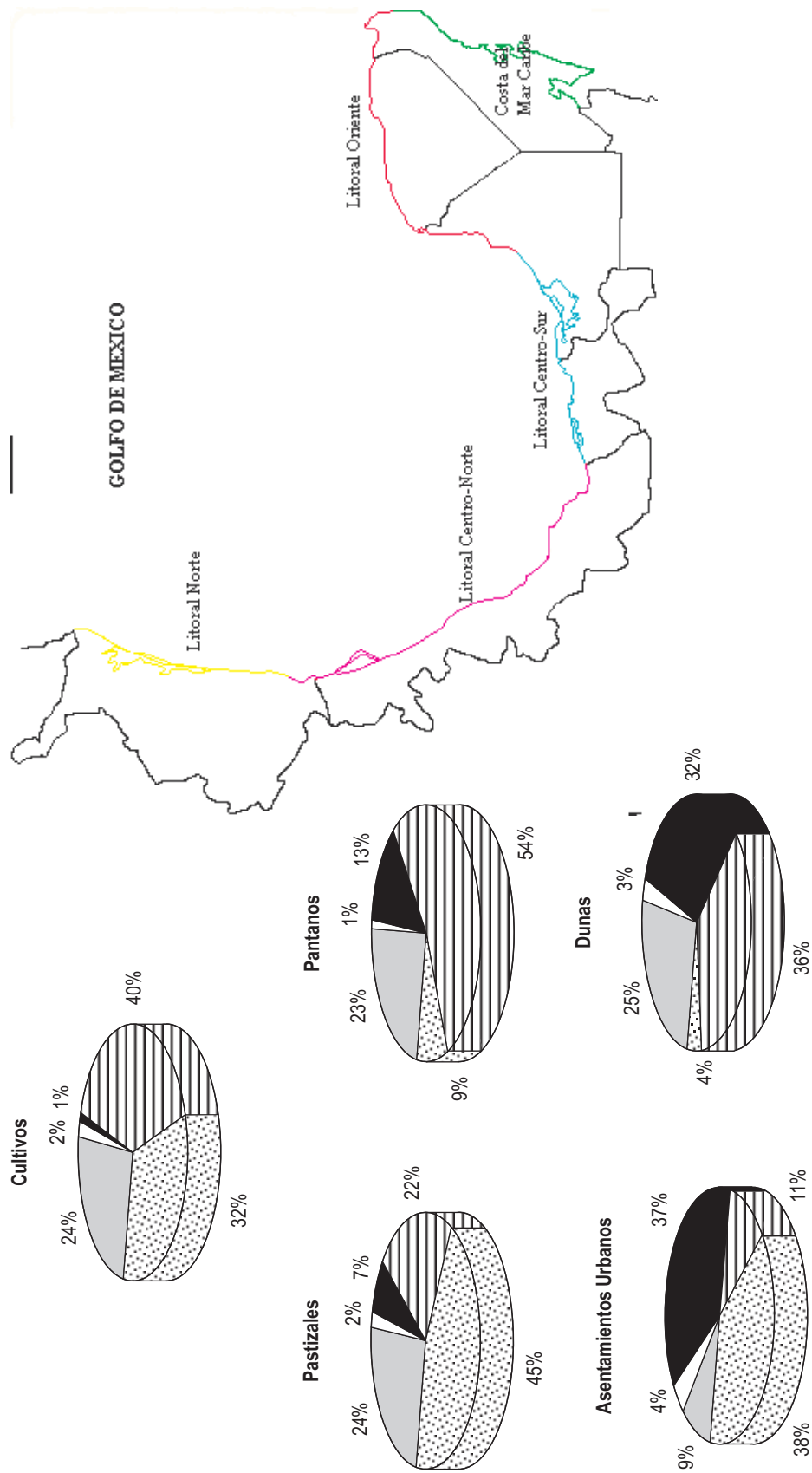
Otras áreas importantes en el ámbito productivo son los pastizales y tierras agrícolas, las cuales también se contaminan con la intrusión salina y son reemplazadas por ambientes costeros. Estas unidades también se distribuyen en la porción centro y sur de la costa del Golfo de México (Tabla 6 y Figura 3).

TABLA 6. AREAS TOTALES (KM²) POTENCIALMENTE VULNERABLES AL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR
 (POR TIPO DE USO DE SUELO)

	Pantanos	Pastizales	Agricultura	Campos de dunas	Asentamientos urbanos
Litoral norte	57.45	343.11	50.64	227.02	6.14
Litoral centro - norte	734.05	1111.11	1623.28	254.50	55.74
Litoral centro - sur	3076.48	2225.54	1315.07	31.04	17.07
Litoral oriente	506.27	1217.49	987.36	173.41	57.34
Litoral del mar Caribe	1338.60	98.78	83.09	18.26	12.87
Total	5712.85	4996.03	4059.44	704.23	149.16



FIGURA 3. ÁREAS VULNERABLES A LA PENETRACIÓN DE LA CUÑA SALINA

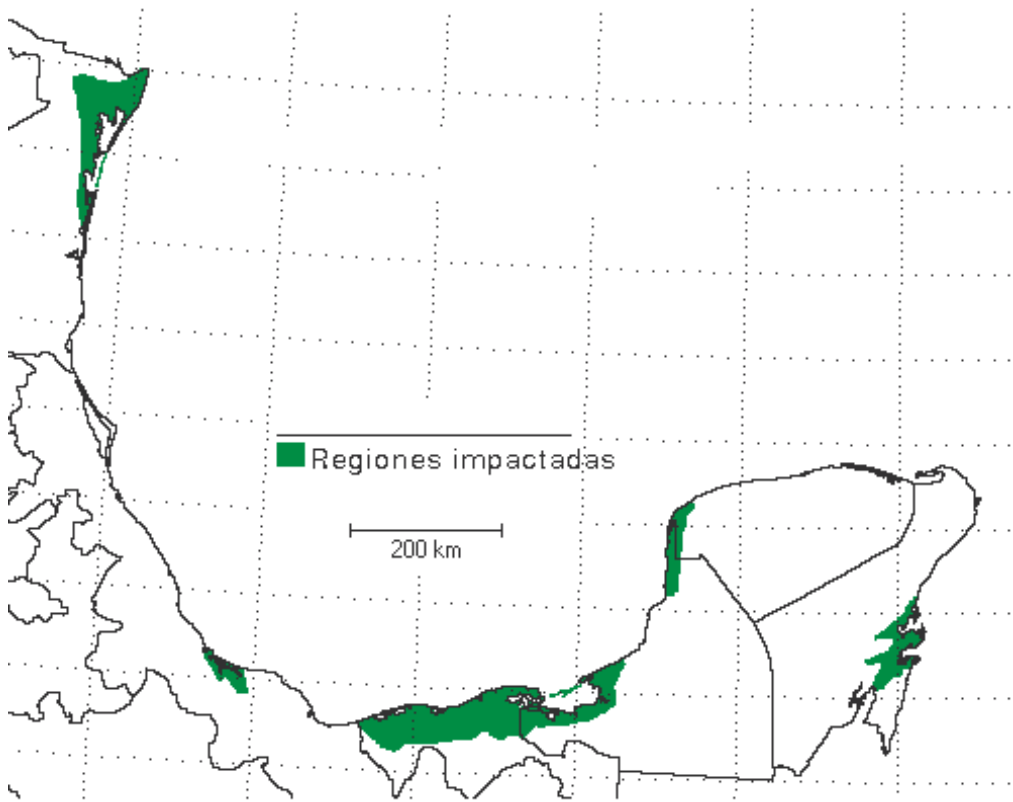


Conclusiones

Se evaluaron los escenarios más vulnerables localizados a lo largo del litoral del Golfo de México y del mar Caribe. Se encontraron cinco zonas: la laguna deltaica del río Bravo, en Tamaulipas; la laguna de Alvarado y el curso bajo del río Papaloapan, en Veracruz; el Complejo deltaico Grijalva-Mezcapala-Usumacinta, en Tabasco; Los Petenes, en Yucatán y las bahías de Sian Ka'an y Chetumal, en Quintana Roo (Mapa 15).

Debido a que la mayoría de las costas del Golfo y del mar Caribe son bajas y arenosas, con extensos humedales adyacentes, se disponen a menos de un metro sobre el nivel del mar. Tal franja de distribución marginal será directamente afectada por las variaciones del nivel del mar. De las cinco zonas identificadas sobresale por su alta vulnerabilidad la del Complejo Deltaico Tabasqueño.

MAPA 15. REGIONES IMPACTADAS POR EL ASCENSO EN EL NIVEL DEL MAR



DESERTIFICACIÓN Y SEQUÍA METEOROLÓGICA

Metodología

La evaluación de la vulnerabilidad a la desertificación se realizó utilizando cinco índices climáticos: a) erosividad hídrica, b) erosividad eólica, c) deterioro por salinización y alcalinización, d) deterioro químico por lixiviación de bases, y e) deterioro biológico por pérdida de materia orgánica.

A cada uno de los índices se le asignó algún tipo de riesgo: 1) nulo a ligero, 2) moderado, 3) alto y 4) muy alto. Además, se les otorgó un valor de factor que sirvió para la evaluación posterior de la erosión hídrica.

Posteriormente se evaluó la erosión hídrica, para lo cual se utilizó un esquema obtenido de la conjugación de dos métodos: el editado por Shields y Coote (1989) y el de FAO (1980), con pequeñas modificaciones. Este procedimiento se basa en el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).

El riesgo potencial de erosión hídrica es el producto de los factores de la erosividad hídrica por la erosividad del suelo por el factor de longitud-pendiente del terreno. Resulta de una estimación del riesgo (en este trabajo se consideró como riesgo potencial) de erosión media anual de tipo laminar y en arroyuelos esperada, si un área es labrada continuamente hacia arriba y hacia abajo de la pendiente dominante y sin vegetación. De tal forma que el valor del producto representa el potencial inherente de un suelo a la erosión laminar y en arroyuelos (Committee on Conservation, 1986).

El riesgo actual por erosión hídrica se obtiene cuando los valores del factor de cobertura vegetal son multiplicados por el producto de los factores de la erosividad hídrica por la erosionalidad del suelo por el factor de longitud-pendiente del terreno (riesgo potencial de erosión hídrica), para representar la reducción en la erosión inherente resultante de cultivos sucesivos, prácticas de labranza y residuos de plantas sobre la superficie del suelo, lo cual se puede interpretar como la velocidad actual de erosión (riesgo actual).

Una vez obtenidos los resultados anteriores, se elaboraron los mapas de riesgo potencial y actual de erosión hídrica, aplicando los mismos modelos. Se comparó el mapa base de riesgo por erosión hídrica con el modelo GFDL-R30 para identificar las áreas con incremento o decremento en el riesgo de erosión. Sólo se comparó este modelo, ya que el CCCM presenta resultados prácticamente idénticos al escenario base.

La vulnerabilidad global a la desertificación se determinó mediante la interpretación de los mapas de vulnerabilidad particular de las variables analizadas (clima, erosión hídrica, eólica, pendiente del terreno, etcétera). La vulnerabilidad global puede considerarse como la "susceptibilidad actual observada" que presenta el territorio nacional a la desertificación de los suelos. Se maneja-ron cinco rangos, de muy bajo a muy alto.

Resultados

La evaluación de los índices climáticos con base en los tres escenarios se presenta en la Tabla 7. En ella se detalla su comportamiento y se muestran las zonas que presentaron los valores más altos de deterioro.

• *Riesgo potencial por erosión hídrica*

Los resultados del riesgo potencial por erosión hídrica presentan un comportamiento similar en la superficie que cubre cada una de las clases, tanto para el escenario base como para los modelos GFDL-R30 y CCCM. De los resultados, resalta que la clase extrema ocupa la mayor parte del territorio: 38% para el escenario base y el modelo CCCM y 41% de la superficie de esta clase para el modelo GFDL-R30. Las clases moderada y severa son las segundas en importancia (Tabla 8).

La distribución de las clases de riesgo en los mapas del escenario base y el modelo CCCM es muy similar. La clase baja se presenta en pequeñas áreas del centro y del altiplano así como al norte de Chihuahua y Sonora y en la península de Baja California; la clase moderada se presenta principalmente en el centro, en las costas de Sinaloa y Sonora y al sur y centro de la península de Yuca-

tán; la clase severa en el norte de Tamaulipas y Nuevo León, algunas partes de Veracruz y el norte de la península de Yucatán; la clase extrema se distribuye principalmente a lo largo de los sistemas montañoso del país y en la costa de Tabasco. El modelo GFDL-R30 cambia al extenderse la clase severa hacia casi todo el altiplano central, disminuyendo la clase moderada y la baja.

TABLA 7. EVALUACIÓN Y COMPORTAMIENTO DE LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS

Índice climático	Comportamiento	Zonas más afectadas
Erosividad hídrica	Aumenta de norte a sur y hacia las costas del golfo.	Sur de Veracruz, este de Oaxaca, Tabasco, Chiapas y Campeche.
Erosividad eólica	Aumenta hacia el norte del país	Tijuana, Mexicali y Baja California Sur
Salinización y alcalinización	Aumenta hacia el norte y el centro del país.	Altiplano central, Mexicali, centro de México, costas del Pacífico Sur, Baja California Sur y norte de Sonora.
Deterioro químico por lixiviación de bases.	Aumenta de norte a sur y hacia las costas a partir de la porción media del país.	Regiones húmedas y subhúmedas del país.
Deterioro biológico por pérdida de materia orgánica	Aumenta del centro a las costas y hacia el sur del país.	Zonas secas del país.

TABLA 8. RIESGO POTENCIAL POR EROSIÓN HÍDRICA

Clase	Escenario base		Modelo GFDL-R30		Modelo CCCM	
	Área Km²	%	Área Km²	%	Área Km²	%
Nulo	172,636	0,009	172,636	0,009	0	0
Bajo	257348,000	13,244	263981,400	13,585	88530,530	4,566
Moderado	578687,300	29,781	580201,400	29,859	492355,900	25,338
Severo	35036,000	18,323	342101,900	17,606	558498,100	28,742
Extremo	750870,900	38,643	756669,200	38,941	803761,200	41,364

• Riesgo actual por erosión hídrica

Los resultados del cálculo del riesgo actual por erosión hídrica para el escenario base se estima en 25% de la superficie del país en la clase extrema, y alrededor de 24% en la clase baja; prácticamente 50% del país se localiza dentro de estas dos clases. El cálculo del riesgo actual con base en los modelos muestra resultados análogos, con ligeras variaciones (Tabla 9).

Los mapas de riesgo actual del escenario base (Mapa 16) y los modelos CCCM (Mapa 17) y GFDL-R30 (Mapa 18) presentan resultados muy similares, concentrándose las clases nula y baja en la península de Baja California, el oeste de Sonora, el altiplano central del país, Tamaulipas y el sur de la península de Yucatán; las clases moderada y severa al noroeste y en pequeñas áreas del centro y sureste del país; por su parte, la clase extrema presenta la misma distribución de los escenarios de riesgo potencial.

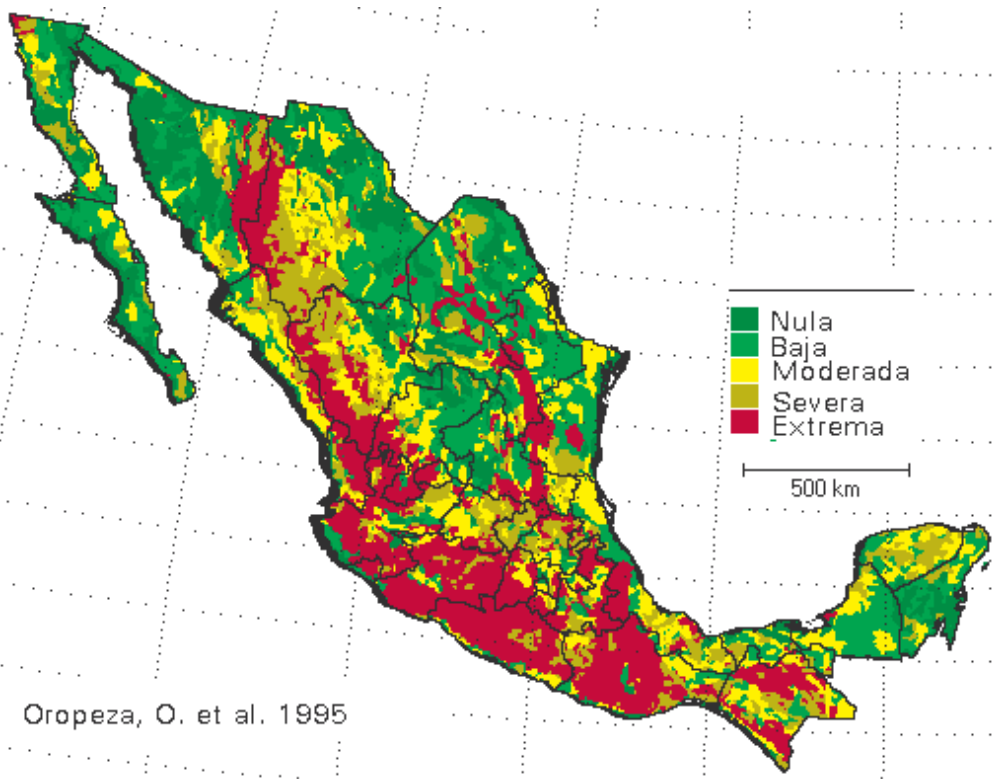


TABLA 9. RIESGO ACTUAL POR EROSIÓN HÍDRICA

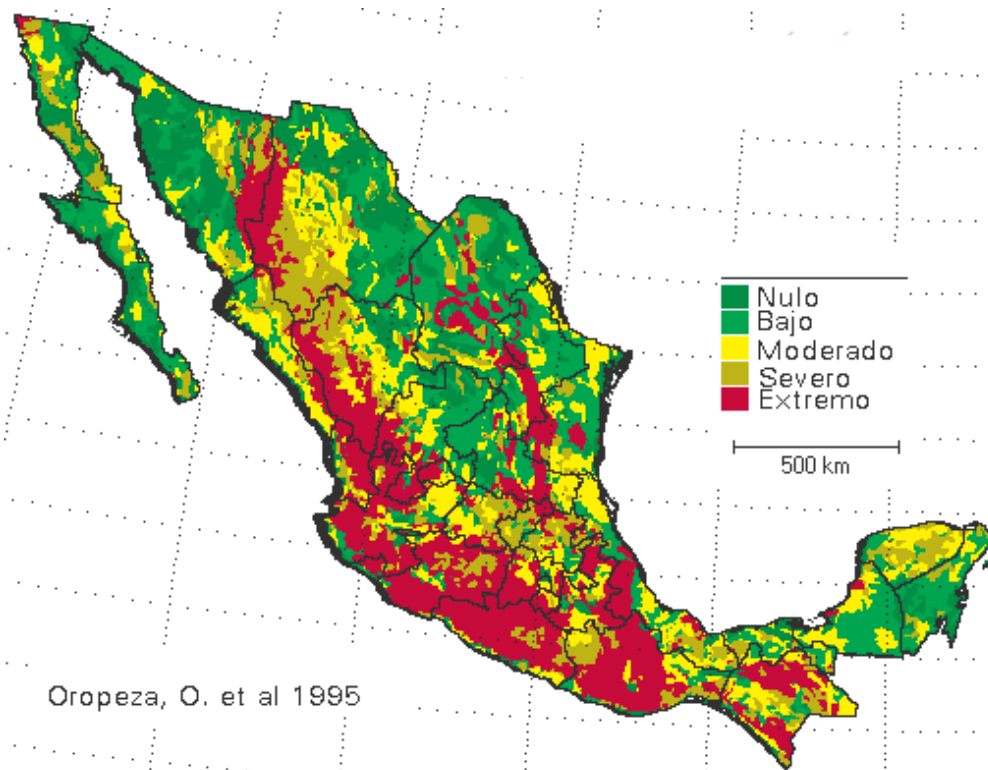
Clase	Escenario base		Modelo GFDL-R30		Modelo CCCM	
	Área Km²	%	Área Km²	%	Área Km²	%
Nulo	322902,400	16,562	320626,600	16,441	287238,500	14,731
Bajo	474568,400	24,342	470074,100	24,104	412269,900	21,143
Moderado	358511,500	18,389	372450,500	19,099	392741,700	20,141
Severo	304355,500	15,611	303765,200	15,576	285505,400	14,642
Extremo	489276,300	25,096	483235,900	24,779	572184,100	29,344

Los mapas de riesgo de potencial de erosión hídrica y actual muestran una fuerte influencia de las variables denominadas pendiente, tipo de suelo y cobertura vegetal. Esto se nota porque en los primeros hay mayor superficie en las clases moderada, extrema y severa, mientras que en el riesgo actual los porcentajes de superficie se encuentran distribuidos con mayor homogeneidad en las cinco clases, predominando las clases baja y extrema.

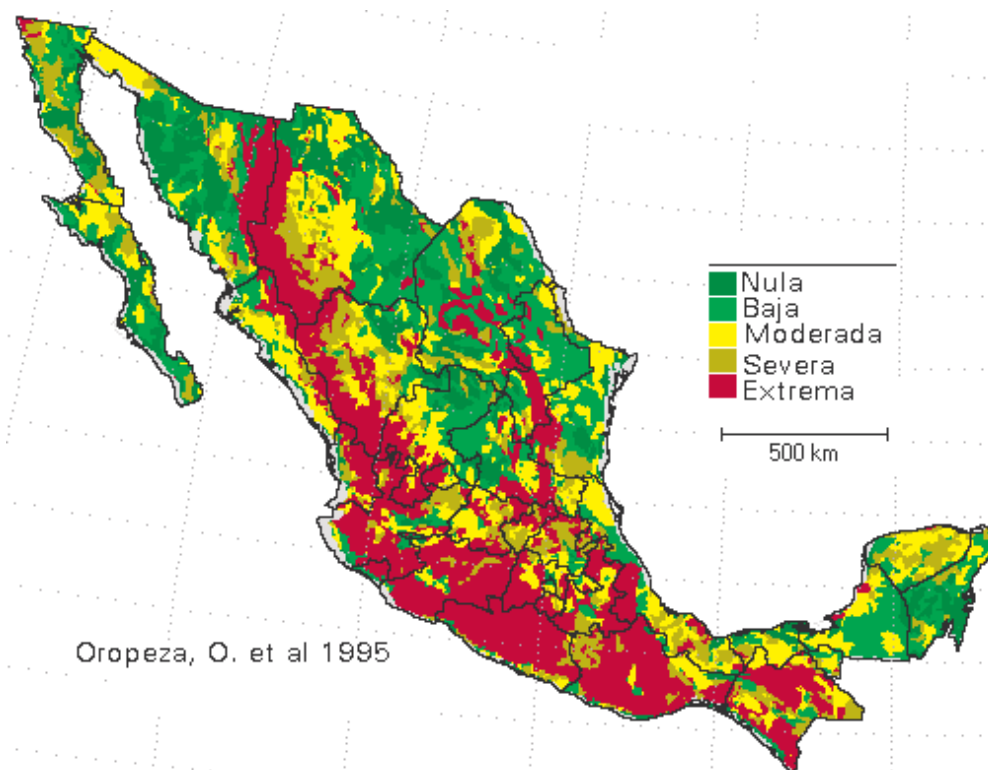
MAPA 16. RIESGO ACTUAL POR EROSIÓN HÍDRICA. ESCENARIO BASE



MAPA 17. RIESGO ACTUAL POR EROSIÓN HÍDRICA. MODELO CCCM



MAPA 18. RIESGO ACTUAL POR EROSIÓN HÍDRICA. MODELO GFDL-R30



Al comparar los mapas de riesgo potencial y actual resalta que el porcentaje de la superficie nacional clasificado como de riesgo extremo, en el riesgo potencial, se incrementa en más de 10%, tanto en el escenario base (38%), como en los modelos CCCM (39%) y GFDL-R30 (41%), en relación con el riesgo actual, con valores de 25%, 27% y 29% respectivamente para cada escenario. Mientras que la clase nula aumenta de menos de 1% en los escenarios de riesgo potencial a 14 y 16% en el de riesgo actual.

Las regiones clasificadas como extremas se localizarían en las principales elevaciones del territorio nacional. Este comportamiento se presenta en todos los mapas y puede explicarse por el peso de dos variables consideradas, como son pendiente y tipo de suelo y cobertura vegetal.

• *Vulnerabilidad global a la desertificación*

La evaluación de la vulnerabilidad global a la desertificación muestra los siguientes resultados: en el rango bajo existen áreas equivalentes a 2.5% del territorio mexicano, situadas principalmente en las planicies costeras de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche.

Las áreas con valor de vulnerabilidad alto tienen correspondencia con las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas; lo mismo que con zonas donde se concentra la población y las actividades económicas, como sucede con el centro del país. En el sur, este valor se relaciona con la extracción de los recursos forestales y el mal manejo de los suelos destinados a la agricultura y la ganadería.

A nivel estatal, Aguascalientes presentaría el mayor porcentaje de superficie (5.1%) con muy alto valor de vulnerabilidad. Por su parte, los estados de Baja California, Coahuila, Jalisco, Colima, Nayarit, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Sonora e Hidalgo presentarían un valor de vulnerabilidad alto en más de 68% de su superficie.

• *Sequía meteorológica*

La sequía meteorológica se define en función del déficit de precipitación, expresado en porcentaje, con respecto a la pluviosidad media anual o estacional de largo periodo y de su duración en una región dada.

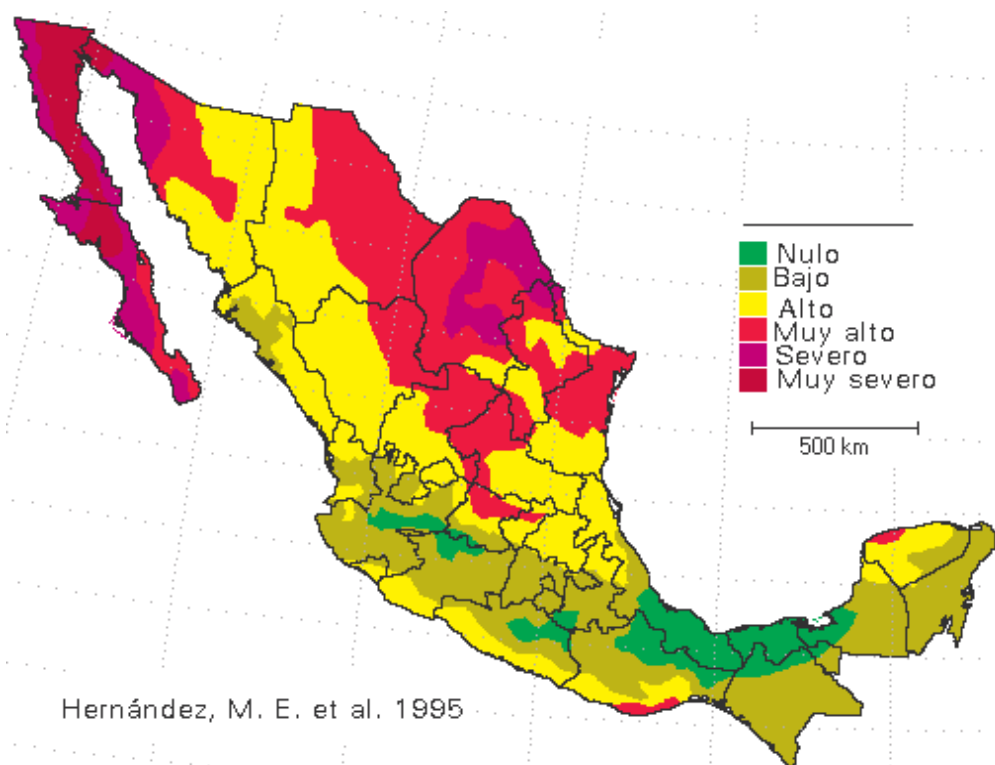
De acuerdo con los resultados obtenidos de los mapas de escenario actual, CCCM y GFDL (Mapas 19, 20 y 21) resalta lo siguiente: en el escenario actual, el índice de severidad muy fuerte cubre la mayor proporción de la superficie del país (33.2%), localizado al norte, noreste y centro de la república; los índices de severidad fuerte y severa cubren cada uno 24.4% del territorio en el norte, centro, costas del Pacífico sur y península de Yucatán. Los índices leve y extremadamente severa son los que tienen el menor porcentaje, con 6.3 y 3.6%, respectivamente (Tabla 10).

En cuanto al modelo CCCM, 36% del territorio nacional presenta un aumento en la severidad de la sequía meteorológica, 53% no presenta cambios y únicamente en 10% disminuye.

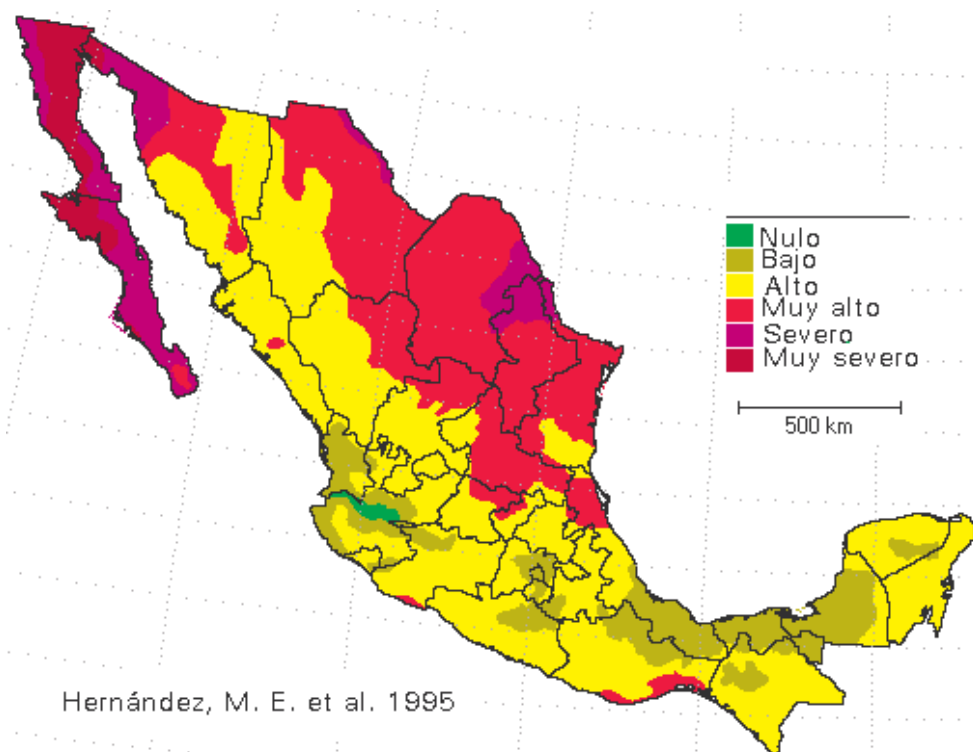
El área más pequeña (0.4%) resulta ser la designada con un índice de severidad leve; en contraste, la que abarca mayor superficie (41.7% del total del país) es aquella que presenta un índice de severidad muy fuerte, mientras que la severa cubre 30% del territorio nacional.

Los resultados de la comparación de los escenarios base y CCCM se presentan en la Tabla 11. Ahí se señalan los cambios por aumento o disminución de la severidad de la sequía meteorológica que sufren las áreas delimitadas en el escenario actual ante un posible cambio climático. En general, se puede decir que la severidad de la sequía meteorológica aumentaría en los niveles bajos. En el leve, 85.4% de su superficie pasó a la categoría fuerte y de esta última, 78.7% aumentó a muy fuerte.

MAPA 19. SEVERIDAD DE LA SEQUÍA METEOROLÓGICA. ESCENARIO BASE



MAPA 20. SEVERIDAD DE LA SEQUÍA METEOROLÓGICA. MODELO CCCM



MAPA 21. SEVERIDAD DE LA SEQUÍA METEOROLÓGICA. MODELO GFDL-R30

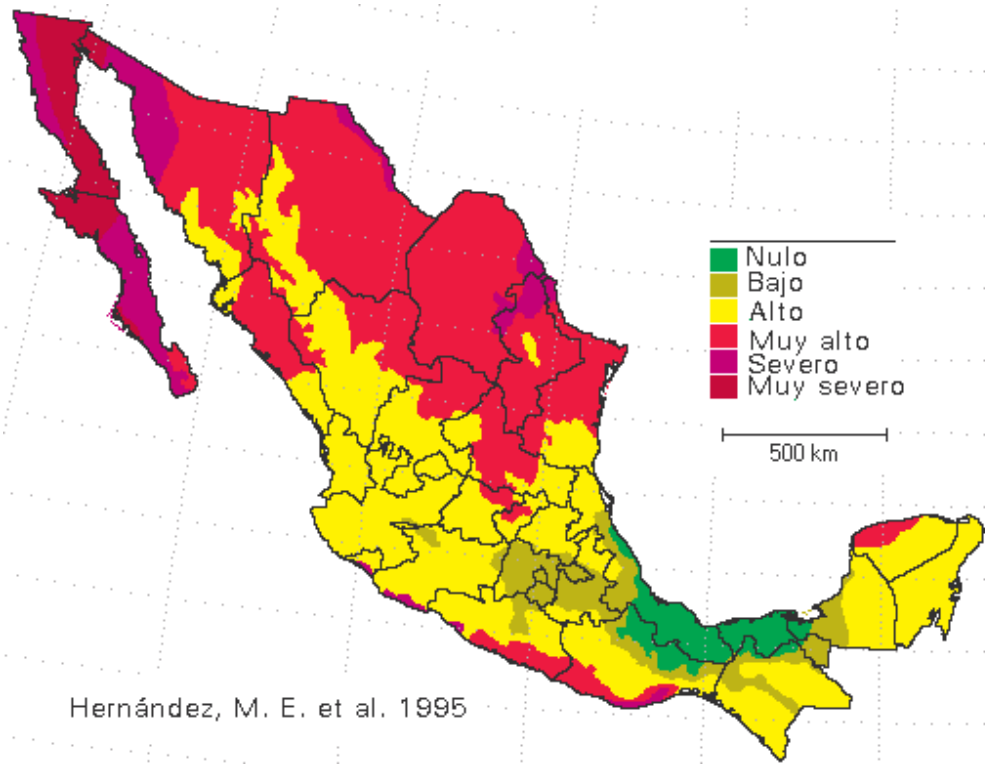


TABLA 10. COMPARACIÓN DE ESCENARIOS DE ACUERDO A LOS ÍNDICES DE SEVERIDAD DE LA SEQUÍA

Índice de severidad de la sequía meteorológica	Escenario actual		Modelo CCCM		Modelo GFDL-R30	
	Km2	%	Km2	%	Km2	%
Leve	123 411,8	6,3	8 287,1	0,4	84 857,2	4,4
Fuerte	474 841,7	24,4	212 044,8	10,9	123 631,3	6,4
Muy fuerte	644 707,6	33,2	915 025,6	47,1	743 596,6	38,2
Severa	474 908,5	24,4	582 501,5	30,0	765 511,7	39,4
Muy severa	156 730,4	8,1	151 022,1	7,8	143 572,1	7,4
Extremadamente severa	70 196,4	3,6	75 901,2	3,9	83 611,8	4,3

TABLA 11. COMPARACIÓN DE LOS ESCENARIOS BASE Y CCCM

Modelo CCCM						
Escenario actual	Leve	Fuerte	Muy fuerte	Severa	Muy severa	Extr. severa
Leve	4,57	85,4	10,1			
Fuerte	0,4	20,4	78,7	0,4		0,1
Muy fuerte	0,14	1,4	72,7	24,8	0,8	0,1
Severa		0,04	12,87	78,9	8,1	
Muy severa				29,2	60,9	9,8
Extremadamente severa				0,6	15,1	84,3

El resultado de la comparación de los dos escenarios muestra que los cambios en los niveles bajos se localizan al sur del paralelo 20°30' latitud norte y en la mitad oriental de la península de Yucatán, siendo los estados más afectados Tlaxcala (casi en su totalidad), Michoacán, Veracruz, Tabasco y Chiapas (en 90%), así como Guerrero, Oaxaca y Puebla (en 50% de su superficie).

En lo que concierne a la disminución de la sequía, el dato más relevante es el índice muy severo, donde 29.2% de la superficie pasaría a severo. Esta zona de cambio se localiza al norte del país, en el estado de Coahuila. Los demás valores fluctúan entre 0.01 y 12.87%, principalmente, en el norte del país.

En cuanto al modelo GFDL-R30, en 30.5% del territorio nacional se presenta un aumento en la severidad de la sequía meteorológica; en 61.1% no se muestran cambios y en el restante 7.8% del territorio disminuye.

De acuerdo con la proporción de la superficie que abarcan, en este modelo, destacan los índices de severidad muy fuerte y severo, con 28.2 y 39.4% respectivamente. El valor más pequeño corresponde a los índices de severidad leve y extremadamente severo, con 4.4 y 4.3%, respectivamente.

Los resultados de la comparación de los escenarios base y GFDL-R30 se presentan en la Tabla 12. En ella se señalan los cambios por aumento o disminución de la severidad de la sequía meteorológica que sufrirían las áreas delimitadas en el escenario actual ante un posible cambio climático. El cambio más grande en cuanto a la superficie modificada es la designada como fuerte, que pasa a muy fuerte en 73.3%; mientras, la muy fuerte está en segundo orden, al cambiar 44.3% de su superficie a severa.

Otro de los aumentos que conviene destacar es el que se da en el índice leve, en el cual 22.8% de su superficie pasaría a muy fuerte. Este cambio es muy brusco, pues del primer grado de severidad pasa al tercero de la escala utilizada. Estos cambios se localizan en las partes bajas y centrales de Jalisco y en la parte continental de la cuenca del Balsas, en los límites de Guerrero y Puebla.

A nivel estatal, las zonas más vulnerables serían las siguientes: la mitad norte de Sinaloa; cerca de 90% de la superficie de Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca; la totalidad del estado de Quintana Roo; y Campeche y Chiapas, con 75% de su superficie.

TABLA 12. COMPARACIÓN ENTRE EL ESCENARIO BASE Y EL OBTENIDO CON EL MODELO GFDL-R30

Modelo GFDL-R30						
Escenario actual	Leve	Fuerte	Muy fuerte	Severa	Muy severa	Extr. severa
Leve	60,0	17,1	22,8			
Fuerte	2,1	20,0	73,3	4,6	0,01	
Muy fuerte	0,06	1,3	53,1	44,3	1,2	
Severa			5,1	87,3	7,6	
Muy severa			0,3	28,6	58,7	12,4
Extremadamente severa					9,4	90,6

Los resultados de la comparación de los dos escenarios muestran que los cambios en los niveles bajos se localizan al sur del paralelo 20°30' latitud norte y la mitad oriental de la península de Yucatán. Los estados más afectados son Tlaxcala (casi en su totalidad); Michoacán, Veracruz, Tabasco y Chiapas (en 90%); Guerrero, Oaxaca y Puebla (en un 50% de su superficie).



Introducción

La vulnerabilidad de los ecosistemas forestales mexicanos ante al cambio climático es prácticamente un tema virgen, ya que la mayoría de los estudios que se refieren a éstos se centran en su papel como emisores o sumideros de carbono. Los estudios sobre cómo responde el bosque a cambios ambientales van desde los muy puntuales, de respuestas fisiológicas, hasta cambios a gran escala, como en la distribución de las especies vegetales, aspecto que desarrolla el presente estudio.

Metodología

El punto de partida para estos análisis es relacionar patrones de vegetación con condiciones ambientales en escala temporal y espacial.

Para el caso del estudio de País: México, se seleccionaron dos modelos de clasificación de la vegetación:

- La clasificación de zonas de vida de Holdridge, con el fin de hacer comparaciones a nivel internacional. Este modelo es un esquema de clasificación climática que relaciona la distribución de los mayores ecosistemas del mundo con variables climáticas de biotemperatura, media de precipitación anual y la relación obtenida de dividir la evapotranspiración potencial con la precipitación. Se recomienda su utilización para examinar patrones de vegetación y su relación con el clima a nivel mundial, pudiendo relacionar la influencia del cambio climático con la aptitud de una región para soportar diferentes tipos de bosque.
- La clasificación mexicana —que cuenta a nivel nacional con una clasificación climática y de vegetación adecuadas y representativas de las condiciones físico-bióticas del país— establece una relación entre clima y vegetación, usa la clasificación climática de García (1988) y el mapa de vegetación potencial de Rzedowski (1992). Brinda, además, la posibilidad de establecer una correspondencia con las clasificaciones internacionales.

Instrumentación de los modelos

El modelo de Holdridge requiere de datos de precipitación y biotemperatura disponibles para una malla base de latitud y longitud. Para su aplicación, se requiere crear una malla con intersecciones cada 0.5°, por lo que se estudiaron y evaluaron las estaciones meteorológicas que representaran las características climáticas del país a ese nivel de detalle y para las cuales se tuviera disponibilidad de datos de temperatura media y precipitación total a nivel mensual de un periodo de 30 años, comprendidos entre 1950 y 1980.

Para instrumentar el modelo de clasificación mexicana se realizó una evaluación de clasificaciones climáticas y de vegetación con que se cuenta en México, con el objetivo de identificar las condiciones climáticas que soporta cada tipo de vegetación y evaluar si un cambio climático modificaría de manera sustancial las condiciones en las que se desarrolla la vegetación de un área determinada.

Creación de escenarios

Se establecieron los modelos de evaluación forestal para obtener los escenarios base, a partir de los cuales se aplicaron los modelos de cambio climático.

• *Aplicación de tres modelos climáticos a la clasificación mexicana y creación de escenarios futuros de clima y vegetación*

Para desarrollar escenarios futuros se utilizaron los modelos GFDL-R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory), el CCCM (Canadian Climate Center Model) y variaciones arbitrarias de $+2^{\circ}\text{C}$ en la temperatura y de -10% en la precipitación.

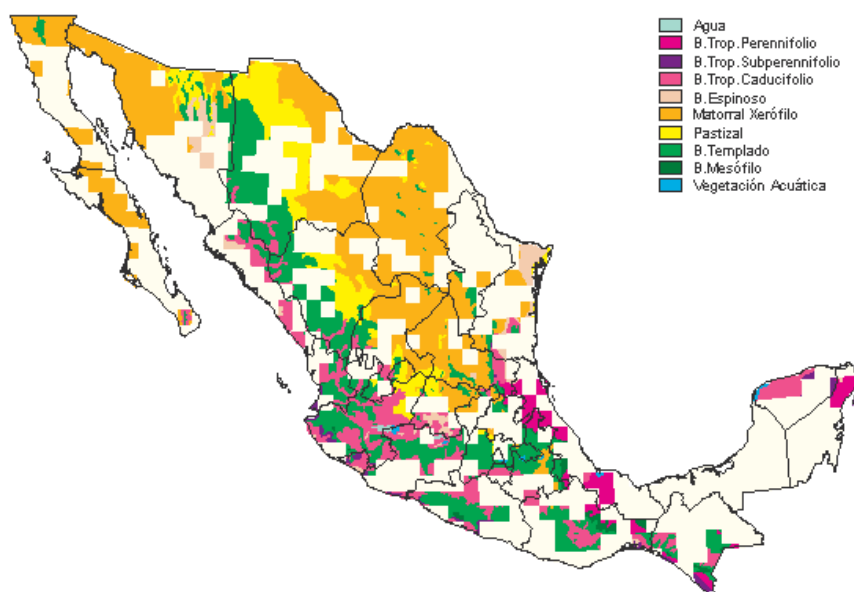
Al mapa de clima actual se le aplicaron las modificaciones de temperatura y precipitación sugeridos por los modelos, creando así mapas de los tres escenarios climáticos proyectados. Sobreponiendo estos mapas a los de clima actual se obtuvieron mapas en donde se muestran tanto las áreas del país que presentan cambios climáticos como las que no presentan variaciones. De igual forma, a cada uno de los mapas de cambio-no cambio se les superpuso el mapa de vegetación actual, con el fin de señalar las áreas de vegetación afectadas, de acuerdo con cada uno de los tres modelos climáticos.

En relación con el modelo de sensibilidad ($+2^{\circ}\text{C}$ en temperatura y -10% en precipitación), el tipo de vegetación más afectado, por estar expuesto a condiciones más secas y más cálidas, sería el bosque mesófilo de montaña (30%), seguido por los bosques templados (22.5%). El bosque espinoso y el bosque tropical caducifolio tienen alrededor de 10% de su superficie de distribución afectadas por la misma situación.

Las zonas más sensibles son las siguientes (Mapa 22):

1. La Sierra Madre Occidental, que incluye una parte de los estados de Chihuahua y Durango, y el norte de Jalisco.
2. El Cinturón Volcánico Mexicano.- Las serranías al sur del lago de Chapala, al oriente de Michoacán; el norte de Morelos y la sierra de Zongolica, en Veracruz.
3. Los bosques mesófilos al oriente de Oaxaca y la zona de Comitán, en Chiapas.

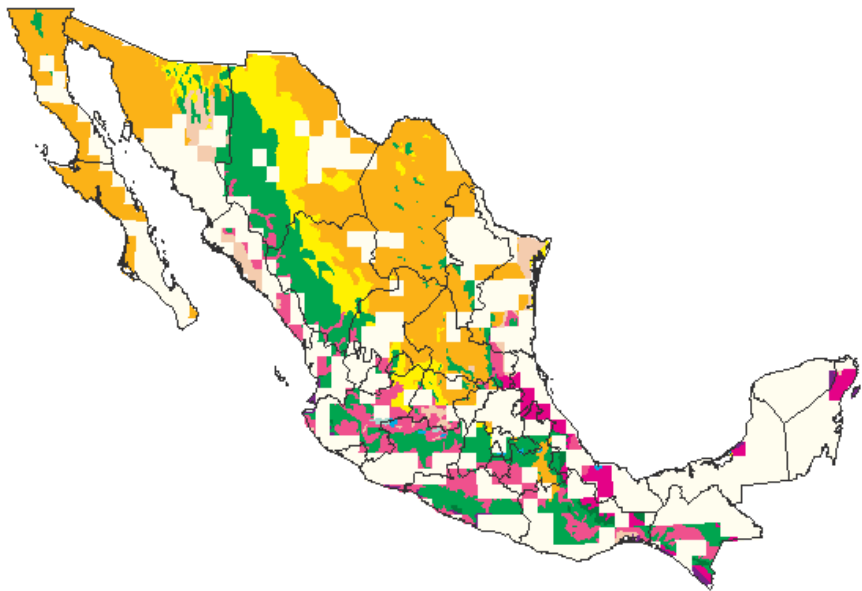
MAPA 22. MODELO DE SENSIBILIDAD



Los bosques tropicales perennifolios y los tropicales subcaducifolios conservan alrededor de 80% de su distribución en áreas que mantendrían el mismo tipo de clima.

En el modelo CCCM, cerca de 10% del área de casi todos los tipos de vegetación se verían afectados por condiciones más cálidas y secas. El mayor porcentaje de cambio se encuentra en los matorrales xerófilos del sur de Chihuahua, centro-este de Coahuila, norte de Zacatecas y San Luis Potosí (Mapa 23). Un área de gran extensión que enfrentaría el cambio climático se encuentra en climas cálidos, especialmente en pastizales, matorrales xerófilos y bosques de robles y de coníferas.

MAPA 23. MODELO CCCM



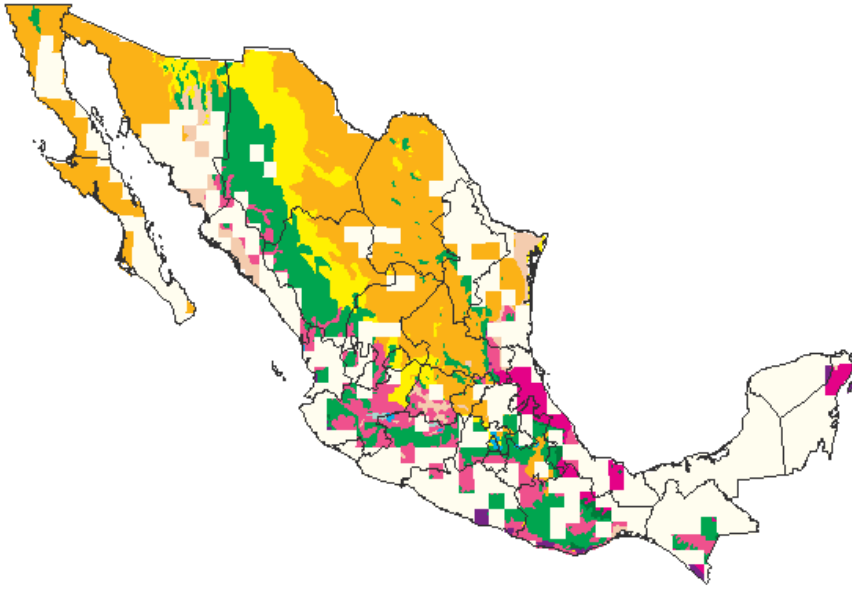
El modelo GFDL-R30 presenta otra perspectiva. En este caso, la temperatura y la humedad se incrementarían sobre gran parte de la superficie del país. Los bosques espinosos, tropicales caducifolios y tropicales subcaducifolios (de 11 a 17% de sus áreas actuales) se enfrentarían a incrementos en precipitación sin cambios en la temperatura, especialmente en Oaxaca y a lo largo de su frontera con Guerrero (Mapa 24). De la misma forma, las áreas cubiertas por bosques de robles y de coníferas y bosques mesófilos experimentarían aumentos en precipitación en casi 10%, a pesar de que una gran parte de éstas cambiarían a climas más cálidos. Las zonas cubiertas por matorrales xerófilos y pastizales también sufrirían aumentos de temperatura.

• *Aplicación de tres modelos climáticos a la clasificación de zonas de vida de Holdridge*

Se aplicó el programa computarizado de zonas de vida de Holdridge sobre la base de datos de clima actual, creando un mapa de 18 zonas de vida actual para México. Posteriormente se aplicó a los tres escenarios climáticos.

De acuerdo con la clasificación de Holdridge y con el clima actual, 60% de la superficie del país está cubierta por bosques tropicales y subtropicales secos y por bosques espinosos. Estos reciben una precipitación anual que va desde 250 mm a 2000 mm y una evapotranspiración potencial de entre 8 y 1. La temperatura de los bosques subtropicales oscila entre 17°C y 24°C, y para los bosques tropicales es mayor de 24°C. En orden de importancia, les siguen los matorrales subtropicales del desierto y los desiertos subtropicales, que cubren 15% del área total.

MAPA 24. MODELO GFDL-R30



El modelo de sensibilidad (+2°C y -10% precipitación) (Mapa 25) predice un incremento de 9% del área de los bosques tropicales secos y muy secos, y una reducción de 6% en los bosques subtropicales secos. Sesenta y siete por ciento de la superficie estaría cubierta por bosques tropicales y subtropicales secos y bosques espinosos, que actualmente cubren únicamente 60%.

Los bosques subhúmedos templados fríos y los secos templados cálidos se verían reducidos severamente (a menos de la mitad), mientras que los húmedos templados fríos desaparecerían y las estepas espinosas templadas cálidas prácticamente ya no existirían.

MAPA 25. MODELO DE SENSIBILIDAD

Bosques fríos
Estepas
Bosque templado seco
Bosque templado húmedo
Matorral desértico
Bosques espinosos
Bosques tropicales secos
Bosques subtropicales secos
Bosques tropicales

El modelo canadiense (CCCM) (Mapa 26) pronostica que los bosques templados cálidos se reducirían aún más (a temperaturas que van de 12°C a 17°C), del actual 4% a únicamente 1%. En este caso, el matorral desértico templado cálido y los bosques templados húmedos fríos desaparecerían. Los bosques subtropicales subhúmedos se reducirían fuertemente (Tabla 13). Por el contrario, los bosques tropicales muy secos y secos se incrementarían, al igual que la superficie cubierta por matorrales desérticos.

MAPA 26. MODELO CCCM

Bosques fríos
 Estepas
 Bosque templado seco
 Bosque templado húmedo
 Matorral desértico
 Bosques espinosos
 Bosques tropicales secos
 Bosques subtropicales secos
 Bosques tropicales

TABLA 13. SUPERFICIE (%) DEL PAÍS CUBIERTA POR CADA TIPO DE CLIMA Y VEGETACIÓN

Tipo de clima (Koppen, modificado Por García)	Tipo de vegetación (Rzedowski)	Actual	Modelo T+2°C pp -10%	Modelo CCCM	Modelo GFDL -R30
Cálido húmedo	Bosque tropical perennifolio	5.86	6.40	6.67	7.85
Cálido subhúmedo 2	Bosque tropical subperennifolio	3.67	1.33	1.71	6.35
Cálido subhúmedo 1	Bosque tropical caducifolio y bosque tropical subperennifolio	17.70	20.12	20.20	22.80
Semicálido húmedo	Bosque mesófilo	2.10	0.26	0.54	1.30
Semicálido subhúmedo 2	Bosque tropical subperennifolio y bosque mesófilo	0.38	0.91	0.13	2.02
Semicálido subhúmedo 1	Bosque tropical caducifolio	6.58	4.62	5.02	5.97
Templado húmedo	Bosque de coníferas y quercus	0.56	0.28	0.28	0.28
Templado subhúmedo 2	Bosque de coníferas y quercus	2.67	1.32	1.31	2.12
Templado subhúmedo 1	Bosque de coníferas y quercus	3.13	2.31	2.06	1.52
Semifrío	Bosque de coníferas	2.31	0.00	0.00	0.00
Seco cálido	Bosque espinoso y matorral xerófilo	11.00	19.67	18.10	18.38
Seco semicálido	Matorral xerófilo y bosque espinoso	10.50	11.03	21.96	15.68
Seco templado	Pastizal y matorral xerófilo	11.60	3.97	12.49	10.86
Árido cálido	Matorral xerófilo	6.07	16.88	7.96	4.33
Árido semicálido	Matorral xerófilo	11.37	10.26	1.58	0.51
Árido templado	Pastizal	4.72	0.63	0.00	0.00

Para el modelo GFDL (Mapa 27), los bosques templados fríos subhúmedos y húmedos, así como los cálidos, los matorrales templados desérticos y las estepas espinosas desaparecerían por completo. Por el contrario, los bosques tropicales secos y muy secos y los tropicales subhúmedos se incrementarían de 12.4%, 4% y 4.4% del área total a 21%, 10% y 7.5%, respectivamente. Los bosques subtropicales lluviosos y los tropicales húmedos, que actualmente no existen en México, se presentarían en porcentajes reducidos (Tabla 13).

MAPA 27. MODELO GFDL-R30

Bosques fríos
Estepas
Bosque templado seco
Bosque templado húmedo
Matorral desértico
Bosques espinosos
Bosques tropicales secos
Bosques subtropicales secos
Bosques tropicales

Resultados

• *Clasificación mexicana*

De acuerdo con los resultados obtenidos al utilizar la clasificación mexicana, todos los climas templados se verían reducidos, lo que corresponde a la distribución natural de los pastizales, que desaparecerían por completo. Los climas fríos serían substituidos por más zonas templadas, causando el desplazamiento de algunos bosques de coníferas.

El hábitat de los bosques templados —que puede encontrarse en las montañas del país— disminuiría considerablemente, lo que implicaría la redistribución de estos bosques o el establecimiento de formas adaptadas a condiciones más cálidas y secas. Es el caso de los bosques espinosos y los matorrales xerófilos. En el caso del modelo GFDL-R30, que propone incrementos tanto en temperatura como en precipitación, los bosques tropicales ampliarían su distribución hacia el norte.

Esto significa que, de ocurrir un cambio climático, las comunidades vegetales tendrían que enfrentar presiones tales como incrementos en la aridez o los rangos de precipitación, dependiendo del modelo aplicado y de la habilidad de cada especie para responder rápidamente a estos retos.

• *Zonas de vida de Holdridge*

La aplicación de los tres modelos a las zonas de vida de Holdridge en México muestra básicamente que el mayor efecto estaría dirigido hacia las áreas templadas, incluyendo a la mayoría de los



bosques húmedos, los secos y las estepas espinosas. Estas áreas se reducirían drásticamente o desaparecerían por completo en todos los modelos.

El modelo de sensibilidad promueve condiciones más secas y cálidas, y por lo tanto, el cambio se dirige hacia el incremento de ciertas zonas de vida, como los bosques tropicales espinosos y tropicales muy secos, así como el matorral desértico subtropical.

En el modelo CCCM, la tendencia es muy similar a la descrita anteriormente. La posibilidad propuesta por el modelo GFDL-R30 es distinta, ya que presenta condiciones de mayor humedad. Las zonas de vida que se ven favorecidas, de acuerdo con este modelo, son las que tienen afinidades tropicales —bosques secos, subhúmedos y húmedos— que son los que muestran mayor incremento en el área.

En general, los bosques templados fríos y cálidos, que cubren 13% del país, tenderían a desaparecer. Los bosques tropicales espinosos secos y muy secos, con temperaturas superiores a 24°C, tenderían a aumentar, especialmente los tropicales muy secos, en el caso del CCCM, y los tropicales secos y subhúmedos, en el GFDL-R30.

HIDROLOGÍA

Para llevar a cabo el estudio de impacto y vulnerabilidad en las zonas hidrológicas de México por el cambio climático global debido a un doblamiento en el CO₂ atmosférico, se utilizó la técnica del modelaje del balance térmico-hidrológico a escala regional, lo que permitió llegar a algunas conclusiones sobre el impacto y la vulnerabilidad de las zonas hidrológicas de México ante un posible cambio climático para el año 2050 o 2075, utilizando los modelos de Circulación General (GCM) GFDL-R30 y CCCM, y el modelo de energía térmica, ante una duplicación del CO₂ atmosférico.

Encontramos que los posibles cambios ocasionados por esta variación en el nivel de CO₂ (cambios en la temperatura del aire superficial y de la precipitación) pueden tener gran impacto en el régimen y la magnitud del escurrimiento, en la humedad del suelo y la evaporación y en el grado de acidez en algunas zonas hidrológicas del país. Dependiendo de la zona, las consecuencias de estos fenómenos podrían ir de nocivas a benéficas.

Para conocer la vulnerabilidad de las diferentes zonas, se estimaron índices definidos, de acuerdo con criterios previamente establecidos para este tipo de estudios (Waggoner, 1990). Por vulnerabilidad se entiende el tipo de zona hidrológica en combinación con el aspecto humano de la misma (densidad poblacional, capacidad de transporte y almacenamiento de agua, uso en la generación de energía eléctrica, en la agricultura y ganadería y en actividades domésticas), así como la medida de riesgo de perder el equilibrio natural en la zona.

Los índices de vulnerabilidad permitieron determinar el impacto en el ciclo térmico-hidrológico para siete variables: precipitación, evaporación, escurrimiento, humedad del suelo, índice de acidez, temperatura del aire en superficie y temperatura del suelo. Fue posible determinar la vulnerabilidad de las 12 zonas hidrológicas del país tanto para 1995 como para el futuro, utilizando ocho escenarios hipotéticos de cambios climáticos uniformes en todo México, de +2 y +4°C de temperatura, -20, 0 y +20% de precipitación y -2 y +2% de radiación global, por medio de los modelos GFDL-R30, CCCM y MTC, usando cinco índices de vulnerabilidad.

De lo anterior se desprende la siguiente clasificación de las zonas hidrológicas y del país:

- Zonas húmedas o semihúmedas que pueden convertirse en secas.
- Zonas en las cuales el agua es un importante factor para el riego.
- Zonas en las cuales el agua es un factor importante en el consumo total (riego + abastecimiento de localidades).

- Zonas en las que la extracción total rebasa ampliamente la disponibilidad potencial de agua superficial.
- Zonas que tienen un déficit de almacenamiento de agua para dar respuesta adecuada de mitigación mediante la construcción de un determinado número de presas.

De acuerdo con esta clasificación, las zonas que tienen más límites de vulnerabilidad rebasados para todos los escenarios son la V (cuenca del Río Pánuco), la VI (cuenca del Lerma-Chapala-Santiago) y la XII (península de Baja California). En los dos primeros casos, debido a la densidad de población (que significa mayor demanda de agua) y, en el tercero, debido a que se trata de la zona más seca y con menor escurrimiento de todo el país (Figuras 2 y 3). Cabe señalar que las simulaciones de clima futuro por aumentos en el nivel de CO₂ con modelos de Circulación General y balance energético presentan incertidumbre en la magnitud y distribución de la precipitación.

En los Mapas 28 y 29 se pueden observar las variaciones resultantes al comparar el escenario base con los modelos de Circulación General CCCM y GFDL-R30.

Efecto potencial del cambio climático en el balance hídrico a nivel nacional

Con el fin de obtener valores indicativos sobre el efecto potencial del cambio climático en el balance hídrico a nivel nacional, se realizó un estudio de escenarios sobre el efecto en las necesidades hídricas de los cultivos.

El procedimiento consistió básicamente en calcular los valores de la evapotranspiración de los cultivos en las condiciones actuales, y en las condiciones propuestas por los diferentes escenarios sugeridos por el PICC (primer reporte, 1991). Como información meteorológica se usó toda la serie histórica disponible en todos los observatorios meteorológicos de México, que se ubican usualmente en las capitales de los estados y ciudades importantes.

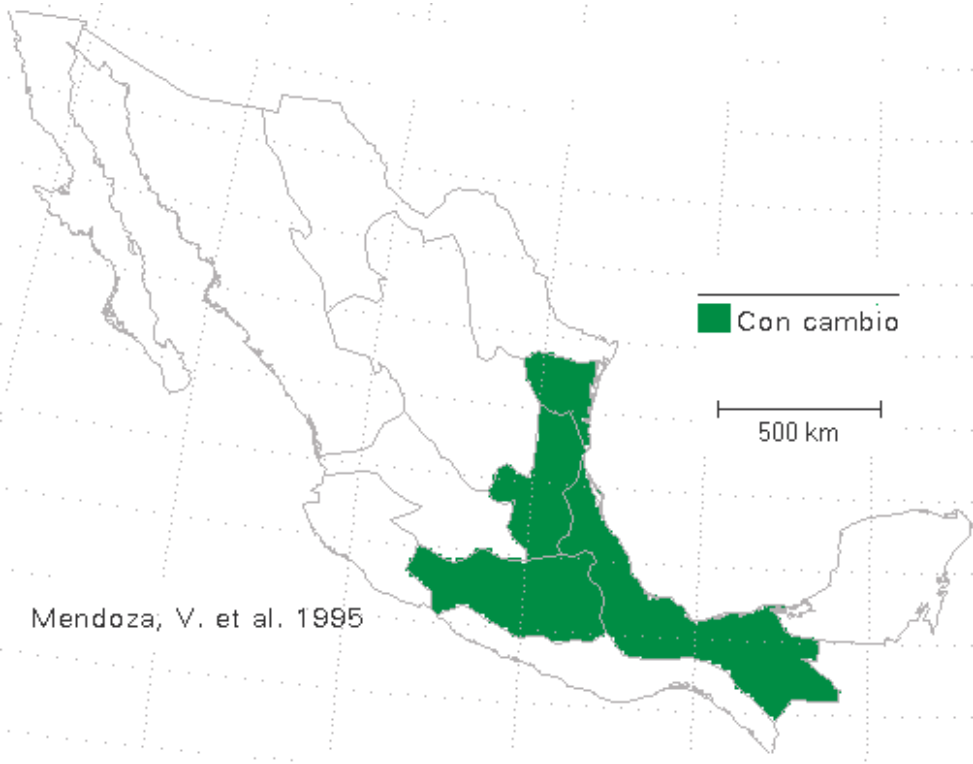
El método empleado en el cálculo de la evapotranspiración fue el propuesto por Mundo y Martínez (1994), y que consiste en una modificación al de la FAO (1976), que es el más usado globalmente.

Se utilizó en el cálculo el denominado “cultivo de referencia”, es decir que los resultados son aplicables a cualquier cultivo, multiplicándolos por el coeficiente de cultivo que es propio de cada variedad.

En las figuras siguientes se ilustran los resultados de evapotranspiración media anual para el escenario cero (Figura 4), y para el escenario que corresponde a un incremento de temperatura de 3 grados centígrados (Figura 5), denominado escenario tres. Puede observarse que en la mayoría de los sitios se registran incrementos en las necesidades hídricas, lo cual afectará negativamente el balance hídrico si simultáneamente se registrara una disminución en la precipitación.

Los escenarios estacionales son aún más desfavorables. En la Figura 6 se presentan los cambios, considerando el mismo escenario tres, de las modificaciones a la evapotranspiración potencial durante el invierno.

MAPA 28. REGIONES HIDROLÓGICAS CON CAMBIO EN EL NÚMERO DE ÍNDICES REBASADOS. MODELO CCCM



MAPA 29. REGIONES HIDROLÓGICAS CON CAMBIO EN EL NÚMERO DE ÍNDICES REBASADOS. MODELO GFDL-R30



FIGURA 2. NÚMERO DE VALORES INDICATIVOS O VALORES LÍMITE QUE HAN SIDO REBASADOS PARA CADA ZONA HIDROLÓGICA Y TODO EL PAÍS EN EL ESCENARIO BASE PARA EL AÑO 1995 Y EN LOS ESCENARIOS BASE, GFDL-R30, CCCM Y MTC, PARA EL AÑO 2050, DE ACUERDO CON EL MODELO DE BALANCE. LOS NÚMEROS ROMANOS INDICAN EL ASPECTO EN QUE LA ZONA ES VULNERABLE Y EL NÚMERO QUE LE PRECEDE, CUÁNTOS DE ESTOS ASPECTOS FUERON REBASADOS EN LA ZONA.

Zona Hidrológica	1995		2050		
	Base	Base	GFDLR30	CCCM	MTC
I	0	0	0	0	0
II	1: V	2: IV, V	2: IV, V	2: IV, V	2: IV, V
III	1: V	1: V	1: V	1: V	1: V
IV	2: IV, V	3: III, IV, V	2: IV, V	4: I, II, III, IV	3: I, II, III
V	4: I, II, III, V	5: I, II, III, IV, V	4: II, III, IV, V	5: I, II, III, IV, V	5: I, II, III, IV, V
VI	4: I, II, III, IV	4: I, II, III, IV	5: I, II, III, IV, V	4: I, II, III, IV	4: I, II, III, IV
VII	1: V	1: V	1: V	1: V	5: I, II, III, IV, V
VIII	3: II, III, IV	3: II, III, IV	4: II, III, IV, V	3: II, III, IV	3: II, III, IV
IX	3: II, III, IV	3: II, III, IV	4: II, III, IV, V	3: II, III, IV	3: II, III, IV
X	1: I	4: I, II, III, IV	2: II, III	4: I, II, III, IV	4: I, II, III, IV
XI	3: II, III, IV	3: II, III, IV	3: II, III, IV	3: II, III, IV	3: II, III, IV
XII	4: II, III, IV, V	4: II, III, IV, V	4: II, III, IV, V	4: II, III, IV, V	3: II, III, IV
PAIS	1: V	4: II, III, IV, V	3: III, IV, V	4: II, III, IV, V	4: II, III, IV, V

Claves de vulnerabilidad
I.- Vulnerabilidad de la zona en su reserva de agua
II.- Vulnerabilidad de la zona en su reserva de agua
III.- Vulnerabilidad de la zona en su consumo total de agua
IV.- Vulnerabilidad de la zona en su extracción total de agua
V.- Vulnerabilidad de la zona en su almacenamiento anual de agua

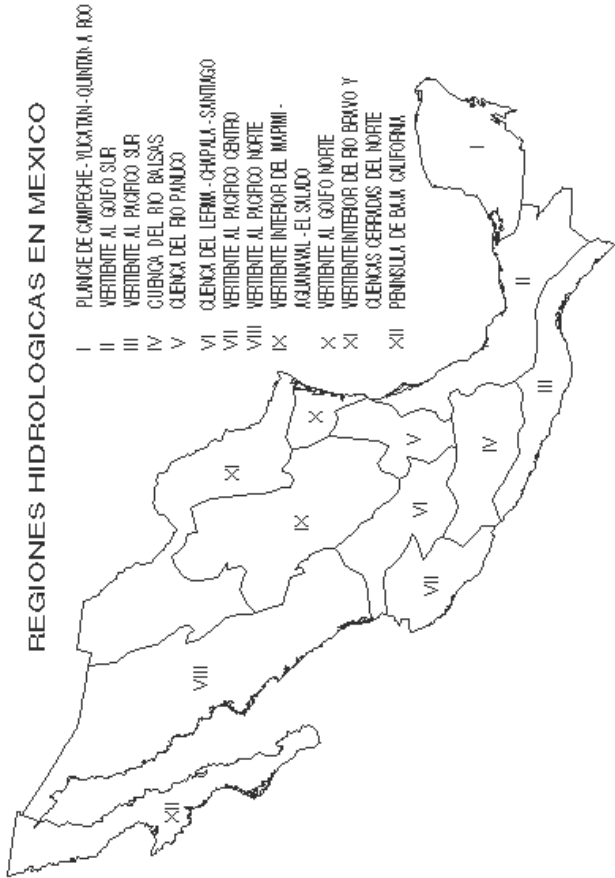


FIGURA 3. NÚMERO DE VALORES INDICATIVOS O LÍMITES REBASADOS POR LAS ZONAS IV, V Y VI EN EL ESCENARIO BASE PARA EL AÑO 1995 Y EN LOS ESCENARIOS BASE, GFDL-R30, CCCM Y MTC PARA EL AÑO 2050, DE ACUERDO CON EL SEGUNDO MÉTODO DE EVAPORACIÓN REAL DE TURC. LOS NÚMEROS ROMANOS INDICAN EL ASPECTO EN EL QUE LA ZONA ES VULNERABLE, EL NÚMERO QUE LOS PRECEDE MUESTRA EL TOTAL DE VALORES LÍMITE REBASADOS POR LA ZONA.

	1995	2050			
Zona hidrológica	Base	Base	GFDLR30	CCCM	MTC
IV	2: IV, V	3: III, IV, V	3: III, IV, V	3: I, III, IV	3: I, III, IV
V	3: II, III V	4: II, III, IV, V	4: II, III, IV, V	5: I, II, III, IV, V	5: I, II, III, IV, V
VI	5: I, II, III, IV, V	5: I, II, III, IV, V	5: I, II, III, IV, V	5: I, II, III, IV, V	4: I, II, III, IV

Claves de vulnerabilidad
I.- Vulnerabilidad de la zona en su reserva de agua
II.- Vulnerabilidad de la zona en su reserva de agua
III.- Vulnerabilidad de la zona en su consumo total de agua
IV.- Vulnerabilidad de la zona en su extracción total de agua
V.- Vulnerabilidad de la zona en su almacenamiento anual de agua

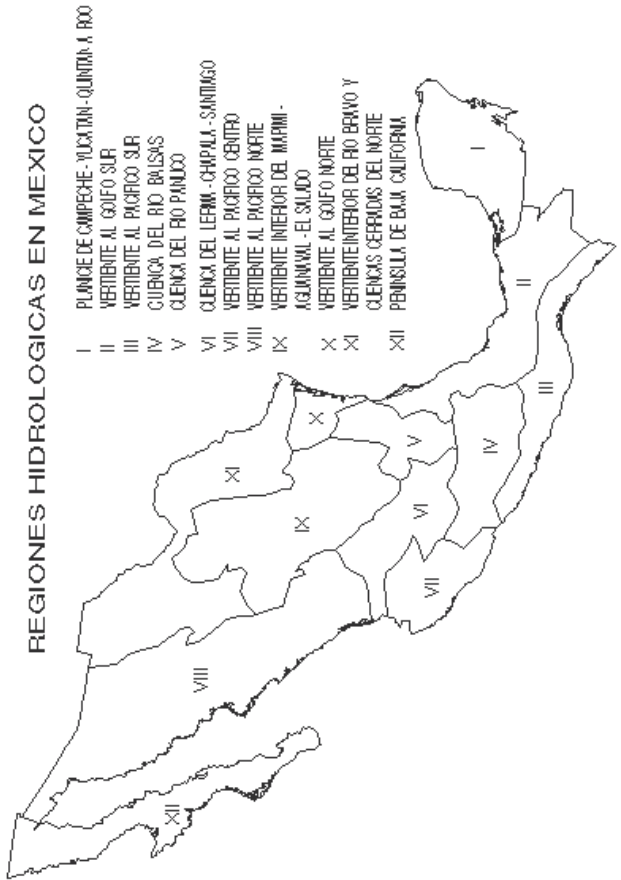


FIGURA 4



Fuente: Polioptro Martínez Austria, Leonardo Hernández Barrios.

FIGURA 5



Fuente: Polioptro Martínez Austria, Leonardo Hernández Barrios.

FIGURA 6



Fuente: Polioptro Martínez Austria, Leonardo Hernández Barrios.

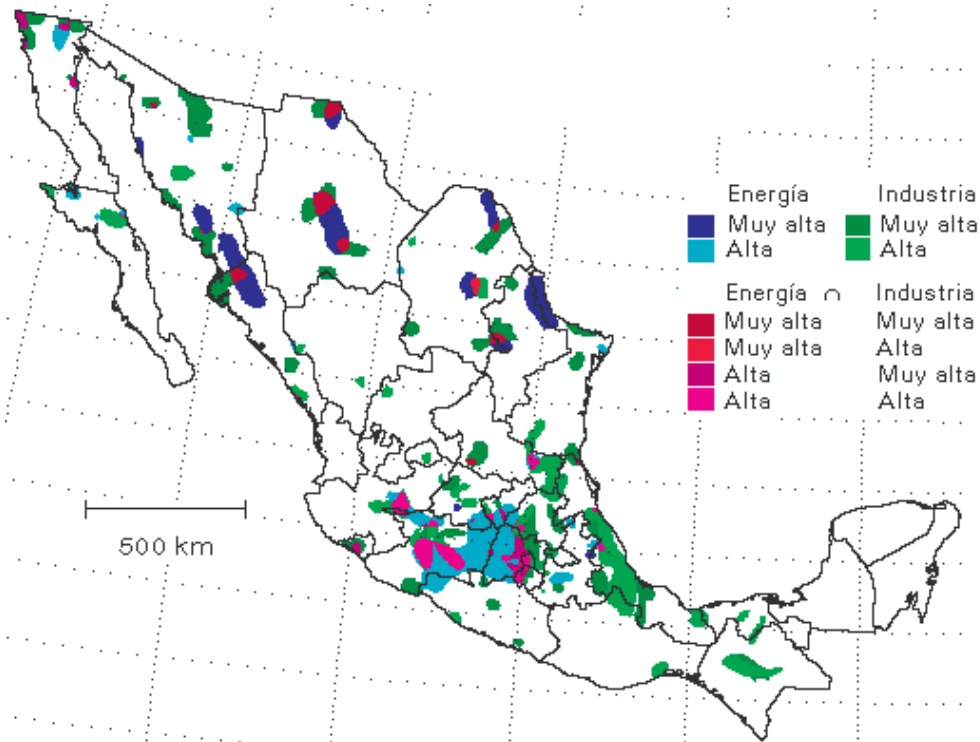
Industria y sistemas energéticos

En general, los estudios mundiales que llegan a realizarse sobre energía e industria dentro del marco del cambio climático global se centran en cómo reducir sus emisiones de gases de invernadero. La relativa baja sensibilidad de estos sistemas ante este fenómeno (con respecto a los impactos sobre los sistemas ecológicos y la agricultura), sumada a la idea generalizada de que cuentan con una gran capacidad de adaptación, han dado como resultado una laguna de información con respecto a su vulnerabilidad ante el cambio climático.

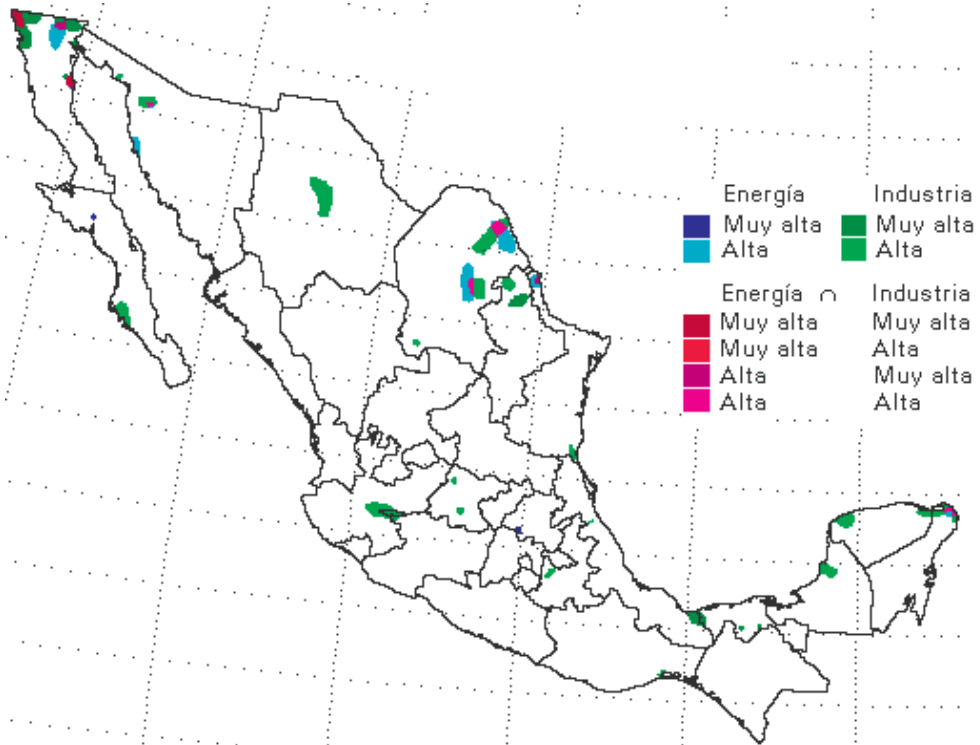
El objetivo de este estudio es llenar ese vacío informativo. Para lograrlo, se determinaron los factores que influyen en la vulnerabilidad de la industria y de los sistemas energéticos y su nivel de incidencia. Asimismo, se realizó un diagnóstico de los dos sistemas, tanto en el marco de un escenario base o actual como en el caso de que llegara a presentarse un cambio climático. Para ello, se determinó la dinámica del comportamiento territorial y se definieron las particularidades y diferencias regionales que se presentan en México con base en la aplicación de los modelos de circulación general CCCM y GFDL-R30. Las zonas identificadas como las más vulnerables, siguiendo este procedimiento, aparecen en los Mapas 30 y 31 para cada uno de los sectores y para las intersecciones existentes entre ellas.

Es importante recordar que, dado que estos sectores son dos de los principales emisores de gases de invernadero, las medidas para mitigar dichas emisiones les afectarán directamente. De igual forma, no se debe pasar por alto que la vulnerabilidad de estos sectores puede traducirse en variaciones en su participación en la economía del país. En cuanto a su capacidad de adaptación, esta varía mucho de una empresa a otra, de acuerdo con su situación económica y su capacidad para proveerse de recursos (tanto financieros como tecnológicos). Encontramos, por ejemplo, que si bien

MAPA 30. ZONAS DE VULNERABILIDAD ALTA Y MUY ALTA. ENERGÍA E INDUSTRIA. MODELO CCCM..



MAPA 31. ZONAS DE VULNERABILIDAD ALTA Y MUY ALTA. ENERGÍA E INDUSTRIA. MODELO GFDL-R30..



las grandes industrias (en especial las industrias pesadas) cuentan con mayores recursos, son también más vulnerables al necesitar grandes volúmenes de combustibles y materias primas.

La localización geográfica es otro factor que influirá en la capacidad de adaptación de las industrias. Aquellas localizadas en centros de gran concentración industrial, como Monterrey, el D.F. y Guadalajara serán más vulnerables al tener que enfrentar una mayor competencia por los recursos.

Los factores de vulnerabilidad que se identificaron son los siguientes:

- Ascenso en el nivel del mar. En este caso, la mayor vulnerabilidad se dará en las instalaciones industriales o de generación de energía, terminales de abastecimiento y distribución de energía e infraestructura de conexión ubicadas cerca de las costas.
- Aumento de la temperatura. La principal consecuencia del aumento de la temperatura será la redistribución de los recursos hídricos. Aquí la vulnerabilidad se reflejará en las necesidades de abastecimiento de determinados volúmenes de agua y en la regularidad con que se deberán realizar dichos abastos. Al haber escasez de agua, su costo aumentaría, afectando directamente el costo de la energía eléctrica y el de los combustibles fósiles. Este ascenso en la temperatura significará también un problema extra para las empresas que requieren de procesos de congelación o enfriamiento.
- Las variaciones en la temperatura y la distribución del agua tendrán forzosamente repercusiones sobre el uso de suelo y la distribución de los seres vivos. Esto dañará a las empresas que dependan de materias primas derivadas de actividades que resulten afectadas por el cambio climático, como pueden ser la industria maderera, la textil, la de celulosa y papel, la de los alimentos, etcétera.

Con base en estos criterios, se realizó una clasificación de las industrias de acuerdo con su sensibilidad al cambio climático:

- Industrias que dependen de recursos naturales sensibles al clima (agropecuarios, forestales, marinos, agua y energía).
- Industrias cuyo proceso industrial es directamente sensible al clima tanto por sus consumos de agua y energía (y por ende, el costo de los mismos) como por la incorporación de procesos de calentamiento o enfriamiento (producción de energía eléctrica, petróleo y gas, industrias de fundición y refinación de metales, alimenticia y textil, etcétera).
- Industrias vulnerables al cambio climático debido a su localización geográfica (centrales eléctricas, industria petrolera, pesquera, siderúrgica, petroquímica y química y alimenticia).
- Industrias cuyos mercados son susceptibles al cambio climático. Se esperan variaciones en la demanda de energía, ropa, bebidas, aire acondicionado y agua.

La Tabla 14 sintetiza lo anterior y señala cuáles son los sectores y subsectores energéticos e industriales más sensibles al clima en México.

TABLA 14. SISTEMAS INDUSTRIALES Y ENERGÉTICOS

VULNERABILIDAD POR SECTOR	ESCENARIO BASE	MODELO CCCM	MODELO GFDL
HIDROCARBUROS MUY ALTA	Las regiones con mayor producción de petróleo (96.4%) y gas natural (95.8%) en el sureste del país, además de Tula, Hidalgo y Salina Cruz, Oaxaca.	Zonas productivas de Hidalgo y Guanajuato.	
ALTA	Zonas de baja capacidad, industrias refinadoras en Guanajuato y Tamaulipas.		Tula, Hidalgo.
ELECTRICIDAD MUY ALTA	Plantas termoeléctricas a vapor en climas áridos, secos y cálidos-subhúmedos.	Plantas hidroeléctricas localizadas al norte y noroeste del país.	Plantas termoeléctricas en Baja California.
ALTA		Plantas hidro y termo eléctricas del centro, centro-occidente, centro-oriente y noroeste del país.	Regiones del norte, el noreste y el noroeste del país.
INDUSTRIA MINERA MUY ALTA	Zonas con gran capacidad productiva o consumo intensivo de energía de Sonora, San Luis Potosí, Veracruz, Puebla y Colima	Unidades productivas de Sonora, Chihuahua, el norte de Coahuila, Nuevo León, Colima y Veracruz.	
ALTA		Unidades productivas de Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Hidalgo Guanajuato y Querétaro. Industria metalúrgica Puebla y distritos salinos y yeseros de Baja California Sur	Zonas carboneras del norte y noreste de Coahuila y Nuevo León.
INDUSTRIA PESADA MUY ALTA	Zonas con industrias petroquímicas de Veracruz, Tamaulipas, Guanajuato, Oaxaca, el norte de Chiapas y Puebla, así como las zonas industriales de México, Monterrey, Nuevo León y Guadalajara, Jalisco.	Zonas industriales de Baja California, Sinaloa, Sonora, Chihuahua, Durango, Tamaulipas y Colima.	
ALTA	Industria básica metalúrgica y química de Sonora, Chihuahua, Coahuila y Durango en el norte; Michoacán, Estado de México, Morelos, Querétaro, y Guanajuato, en el centro; Yucatán al sureste del país.	Industrias petroquímicas y metalúrgicas de Chihuahua, Coahuila, el norte de Nuevo León, Veracruz y Oaxaca	Algunas áreas de Sonora, Chihuahua, Coahuila al norte del país.
INDUSTRIA ALIMENTICIA ALTA	Zonas con competencia por los recursos hídricos o con altas concentraciones industriales en Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Sinaloa al norte; Hidalgo, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Veracruz y Campeche.	Baja California, Sonora, Sinaloa y Durango. La mayor parte del centro, el occidente y el sureste del país..	Baja California al noroeste.
INDUSTRIA TEXTIL Y PAPELERA MUY ALTA		Baja California, Chihuahua, Nuevo León, Michoacán, Veracruz y los distritos conurbados de la Ciudad de México.	
ALTA	Industrias localizadas dentro de los grandes centros urbanos de Baja California, Chihuahua, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Jalisco, San Luis Potosí, Querétaro, México y Puebla.	Durango, Aguascalientes, Jalisco, Michoacán, el centro del país desde Guanajuato hasta Puebla.	El Área Metropolitana de Monterrey, Sonora, y Baja California.

VII. COOPERACIÓN INTERNACIONAL

COOPERACIÓN MULTILATERAL TÉCNICA Y FINANCIERA

Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático (IAI)

Representantes de veintiséis países y organizaciones internacionales participaron en el “Taller para el desarrollo de un instituto del hemisferio oeste para la investigación del cambio climático” (julio 16-19 de 1991, San Juan, Puerto Rico). En este taller, las naciones participantes propusieron el establecimiento del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático (IAI), una red regional de centros de investigación dedicados al estudio del cambio global y su impacto sobre la sociedad.

El Acuerdo para establecer dicho instituto fue firmado por once países (incluido México) en mayo de 1992 y entró en vigencia el 11 de marzo de 1994.

Los representantes de los Estados que integran el IAI se reunieron en la ciudad de México del 12 al 14 de septiembre de 1994, con objeto de llevar a cabo la Primera Reunión de la Conferencia de las Partes. En esta reunión quedó establecido el funcionamiento del IAI como una institución internacional.

Agenda científica de IAI

Temas:

- Ecosistemas tropicales y ciclos bioquímicos
- Impactos del cambio climático sobre la biodiversidad
- El fenómeno del Niño: oscilación sur y variabilidad climática interanual
- Interacciones océanos-atmósfera-tierra en la América intertropical
- Estudios comparativos sobre procesos oceánicos costeros y estuarinos en las zonas templadas
- Procesos de altas latitudes
- Estudios comparativos sobre ecosistemas terrestres templados

La participación de México dentro del IAI incluye las siguientes actividades:

- En 1994, se realizó el Taller sobre el estudio de impacto del cambio climático en la biodiversidad, en la ciudad de Guadalajara, Jalisco.
- En 1995, se acordó que se establecería en México un centro de investigación sobre cambio global.



- El 20 de julio de 1995, el Instituto Nacional de Ecología de la SEMARNAP, firmó el acuerdo para la realización del proyecto titulado: “Actividades de cooperación regional en apoyo a la investigación sobre cambio climático en los países del IAI”. Como una contribución al establecimiento de los centros de investigación sobre cambio global contemplados en el “Acuerdo para el Establecimiento del Instituto Interamericano de Investigación sobre Cambio Global (IAI)”.

Este proyecto tiene por objeto mejorar la capacidad de los países participantes de realizar investigaciones sobre cambio global y de utilizar los datos, resultados científicos y otros productos de tales investigaciones en el tratamiento de las cuestiones de política sobre estos temas. Dentro de este proyecto, el INE propuso al Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM como el centro de investigación del IAI en México.

Las funciones de este centro son: realizar y apoyar la investigación inter-disciplinaria sobre cambio global a nivel interno y externo (extra-mural), concentrar datos y promover el eficiente, completo y abierto intercambio de datos e información del Instituto con los países de la región, fortalecer las capacidades e instalaciones de instituciones existentes, crear una capacidad regional y proporcionar capacitación avanzada en campos relevantes al cambio global.

- Además de lo anterior, el IAI ha brindado apoyo financiero, equipo y paquetes de cómputo, al Centro de Ciencias de la Atmósfera con el fin de iniciar actividades científicas relacionadas con el cambio climático en los países participantes.
- El IAI ha realizado dos cursos regionales en Costa Rica y Brasil (1995 y 1996) en las que México participó, y un curso en cada país miembro (1996) para entrenamiento del sistema de información geográfica SPRING desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil (INPE por sus siglas en portugués) y donado a los países miembros del IAI. También el IAI otorgó becas para pasantía de entrenamiento para el SPRING con duración de dos meses en Brasil (1997), de las cuales México ha obtenido dos.
- Se realizó en México un curso regional de entrenamiento del sistema METVIEW utilizado para el manejo de datos meteorológicos (1997), organizado por el IAI.

Declaración Conjunta de la Reunión de Jefes de Estado y Gobiernos de Centroamérica y México. “Tuxtla II”

Los presidentes de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá, el presidente de México y el primer ministro de Belice, reunidos en la Ciudad de San José, Costa Rica, los días 15 y 16 de febrero de 1996, decidieron adoptar un Plan de Acción con el propósito de avanzar hacia el logro de los propósitos y objetivos de la Declaración de San José (Tuxtla II). En dicho Plan se establece la voluntad de realizar acciones dentro del ámbito del cambio climático, así como de fomentar medidas para el ahorro y el uso racional de la energía y apoyar al Pacto de San José.

Entre las acciones contempladas por este Plan en lo relativo a cambio climático se encuentra el desarrollo de programas y proyectos conjuntos para fomentar el cumplimiento de los compromisos adquiridos en el marco de los instrumentos internacionales, la realización de talleres sobre manejo de recursos forestales y procesos productivos alternos, el fomento a investigaciones conjuntas para desarrollar alternativas energéticas a los usos tradicionales y la realización de acciones orientadas a la prevención de la contaminación atmosférica relacionadas con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

PROTECCIÓN DE LA CAPA DE OZONO

En 1985 se firmó el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono con el objetivo fundamental de proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos adversos que pueden resultar de la modificación de la capa de ozono. Este instrumento internacional tiene dos anexos: en uno se plantean importantes cuestiones relativas a la investigación científica y la observación sistemática de la capa de ozono, y en el otro se describen los tipos de información que han de reunirse y compartirse en virtud de este Convenio.

Posteriormente, en 1987 se llegó a un acuerdo sobre medidas concretas, firmándose el Protocolo de Montreal.

Paralelamente al proceso evolutivo del Protocolo de Montreal, desde 1989 la industria mexicana puso en marcha diversas acciones concretas para proteger la capa de ozono. La estrategia que México ha seguido para cumplir con el Protocolo se ha basado en lo siguiente:

- La negociación de convenios voluntarios con la industria.
- La regulación de la importación y exportación de las sustancias controladas.
- El desarrollo de programas de difusión y capacitación técnica.
- El desarrollo de proyectos de inversión usando tecnologías limpias.
- La obtención de financiamiento para adoptar tecnologías limpias por parte de la industria.

La colaboración conjunta entre organismos nacionales, extranjeros e internacionales para la promoción de transferencia tecnológica. Con esta estrategia, se han obtenido las siguientes logros:

- La producción e importación se ha limitado a 40% del año base (1989) para 1996, lo que representa más de 6 mil toneladas de CFCs eliminadas.
- Se han desarrollado proyectos en los siguientes sectores: refrigeración doméstica y comercial, solventes, espumas, aire acondicionado central y automotriz. Avance por agencia: Banco Mundial (BM): 13 proyectos con asistencia técnica de la Agencia de los Estados Unidos para el Medio Ambiente (USEPA); Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD): once proyectos. Los proyectos representan una reducción en consumo de aproximadamente 2,500 toneladas. Antes de concluir el año de 1996, todos los proyectos entraron en la fase de instrumentación. Se desarrollaron cuatro proyectos adicionales en el sector de la refrigeración comercial para BM, tres de los cuales ya están aprobados.
- Cada semana, más de 10 empresas y entidades gubernamentales y paraestatales reciben información y asistencia de la Unidad de Protección al Ozono del INE.
- A la fecha, se han llevado a cabo 10 talleres tecnológicos con la participación de más de mil técnicos entrenados en los sectores de: aire acondicionado central, solventes y aire acondicionado automotriz.
- Se ha participado en foros nacionales, impartiendo asesoría técnica a las empresas asistentes en cámaras y asociaciones industriales. En el ámbito internacional ha habido colaboración en diversos foros, compartiendo la experiencia con otros países en desarrollo.

México y el Protocolo de Montreal

- México es el único país en desarrollo con alto consumo que ha logrado reducir significativamente su consumo de CFC, halones y meticloroformo.



Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte

El 14 de septiembre de 1993, los gobiernos de México, Canadá y Estados Unidos firmaron los acuerdos paralelos al Tratado de Libre Comercio (TLC) en materia de Cooperación Ambiental y Laboral, de manera simultánea, en las ciudades de México, Ottawa y Washington, D. C. Dichos acuerdos entraron en vigor el 1o. de enero de 1994, inmediatamente después de la entrada en vigor del propio Tratado.

Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte

Una de las consecuencias más importantes del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte fue la creación de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte.

Esta instancia es la encargada de supervisar la aplicación del Acuerdo; es un foro de discusión trilateral de asuntos ambientales que promueve y facilita la cooperación entre los gobiernos de los tres países. Entre sus funciones se encuentran resolver los asuntos y controversias que puedan surgir con respecto a la interpretación y aplicación del Acuerdo y servir como vínculo institucional con la Comisión de Libre Comercio del TLC.

Carta de Intención para la Cooperación en Cambio Climático e Implementación Conjunta

El 13 de octubre de 1995, en Oaxaca, México, los gobiernos de Canadá (a través del Departamento del Medio Ambiente), México (representado por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca) y Estados Unidos (por la Agencia de Protección al Ambiente) firmaron la Carta de Intención para la Cooperación en Cambio Climático e Implementación Conjunta. El objetivo fue facilitar la cooperación en temas de interés mutuo en el área de eficiencia energética y cambio climático, incluyendo la implementación conjunta a fin de fomentar:

- La difusión, orientada hacia el mercado, de tecnologías de mitigación, incluyendo eficiencia energética y tecnologías de energías renovables.
- La educación, capacitación y programas de intercambio de información.
- La restauración y ampliación de sumideros de carbono en áreas forestales, agrícolas, de pastoreo y en otras tierras.
- El desarrollo económico y social ambientalmente sano.

Entre las formas de cooperación contempladas en esta Carta de Intención pueden incluirse las siguientes:

- El fomento de metodologías internacionalmente reconocidas para la realización de inventarios nacionales y pronósticos de emisiones antropogénicas, por fuentes y sumideros, de todos los gases de invernadero.
- El intercambio de información sobre acciones para reducir emisiones netas de gases de invernadero.
- La aplicación, fomento y difusión de tecnologías, prácticas y procesos para mitigar emisiones netas de estos gases.
- La conservación y ampliación de sumideros y reservas, incluyendo los océanos, bosques y otros tipos de biomasa.
- La adaptación ante los impactos del cambio climático.
- La consideración, cuando sea apropiado, de factores de cambio climático en políticas y acciones económicas y ambientales.

- El intercambio de investigaciones y otra información relevante relacionada con los sistemas climáticos globales y regionales, con el fin de reducir incertidumbres vinculadas con la intensidad, las relaciones causa-efecto del cambio climático y las consecuencias ambientales, económicas y sociales de las diferentes estrategias de respuesta.
- El apoyo a programas de educación, capacitación y concientización pública relacionados con el cambio climático, que impulsen la más amplia participación posible en este proceso y que incluyan la colaboración de organizaciones no gubernamentales.

De igual manera, las Partes acordaron que las formas de cooperación, en lo concerniente a Implementación Conjunta, deberían incluir:

- Facilidades de interacción entre las oficinas del programa nacional de cambio climático de cada país.
- Intercambio de información sobre criterios para proyectos de implementación conjunta, reconociendo la importancia de los programas nacionales en el establecimiento de estos criterios.
- Intercambio de información sobre metodologías y mecanismos para establecer procesos que determinen las bases, monitoreo y verificación externa de reducciones netas de emisiones de gases de invernadero, así como el seguimiento y atribuciones de tales reducciones, consistentes con los criterios para la selección de proyectos desarrollados por programas piloto de implementación conjunta establecidos a nivel nacional.
- El fomento de la implementación conjunta y otras actividades que promuevan el desarrollo sustentable entre los sectores público y privado y organizaciones no gubernamentales, incluyendo la difusión de información acerca de los criterios de las Partes para proyectos de implementación conjunta, y apoyando la asistencia técnica a través de talleres, conferencias y redes de información.
- El apoyo, en foros internacionales, de la fase piloto de implementación conjunta.
- El diseño de actividades y proyectos instrumentados de acuerdo con esta Carta de Intención con el propósito de:
 1. Favorecer la creciente participación del sector privado, especialmente en el desarrollo sustentable y los potenciales proyectos de implementación conjunta.
 2. Facilitar el intercambio de información entre gobiernos y el sector privado en implementación conjunta, incluyendo información sobre fuentes potenciales de financiamiento de proyectos y marcos de políticas necesarios para el acceso a tales fuentes de financiamiento.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

A partir de 1996, México, a través del Instituto Nacional de Ecología (INE), ha participado en los foros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) sobre cambio climático que se llevan a cabo tanto en la sede de la OCDE en París, como durante las reuniones de los órganos subsidiarios de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco sobre Cambio Climático.

Cooperación bilateral

El gobierno de Noruega ha colaborado con la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) en el proyecto de iluminación eficiente Ilumex, por medio del cual se remplazarán aproximadamente 1.7 de millones lámparas incan-



descuentes por lámparas compactas fluorescentes en las ciudades de Monterrey y Guadalajara 1995-2006. De esta manera se espera alcanzar una reducción de emisiones de 726,675 toneladas de bióxido de carbono y 18.57 toneladas de metano.

Estudio de País: México

México mantiene una tradición de participación activa en foros internacionales en los que se discuten temas relacionados con el medio ambiente y el clima. Por muchos años, nuestro país ha hecho esfuerzos para coordinar estudios dirigidos a comprender las causas de los problemas ambientales, como en el caso de los relacionados con el cambio climático global y su posible impacto sobre la sociedad, con el fin de estar en mejores condiciones para enfrentarlo en el futuro.

En 1993, el U.S. Country Studies Program le ofreció a México apoyo financiero para realizar análisis destinados a mostrar los posibles impactos del cambio climático sobre las diferentes actividades productivas y recursos del país.

El Estudio de País: México, comprendió la realización de estudios en tres grandes áreas:

1. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Invernadero.
2. Escenarios climáticos y de emisiones futuras de gases de invernadero.
3. Estudios de vulnerabilidad del país ante el cambio climático.

Durante la realización del inventario se contó además con el apoyo del gobierno de Canadá en la forma de equipo y paquetes de cómputo. Por otra parte, los estudios de mitigación llevados a cabo durante 1995 y 1996 contaron con el financiamiento del Banco Mundial, mientras que el proyecto “Estudio de coeficientes de emisión de gases de invernadero provenientes de sistemas vivos en el centro de México y desarrollo de un sistema relacionado para el manejo de la información”, actualmente en desarrollo, ha recibido financiamiento del Fondo Mundial para el Medio Ambiente a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

NOTAS

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC)

Durante la década de los años ochenta creció la evidencia científica de la posibilidad del cambio climático global, despertando una gran preocupación por sus posibles consecuencias entre científicos y tomadores de decisiones. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) respondieron a la creciente inquietud internacional en 1988 al establecer el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC), con el fin de evaluar la información disponible sobre cambio climático, evaluar los impactos ambientales y socioeconómicos del cambio climático y formular estrategias de respuesta.

El fenómeno de “El Niño”

Una gran parte de la población mundial es afectada por el fenómeno de “El Niño”, que consiste en un calentamiento anómalo de las aguas superficiales del Océano Pacífico. En combinación con su compañera atmosférica, la “Oscilación del Sur”, El Niño afecta los patrones de temperatura y precipitación alrededor del mundo. Los impactos sociales y económicos de esta interacción natural entre el océano y la atmósfera pueden ser extensos y de larga duración. Dado que la precipitación está íntimamente ligada a muchos aspectos de la sociedad, incluyendo la disponibilidad y calidad del agua, la agricultura, pesca, energía, turismo, transportes, y la salud y seguridad humana, un fuerte evento de “El Niño”, como el que se presentó en 1982-83 puede contribuir no sólo a causar daños de decenas de miles de millones de dólares en todo el mundo, sino también a respuestas humanas como la migración o efectos de mercado, que tienen repercusiones con una duración mucho mayor a la de los efectos de este fenómeno.

“El Niño” se identifica por la extensión de las aguas normalmente calientes del oeste tropical del Océano Pacífico hacia el este del Pacífico, la costa oeste de Sudamérica. La introducción de aguas anormalmente calientes en esta área inhibe el ascenso a la superficie de aguas frías y ricas en nutrientes, y altera la distribución de la precipitación en la cuenca del Pacífico. Paralelamente, los vientos alisios del sureste y los vientos del este del Pacífico se debilitan significativamente y se invierten. Estos vientos son afectados por la “Oscilación del Sur”, una fluctuación de la presión atmosférica de gran escala entre el este y el oeste del Pacífico. A pesar de que el fenómeno de “El Niño-Oscilación del Sur (ENSO)” se localiza en el Pacífico tropical, se le asocia con anomalías climáticas tales como sequías e inundaciones que se presentan lejos de esta región.



Las manifestaciones e impactos de un ENSO en una región particular dependen de factores tanto físicos como regionales y de la estructura socioeconómica de la zona afectada.

El enfriamiento anormal de las aguas del este tropical del Océano Pacífico es conocido como “La Niña” y tiene también como consecuencia fluctuaciones climáticas a través de gran parte del mundo. En general, las señales de “La Niña” sobre una región en especial son opuestas a las de El Niño (por ejemplo, aumentos de precipitación contra reducciones de la misma). (International Forum on Forecasting “El Niño”: Launching an International Research Institute, 6-8 November 1995, Washington, D. C. Executive Summary. September 1996).

Intensidad energética

Proporción de consumo de energía y rendimiento económico o físico. A nivel nacional, la intensidad energética es la relación entre el consumo total de energía primaria doméstica o el consumo final de energía y el Producto Interno Bruto o el rendimiento físico. (Tecnologías, Políticas y Medidas para Mitigar el Cambio Climático. Documento Técnico I del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC). Organización Meteorológica Mundial - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 1996).

Captura de carbono

Las plantas verdes absorben el CO₂ de la atmósfera a través de la fotosíntesis. El carbono se deposita en el follaje, los tallos, los sistemas radiculares y sobre todo, en el tejido leñoso de los troncos y en las ramas principales de los árboles. En total, los bosques contienen una cantidad de carbono de 20 a 100 veces superior por unidad de área que las tierras de cultivo y juegan un papel crítico en la regulación del nivel de carbono atmosférico. Se ha calculado que los bosques del mundo contienen más del 80% del carbono presente sobre toda la superficie terrestre y aproximadamente el 40% de todo el carbono existente en el subsuelo terrestre (suelo, desperdicios y raíces). Esto equivale a casi 1.146 GtC, 10⁹ toneladas de carbono. Aproximadamente el 37% de este carbono se encuentra en los bosques (tropicales) de baja latitud y un 49% en los bosques de alta latitud (Dixon, *et al.* 1994).

Cuando los árboles mueren o son talados, el carbono almacenado es desprendido. Parte de este carbono se integra a la materia orgánica de la que se componen los suelos forestales, donde, dependiendo de las condiciones climáticas, puede permanecer por mucho tiempo. El restante es liberado a la atmósfera, sobre todo en forma de CO₂ pero también de CH₄ y otros gases de efecto invernadero.

Los factores que influyen los índices de absorción de carbono son: temperatura, precipitación, densidad de masa, suelo, pendiente, altura, condiciones topográficas, índice de crecimiento y edad. En términos generales, los bosques densos tienen mayor capacidad para almacenar carbono que los bosques abiertos y las zonas arboladas. Los bosques que no han sufrido perturbaciones pueden almacenar más carbono que los bosques degradados. Los bosques húmedos contienen más carbono que los bosques de las zonas áridas o semiáridas y los bosques maduros almacenan mayores cantidades de carbono que los jóvenes.

La relación de la biomasa seca total con el carbono es de aproximadamente 2:1. También el suelo forestal contiene carbono. Un reciente estudio indica que el 84.3% del carbono total contenido en los bosques de altas latitudes está almacenado en el suelo. En el caso de los bosques de media latitud, el 63% del carbono está almacenado en el suelo, y en los de baja latitud este porcentaje es de 50.4% (Dixon, *et al.* 1994).

Estudios sobre los porcentajes de absorción de carbono de las plantaciones forestales tropicales indican que el máximo crecimiento y absorción de carbono ocurre durante las edades de 0-5

y 6-10 años (62%). En cambio, la absorción de carbono disminuye en un 50% en los 5 años siguientes y se reduce aún más después de los 16 años de edad (Brown, *et al.* 1986).

Los bosques tropicales juegan un papel importante en el ciclo global del carbono, dado que contienen casi un 50% del carbono terrestre activo del mundo (Dixon et al. 1994). Además de ser una de las principales fuentes de gases de invernadero, la deforestación puede alterar directamente el clima aumentando la reflexión (albedo) y disminuyendo la evapotranspiración.

La mayoría de las plantas asimilan carbono mediante dos tipos de fotosíntesis que generalmente se denominan procesos C3 y C4. En la primera fase de absorción de CO₂, las plantas C3 producen una molécula con tres átomos de carbono y las plantas C4 producen una molécula con cuatro átomos de carbono. La molécula C4 permite a la planta asimilar CO₂ más eficazmente. Las plantas C3 dependen sólo de la difusión de CO₂ a través de sus tejidos y por lo tanto, se benefician más que las plantas C4 de las concentraciones de CO₂ elevadas. Las plantas que utilizan el proceso C3 representan el 85% de todas las especies de plantas e incluyen todos los árboles y las plantas madereras. Las plantas con proceso C4 son las tropicales y los pastos de zonas templadas que crecen en regiones con precipitaciones abundantes en las estaciones calientes. Son plantas C4 la caña de azúcar, maíz, sorgo y mijo.

Metodología "Top-down"

Este procedimiento utiliza como herramienta fundamental los métodos econométricos y como variables explicativas de la demanda energética, los indicadores económicos (precio, ingreso, valor agregado, PIB, etc.). Las mayores desventajas de esta metodología son que no permite desagregar los efectos estructurales no toma en cuenta al sector residencial ni al transporte de pasajeros por no formar parte de la composición directa del PIB. Fuente: "Metodología "Bottom-up" para el análisis de las emisiones de gases de invernadero debidas al uso de energía", Sheimbaum, C., y Rodríguez, L. México ante el cambio climático: Memorias I. 1995.

Metodología "Bottom-up"

Este enfoque orienta su análisis hacia la demanda de energía y no hacia la oferta agregada de la misma. Consiste en la desagregación del consumo energético para los distintos sectores, es decir, construye la demanda total de energía como la suma de los distintos usos finales de cada sector. Fuente: "Metodología "Bottom-up" para el análisis de las emisiones de gases de invernadero debidas al uso de energía", Sheimbaum, C., y Rodríguez, L. México ante el cambio climático: Memorias I. 1995.



BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, Guillermo, 1995. *Vulnerabilidad de los asentamientos humanos ante el cambio climático*, Estudio de País: México.
- Committe on Conservation, 1986. *Soil conservation: assessing the national resources inventory, Vol. I: Committe on conservation needs and oportunities*. National Academic Press. Washington, D.C.
- Conde, C., Liverman, D., Flores, M., Ferrer, R. Araujo, R., Betancourt, E. Villareal, G., Gay, C. Vulnerabilidad del Cultivo de Maíz de Temporal en México ante el Cambio Climático. Memorias del Taller de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en América Latina. Montevideo, Uruguay, 22-24 de abril , 1996. (English version submitted to Climate Research).
- Conde, Cecilia, Liverman, Diana, *Vulnerabilidad de la agricultura ante el cambio climático*, Estudio de País: México.
- Conde, Cecilia, 1996. *Escenarios regionales actuales y de cambio*, Estudio de País: México.
- FAO/UNEP/UNESCO, 1980. *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Roma.
- García, Enriqueta, 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Offset Larios, Mexico.
- Gay C., Martínez, J., 1995. «Mitigation of emissions of greenhouse gases in México» en *Interciencia*, Nov.-Dec. 1995
- Gay C., Conde, C., Martínez, J., Betancourt, E., Araujo, R. *Estudio de País México. Vulnerability of México to Climate Change*.
- Instituto Nacional de Ecología, 1994. Estudio de País: México ante el Cambio Climático Global. Memorias I. Memorias del taller, 18-23 abril, UNAM.*
- Instituto Nacional de Ecología.,1995. Estudio de País: México ante el Cambio Climático Global. Memorias II.*
- J. A., Shields and Coote. (ed.), 1989, SOTER: *Procedures manual for small-scale map and database compilation*. ISRIC, The Nertherlands.

- Jáuregui E. Ruíz, A., Gay, C., Tejeda, A., 1995. Una Estimación del Impacto de la Duplicación del CO₂ Atmosférico en el Bioclima Humano en México. *Memorias del Segundo Taller del Estudio de País: México ante el Cambio Climático*, 219-242. Cuernavaca mayo 8-11, 1995.
- Magaña, Víctor, Conde, Cecilia, Sánchez, Óscar, Gay, Carlos, *Escenarios físicos regionales actuales y futuros*, Estudio de País: México.
- Mendoza, M., Villanueva, E., y Maderey, L., 1995. *Vulnerabilidad e hidrología*, Estudio de País: México.
- National Institute of Ecology. 1997. *México Climate Action Report*. Edited by Carlos Gay, Luis Gerardo Ruíz y Julia Martínez.
- Oropeza, O., Hernández, M., Zárate, R., Alfaro, G., Mitre, L., Valdez, G. y Torres, L., *Vulnerabilidad a la desertificación y a la sequía meteorológica*, Estudio de País: México.
- Ortiz, Mario Arturo, 1995. *Repercusiones por el ascenso en el nivel del mar en el Golfo de México*, Estudio de País: México.
- Quintanilla, J., Bauer, M., Sheimbaum, C., Jáuregui, I., Viqueira, L., 1996. *México Greenhouse Gas Assessment. Final report*. Programa Universitario de Energía-UNAM.
- Ruiz, L., Masera, O., Ordóñez, A., Hernández, T., Guzmán, A., Arvizu, J., González, E., Cuatecontzi, D., Gasca, J., Guzmán, F., Muñoz Ledo, J., 1996. *Updated National Inventory of Greenhouse Gases: México*. National Institute of Ecology-SEMARNAP, UNEP, U. S. Country Studies Program. Edited by Carlos Gay, Luis Gerardo Ruíz y Julia Martínez.
- Sánchez, María Teresa, Martínez, Maribel y Martínez, Norma, *Vulnerabilidad de la industria y el sector energético*, Estudio de País: México.
- U. S. Country Studies Program, 1995. Regional Workshop on Greenhouse Gas Mitigation Strategies for Latin American Countries: Memorias del taller, Julio 10-13, 1995, Cancún, México en *Inter-ciencia* (Septiembre 1995).
- Villers, Lourdes, Conde, Cecilia, 1996. *Construcción de escenarios*, México.
- Villers, Lourdes, 1995. *Vulnerabilidad de los ecosistemas forestales ante el cambio climático*, Estudio de País: México.

México. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se terminó de imprimir en noviembre de 1997 en los talleres de Desarrollo Gráfico Editorial, S.A. de C.V., Municipio Libre 175, Col. Portales, México, D.F. 03300. La composición tipográfica fue realizada por Enkidu Editores, S.A. de C.V. El tiro fue de 1,000 ejemplares.