
**Primer Taller de Estudio de País:
México**

México ante el cambio climático

MEMORIAS

Cuernavaca, Mor., 18 a 22 de abril de 1994



Instituto
Nacional
de Ecología



U.S. Country Studies
Program
Support for Climate
Change Studies



Coordinación
de la Investigación
Científica



Centro
de Ciencias
de la Atmósfera

Editado por:
Carlos Gay
Luis Gerardo Ruiz Suárez
Mireya Imaz
Cecilia Conde
Oscar Sánchez

Composición de texto y formato: Ma. Esther Grijalva
Corrección: Ma. Elena Castillo

Agradecimientos.

Los editores desean agradecer el trabajo que realizaron la Biol. Julia Martínez, el Ing. Luis Conde y la Ing. Adriana Trujillo en la organización y desarrollo del Primer Taller del Estudio de País: México. Sin su valioso empeño, este evento difícilmente se hubiera realizado.

CONTENIDO

Introducción.	5
ENRIQUE PROVENCIO: Inauguración del Taller sobre Cambio Climático, Cuernavaca, Mor., 18 de abril de 1994.	7
CARLOS GAY: Propuesta de programa nacional sobre cambio climático global.	9
RAMON MUÑOZ LEDO: Cálculo de las emisiones nacionales de CO ₂ a partir del balance de energía.	13
TOMAS HERNANDEZ TEJEDA: Emisiones por el cambio de uso del suelo forestal, quema de pastizales y de residuos de cultivos agrícolas.	19
GONZÁLEZ AVALOS, E., L. G. RUIZ SUAREZ Y C. GAY GARCIA: Inventario de emisiones de metano por desechos del ganado bovino en México y su relación con los climas.	23
ENEDINA ORTEGA GUTIERREZ: Sistema de información virtual para el apoyo a la investigación sobre el cambio climático global.	33
CONDE, C., SANCHEZ, O., GAY, C.: Escenarios básicos y regionales. Estudio de país: México.	39
VÍCTOR ORLANDO MAGAÑA RUEDA: An strategy to determine regional climate change.	45
V. M. MENDOZA, E. E. VILLANUEVA Y J. ADEM: Escenario de cambio climático en México de resultados de modelos que suponen un doblamiento en el CO ₂ atmosférico (Caso de Estudio: Hidrología).	55
ERNESTO JÁUREGUI: El cambio global del clima y posibles efectos en las necesidades de enfriamiento de locales en México.	61
J. QUINTANILLA and M. BAUER: Emisiones of the energy chains in the Mexican energy System.	69
CLAUDIA SHEINBAUM y LUIS RODRIGUEZ VIQUEIRA: Metodología "bottom up" para el análisis de las emisiones de gases invernadero debidas al uso de la energía.	93
OMAR MASERA CERUTTI: Long-term carbon emission and sequestration scenarios in Mexican forests: Methodological issues and preliminary results.	99
MARKKU KANNINEN and TOMI TOUMASJUKKA: Forests and the global carbon balance.	103
MARICRUZ MAGOWAN: Diferencias en la evaluación de proyectos ambientales entre un país desarrollado y un país en desarrollo.	115
ORALIA OROPEZA OROZCO y GLORIA ALFARO SANCHEZ: Marco teórico-metodológico de la vulnerabilidad a la desertificación.	121

JOSE ORTEGA-RAMIREZ: Cambio Global: la paleoclimatología y los modelos climáticos.	131
MA. ENGRACIA HERNANDEZ CERDA: La sequía en México.	141
RAFAEL ZÁRATE ZÁRATE: Evaluación de la desertificación por erosión hídrica aplicando el prodecimiento SORTER.	149
MANUEL ANAYA GARDUÑO: La desertificación en México. Estudio de caso.	163
TERESA REYNA TRUJILLO y MARISELA TABOADA SALGADO: Distribución y duración de la sequía intraestival en el estado de Morelos.	175
LOURDES VILLERS RUIZ e IRMA TREJO VAZQUEZ: Modelos para la evaluación de los ecosistemas forestales ante un cambio climático.	183
MARIO ARTURO ORTIZ-PEREZ: Repercusiones del ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México: un enfoque geográfico de los problemas del cambio global.	191
ARTEMIO GALLEGOS GARCIA: Cambio del nivel del mar: un problema de vulnerabilidad.	199
ADRIAN GULLERMO AGUILAR: el cambio climático global y la vulnerabilidad de los asentamientos humanos.	203
ROBERTO A. SÁNCHEZ: Cambio climático y sus posibles consecuencias en las ciudades de México.	213
MARIA TERESA SÁNCHEZ SALAZAR: Marco de referencia sobre la vulnerabilidad de los sistemas energéticos y la industria ante el cambio global. El caso de México.	221
JORGE LOPEZ-BLANCO: Evaluación de la vulnerabilidad de los sectores socioeconómicos y ambientales ante los impactos del cambio climático: integración de resultados para el estudio de país en un contexto SIG.	227

Introducción

México ha cultivado una tradición de participación activa en los foros internacionales en los que se discuten asuntos relacionados con el ambiente y el clima. Desde hace varios años se han realizado esfuerzos para coordinar estudios encaminados a la comprensión de las causas de los problemas ambientales y en particular los relacionados con el cambio climático global y sus posibles impactos en la sociedad, con el propósito de estar mejor preparado para encararlos.

Estos esfuerzos organizativos han conducido a que la participación de México en foros internacionales sea más consistente. Sin embargo, hemos tenido dificultades, sobre todo de tipo financiero. Por esta última razón, la iniciativa del Departamento de Estado de Estados Unidos de crear el "US Support for Country Studies to Address Climate Change", fue acogida con entusiasmo, y en su respuesta, México presentó un proyecto para la realización de "El estudio de País: México", el cual fue aceptado posteriormente.

El Instituto Nacional de Ecología asumió la responsabilidad de llevar a cabo y supervisar el mencionado proyecto, con el apoyo científico del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Las principales instituciones que intervienen en el proyecto son: por parte de la UNAM: el Centro de Ciencias de la Atmósfera, el Programa Universitario de Energía, el Instituto de Ingeniería, el Instituto de Geografía y el Centro de Ecología; otras instituciones nacionales son el Instituto Mexicano del Petróleo, el Instituto de Investigaciones Eléctricas y la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Esto representa un ambicioso plan cuyo propósito es el de entender los impactos del cambio climático sobre las actividades humanas y proveer las bases para el desarrollo de respuestas nacionales que incluyan instrumentos económicos en las políticas sobre la relación clima-ambiente.

Los objetivos principales del proyecto son:

- a) Proveer al Gobierno Mexicano con una base amplia sobre la que se puedan diseñar estrategias y políticas de respuesta a los impactos del cambio climático. Serán analizadas las implicaciones socio-económicas de dichos cambios.
- b) Proveer al Gobierno Mexicano con una amplia base para tomar medidas de adaptación y mitigación.
- c) Establecer las bases para estar actualizados en medidas de adaptación y mitigación asumidas por la Convención Marco sobre Cambio Climático.
- d) Asistir al Gobierno en la implantación de medidas para restaurar el ambiente en el entendido de que lo que es bueno para el ambiente ahora, es bueno para la protección de la atmósfera y el clima.
- e) Ofrecer apoyo técnico al Gobierno Mexicano en su participación en foros internacionales, como los grupos de trabajo del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, del Comité Intergubernamental de Negociación y de organismos internacionales como el Instituto Interamericano sobre Cambio Climático.

El proyecto se concentra en tres áreas mayores.

1. La obtención de un inventario de gases de invernadero, que considere fuentes y sumideros. Especial atención se dará a la reforestación como una acción de mitigación.
3. Desarrollo de escenarios de cambio climático a nivel global, regional y local; escenarios de emisiones de gases de invernadero que permitan el estudio de las implicaciones económicas de diferentes opciones de carácter tecnológico o de política ambiental climática.
4. La revisión y estudio de la vulnerabilidad del país al cambio climático en las áreas de industria y energía; asentamientos humanos; sequía y agricultura; recursos hidrológicos; bosques y ecosistemas; y zonas costeras.

Como primera acción fundamental e integradora del proyecto se llevó a cabo el Primer Taller sobre el Estudio de País sobre Cambio Climático en México, en Cuernavaca, Morelos, México, del 18 al 22 de abril de 1994.

Al Taller asistieron representantes de 15 instituciones nacionales y extranjeras cuyas investigaciones tienen o podían tener relación con el cambio climático.

Como uno de los frutos principales del Taller resultó la impresión de estas memorias.

Estas memorias describen la problemática que será tratada en el estudio, en el que se establecen las bases teóricas que soportan los trabajos. Se realizó un análisis de la información existente y se indica la que será necesaria obtener en esfuerzos futuros.

El Taller sobre el Estudio de País, por otra parte, permitió la libre discusión de los temas y el encuentro de los investigadores, facilitando la comunicación entre éstos, el desarrollo de posibles vínculos y colaboraciones futuras.

Durante sus numerosas sesiones se intercambiaron ideas, se expresaron dudas y se mencionaron acciones que serían relativamente fáciles de emprender. Se mencionó en varias ocasiones la dificultad en la adquisición de información, la problemática de la dispersión de ésta en diferentes lugares y la heterogeneidad en la colección de información.

Durante las sesiones y durante los recesos, numerosas conversaciones surgieron, las cuales fueron útiles en la afinación de los proyectos. Las conversaciones con los representantes y asesores enviados por el "Country Studies Management Team, U.S. Country Studies Program, Support for Climate Change Studies" del Gobierno de Estados Unidos fueron sumamente valiosas en la reformulación de proyectos; notablemente en los relacionados con el inventario de gases de efecto invernadero y en los del área de vulnerabilidad, dando como resultado proyectos con bases más sólidas.

Asimismo, en el área de escenarios se discutieron las fortalezas y las debilidades de los modelos que serían empleados con el propósito de delimitar la validez y significancia de los resultados.

**Inauguración del Taller sobre Cambio Climático
Cuernavaca, Mor., 18 de abril de 1994**

ENRIQUE PROVENCIO

Dirección General de Investigación y Desarrollo, INE, México, D. F., México

1. A nombre del INE y de su Presidenta, deseo expresar el gran interés que tenemos en el estudio de país sobre cambio climático que viene realizando este grupo de trabajo.

Deseo expresar también la entera disponibilidad del INE para apoyar decididamente este esfuerzo, con los medios que la institución tiene a su disposición y con los que se puedan obtener de otras fuentes.

2. Externo dicho interés y tal disposición no como una mera formalidad, ya que hay razones de fondo por las cuales el INE valora intensamente este trabajo.

Primero, porque el proyecto tiene implicaciones decisivas para la política ecológica, no sólo la del futuro, sin para orientar acciones de estos años. Un fenómeno tan relevante, que tendría sus repercusiones a mediano plazo, exige adoptar decisiones ahora, irse preparando en muy distintos campos para enfrentarlo. De ahí que se requieran elementos ahora, aunque no se tenga certeza absoluta sobre ellos, para ir orientando la política ambiental.

Segundo, porque los resultados de este programa, además de la relevancia científica y de la importancia que tiene para sus instituciones y para ustedes en lo personal en tanto proyecto académico, también son fundamentales para orientar la participación del INE y de otros organismos públicos en las negociaciones internacionales vinculadas al cambio climático, y en las instancias que se han ido creando al respecto, como en la convención sobre cambio climático, el IPCC y otros que están en formación.

3. Todo esto cobra mayor sentido si consideramos que las instituciones públicas vinculadas a la política ambiental, aunque no sea privativo de ellas, no están suficientemente preparadas para enfrentar un problema de las dimensiones del cambio climático, a pesar de las acciones de los años recientes.

Esto es así no sólo porque no se conoce suficientemente el problema en su situación actual y en sus tendencias. De ahí la relevancia de los subprogramas de este grupo sobre la actualización y mejoramiento de los inventarios de emisiones y de los subprogramas de escenarios a largo plazo. Además del conocimiento deficiente, enfrentar el problema exige nuevas formas de hacer política ambiental, de hacerla para el largo plazo pero desde ahora y, sobre todo, bajo un nuevo esquema de integración de estrategias en el que la política ambiental no se formule ni se ejecute al margen de la política industrial, energética, de transporte y de otros sectores críticos para el cambio climático.

4. En este marco, el "Country Study" sobre cambio climático adquiere su justa dimensión, por lo que significa en el avance del conocimiento sobre el problema, de sus tendencias y de la anticipación que se pueda hacer para enfrentarlo.

El INE tiene claro que el esfuerzo de investigadores como ustedes y el área tan crítica en la que están trabajando, requiere continuidad en los apoyos, y sobre todo, se requiere una mayor atención ya que tratándose de un problema emergente no existe aún sensibilidad suficiente a la hora de fijar las prioridades para apoyo a la investigación. Esto se tiene presente en el Instituto, y se buscará que, teniendo en cuenta las restricciones presupuestales actuales, y el horizonte de

la gestión de la actual administración del INE, haya continuidad en el apoyo, sobre todo para cuando concluya el aporte externo por parte de EPA, a fines de 1995.

5. Para el INE, además, este proyecto tiene gran interés por la forma en que está organizado y los vínculos que supone entre instituciones públicas y académicas.

Son muchos los casos en que se carece de coordinación entre instituciones públicas, centros académicos e investigadores que están generando conocimiento básico o aplicado que resulta fundamental para la política ambiental. Con ello la institución pública no aprovecha, y a veces ni siquiera conoce bien lo que se está generando en medios académicos y que representa la base para mejorar o rediseñar la política ambiental.

Este proyecto, afortunadamente, muestra que es posible otro esquema de relaciones, en el que las instituciones universitarias y gubernamentales desarrollen formas estrechas de colaboración que no disocien la investigación de su posible aplicación directa incluyendo aquella requerida para formular y ejecutar políticas. Es deseable, por tanto, que el esquema de organización de este proyecto se reproduzca en otros.

También merece destacarse el éxito que se viene registrando en cuanto a la coordinación entre los propios centros de investigación involucrados, dado el elevado número de centros que interviene en el estudio.

6. Por último, quiero agradecer por parte del INE a la representante de la EPA por el apoyo financiero para la realización de este trabajo, y por el impulso adicional que representa el intercambio de información y de experiencia, y la asesoría prestada en áreas específicas del trabajo.

También deseo expresar nuestro reconocimiento al Centro de Ciencias de la Atmósfera, y en particular al Dr. Carlos Gay, por la atinada coordinación científica, y a la Bióloga Julia Martínez que por parte del INE interviene directamente en la coordinación administrativa del estudio.

Propuesta de programa nacional sobre cambio climático global

CARLOS GAY

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM Circuito Exterior 04510, México, D. F., México

En esta pequeña introducción trataré de contextualizar el Estudio de País en el que la mayoría de nosotros participamos y que esperamos se amplíe a comprender a la mayor cantidad de gente e instituciones que de alguna manera están relacionadas con asuntos que contemplan al cambio Climático Global.

México ha participado en numerosos foros internacionales en los que se ha discutido al cambio Climático Global y sus posibles consecuencias. Estos han comprendido desde reuniones de carácter científico hasta reuniones en las que se ha llegado a contemplar las consecuencias socio-políticas del cambio. Como éste es de orden global, exige que los problemas se enfoquen desde un punto de vista igualmente global y esto a su vez apunta hacia la concertación o la negociación a nivel internacional.

En 1988 la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, constituyen el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC), en el que México ha participado regularmente. El propósito del panel fue el de revisar el estado del conocimiento mundial sobre el Cambio Climático y sus consecuencias. De las revisiones realizadas por el PICC resultó claro que las consecuencias del Cambio Climático podrían ser muy serias, y que entonces resultaba imperativo que se tomaran medidas para tratar de aminorar sus efectos.

Como las medidas propuestas representaban de alguna forma modificar la manera en que el mundo se desempeña en términos de su actividad productiva y que, además sus efectos no se distribuirían uniformemente en el planeta habiendo lugares y países más afectados que otros, - entre ellos la mayoría de los países en vías de desarrollo - y considerando además que el grado de responsabilidad en el deterioro detectado del ambiente tampoco sería uniformemente distribuido, ya que la mayor responsabilidad recaería en los países desarrollados, habría que realizar negociaciones para tratar de tomar las medidas que impidieran o aminoraran el cambio previsto. Como estas medidas en realidad son más de orden político que técnico, se formó el comité de negociación intergubernamental que sería el encargado de negociar, mientras que se mantenía al PICC como órgano técnico asesor.

Las negociaciones llevadas a cabo por el Comité de Negociación Internacional, desembocaron eventualmente en la Conferencia de Río sobre Medio Ambiente, en la que se firmaron el convenio marco sobre Cambio Climático Global y el convenio marco sobre Biodiversidad.

Desde sus primeras participaciones, México sintió la necesidad de tener información acerca de las actividades que sobre la materia se realizaban en el País, y por tanto el Instituto Nacional de Ecología acudió a la UNAM donde diversas investigaciones se llevaban a cabo, en particular en el Centro de Ciencias de la Atmósfera (que las viene desarrollando desde los años 60's) que contaba y cuenta con gran parte de la información, debido a su larga participación en el tema.

Sin embargo en la colaboración con el INE el CCA encontró que los trabajos sobre el tema de Cambio Climático estaban dispersos, y en ocasiones ni siquiera clasificados como relevantes al Cambio Climático, esto fue detectado y se está en el proceso de corregir.

Por estas razones, el Instituto Nacional de Ecología (INE), encargado de representar a México en las negociaciones, empezó a impulsar - con el apoyo del CCA- la coordinación de acciones tendientes a organizar el conocimiento que sobre Cambios Climáticos se estaba generando en México.

Como resultado de este impulso, se planteó un Programa Nacional Científico sobre Cambio

Climático Global, labor que permitió el acercamiento y la identificación de grupos que se dedicaban a estudiar este problema. Por otro lado, a finales de 1992 y como consecuencia de la Cumbre de Río, los EE.UU. lanzaron una iniciativa mediante la cual apoyarían estudios relacionados con las consecuencias del Cambio Climático a nivel regional. México recogió dicha iniciativa y sometió un proyecto sobre Estudio de País, que fue aprobado y cuyo primer efecto es el Taller que ahora reseñamos.

Al tener en cuenta el proyecto científico y el Estudio de País, así como la participación de México en negociaciones internacionales, apunta nuevamente a la necesidad de contar con una estructura organizativa, que coordine los esfuerzos que en el País se realizan en el contexto del Cambio Global.

En estos términos es que hacemos una propuesta de lo que podría ser el Programa Nacional sobre Cambio Climático Global, sus propósitos estratégicos son:

Propósitos Estratégicos del Programa

1. Apoyar al gobierno en la toma de decisiones relacionadas con negociaciones internacionales.
2. Apoyar al gobierno en la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo sostenido en el marco de los posibles impactos y las obligaciones internacionales.
3. Apoyar el esfuerzo científico nacional y la participación en programas internacionales.
4. Identificar cambios inducidos de origen natural y antropogénico.
5. Impulsar investigación y actividades multidisciplinarias.
6. Impulsar programas y actividades educativas para promover la participación de la población en programas enfocados a la preservación del ambiente global y regional.

Prioridades Integradoras del Programa

1. Impulsar el programa Nacional Científico.
2. Impulsar el Estudio de País.
3. Impulsar la documentacion del cambio global y regional.

* Programas de observación

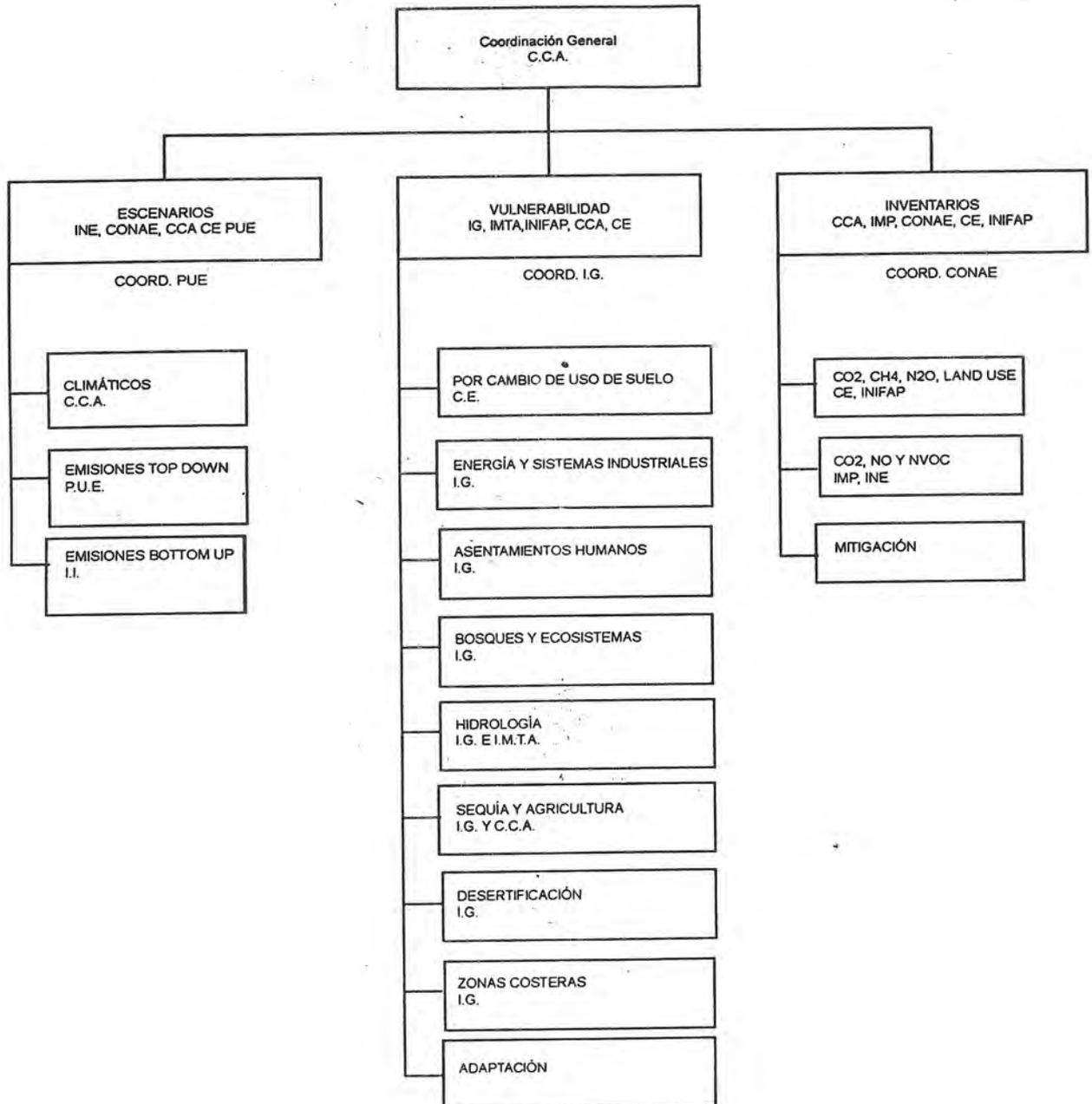
* Sistemas de manejo de la información

Dentro del programa Científico ponemos a consideración un cuadro en el que se plantean ciertos problemas científicos cuya priorización sería de "arriba hacia abajo" y de "izquierda a derecha", como se indica en la siguiente figura:

Prioridades Científicas

Tierra sólida	Interacción humana	Historia de la Tierra	Sistemas ecológicos y dinámicos	Influencia solar	Biogeoquímica	Clima y ciclos hidrológicos
-Erosión de costa.	-Desarrollo de bases y modelos sobre crecimiento y distribución de población, contaminación, demanda de energía, cambios de usos de la tierra.	-Paleoclima.	-Medidas a largo plazo de estructuras y funciones.	-Monitoreo de radiación UV, extraterrestre, capas interiores superficie.	-Flujos de especies traza entre: biota, atmósfera oceános.	-Papel de las nubes.
-Procesos volcánicos,	-Impactos climáticos en/por urbanización.	Paleoecología.	-Respuestas al clima y otros forzamientos.	Transferencia de radiación: medidas y modelos, nubes, aerosoles.	-Procesos atmosféricos de especies traza (O3, NOx, CH4, CFCs, etc.) y aerosoles en: troposferas y estratosferas.	-Interacción entre: atmósfera, océano, continente.
-Flujos de energía océano/fondo de mar.		-Composición de la atmósfera y océano.	Interacciones de procesos: físicos y biológicos.	Asociación de registro solar con clima.	-Interacciones superficie oceánica/aguas profundas.	-Circulación oceánica y flujos de energía.
-Procesos de superficie: movimiento de corteza terrestre nivel del mar.		-Productividad oceánica.	-Modelos de: interacciones retroalimentaciones y respuestas.	-Medidas indirectas.	-Nutrientes y ciclo de Carbono.	-Interacción entre: atmósfera, océano, hielo.
		-Cambios del nivel del mar.	-Impactos en productividad y recursos renovables.	-Base de datos histórica.		
		Paleohidrología.				

Estudio de País



Cálculo de las emisiones nacionales de CO₂ a partir del balance de energía

RAMON MUÑOZ LEDO

Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)

JAIME BRASH

Comisión Nacional de Ahorro de Energía (CONAE)

RESUMEN

La presencia de CO₂ por concepto de producción de energía es uno de los principales problemas a que se enfrenta la Industria Nacional, que como un primer paso necesita tener una evaluación de las cantidades que se producen de CO₂ en función de la energía que requiere, para obtener una información confiable y reproducible se toma la metodología que propone el PANEL INTERGUBERNAMENTAL PARA EL CAMBIO CLIMATICO (IPCC) en donde se señalan los coeficientes de producción de CO₂ por unidad de energía consumida y los balances nacionales de energía (que se publican anualmente), con la relación de estas dos informaciones se obtiene una aproximación de la producción global de CO₂ así como un desglose de la producción del mismo por rama industrial, los cálculos que se reportan en este estudio son de 1988.

Introducción

El bióxido de carbono es el más común de los gases efecto invernadero producido por las actividades antropogénicas, la principal fuente es la oxidación de los combustibles fósiles totalizando de un 70 a un 90 % del total de las emisiones antropogénicas de CO₂. Estas emisiones se derivan principalmente de la combustión de los combustibles fósiles en donde la mayoría del carbono contenido en el combustible se libera como CO₂ durante el proceso de combustión, otra parte del carbón se libera como CO, CH₄, o hidrocarburos no metano los cuales se oxidan para formar CO₂ en un periodo que va desde unos cuantos días hasta 8-10 años. La cantidad de CO₂ emitido depende directamente de la cantidad de combustible consumido, de la fracción de carbón del combustible que se oxida y del contenido de carbón del combustible.

Entre los temas ambientales de mayor relevancia a nivel mundial, destaca el del Cambio Climático. Se sabe que existe un efecto invernadero natural que mantiene la temperatura de la tierra más caliente que lo que sería si no existiese tal efecto. Por otra parte, es claro que las emisiones derivadas de las actividades humanas están aumentando sustancialmente las concentraciones atmosféricas de los gases causantes del efecto invernadero, principalmente el bióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) el óxido nitroso (N₂O) y los clorofluorocarbonos (CFC).

Existe el riesgo de que el aumento de las concentraciones de los gases efecto invernadero en la atmósfera afecten el clima de la tierra, aunque hay discrepancia en la magnitud global y local de los impactos y el tiempo en que estos ocurrirán.

El conocimiento de la magnitud de las emisiones de los gases efecto invernadero y de los medios para reducirlas o hacer adaptaciones para enfrentar el calentamiento de la tierra jugará un papel preponderante para mejorar nuestro entendimiento de las implicaciones sociales, económicas y políticas de este efecto.

Para estabilizar las concentraciones atmosféricas se requiere una reducción sustancial de las emisiones totales de los gases efecto invernadero. El lograrlo implicará cambios tecnológicos significativos que afectarán las condiciones económicas, políticas y sociales tanto a nivel nacional como global.

A nivel mundial se están tomando medidas para evitar, en lo posible, las potenciales con-

secuencias del Cambio Climático. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), organización a la que pertenece México tiene el compromiso de disminuir las emisiones de CO₂ a los niveles de 1990. El compromiso firmado en la convención de RIO 1992 establece que cada país deberá desarrollar una estrategia nacional para reducir sus emisiones de CO₂ y otros gases invernadero.

Como primer paso para reducir las emisiones es necesario hacer las estimaciones de las mismas, para esto, un grupo de expertos de la ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) estableció una metodología básica(1) para determinar las emisiones de los gases, en esta misma metodología se proponen algunas ecuaciones y principios básicos para evaluar datos que no se tengan como son los factores de emisión.

Fuentes de datos y elementos de cálculo

La estimación de las emisiones de CO₂ se realizó utilizando los factores de emisión y procedimientos de cálculo contenidos en la metodología de la OECD (1) y con los datos relativos a la producción y consumo de combustibles fósiles, cuya fuente son los Balances Nacionales de Energía (2) 1988 y 1990.

Aplicando la metodología, se desarrolló un programa de cálculo para procesar los datos con los factores de emisión y de las ecuaciones recomendadas, permitiendo la modificación interactiva de cualquiera de los datos (factores de emisión o valores de consumo de energía).

Datos necesarios para estimar las emisiones de CO₂ según requerimientos de la metodología de la OECD (1)

1. Consumo aparente de combustibles fósiles por tipo de combustible.
2. Coeficiente promedio de emisión de carbón de cada combustible y carbón total potencialmente emitido por el uso del combustible.
3. Cantidad de carbón secuestrada en productos no energéticos por periodos de tiempo largos.
4. Cantidad de carbón no oxidada durante la combustión.
5. Otras actividades de producción que emitan CO₂ como producto derivado del proceso.

Datos del balance de energía 1988 para cálculo de CO₂ global

combustibles líquidos	produc.	import.	export.	stocks	coef.em.
1.- Petroleo Crudo	1406.03	.00	733.17	-12.50	20.00
2.- Condensado	45.98	.00	.00	-1.47	20.00
3.- Gasolina/nafta	NA	1.03	11.03	1.88	18.90
4.- Kerosina	NA	.05	9.63	.20	19.50
5.- Diesel	NA	.00	4.04	2.13	20.20
6.- Combustóleo	NA	34.45	24.02	1.60	21.10

combustibles sólidos	produc.	import.	export.	stocks	coef.em.
7.- Carbón	32.77	.58	.46	-.53	25.80
8.- Coke	NA	.93	.43	1.23	25.80
9.- Bagazo de Caña	20.46	.00	.00	-.32	25.80
10.- Leña	78.64	.00	.00	.00	25.80
combustibles gaseosos	produc.	import.	export.	stocks	coef.em.
11.- Gas licuado	NA	7.50	11.55	.02	15.30
12.- Gas asociado	NA	.00	.00	-11.98	15.30
13.- Gas no asociado	NA	.00	.00	-.47	15.30
14.- Gas	212.68	.59	.00	-.915.30	

produc. producción

import. importación

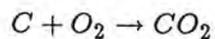
export. exportación

stocks. reservas o variaciones en inventarios

coef. em. coeficiente de emisión (Kg de C/ Gigajoule)

Los datos de producción, importación, etc. están dados en billones
(1E12 Kilocalorias)

De acuerdo con los datos del balance de energía anterior utilizando las conversiones pertinentes y haciendo un balance de masa (producción + importación - exportación + stocks) obtenemos las emisiones de Carbono en Kilogramos, de acuerdo con la reacción de oxidación del Carbono tenemos:



Según las relaciones moleculares por cada 12 kilogramos de Carbono se obtendrán 44 kilogramos de CO₂.

Resultados

Emisiones de CO₂ por consumo de energía para 1988 ENERGIA PARA 1988

combustible	carbon total E3 MT C	
Petro. Crudo	55295.91	
Condensado	3727.09	
Gasolina/nafta	-642.54	
Kerosina	-765.81	
Diesel	-161.54	
Combustóleo	1062.75	
Carbón	3495.51	
Coke	186.87	
Bagazo de Caña	2175.51	
Leña	8494.65	
Gas licuado	-258.15	
Gas asociado	-767.42	
Gas no asociado	-30.11	
Gas	13603.36	
TOTAL DE CARBONO		85416.1E3 Tons
TOTAL DE CO₂		313192.4E3 Tons

En el balance anterior se supone que todos los combustibles son oxidados, lo cual no es cierto porque hay algunos de estos productos que no se utilizan para fines energéticos, entre los que destacan los lubricantes los solventes, etc. Para obtener resultados más concretos se tomaron del balance Nacional de Energía estos valores que se encuentran tabulados como:

Emisiones secuestradas por uso no energético de combustibles (2, 3)

COMBUSTIBLE	secuestrado GigaJoules	factor Kg C/Gj	CO ₂ no prod. E3 Tons de C
1.- PROD. NO ENER.	272281800.0	20.0	-5445.6
2.- GAS	13049900.0	15.3	-1729.7
3.- GASOLINAS	39928260.0	19.5	-778.6
4.- NAFTAS	39928260.0	19.5	-778.6
5.- BAGAZO	7215950.0	25.8	-186.2
6.- COMBUSTOLEO	2886380.0	21.1	-60.9
7.- KEROSINAS	2886380.0	19.5	-56.3
8.- COQUE	2886380.0	25.8	-74.5
TOTAL DE CARBONO		76305.8E3 Tons	
TOTAL DE CO₂		279787.8E3 Tons	

Emisiones de CO₂ derivadas de la producción en cemento:

Las emisiones de gases efecto invernadero también se producen como producto de actividades no energéticas en la industria, el comercio y el sector residencial. En la industria, las principales fuentes de emisión son los procesos de producción que transforman químicamente las materias primas de un estado a otro. Durante este proceso de transformación se emiten gases efecto invernadero.

La producción de cemento es quizás el ejemplo más notable de estos procesos en donde se libera una cantidad significativa de CO₂ y representa aproximadamente el 2.4% de las emisiones totales industriales y energéticas de CO₂.

El cálculo de las emisiones de CO₂ derivadas de la producción de cemento se efectúa aplicando un factor de emisión, en toneladas de CO₂ emitidas por tonelada de cemento producida, a la producción anual de cemento. De acuerdo con la metodología (1), el factor usado en este inventario es: 0.4985 Ton CO₂/ton cemento. La producción de cemento en México para el año de 1988 fue de: 23.425 (4, 5) millones de toneladas.

A las emisiones energéticas de CO₂ se agregan las emisiones de la Industria de producción de cemento que en su proceso genera CO₂ no energético, que se adiciona al total generado de bióxido de carbono.

CO₂ por total de energía primaria menos productos
secuestrados más producción de cemento (toneladas)

TOTAL DE CARBONO	79490.5E3 Tons
TOTAL DE CO ₂	291465.2E3 Tons

Discusión de Resultados

Las emisiones de CO₂ derivadas de la producción y consumo de combustibles fósiles fueron determinadas principalmente, partiendo de los datos contenidos en el Balance Nacional de Energía 1988, publicado por la SEMIP. De acuerdo con la metodología, las emisiones se determinaron aplicando a estos datos las fórmulas o los factores de emisión recomendados.

Las emisiones de CO₂, provienen del consumo de energía en las fuentes estacionarias (industria, residencial, comercial), y fuentes móviles (transporte y agropecuaria), en todos los casos las emisiones dependen del combustible, del tipo de tecnología usada y de los controles anti-contaminantes implementados. Las emisiones además, varían dependiendo del tamaño y de la antigüedad de la tecnología de combustión, el mantenimiento y la operación.

Para comparar el presente estudio, se deben de aplicar factores de emisiones para cada tecnología usada, ya que al usar tecnologías avanzadas se obtienen algunas reducciones substanciales en cuanto a la cantidad global de emisiones.

Se necesita además una investigación completa sobre el uso de combustibles fósiles usados como materia prima para usos no energéticos), tales como: lubricantes, plásticos, aceites, acero, fertilizantes, para determinar exactamente la cantidad de carbono que se secuestra en los procesos de combustión.

Se deben realizar mediciones en gases derivados de la combustión de calderas y hornos industriales, residenciales y comerciales para determinar factores de emisión típicos para nuestro país, para así obtener datos y realizar los cálculos del CO₂ emitido por subrama industrial y poder comparar contra los resultados obtenidos por el método de balance de energía.

Conclusiones

Las emisiones que en este trabajo se determinan de CO₂, pueden estar subestimadas o sobre estimadas, puesto que los factores de emisión fueron estimados por expertos de OECD, pero puede haber algunas diferencias considerables con los valores reales.

Para poder obtener datos más confiables se necesita realizar censos industriales, residenciales, comerciales, etc. esto nos permitirá determinar los tipos de tecnologías usados en los procesos de combustión y a partir de estos datos se podran obtener determinaciones de emisiones más exactas.

Se deben de establecer incentivos para que se mejoren los tecnologías actuales para la combustión en general, con ello se reducirán los factores de emisión y se disminuirán las emisiones de gases efecto invernadero, que en la actualidad son de aproximadamente 1 tonelada por habitante al año.

BIBLIOGRAFIA

ESTIMATION OF GREENHOUSE EMISSIONS AND SINKS Final Report from the OECD Experts Meeting, 18-21 February 1991.

BALANCE NACIONAL DE ENERGIA 1988. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal.

ANUARIO ESTADISTICO 1988 Petróleos Mexicanos (PEMEX).

Barojas Weber, L. Asesor del C. Subsecretario de Energía (SEMIP). Comunicación Personal.

Mendoza Medellín, Y. Directora de Análisis Estructural (SEMIP). Comunicación Personal.

Emisiones por el cambio de uso del suelo forestal, quema de pastizales y de residuos de cultivos agrícolas

TOMAS HERNANDEZ TEJEDA

*Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales.
INIFAP, SARH. Av. Progreso 5. Col. Coyoacán. 04110. México, D. F., México*

ABSTRACT

Land-use change that result in alterations in the amount of biomass (organic material, both aboveground and belowground and both living and dead, e.g., trees, crops, grasses, tree litter, roots, etc.) on that land produce a net exchange of greenhouse gases between the atmosphere and land surface. The most important land-use changes that result in greenhouse gas emissions and uptake are conversion of forests to non-forests and conversion of non-forests to forests. Other land-use changes, while not as important on a global scale, can have a measurable impact on national or regional net greenhouse gas releases. These other land-use changes include forests thinning and degradation, conversion of wetlands to non-wetlands and non-wetlands to wetlands, and conversion of cultivated lands to grasslands and grasslands to cultivated lands. When forests are cleared, most of the carbon in the cleared biomass is released to the atmosphere as carbon dioxide (CO_2). Clearing by burning results in immediate emissions of CO_2 ; mechanical clearing, in which the biomass is left on the ground to decay, result in a slow release of CO_2 . Forest thinning and degradation, due to such "activities" as fuelwood gathering, logging and air pollution, result in net CO_2 emissions. Clearing by burning releases other gases in addition to CO_2 which are by-products of incomplete combustion: methane (CH_4), carbon monoxide (CO), nitrous oxide (N_2O), and oxides of nitrogen (NO_x), among others. Forest conversion also results in greenhouse gas emissions through soil disturbance. Clearing by burning may also stimulate soil nutrient loss. Other land-use changes that result in net greenhouse gas emissions include changes in areas of wetland, grassland, and cultivated land. Savanna burning releases other gases in addition to CO_2 , including: CH_4 , CO , N_2O and NO_x . Grassland fires may also perturb the soils sufficiently to release N_2O and NO_x . Burning of crop residues is not thought to be a net source of CO_2 ; however, crop residue burning is a significant source of CH_4 , CO , N_2O and NO_x (IPCC, 1991). In the preliminary greenhouse gas inventory for Mexico it was reported a carbon emission of the 30 ton/ha in 1988 due to the land-use change of the Mexican forests. The total carbon emissions in the same year was around of 32.0 million tons (INE-SEDESOL, 1992). Masera *et al.* (1992) reported a carbon emission mean of 34 ton/ha, and a total carbon emissions of 27.5 million tons/year due to the deforestation of the tropical and temperate Mexican forests.

Introducción

Los cambios de uso del suelo forestal producen un intercambio neto de gases invernadero entre la atmósfera y la superficie del suelo. Los cambios de uso del suelo más importantes, que dan como resultado emisiones y absorciones de gases invernadero, son la conversión de los bosques en áreas no boscosas (pastizales o tierras de cultivo) y áreas no boscosas en bosques (plantaciones). Algunos otros cambios del uso del suelo incluyen la degradación de los bosques, la conversión de tierras pantanosas en no pantanosas y viceversa, y la conversión de tierras de cultivo en pastizales y viceversa.

Cuando los bosques se talan, la mayor parte del carbono que se libera de la biomasa se incorpora a la atmósfera como dióxido de carbono (CO_2). Los incendios forestales dan lugar a emisiones de CO_2 inmediatas; la tala de los bosques, en la cual la biomasa se deja sobre el suelo para podrirse, da como consecuencia una lenta liberación de CO_2 . Si se permite al bosque regenerarse, el CO_2 atmosférico se absorbe por la vegetación en crecimiento y al paso del tiempo la absorción de CO_2 será igual a la emisión del mismo, es decir el intercambio neto del CO_2 será cero. Si a los bosques no se les permite regenerarse para alcanzar su nivel original de densidad de biomasa, entonces se tendrán emisiones netas de CO_2 en la atmósfera. Del mismo modo, la degradación de los bosques debido a la extracción de madera y a la contaminación atmosférica por lluvia ácida y ozono, dan como resultado emisiones netas de CO_2 . Sin embargo, si la acumulación de la biomasa sobre el suelo, a través de la regeneración natural, manejo del bosque y/o establecimiento de plantaciones forestales, es mayor que la remoción de la biomasa, entonces se tendrá una mayor absorción de CO_2 .

Los incendios forestales emiten otros gases además del CO_2 , los cuales son productos de la combustión incompleta: metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N_2O), y óxidos de nitrógeno (NO_x , especialmente $\text{NO} + \text{NO}_2$), entre otros. Las emisiones de CO_2 a partir de los incendios forestales pueden o no implicar una liberación neta de CO_2 a la atmósfera; sin embargo, las emisiones de los otros gases son exclusivamente emisiones netas hacia la atmósfera.

Cuando los bosques se transforman en tierras de cultivo, aproximadamente del 25-50% del carbono del suelo se libera como CO_2 , principalmente a través de la oxidación de la materia orgánica; la conversión de un bosque tropical en pastizal puede o no contribuir a la pérdida de carbono del suelo. La quema de biomasa superficial estimula la emisión de N_2O y NO_x de los suelos hasta por seis meses después de la quema. Cualquier forma de disturbio del bosque estimula la pérdida de N del suelo.

Las áreas pantanosas son una fuente natural de metano, debido a la descomposición anaeróbica del material orgánico de tales suelos. Cuando se drena un área pantanosa se reducen las emisiones de metano, pero se incrementan las emisiones de CO_2 debido a la oxidación del material orgánico del suelo. La magnitud de estos efectos están en función de la temperatura del suelo y de la magnitud del drenado. Los suelos secos son una fuente natural de N_2O , el que puede ser emitido a la atmósfera como un resultado de los procesos de desnitrificación y nitrificación; asimismo, producen y consumen CO. La producción de CO es un proceso abiótico el cual ocurre debido a la oxidación química del material húmico y depende totalmente de la temperatura, humedad y pH del suelo. Del mismo modo, la destrucción del CO es un proceso biológico debido a la presencia de microorganismos en el suelo.

La sabana es un tipo de vegetación tropical y subtropical que consiste en una cubierta de pasto, ocasionalmente interrumpida por árboles y arbustos. El crecimiento de la vegetación de las sabanas es controlado por la alternancia de las estaciones lluviosas y secas, por lo que el crecimiento de la vegetación se presenta principalmente durante la estación lluviosa. La superficie total de la sabana a nivel mundial es incierta debido a la falta de datos y a las diferentes clasificaciones de los ecosistemas. Varios autores afirman que las sabanas cubren aproximadamente 1900 millones de hectáreas en todo el mundo; algunos estiman un total de 1 500 millones y otros calculan 1 300 millones de hectáreas. Las sabanas se queman intencionalmente cada 1-4 años en promedio, durante la estación seca, principalmente con propósitos agrícolas. Los incendios de las sabanas emiten inmediatamente CO_2 ; sin embargo, debido a que típicamente la vegetación se regenera entre ciclos de quema, el CO_2 liberado hacia la atmósfera es reabsorbido durante el siguiente periodo de crecimiento de la vegetación.

Además de las emisiones de CO_2 por la quema de la sabana, se tienen emisiones de CH_4 , CO, N_2O y NO_x , mismos que inducen emisiones netas hacia la atmósfera. La quema de los pastizales también puede perturbar los suelos suficientemente para emitir N_2O y NO_x .

En todo el mundo se producen grandes cantidades de desperdicios de las cosechas, los cuales pueden ser en forma de residuos agrícolas y desechos animales. La quema de los residuos agrícolas no es una fuente importante de CO_2 debido a que el carbono liberado a la atmósfera durante la quema es reabsorbido durante la estación de crecimiento siguiente; sin embargo, la quema de los residuos agrícolas si es una fuente significativa de CH_4 , CO, NO_x y N_2O .

La quema de los residuos agrícolas en el campo es una práctica muy común en los países en vías de desarrollo, con objeto de limpiar de desechos el terreno y preparar el suelo para el siguiente ciclo del cultivo. Se estima que aproximadamente el 80% de los residuos agrícolas producidos en los países en vías de desarrollo se queman, comparado con el 50% de los países desarrollados (IPCC, 1991.)

Emisiones de gases invernadero

En México se emitieron 27.5 millones de toneladas de carbono por año debido a la deforestación de los bosques templados y tropicales a mediados de los años 80's. Estas emisiones se calcularon

con base en una tasa de deforestación de 804 000 ha por año. En promedio se emitieron 34 toneladas por ha de carbono; sin embargo, las emisiones de carbono por hectárea difieren notablemente de acuerdo con el tipo de bosque, variando de 14 toneladas por hectárea en un bosque latifoliado templado a 55 toneladas por hectárea en un bosque tropical lluvioso (Masera, *et al.*, 1992).

Las emisiones de carbono provenientes de los bosques, energía e industrias, a mediados de los 80's, fueron de 105 millones de toneladas por año, con una producción per cápita de 1.4 toneladas, lo cual indica que la contribución de nuestro país, en cuanto a las emisiones de carbono, está entre las mayores de aquellos países en vías de desarrollo; sin embargo, dicha contribución se encuentra muy por abajo de aquellas de los países desarrollados (Masera, *et al.*, 1992).

INE-SEDESOL, 1992, en el inventario preliminar de emisiones de gases efecto invernadero para México, reporta una emisión de carbono de 30 toneladas por hectárea en el año de 1988, para los bosques de México, misma que se aproxima al promedio calculado por Masera, *et al.*, (1992) que es de 34 toneladas por hectárea por año. Por otra parte, comparando las emisiones totales de carbono, estimadas tanto por Masera, *et al.*, (1992) como por el INE-SEDESOL, se tienen 27.5 y 32.0 millones de toneladas de carbono, respectivamente.

INE-SEDESOL, 1992, estima las emisiones netas en 1988 para México con las siguientes cifras:

1. Por conversión de áreas forestales en áreas de cultivo y pastizales = 32 Tg (teragramos = 106 toneladas) de $\text{CO}_2\text{-C}$, 0.029 Tg de $\text{CH}_4\text{-C}$, 0.29 Tg de CO-C y 0.00147 Tg de $\text{N}_2\text{O-N}$.
2. Por quema de pastizales = 19 Tg de $\text{CO}_2\text{-C}$, 0.185 Tg de $\text{CH}_4\text{-C}$, 1.85 Tg de CO-C , 0.00078 Tg de $\text{N}_2\text{O-N}$ y 0.014 Tg de $\text{NO}_x\text{-N}$.
3. Por quema de residuos de cultivos agrícolas = 7.9 Tg de $\text{CO}_2\text{-C}$, 0.0705 Tg de $\text{CH}_4\text{-C}$, 0.705 Tg de CO-C , 0.000895 Tg de $\text{N}_2\text{O-N}$ y 0.0152 Tg de $\text{NO}_x\text{-N}$.
4. Por tierras forestales inundadas = 0.27 Tg de $\text{CH}_4\text{-C}$.

Las cifras anteriores se estimaron de acuerdo con los datos disponibles hasta esa fecha; sin embargo, se considera que es de primordial importancia complementar dicho inventario, con el fin de poder determinar el tipo y la cantidad de emisiones de todos y cada uno de los gases efecto invernadero en nuestro país.

Por tanto, es necesario determinar las hectáreas de:

- a) Tierras abandonadas que se regeneraron en bosques.
- b) Tierras abandonadas que se perdieron.
- c) Áreas forestales con explotación no sostenible.
- d) Áreas forestales con explotación no perturbada.
- e) Áreas forestales para obtener leña.
- f) Áreas forestales que se han perdido por la contaminación atmosférica.
- g) Áreas forestales que se han degradado por la contaminación atmosférica.
- h) Superficies drenadas por tipo de bosque.
- i) Áreas de pastizal convertidas en tierras de cultivo.

El reporte de "Greenpeace" editado por Legget en 1990, estima que durante 1989 se emitieron en México 64 millones de toneladas de carbono, lo cual representa el 4.6% del total mundial, debido exclusivamente a la deforestación.

Por otra parte, en un reporte de la ICF Incorporated, 1992, se menciona que el total de CH_4 emitido en México durante 1990 por la quema de biomasa fue de 1.16 Tg, en los cuales se incluyó la quema de pastizales, de residuos agrícolas y de leña, así como debido a la producción de carbón, incendios forestales y prácticas agrícolas regionales.

REFERENCIAS

- ICF Incorporated. 1992. Methane emissions inventory for biomass burning for report to congress on international sources of methane. Washington, D. C., USA.
- Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Desarrollo Social, 1992. Inventario previo de emisiones de gases efecto invernadero para México, 1988. México, D. F., México.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 1991. Estimation of greenhouse gas, emissions and sinks. OECD Experts Meeting. Paris, France.
- Leggett, J., 1990. Global Warming: The Greenpeace report. Oxford University Press. Great Britain.
- Masera C., O., M. J. Ordoñez and M. R. Dirzo, 1992. Carbon emissions from deforestation in Mexico: Current situation and long-term scenarios. Climate Change Division, EPA. Washington, D. C., USA.

Inventario de emisiones de metano por desechos del ganado bovino en México y su relación con los climas

GONZALEZ AVALOS, E., L. G. RUIZ SUAREZ y C. GAY GARCIA

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, CU. Circuito Exterior 04510, México, D. F., México

ABSTRACT

In this work we show the results from the inventory of methane emissions because of anaerobic decomposition out of cattle manure in Mexico. This is done for the north, center, south and southeast regions of the country, through 1982 to 1992, and up to 2025. Account was taken of the herd stratum, its function as meat or milk producer, the cattle management system in Mexico, as well as the actual and possible future climate on each geographical region. We propose an alternative method for computing methane emissions out of cattle waste in wet and subwet climate. Thus we show the emissions forecasting from three hypothetical scenarios for 2025 year.

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en el inventario de emisiones de metano por la descomposición anaeróbica de los desechos del ganado bovino en México, para las regiones geográficas del norte, centro, sur y sureste del país, durante los años 1982 a 1992, y hasta 2025. Para ello se consideraron los estratos del hato, su función como productores de carne o leche, los sistemas de producción de ganado bovino en México y los climas actuales y futuros de cada región geográfica. Se propone un método alterno para el cálculo de las emisiones de metano por desechos del ganado bovino en climas húmedos y subhúmedos. Así mismo se hace un pronóstico de las emisiones en torno a tres escenarios hipotéticos para el año 2025.

Introducción

El metano es un gas relacionado con el efecto invernadero, producido principalmente por la descomposición de la materia orgánica en presencia de bacterias anaeróbicas y emitido a la atmósfera planetaria. Se ha observado que las concentraciones de metano atmosférico han aumentado considerablemente, pues se estima que hace 200 años se tenían 0.650 ppm, y en 1988 se alcanzaron 1.690 ppm (Harriss; 1989). Así mismo se ha demostrado que este gas incrementó su concentración a razón de 1.3% anual de 1978 a 1987 (Blake and Rowland; 1988). Se calcula que las emisiones totales al año se encuentran entre 331 tg y 850 tg. En cuanto a las fuentes emisoras de metano, naturales y antropogénicas, se estima que las emisiones son del 35% y 65%, respectivamente. En contraposición, se calcula que los sumideros de metano, asociados principalmente a las reacciones de este gas con el radical OH en la troposfera y a la remoción por la absorción de los suelos, alcanzan entre 463 tg y 602 tg al año (Houghton, *et al.*; 1992); cantidades que resultan menores a las emisiones, de ahí que las concentraciones tiendan a aumentar cada año ya que su tiempo de residencia es del orden de 11 años. Por ello la importancia de lograr un control eficiente de las emisiones causadas por las actividades humanas. En términos generales, el hecho de no poder remover en cantidad y rapidez suficientes el exceso de metano en la atmósfera lleva a un incremento importante del efecto invernadero, lo cual podría contribuir a provocar un calentamiento global del planeta en las próximas décadas.

En cuanto a las emisiones globales por desechos del ganado, se estima que estas llegan a 28.3 Tg al año, de las cuales 15.3 Tg corresponden a ganado bovino (Safley, L. M. *et al.*, 1992), mismas que equivalen al 7% del total de emisiones antropogénicas. Respecto a las emisiones causadas por el ganado bovino en México, la EPA estimó que durante 1988 en nuestro país se produjeron 144,046 ton de metano (Safley, L. M. *et al.*, 1992). El objeto del presente trabajo es el de reportar algunos resultados de nuestro estudio, señalando las diferencias a las que se puede llegar mediante una mejor resolución en climática en el manejo de los datos, así como de algunas inferencias producto de un análisis cuidadoso de los datos disponibles luego de una exhaustiva búsqueda de información relevante.

TABLA 1: INVENTARIO DE BOVINOS PRODUCTORES DE CARNE, POR SISTEMA, REGION. 1990.						ESTRATO Y
SIST.	ESTR.	NORTE	CENTRO	SUR	SURESTE	NAL.
INTENSIVO	0-1	234654	88316	343781	800	647531
	1-2	108181	33378	321126	884	463568
	2-3	72933	30269	313492	666	417359
	+ 3	30837	10598	49231	85	90752
	VIEN.	379116	89464	685782	1260	1155622
	TOTAL	825720	232025	1713391	3695	2774831
SEMI-INTENSIVO	0-1	710980	325180	1082128	277550	2395838
	1-2	509040	226846	1049316	253877	2039079
	2-3	314031	192602	973709	238049	1718391
	+ 3	142604	63305	332233	56993	595135
	VIEN.	1592085	689572	2191472	482624	4935754
	TOTAL	3268741	1497504	5628858	1289094	11684197
EXTENSIVO	0-1	1155234	537533	649751	2356	2344874
	1-2	693676	465577	525951	2107	1687311
	2-3	528460	386446	460798	1621	1377326
	+ 3	319448	205066	210448	510	735471
	VIEN.	2275633	1166946	1338450	3559	4784588
	TOTAL	4972450	2761568	3185398	10153	10929570

TABLA 2: CAPACIDAD DE PRODUCCION MAXIMA DE METANO EN MEXICO.			
SISTEMA	FUNCION	B ₀	DIETA*
INTENSIVO	C y D P	0.20	MAIZ, SORGO, TRIGO, ENSILADOS, ALFALFA, MALTA, MELAZA, GALLINAZA,....
	LECHE	0.20	
SEMI-INTENSIVO	C y D P	0.12	FORRAJES, ENSILADOS, GRANOS, PASTOS INDUCIDOS, ALFALFA Y SUPLEMENTOS.
	LECHE	0.14	
EXTENSIVO	C y D P	0.10	FORRAJES SECOS, ESQUILMOS DE BAJA CALIDAD Y PASTOS NO INDUCIDOS.
	LECHE	0.10	

* Alimento típico consumido en un sistema de producción de bovinos. Las proporciones en la dieta varían de acuerdo a la función del hato en general y la estación del año para los sistemas no intensivos.
C y D P = Ganado bovino productor de Carne y Doble Propósito.

Metodología

El modelo matemático aplicado se resume, de acuerdo a lo propuesto por la EPA (Safley *et al.*, 1992), por la ecuación:

$$TM = \sum_{K=1}^8 \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^5 VS_i [N - i, D_i(TAM_i)] \cdot B_{oi} MCF_j \cdot WS\%_j \cdot CAF_k \cdot \rho_{CH_4}$$

Donde:

$$VS_i = N_i D_i (0.15) (365)$$

$$D_i = TAM_j (0.60) D_d / 1000$$

Y además:

VS_i = Sólidos Volátiles.

N_i = Número de animales.

D_i = Promedio de desechos producidos al día.

TAM_i = Masa promedio por animal.

D_d = Promedio de desechos del ganado bovino en los países desarrollados.

B_{oi} = Capacidad máxima de producción de metano.

MCF_j = Factor de conversión de metano.

$WS\%_j$ = Porcentajes de desechos manejados.

CAF_k = Factor de ajuste climático.

ρ_{CH_4} = densidad del metano a CNTP.

La información requerida por la ecuación antes expuesta, se encontró dispersa en diferentes publicaciones y en algunos casos fue insuficiente* sin embargo, las carencias fueron cubiertas al aplicar diversas hipótesis sobre el comportamiento estadístico de los datos compilados. Los estratos considerados en este trabajo están constituidos, en cuanto edades, por animales de 0 a 1 años, de 1 a 2 años, de 2 a 3 años y mayores de 3 años; así como por vientres o vacas.

Los inventarios (N_i) y la masa promedio de bovinos (TAM_i) se obtuvieron por función, sistema, estrato y región para cada año. Así por ejemplo, la Tabla 1 exhibe los datos de las existencias de ganado bovino cuya función es la producción de carne y doble propósito. Por otro lado, se consideraron tres sistemas de producción de ganado en México, intensivo, semi-intensivo y extensivo, a cada uno se le asoció un sistema de manejo de desechos y un factor de conversión de metano (MCF_j).

La capacidad de producción máxima de metano (B_o) se estimó a partir de datos proporcionados por la EPA (Safley, L. M. *et al.*, 1992). Los datos aplicados al caso de México se expresan en la Tabla 2. Los desechos se calcularon considerando que en México los bovinos producen el 60% de los desechos de animales de países desarrollados, lo cual equivale a 34.8 kg/día/1000 kg, y 51.6 kg/día/1000 kg, para ganado de carne y leche, respectivamente. En los cálculos efectuados se tomaron en cuenta los desechos por función, sistema, estrato y región.

En cuanto a los sólidos volátiles (VS), se considera, al igual que la EPA, que estos corresponden al 15 % de los desechos producidos. La distribución actual de climas en México a nivel nacional está dada por la Figura 1.

* D. G. E., 1950; S. I. C., 1965; S. I. C., 1975; D. G. E. I. E. S., 1988; INEGI, 1988; INEGI, 1992; Instituto de Geografía, 1992; SARH, 1993

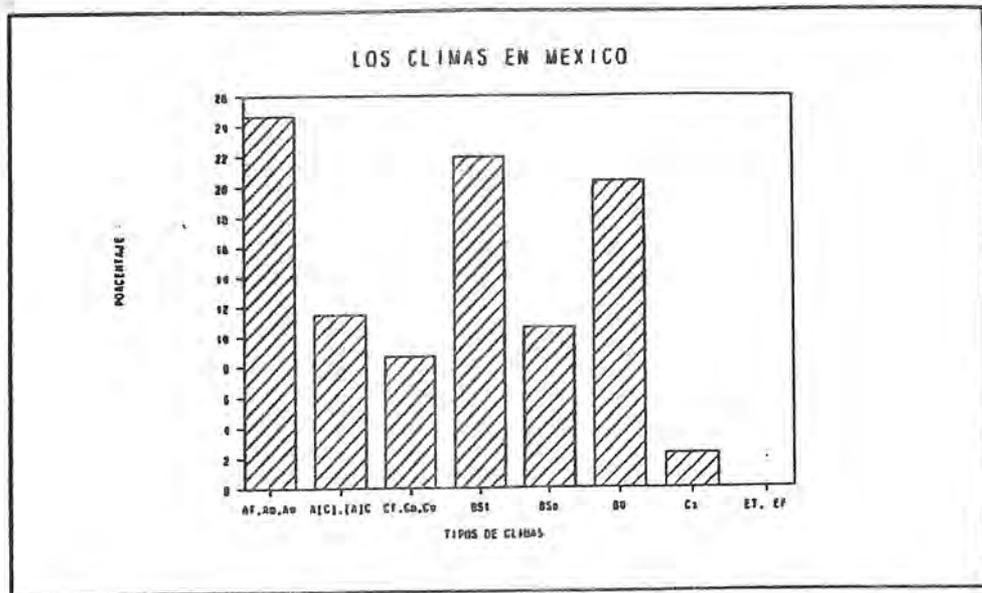


Fig. 1. Distribución de los grupos de climas a nivel nacional en México

Resultados

A fin de estimar las cabezas existentes en cada clima de cada región en México, se aplicó la siguiente hipótesis: "Al porcentaje de superficie correspondiente a cada clima en cada estado le corresponde igual porcentaje de ganado bovino de la entidad". Para demostrar su validez se analizaron los climas y la población animal de 315 municipios del total de estados del país. A partir de dicho análisis se encontró que la incertidumbre asociada a la hipótesis propuesta es de 9.38% a nivel nacional. Así mismo, las emisiones se dan por: función, sistema, estrato, región y clima. Para 1990 algunos resultados se presentan en las Figuras 2 a la 4. Las emisiones promedio están en la Figura 5. Y la incertidumbre total en la Tabla 3.

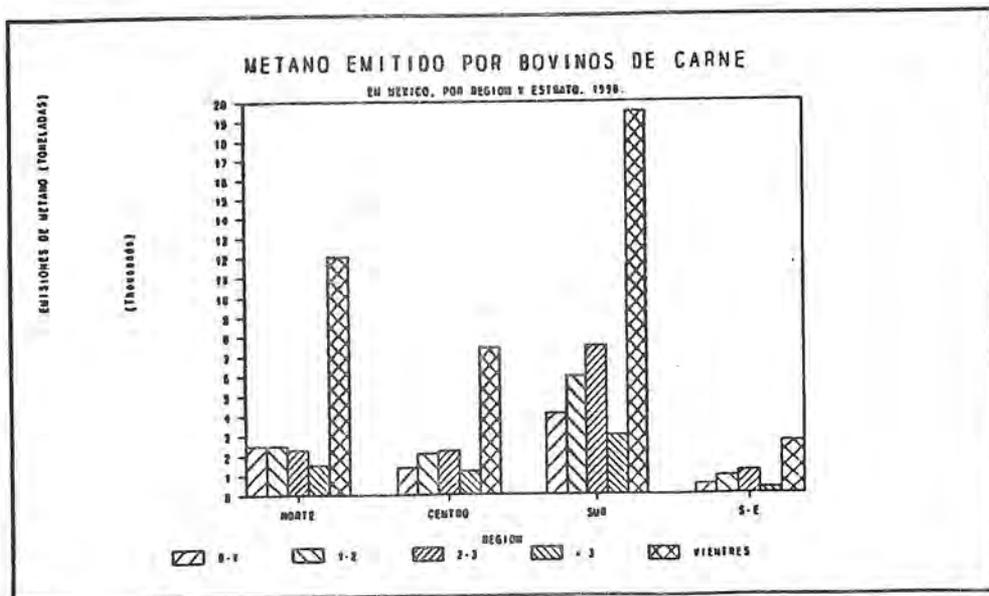


Fig. 2. Metano emitido en 1990 por desechos de bovinos productores de carne en México, por región y estrato

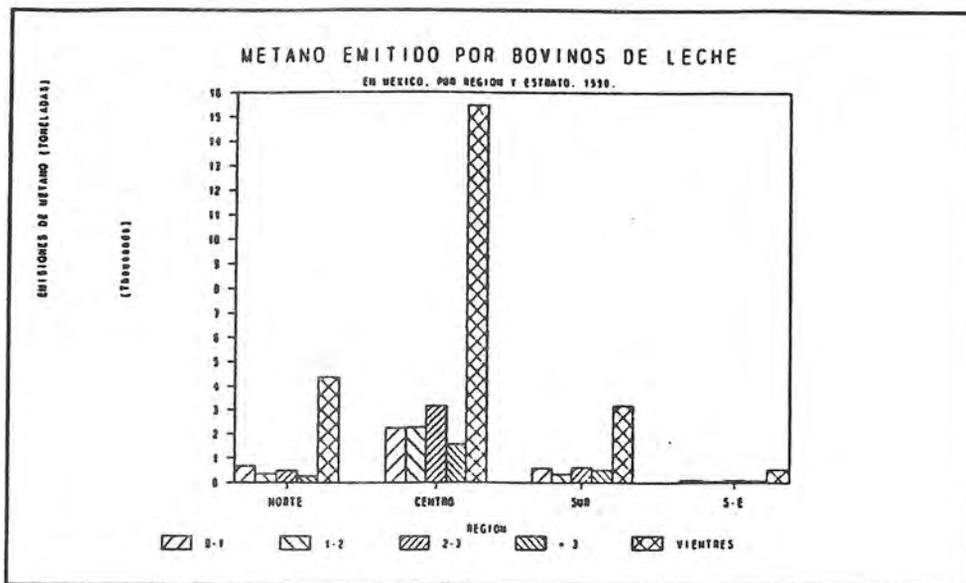


Fig. 3. Metano emitido en 1990 por desechos de bovinos productores de leche en México, por región y estrato.

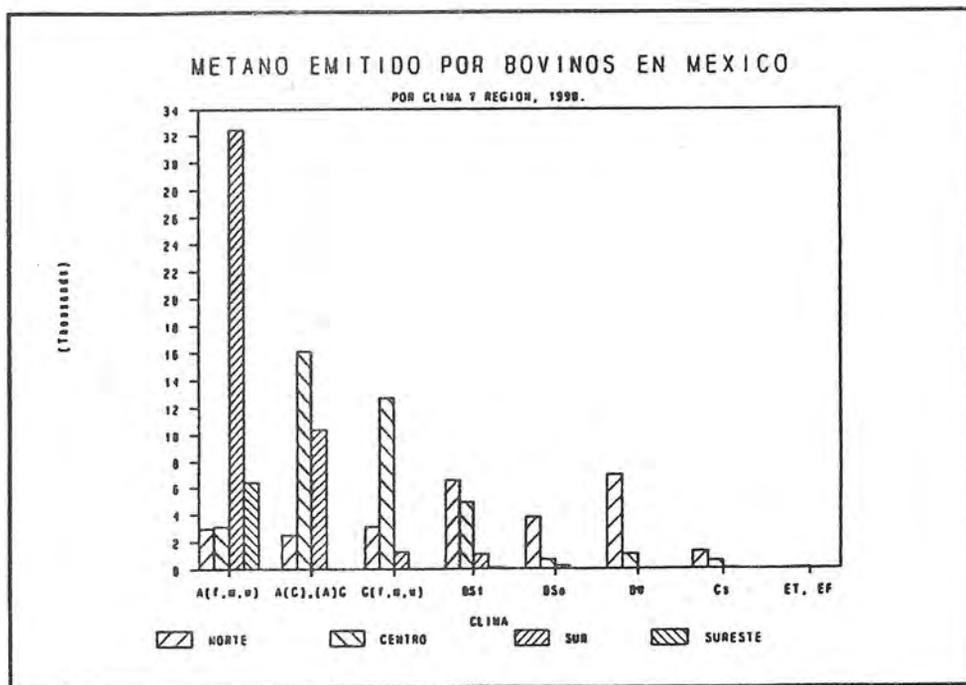


Fig. 4. Metano emitido en 1990 por desechos de bovinos en México, por clima y región geográfica.

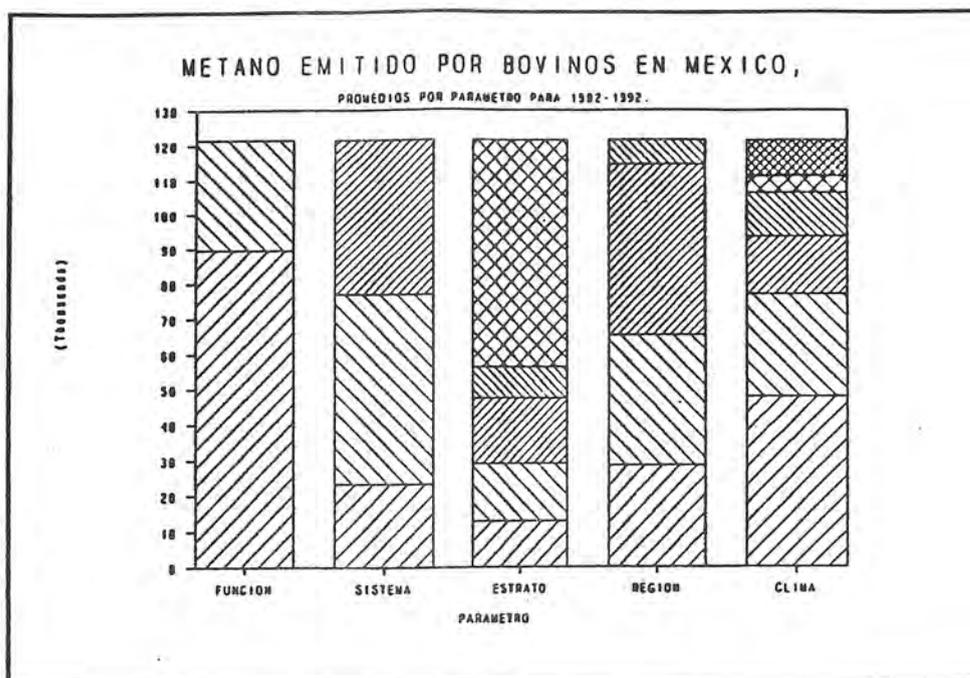


Fig. 5. Promedio en las emisiones de metano por desechos de bovinos en México, durante 1982-1992.

TABLA 3: INCERTIDUMBRE TOTAL (%) EN LAS EMISIONES DE METANO, POR ESTRATO Y REGION, 1982-1992.					
ESTRATO	NORTE	CENTRO	SUR	SURESTE	NACIONAL
0-1 AÑOS	10.03	8.52	12.94	4.00	10.06
1-2 AÑOS	9.32	7.96	12.71	2.20	9.54
2-3 AÑOS	9.45	8.44	13.59	3.14	10.00
+ 3 AÑOS	9.06	7.70	12.58	1.62	9.38
VIENTRES	9.13	7.97	13.40	3.75	9.61
PROMEDIO	9.29	8.02	12.92	2.77	9.63

Análisis de resultados y conclusiones

Al analizar las emisiones para climas húmedos y subhúmedos (Fig. 5), se obtienen las emisiones anuales de metano por cabeza como función de la temperatura media anual de dichos climas. La Figura 6 (dada al final del trabajo en el apéndice único) muestra la curva representativa de tales emisiones. La curva que aparece en dicha gráfica de emisiones contra temperatura se expresa mediante la ecuación:

$$C_1T^2 + C_2T + C_3 = CH_4/\text{Cabeza}$$

donde: $C_1 = 0.00350664$, $C_2 = 0.0347046$, y $C_3 = -0.247977$

Al resolver la ecuación anterior se encuentra que para $T=4.8^\circ\text{C}$ las emisiones se anulan, lo que está muy cerca del resultado experimental de $T=4.0^\circ\text{C}$ reportado en 1977 por Stevens y Schulte. Esta semejanza de resultados es un indicador de la validez tanto de la metodología aplicada como de las hipótesis establecidas en este trabajo.

Por otro lado, si se combinan la hipótesis de la relación entre los climas y las existencias de ganado y la ecuación anterior, se tiene entonces un nuevo método que serviría para estimar las emisiones de metano siempre que se conozca la temperatura media anual asociada a climas húmedos y subhúmedos. Este método podría aplicarse, tal vez, a países subdesarrollados carentes de información y datos estadísticos, con características climáticas y de producción pecuaria similares a México.

Es importante mencionar que la EPA publicó que durante 1988, en México se produjeron 144,076 Ton de metano (Safley *et al.*, 1992); para el mismo año en el presente estudio se calculan 121,770 Ton, lo cual representa un 15.48 % menos en relación al valor estimado por la EPA, a pesar de que en sus estimaciones no se realizan ajustes por factores climáticos y consideran una población animal menor en un 8.19% al manejado en este estudio.

Por otro lado, el pensar en diferentes escenarios para el año 2025 implica tener en cuenta un posible cambio climático global, en este sentido se partió de las temperaturas pronosticadas por el Modelo Termodinámico del Clima (Adem *et al.*, 1993) al suponer la duplicación del bióxido de carbono en la atmósfera planetaria, y se llega a establecer como una primera aproximación un importante cambio en los climas de México. En este sentido se pronostica que el 49.07 % (casi la mitad del territorio nacional) tendrá climas áridos y muy áridos o desérticos, porcentaje 18.06 % mayor que en la actualidad; en tanto que los climas cálidos y semicálidos (húmedos y subhúmedos) aumentarían en sólo un 4.3 % respecto a los de esta época.

Los escenarios hipotéticos para el año 2025 se expresan en la tabla 4. En ella se observa que sólo en el primer escenario no se consideraron cambios en los climas ni en ningún otro de los parámetros que intervienen. En el segundo escenario se considera un importante y sostenido desarrollo de la producción de ganado bovino en México, en tanto que en el tercero se piensa en una actividad ganadera en recesión.

TABLA 4: HIPOTESIS APLICADAS EN EL DISEÑO DE ESCENARIOS AL AÑO 2025.			
HIPOTESIS	PRIMERO	SEGUNDO	TERCERO
CAMBIO CLIMATICO	NO	SI	SI
ALIMENTOS BALANCEADOS	SIN CAMBIO	INCREMENTO IMPORTANTE	INCREMENTO MINIMO
PASTOS INDUCIDOS	SIN CAMBIO	INCREMENTO IMPORTANTE	SIN CAMBIO
SUPLEMENTOS ALIMENTICIOS	SIN CAMBIO	INCREMENTO IMPORTANTE	INCREMENTO MINIMO
MEJORAMIENTO GENETICO	NO	INCREMENTO IMPORTANTE	INCREMENTO MINIMO
SUPERFICIE CUBIERTA	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO	SIN CAMBIO
ROTACION DE POTREROS	NO	SI	NO
FERTILIZACION	SIN CAMBIO	IMPORTANTE	MINIMA
EXPORTACION	SIN CAMBIO	POSITIVA	NEGATIVA
IMPORTACION DE CARNE Y LECHE	SIN CAMBIO	MINIMA	MAXIMA
CAPITALIZACION	SIN CAMBIO	BUENA	MALA
BOVINOS POR SISTEMA (%)	SIN CAMBIO	INT. +30 % S-INT. +20 %	INT. +5 % S-INT. +5 %
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL HATO	0.011879	0.020008	0.003352
MASA PROMEDIO	SIN CAMBIO	INT. +15 % S-I. +10 % EXT. +5 %	INT. +5 % S-I. +3 % EXT. 0 %
CABEZAS	+46.69 %	+92.28 %	+11.87 %

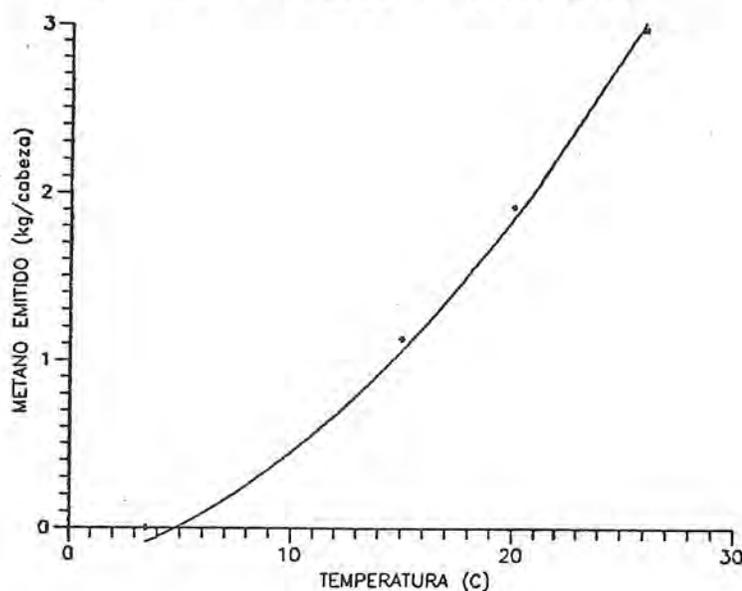
Los incrementos en las emisiones en el año 2025 para los escenarios 1, 2 y 3, respecto a 1992 serían del 43.34 %, 114.26 % y 12.92 %, respectivamente.

Si se dieran las condiciones para el segundo escenario, entonces la producción de carne aumentaría casi al doble con la misma superficie ganadera, pero también aumentarían en más del doble las emisiones de metano.

Por tanto, independientemente de cualquier escenario, sería conveniente promover el aprovechamiento del metano como energético o la oxigenación de los desechos del ganado. Así mismo, es prioritario evitar que se siga devastando la vegetación natural y las tierras de cultivo en aras del crecimiento de la ganadería, ya que éste puede darse sin el deterioro de los ecosistemas en México.

APENDICE UNICO

EMISIONES DE METANO POR DESECHOS DE BOVINOS, EN FUNCION DE LA TEMPERATURA EN CLIMAS HUMEDOS Y SUBHUMEDOS



BIBLIOGRAFIA

- Adem, J., A. Aguilar, O. Alvarez, R. Garduño, V. M. Mendoza, A. Ruiz y J. Zintzún, 1993. Contrato GAVM-92-402. Estudio de sequías en el Sistema Cutzamala, segunda etapa. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.
- Blake, D. R. and F. S. Rowland, 1988 Continuing worldwide increase in tropospheric methane, 1978 to 1987. *Science*, march 4, 1988.
- Dirección General de Estadística, III Censos agrícola, ganadero y ejidal 1950. México. S.E.,
- Dirección General de Estudios, Informática y Estadística Sectorial, México, 1988. Estadísticas básicas 1960-1966 para la planeación del desarrollo rural integral. S.A.R.H.
- González Avalos, E. Ruiz, L. G. Gay, C., 1992. Inventario de emisiones de metano por actividades pecuarias en México. En: Memorias de la Reunión Anual del Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA).
- González Avalos, E., L. G. Ruiz Suárez, y C. Gay García, 1993. Avances en el inventario de emisiones de metano por desechos del ganado en México. Primera Reunión del Taller sobre Inventarios de Gases invernadero. Organizada por el Instituto Nacional de Ecología y el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, Cuernavaca, Mor.
- González Avalos, E., 1994. Inventario de emisiones de metano por actividades pecuarias. El caso de los desechos del ganado bovino y su relación con los climas actuales y futuros de México. Tesis de Maestría en Ciencias (Geofísica), Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Hamss, R. C., 1989. Historical trends in atmospheric methane concentration and the temperature sensitivity of methane outgassing from boreal and polar regions. In "Ozone depletion, greenhouse gases, and climate change". National Research Council, Washington, D. C.
- Houghton, J. T., 1992. Climate Change 1992. The supplementary report to the IPCC scientific Assessment. Ed. by J.T. Houghton, B.A. Callander and S.K. Varney. New York, IPCC, 1992

- INEGI, 1988. VI Censos agrícola, ganadero y ejidal 1981. Resumen General. México.
- INEGI, 1988. Síntesis Geográfica del Estado de... [cada una de las entidades del país]. México.
- INEGI, 1992. Anuario Estadístico del Estado de... [cada una de la entidades del país] México.
- Instituto de Geografía, UNAM. Atlas Nacional de México, 3 Vols. México.
- Safley, L. M., M. E. Casada, J. W. Woodbury and K. F. Roos, 1992. Global Methane Emissions from Livestock and Poultry Manure, United States Environmental Protection Agency (EPA).
- S. A. R. H., 1993. Inventarios ganaderos estatales y delegacionales 1986-1992. México, S.A.R.H. Coordinación de Asesores de la Subsecretaría de Ganadería. Base de datos, 1993.
- S. I. C., 1965. IV Censo agrícola, ganadero y ejidal 1960. México.
- S. I. C., 1975. V Censo agrícola, ganadero y ejidal 1970. Resumen general abreviado. México. SIC, Dir. General de Estadística.
- S. I. C., 1975. V Censo agrícola, ganadero y ejidal 1970 del Estado de... [cada una de las entidades del país]. México, SIC, Direc. Gral. de Estadística.
- Stevens, M. A. and D. D. Schulte, 1977. Low temperature anaerobic digestion of swine manure. ASAE-NCR, paper 77-1013. Presente at the North Central Region ASAE-Meeting. ASAE, 2950 Niles Rd. St. Joseph, MI, 49085 - 9659.

Sistema de información virtual para el apoyo a la investigación sobre el cambio climático global

ENEDINA ORTEGA GUTIERREZ

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Morelos

RESUMEN

La situación que actualmente prevalece en la organización, procesamiento, almacenamiento, recuperación de la información especializada en nuestro país, dificulta el proceso de investigación de los temas del cambio climático global, así como de las otras áreas científicas y tecnológicas.

Por ello, la necesidad de implementar sistemas estandarizados y organizados de información, es prioritaria para el desarrollo de proyectos trascendentales y para el aporte de soluciones reales a la problemática del cambio climático global.

El diseño de estos sistemas debe considerar la integración de recursos documentales y nuevas tecnologías con personal calificado y, sobre todo, un apoyo sostenido para la selección de información nacional e internacional pertinente y útil para la toma de decisiones.

ABSTRACT

The situation at the present, regarding to organization, processing, storage and retrieval of special information in our country, makes difficult the process of research in the global climate change issues, as well as in another scientific and technological areas.

For that reason nowadays it is urgent to implement standarized and organized information systems that could be prioritaris for the development of projects focused on the solution of problems affecting to the global climatic change.

The design of such systems must consider the integration of documentary resources and new technologies, with specialized personnel, but, above all, constant support for the permanent selection of national and international information, with the needed characteristics of pertinence and utility for decision making.

Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo proporcionar una visión general sobre la situación actual y las tendencias de las bibliotecas/centros de información y su apoyo a la investigación especializada, en este caso el cambio climático global.

La investigación relacionada con el medio ambiente ha sido llevada cada vez más en forma sistemática tanto en organizaciones gubernamentales, universidades y fundaciones establecidas tanto en los niveles nacionales como internacionales.

Es así que el liderazgo inteligente en todos los sectores es cada vez más consciente que tomas de decisiones fundamentadas en falta de información o información no adecuada, relacionada con problemas ambientales, puede producir entre otros, problemas a nivel de opinión pública, financieros y también un alto costo social en términos de la calidad de vida de la población y de la disponibilidad futura de recursos.

Es dentro de este contexto que analizaremos y plantearemos algunas propuestas sobre el nuevo rol que las bibliotecas/centros de información deben de jugar para apoyar la investigación especializada.

El problema

Una de las variables que más han influido en el desarrollo de las bibliotecas-centros de información (BCIs) es el desarrollo de la tecnología de la comunicación y la computacional, siendo así que la combinación entre información, computadoras y comunicación ha contribuido a mejorar desde el almacenamiento, organización, recuperación y transferencia de la información. Por lo cual, estos centros se convierten en parte esencial de las sociedades informatizadas en las cuales la información es clave para la toma de decisiones. "La distancia que separa los países llamados en desarrollo de los países desarrollados, depende menos de una cuestión de capacidad material que del acceso y dominio intelectual sobre la información. El concepto de modernidad echa sus raíces en la cuestión del acceso a la información".¹

El documento y la información al ser materias primas abundantes y en crecimiento traen para las unidades de información múltiples problemas de orden técnico y financiero que van desde las adquisiciones hasta la organización y recuperación de material. Así también generan problemas a nivel del acceso y manejo de la información por parte de los usuarios.

1.1. Explosión y organización de la información

Cada año se publican en el mundo cerca de "700 mil nuevos títulos de libros y a estos se puede aumentar un número inconmensurable de otras unidades bibliográficas, como folletos, periódicos, documentos impresos, informes técnicos, patentes, etc".² Los cuales según Mosher (1986) incorporados a la producción bibliográfica existente forman un océano de más de 70 millones de títulos dispersos por todo el mundo. Para el caso de los temas del medio ambiente se habla de 700-800 artículos por semana.

Lo anterior impacta a las B-CI principalmente en tres aspectos: adquisiciones, organización del material y acceso.

Sabemos que en los Estados Unidos como en otros países del primer mundo, el exceso de información para cualquier investigador, académico o ejecutivo es difícil de asimilar en un tiempo disponible y de manera eficiente. Afortunadamente para ellos, los investigadores en temas relacionados con el cambio climático global pueden tener fácil acceso desde sus lugares de trabajo a información especializada a través de múltiples opciones como son los catálogos en línea de bibliotecas universitarias (OPACs); INTERNET; bases de datos comerciales en línea como son DIALOG, ORBIT, y el reciente desarrollo de las bases de datos comerciales y servicios de suscripción electrónica (Mc Graw Hill). Esto fue posible al tener la ventaja de poseer un control bibliográfico sobre mucho de este material, debido al desarrollo y uso de estándares como son el formato MARC el sistema de clasificación LC, las reglas de catalogación Anglo-Americanas, además de contar con presupuesto, equipo computacional y de comunicaciones adecuado, que aunados a una organización eficiente y personal especializado, facilita el acceso y uso de la información.

En el caso de México esta situación adquiere características específicas y se suman otras variables que hacen más compleja esta situación. Es real que algunos de nuestros investigadores, al igual que sus colegas norteamericanos pueden tener acceso a bases de datos internacionales y algunos además tienen acceso a catálogos en línea de su universidad, e inclusive contar con INTERNET y compartir con aquellos la problemática del exceso de información, pero la mayoría de las universidades públicas y privadas, principalmente en los estados de la República no tienen todos estos recursos ni en las bibliotecas, mucho menos en los lugares de trabajo de los investigadores. En muchos casos se tiene que buscar la información en centros de información especializada, donde se tiene que recorrer el largo proceso de hacer citas, emprender la búsqueda,

¹ Tarapanoff, Kira. "Integración y Regionalización de la información". En: *Investigación Bibliotecológica* Vol. 7, No. 5, julio-diciembre 1993. p. 29

² Idem. p. 30.

esperar por la información y pagar por los servicios, y algunas veces, cuando la estrategia de búsqueda no es exitosa "los investigadores pierden tiempo y dinero".

No obstante que a partir de principios de la década de los 70's se inicia el uso de las tecnologías computacionales en las bibliotecas mexicanas, este presentaba un enfoque elitista, pues sólo las bibliotecas con grandes acervos tenían la posibilidad de generar proyectos de automatización y agregar a éste el uso de la normatividad internacional.

Durante los periodos de los 80's y 90's hubo un crecimiento exponencial en el procesamiento de la información principalmente por el uso de la microcomputadora. "Pero el enfoque más relevante ha sido y sigue siendo el desarrollo de bases de datos bibliográficas en CD-ROM, lo cual ha restringido un acceso global e integral entre las bibliotecas" y por otro lado se ha privilegiado temáticamente las áreas de humanidades y economía entre otros, tal es el caso del proyecto desarrollado por la Universidad de Colima.

Asimismo surgieron paquetes de programas para el manejo de información bibliográfica como LOGICAT, SIABUC, MICROBIBLOS y el manejador de base de datos Microsis, los cuales han traído beneficios para las bibliotecas como también confusión al no saber por cual optar. Y es hasta 1991 que se crea la Red Nacional de Bibliotecas Universitarias como parte del proyecto de La Red de Teleinformática y Comunicaciones (UNAM) que se inició en 1989 con el objetivo común de modernizar la manera en que las universidades públicas obtienen, procesan y utilizan la información, no obstante, los catálogos en línea de acceso público en la UNAM se inician hasta 1992. Habrá que esperar los resultados de este esfuerzo y observar cuál será el impacto de estas nuevas tecnologías en el trabajo y calidad de la investigación en nuestro país.

Es dentro de este contexto que las bibliotecas universitarias en su mayoría se encuentran limitadas en dar un servicio eficiente y oportuno, salvo excepciones, por falta de una infraestructura adecuada de sistemas de información.

1.2. Desarrollo de colecciones especiales

Otro de los problemas importantes a enfatizar es la falta de colecciones especiales y el desarrollo de bases de datos nacionales especializadas en los temas relacionados con el cambio climático global. No hay instancias que procesen el ciclo completo del desarrollo de colecciones, organización, difusión y posibilidad de acceso electrónico de la diversidad de estudios realizados por instituciones privadas o públicas como serían monografías, estadísticas, memorias, reportes, artículos, imágenes, etc. Aunado a este problema nacional, existe el hecho de que las bases de datos científicas y tecnológicas internacionales están básicamente alimentadas por artículos de revistas y en menor cantidad por tesis, informes, comunicaciones, etc. Agréguese a esto que es raro encontrar trabajos que representen los autores, trabajo y documentos mexicanos y latinoamericanos relacionados a nuestra problemática.

Estamos padeciendo una saturación de información científica (un artículo cada 35 segundos) además de un peligroso desnivel en la información contenida entre las bases de datos extranjeras y bases de datos nacionales. Por lo cual es aquí donde adquiere significado la propuesta de crear bases de datos que integren la búsqueda, análisis, selección y recuperación de información de la llamada literatura gris o no convencional en los niveles locales, regionales y nacionales en relación a esta temática.

1.3. Factores culturales

Otro factor a considerar es el cultural, señalado también por la Mtra. Rosa Ma. Fernández "muchas veces los resultados de la investigación nacional no son utilizados por falta de difusión o adecuados canales de comunicación" como los señalados anteriormente, pero también subsisten factores políticos - culturales para ignorar la producción documental de la investigación mexicana, además del poco aprecio que el investigador mexicano tiene por la información generada por sus colegas nacionales, por dar un ejemplo observemos el uso y validez que los investigadores mexicanos dan al "Science Index Citation" vs "ARIES" (base de datos en línea y CD-ROM sobre investigaciones en proceso, producida por la UNAM, reconociendo que esta base tiene algunos problemas como es el de la actualización), observemos la frecuencia con que nuestros investigadores incluyen en sus lecturas y trabajos lo publicado por otros investigadores mexicanos, el grado de confiabilidad que les conceden y las veces que esa información ha contribuido a que el investigador genere nueva información.

1.4. Acceso a la información

Otro problema es el relacionado con el acceso-manejo de la información. Actualmente el investigador y el académico enfrentan el exceso de información a través de diferentes fuentes y formatos (CD-ROM, OPACS, On-line, INTERNET, impresa) que repiten ésta, agregándose a ello, la complicación de utilizar diferentes lenguajes de recuperación en ocasiones poco amigables.

Por otro lado, en la actualidad el investigador no busca libros o documentos completos de información, busca piezas o trozos de información que le permitan identificar traslapes, lagunas o vacíos, o hacer cruces de información, proceso que apoya la generación de nuevos problemas o preguntas de investigación.

Por lo cual, ellos necesitan bases de datos que incluyan diferentes clases de datos, y documentos relacionados que puedan ser utilizados independientemente del tiempo o del espacio por un número siempre renovado de usuarios en respuesta a sus necesidades de información. De tal suerte que hoy los investigadores requieren nuevas clases de SISTEMAS DE INFORMACION que organicen e integren las piezas de información que hayan sido almacenados o recuperados de otros recursos de información independientemente del tipo de formato, electrónico o impreso.

2. Nuevas tendencias en las bibliotecas-centros de información

Ante estos cambios, tanto de las necesidades de los usuarios individuales o institucionales, los grandes y rápidos cambios de la tecnología computacional y de telecomunicaciones, como la globalización de los procesos socio-económicos, entre otros, han venido a redefinir los objetivos, actividades y servicios que deben proporcionar las B-CI. Es así que estas tendrán como función, poner más énfasis en la adquisición, organización e indización de documentos de interés particular, se definirán cada vez más en su papel de intermediarias de la producción científica, lo cual ya ha sido señalado por otros autores como Nuria Amat "Las actividades de estos centros se enfocará a: indización y análisis de la literatura primaria, construcción del lenguaje de indización, explotación de fuentes electrónicas y asesoramiento en el acceso de diferentes fuentes".

2.1. Características

- 2.1.1. Los sistemas de información tenderán a ser cada vez más completos y personalizados, privilegiando más el acceso que el desarrollo de colecciones físicas.
- 2.1.2. La información automatizada substituirá a los procedimientos manuales con que se lleva actualmente la trasmisión y difusión de los conocimientos.
- 2.1.3. Las bases de datos dejarán de considerar privilegiados documentos tales como el artículo

de revista y el libro, y deberán incluir informes científicos y técnicos, la literatura gris (de publicación no comercial) y las patentes.

- 2.1.4. Se dará importancia a datos tecnológicos que proporcionan información no bibliográfica.
- 2.1.5. Los documentos procesados en las bases de datos, en lugar de presentar solamente referencias bibliográficas, serán en texto completo.
- 2.1.6. Se utilizarán lenguajes inteligentes para la recuperación de información.
- 2.1.7. Se tenderá a procesar piezas de información más que obras completas.
- 2.1.8. Se enfatizarán los programas de educación al usuario.
- 2.1.9. Se incrementará el acceso y uso a información remota, por lo cual deberá explotarse el uso de Internet en sus diferentes servicios, acceso a base de datos, creación de listas de discusiones especializadas, utilización del pizarrón de boletines, así como el correo electrónico. Y el uso selectivo de Online.

Propuesta:

Sistema de información virtual para el cambio climático global.

Como consecuencia, dentro de este contexto, se propone crear un modelo de sistemas de información virtual para el cambio climático global.

3.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema de información que ayude a resolver los problemas de acceso, y la falta de integración de la información, orientado a apoyar el proceso de toma de decisiones de las diferentes instituciones, como la comunidad de investigadores mexicanos que trabajan en estudios de cambio global.

3.2. Objetivos específicos

- 3.2.1. Creación de bases de datos temáticas de material bibliográfico y no bibliográfico, relacionado con los temas del cambio climático global a nivel local, regional, nacional e internacional.
- 3.2.2. Implementación de sistemas de administradores de bases de datos como el "Sistema Eco-Link" el cual permite el acceso, procesamiento, integración, organización, selección de formatos y recuperación de información sobre estos temas.
- 3.2.3. Implementación de sistemas como el "Sistema de investigación electrónica (ERS)" que integra una amplia variedad de datos desde diferentes fuentes electrónicas y no electrónicas, cuya función será evitar la tarea de volver a capturar los datos.
- 3.2.4. Integración de estos sistemas, con los sistemas de procesamiento de imágenes, para el almacenamiento de grandes cantidades de información, del material relevante que se necesite en texto completo. Este sistema ahorra espacio físico, ayuda al mantenimiento y conservación de la colección, y facilitará el envío rápido de información por medios electrónicos, como por ejemplo vía fax.
- 3.2.5. Producción de índices bibliográficos, resúmenes, directorios, manuales y bibliografías entre otros con especial atención a los problemas del cambio climático global en México y América Latina.
- 3.2.6. Proporcionar a los usuarios información adecuada en el tiempo exacto y el menor costo posible.

- 3.2.7. Proporcionar a los usuarios los siguientes servicios: a) respuesta a preguntas específicas, b) búsquedas retrospectivas completas, c) difusión selectiva de información, d) desarrollo de sistemas informativos e investigación documental, e) educación a usuarios.

Condiciones mínimas que se necesitarían para el desarrollo de esta propuesta

- 4.1. Uso de tecnología, de hardware y de software cada vez más especializada; PC-media 486, scanner, ambiente windows más extensiones de multimedia, lectores de CD-ROM, interconectividad, telecomunicaciones, tecnología de procesamiento de imágenes.
- 4.2. Integración de redes de cómputo personalizadas configuradas para las necesidades personales y de trabajo.
- 4.3. Establecimiento de estaciones de trabajo que integren una matriz única de información y facilidad de computación.
- 4.4. Uso de estándares para la adquisición, organización y acceso a la información. (MARC, LC, ACRL, etc.) así como la utilización del mismo lenguaje de búsqueda.
- 4.5. Uso y desarrollo de programas de recuperación inteligente, que privilegien la búsqueda de datos en contexto.
- 4.6. Manejo automatizado de datos vs manejo manual, lo anterior implica la automatización integral de las funciones de la B-CI.
- 4.7. Fortalecimiento de la cooperación entre centros y sistemas de información, para lo cual habría que fomentar el desarrollo de catálogos colectivos y convenios de préstamo interbibliotecario entre otros.
- 4.8. Formación de usuarios y de personal especializado.
- 4.9. Establecimiento de vínculos legales.
- 4.10 Diseño e implementación de una estructura organizativa que posibilite la consistencia y seguimiento de este proyecto entre instituciones en los niveles locales, regionales y nacionales.

Conclusiones

De acuerdo al análisis esbozado anteriormente, consideramos que en la actualidad un elemento fundamental para el desarrollo de los proyectos de investigación del cambio climático global es la inclusión como parte integral de estos, de los sistemas de información virtual.

Estos deberán irse desarrollando en las instituciones tanto en los niveles locales, nacionales e internacionales, para lo cual se deberán tomar en cuenta los requisitos mínimos, como son el uso de estándares y la automatización de datos, que garanticen el acceso de manera oportuna y eficiente a la información.

Escenarios básicos y regionales Estudio de país: México

CONDE, C., SANCHEZ, O., GAY, C.

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM Circuito Exterior, CU, 04510, México, D.F., México.

RESUMEN

Se presentan los promedios de 30 años en temperatura, precipitación y radiación solar (1940-1970) para 23 puntos en la República Mexicana y los cambios (anomalías) por simulaciones de duplicación de bióxido de carbono de 2 modelos de Circulación General: GFDL R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory), CCCM (Modelo Canadiense). Para los valores normales aportamos los datos climáticos CLIM y los de los 23 puntos empleados por el Modelo Termodinámico del Clima (MTC), desarrollado en el Centro de Ciencias de la Atmósfera.

Consideramos que con esta información es posible iniciar la construcción de los escenarios básicos y regionales ya que a los datos del CLIM o del MTC les sumamos las anomalías de temperatura de los modelos, o bien multiplicamos por la anomalía de la precipitación. En tanto que no se cuenta aún con los datos de radiación promedio, se sugiere utilizar los reportados por Galindo *et al.* (1991).

ABSTRACT

Temperature and precipitation 30 years averages for 23 points in Mexico are presented along with the anomalies of temperature, precipitation and solar radiation obtained from the simulations of doubling carbon dioxide for two General Circulation Models: GFDL R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory), CCCM (Canadian Model). For normal data we present the climatic data of CLIM and the 23 points used in the Thermodynamic Climate Model (MTC) developed in the Centro de Ciencias de la Atmósfera.

We considered that this is the basic information that makes possible to construct the basic and regional scenarios since temperature anomalies can be added up or precipitation anomalies can be multiplied to the CLIM normal data or to MTC data. Since we do not have yet radiation data, we suggested to use those reported by Galindo *et al.* (1991).

1. Introducción

El construir escenarios climáticos regionales es actualmente una de las investigaciones básicas dentro de los estudios de Cambio Climático en tanto que son el punto de partida, por ejemplo, de los estudios de impactos y vulnerabilidad ante dicho cambio. Existe una metodología aceptada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) que es producto del consenso de los científicos de los países participantes (IPCC Report, 1992). Sin embargo, la elaboración de los escenarios climáticos futuros es aún objeto de fuerte polémica, fundamentalmente porque los modelos en los que se basan son Modelos de Circulación General (GCM's) que no tienen como objetivo el estudio regional por lo que no introducen, por ejemplo, la orografía particular de una región.

Escenario Actual

El Modelo Termodinámico del Clima se ha desarrollado en el Centro de Ciencias de la Atmósfera, y se aplica para hacer simulaciones climáticas para condiciones de duplicación de CO₂, aunque también se emplea para realizar estudios de climas del pasado. De dicho modelo empleamos los datos normales, esto es, promedios de temperatura y precipitación mensual de 1940 a 1970 (Adem, 1982) que presentamos a continuación:

Tablas I

PUNTOS	LONG	LAT	PUNTOS	LONG	LAT	PUNTOS	LONG	LAT
1	-115.5	32.5	11	-100.1	24.2	21	-95.2	17.7
2	-110.8	31.6	12	-102.7	23.2	22	-97.5	17.2
3	-106.4	30.5	13	-105.3	22.2	23	-92.1	16.0
4	-109.3	29.3	14	-99.2	21.8			
5	-102.3	29.2	15	-101.7	20.8			
6	-105.2	28.2	16	-104.1	19.9			
7	-107.8	26.9	17	-98.4	19.4			
8	-101.1	26.6	18	-100.7	18.6			
9	-103.9	25.6	19	-90.2	18.8			
10	-106.4	24.5	20	-92.7	18.3			

TEMPERATURA (C) 1940-1970

MESES

PUNTOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	12.4	14.7	17.0	21.2	24.0	29.3	33.1	32.6	30.0	24.1	17.4	12.7
2	10.8	13.0	14.5	18.0	22.0	26.5	28.0	27.6	27.0	21.0	14.8	11.0
3	10.4	12.2	15.8	17.5	20.8	24.3	26.3	25.4	24.0	21.5	14.2	11.5
4	7.7	10.0	13.2	19.0	23.3	26.5	27.0	26.7	23.5	18.7	12.0	9.0
5	9.8	11.3	12.5	16.7	19.3	22.2	23.4	22.3	21.2	18.0	13.0	11.0
6	10.7	13.5	17.0	22.4	26.6	29.8	29.2	28.3	25.9	22.0	15.5	11.4
7	10.8	13.7	17.4	22.6	26.9	30.1	31.0	30.5	28.0	23.2	15.7	11.4
8	14.0	16.0	17.0	21.1	23.2	26.2	26.1	25.4	24.0	23.5	20.0	16.5
9	13.7	16.4	19.3	23.5	26.1	27.9	27.0	26.6	24.8	21.7	17.5	14.2
10	13.2	15.2	19.2	24.7	27.6	30.0	30.6	30.5	27.1	23.1	17.4	14.1
11	14.9	17.0	17.7	21.5	21.9	23.1	22.8	22.6	22.5	22.0	19.0	17.0
12	10.4	11.9	14.1	17.0	18.4	18.5	18.0	17.7	16.5	15.0	13.4	11.1
13	14.2	17.1	19.1	23.9	24.9	26.0	26.2	26.6	23.5	20.8	18.0	15.0
14	18.0	19.0	20.7	22.3	24.0	24.7	24.0	23.5	23.4	22.5	21.0	19.0
15	14.0	15.7	18.1	20.5	21.6	20.7	19.4	19.4	18.7	17.7	15.9	14.4
16	16.0	18.0	20.8	23.9	25.4	25.6	25.5	25.5	24.0	21.0	19.0	17.0
17	16.6	17.8	19.8	21.2	21.8	20.8	19.8	19.7	19.3	18.7	18.0	17.1
18	13.8	15.2	17.3	18.5	18.4	18.0	17.0	17.2	17.0	16.5	15.2	14.2
19	15.3	16.3	17.5	19.0	18.8	18.5	18.0	17.8	17.7	17.2	16.2	16.2
20	23.0	23.4	25.3	27.1	28.4	27.8	27.7	27.8	27.1	26.2	24.5	23.3
21	22.9	24.2	26.1	28.1	29.1	28.6	27.8	28.2	27.6	26.6	25.0	23.7
22	22.4	23.3	25.3	27.1	28.0	27.9	27.5	27.4	27.1	25.9	23.9	22.5
23	17.7	19.0	20.5	22.0	22.4	22.0	21.3	21.7	21.3	20.7	18.5	18.0

PRECIPITACIÓN (mm/día) 1940-1970

MESES

PUNTOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.27	0.16	0.10	0.04	0.00	0.01	0.11	0.21	0.21	0.78	0.17	0.28
2	0.32	0.36	0.26	0.07	0.06	0.23	1.94	1.68	1.30	0.68	0.40	1.23
3	1.28	0.41	0.32	0.25	0.05	0.73	4.52	4.29	1.60	0.69	0.37	1.87
4	0.32	0.39	0.26	0.15	0.29	0.67	2.19	2.13	1.40	0.60	0.32	0.42
5	1.58	0.89	0.48	0.23	0.26	2.10	6.29	5.58	3.30	0.58	0.53	1.29
6	0.29	0.18	0.14	0.22	0.45	1.15	2.00	1.71	1.83	0.71	0.23	0.28
7	0.61	0.64	0.32	1.07	1.74	1.70	1.39	1.42	2.00	0.75	0.50	0.45
8	0.58	0.27	0.19	0.10	0.10	1.25	5.00	5.32	3.87	0.76	0.36	0.84
9	0.18	0.13	0.07	0.11	0.29	1.17	1.58	1.68	1.17	0.70	0.16	0.18
10	0.42	0.49	0.32	0.63	1.55	1.10	1.06	1.71	2.80	0.75	0.50	0.31
11	0.52	0.38	0.35	0.47	0.32	4.67	7.42	7.90	6.33	0.71	0.50	0.61
12	0.29	0.14	0.15	0.53	0.35	1.87	2.39	3.06	2.77	0.48	0.27	0.23
13	0.42	0.71	0.61	0.93	1.71	2.07	1.54	3.23	5.00	0.67	0.67	0.35
14	0.55	0.25	0.19	0.27	0.58	5.97	8.39	7.74	7.00	0.73	0.40	0.48
15	0.42	0.18	0.14	0.63	0.94	3.77	3.48	3.71	3.50	0.57	0.50	0.35
16	0.52	0.32	0.30	0.73	1.16	3.23	2.90	3.03	5.67	0.68	0.87	0.48
17	0.42	0.16	0.09	0.47	1.42	5.47	9.03	8.23	7.80	0.60	0.62	0.17
18	0.26	0.21	0.23	0.93	2.65	4.97	5.10	4.84	4.47	0.53	0.83	0.32
19	0.08	0.07	0.16	0.96	2.00	3.63	2.32	2.48	2.47	0.55	0.33	0.15
20	3.23	2.04	1.29	1.30	2.84	8.17	6.77	9.00	13.33	0.85	6.83	5.32
21	4.19	1.82	1.55	1.67	2.87	7.83	7.10	8.00	13.43	0.86	6.67	4.97
22	0.94	1.14	0.90	0.83	2.61	6.30	6.29	6.06	7.67	0.84	2.17	1.26
23	0.84	0.71	0.81	1.33	3.65	7.67	5.16	4.52	8.67	0.67	1.60	0.97

Modelos de Circulación General y Escenarios Futuros

En la siguiente tabla, se presentan algunas de las características de los modelos de Circulación General (GCM) utilizados (Jenne, 1994):

Datos de los Modelos Empleados en el Estudio de País.

MODELO CLIMÁTICO	CALCULADO EN	(LAT x LONG)	NIVELES DEL MODELO
GFDL R 30	MAYO 1989	2.22 x 3.75 °	9
CANADA (CCC) T32	NOV. 1989	3.75 x 3.75°	11

Estos modelos se utilizaron para generar las simulaciones para condiciones de $1 \times CO_2$ y $2 \times CO_2$ para la Temperatura (C) la Precipitación (mm/día) y Radiación Solar ($Watts/m^2$) de enero a diciembre. También se obtienen los cambios respectivos en estos parámetros en condiciones de $2 \times CO_2$ y $1 \times CO_2$ en diferencia - para temperatura - y en por ciento para precipitación y para radiación ($2 \times CO_2/1 \times CO_2$).

Con los cambios postulados por estos modelos, construimos escenarios futuros para 1 de los 23 puntos de México para ilustrar el trabajo que se está desarrollando. Así pues, planteamos las condiciones de temperatura, precipitación y radiación ante un posible doblamiento de bióxido de carbono para ese punto. Como ejemplo, presentamos lo que postula el modelo CCCM (ca-

nadiense) para el punto 9 (Tabla I) de longitud 103.9° Oeste y 25.6° de latitud. En la tabla IIA mostramos lo que postula el modelo CCCM para condiciones de $1 \times CO_2$ y $2 \times CO_2$ y las variaciones correspondientes para la temperatura, la precipitación y la radiación solar. En este caso los datos se obtuvieron encontrando el punto más cercano en la malla utilizada por este modelo, que se indica en la cabeza de la tabla. La Tabla IIB es análoga a la IIA, pero en este caso los datos se obtienen de interpolar los valores de los puntos de malla que rodean al punto de interés.

Tabla IIA

VALORES EN -103.9° 25.6° DEL CCCM EN -105.0° 24.1° (aprox. del modelo)

MES	Temperatura			Precipitación			Radiación Solar		
	1xCO2 (C)	2xCO2 (C)	Dif C	1xCO2 (mm/día)	2xCO2 (mm/día)	Razón	1xCO2 (W/m2)	2xCO2 (W/m2)	Razón
1.0	10.4	11.8	1.4	4.3	1.9	0.4	163.0	177.0	1.1
2.0	10.7	13.1	2.5	2.4	1.7	0.7	211.0	211.0	1.0
3.0	12.2	14.9	2.6	2.4	1.5	0.6	251.0	258.0	1.0
4.0	15.1	17.9	2.8	2.4	1.5	0.6	288.0	286.0	1.0
5.0	18.0	21.5	3.4	2.2	3.7	1.7	303.0	282.0	0.9
6.0	19.5	21.7	2.2	10.7	9.5	0.9	245.0	233.0	1.0
7.0	19.7	22.1	2.4	16.2	11.5	0.7	208.0	219.0	1.1
8.0	19.8	22.5	2.7	18.4	16.6	0.9	192.0	201.0	1.1
9.0	19.1	21.7	2.5	16.5	17.5	1.1	177.0	164.0	0.9
10.0	15.8	18.9	3.1	3.5	7.0	2.0	201.0	181.0	0.9
11.0	12.5	15.4	2.9	2.2	2.1	1.0	184.0	177.0	1.0
12.0	10.5	12.6	2.2	2.8	2.1	0.8	162.0	166.0	1.0

Tabla IIB

VALORES EN -103.9° 25.6° DEL CCCM

MES	Temperatura			Precipitación			Radiación Solar		
	1xCO2 (C)	2xCO2 (C)	Dif (C)	1xCO2 (mm/día)	2xCO2 (mm/día)	Razón	1xCO2 (W/m2)	2xCO2 (W/m2)	Razón
1	7.2	8.8	1.59	3.8	1.7	2.45	157	172	1.09
2	8.2	11.3	3.03	2.7	2.3	2.83	200	199	1.00
3	10.8	13.9	3.09	2.7	1.9	2.71	243	248	1.02
4	14.4	17.7	3.31	2.6	2.1	2.81	282	281	1.00
5	17.9	21.6	3.67	4.4	5.2	1.16	294	282	0.95
6	19.8	22.1	2.36	9.6	8.4	2.87	257	250	0.97
7	19.8	22.6	2.72	11.9	8.0	2.87	237	251	1.06
8	19.7	22.7	3.02	13.4	11.9	2.89	216	227	1.05
9	18.6	21.4	2.78	15.6	15.5	2.99	182	177	0.97
10	13.8	17.3	3.47	4.9	8.6	1.76	199	180	0.90
11	9.9	12.8	2.98	2.1	2.3	1.08	180	172	0.96
12	7.4	9.6	2.21	2.7	1.9	2.70	155	160	1.03

El decidir entre utilizar resultados como en la Tabla IIA o bien los de la Tabla IIB dependerá del análisis de los resultados del modelo para las condiciones de $1 \times CO_2$ contra los datos normales, esto es, depende de hacer un estudio de validación de los modelos.

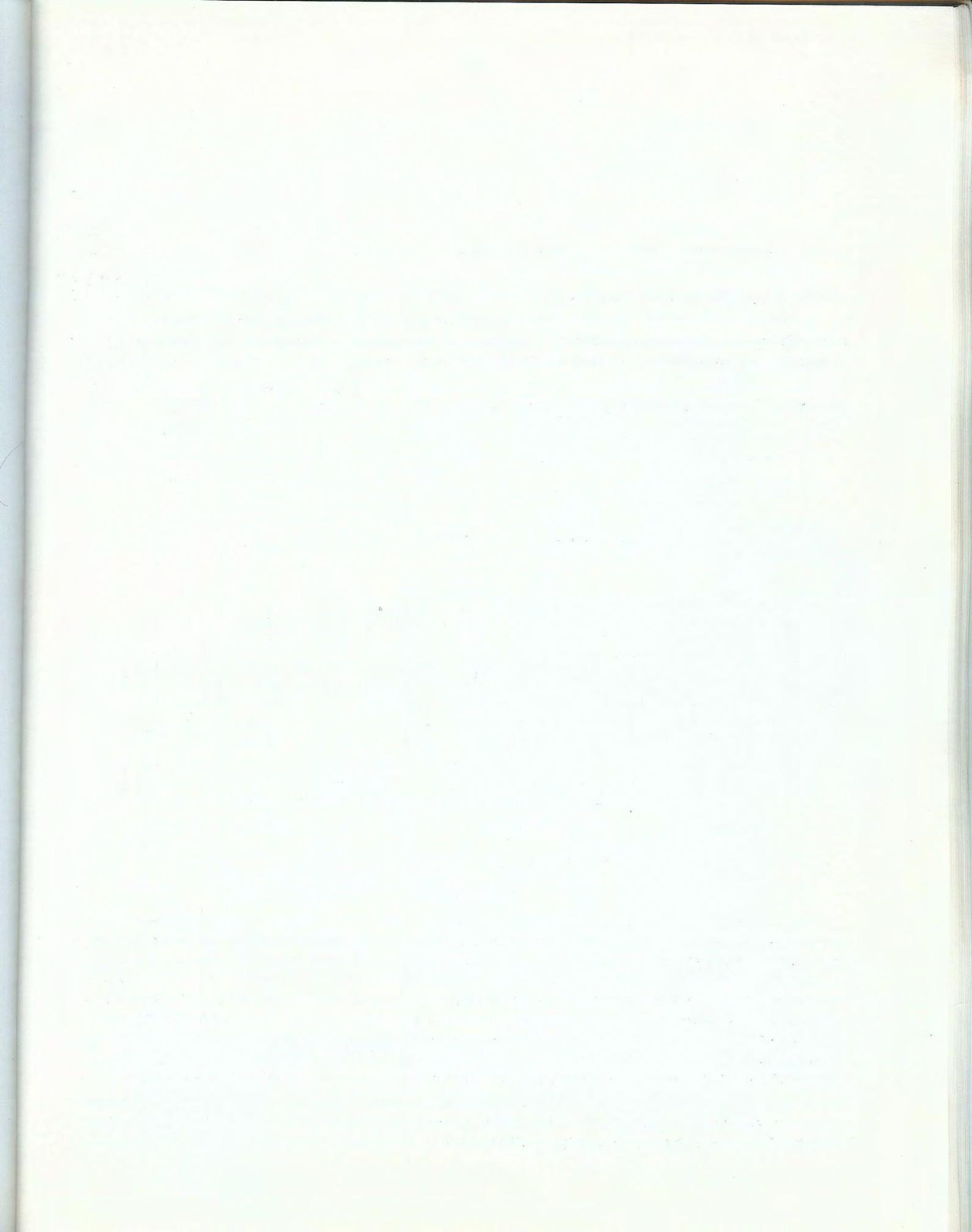
Aquí se considera que los modelos de circulación son consistentes, esto es, aunque sobrevalúen o subvalúen las simulaciones con $1 \times CO_2$ con respecto a los datos climatológicos, los cambios en la temperatura, precipitación y radiación se conservarían. Es por esto que dichos cambios los podemos utilizar para construir escenarios futuros. Bajo esta suposición, construimos entonces el escenario futuro para el punto descrito en la tabla IIA para la temperatura y la precipitación. Así pues, en la tabla III se muestran en la segunda columna los datos de la temperatura normal (T); en la tercera, las variaciones de temperatura propuestas y en la siguiente, las temperaturas futuras dado un doblamiento de bióxido de carbono. En la quinta columna, se muestran los datos de precipitación normal (Pr.) y en las siguientes la variación y la precipitación futura.

Tabla III

mes	T	Diff	T+diff	Pr.	%	Pr*%
1	13.70	1.37	15.07	0.18	0.44	0.08
2	16.40	2.46	18.86	0.13	0.70	0.09
3	19.30	2.61	21.91	0.07	0.64	0.05
4	23.50	2.83	26.33	0.11	0.60	0.07
5	26.10	3.44	29.54	0.29	1.69	0.49
6	27.90	2.19	30.09	1.17	0.89	1.04
7	27.00	2.43	29.43	1.58	0.71	1.12
8	26.60	2.67	29.27	1.68	0.90	1.51
9	24.80	2.52	27.32	1.17	1.06	1.24
10	21.70	3.12	24.82	0.70	1.97	1.38
11	17.50	2.92	20.42	0.16	0.96	0.16
12	14.20	2.18	16.38	0.18	0.75	0.13

REFERENCIAS

- Adem, J., 1982. Simulation of the annual cycle of climate with a thermodynamic numerical model. *Geof. Int.*, 21(3), 229- 247.
- Galindo, I., Valdés, M., 1991.-México- Atlas de Radiación Solar. Documentos de Análisis y Prospectiva del Programa Univeristario de Energía. Programa Universitario de Energía, Coordinación de la Investigación Científica, UNAM.
- Jenne, Roy., Jan 1994. Climate Model Data for Assesment Studies. NCAR Scientific Computing Division.
- Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Impacts Assessment. Edited by W. J. McG Tegart and G W Sheldon.



An strategy to determine regional climate change

VICTOR ORLANDO MAGAÑA RUEDA

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, Circuito Exterior, CU, 04510, México, D. F., México

RESUMEN

Los resultados de los Modelos de Circulación General (GCM) son la mayor fuente de información para estudiar el cambio climático global. Sin embargo, existen serios problemas si esta información es simplemente interpolada para determinar el cambio climático regional o local. En el presente trabajo se discuten algunos de estos problemas y se proponen dos métodos para interpretar los resultados de los GCM en escala regional, manteniendo en mente que las simulaciones por los GCM corresponden a circulaciones de gran escala. El primer método es el de análogos y modelos estadísticos para asociar patrones de circulación de gran escala con el tiempo y el clima local. Los patrones pueden ser clasificados mediante esquemas como el de Kirchhofer o mediante el uso de funciones empíricas ortogonales. El segundo, es el uso de un Modelo de Area Limitada, forzado en las fronteras por circulaciones de gran escala pronosticadas por GCMs. El Modelo de Area Limitada debe ser capaz de describir las circulaciones atmosféricas de escala regional. Tal procedimiento constituye una aproximación dinámica al problema de "reducir" los resultados de los GCM. Mediante estos dos métodos se pueden crear escenarios de cambio climático regional.

ABSTRACT

General Circulation Model (GCM) output is a major source of information to study global climate change. However, there are serious problems if this information is simply interpolated to determine regional climate change. In this work, some of these problems are discussed and two methods to interpret GCM output on regional spatial scales are proposed, keeping in mind that GCM output corresponds to large scale circulations. The first method is related to the use of analogs and statistical models to associate large-scale circulation patterns with regional and local weather or climate. The circulation patterns may be classified using the Kirchhofer scheme or by means of Empirical Orthogonal Functions. The second one, is the use of associated with a Limited Area Models, forced at the boundaries by large scale circulations predicted by GCMs Limited Area Models are capable of reproducing regional atmospheric circulations. Therefore, this method constitutes a dynamical approach for the problem of "downsizing" GCM output. These two methods may provide a reasonable way to create regional climate scenarios.

1. Introduction

The increase in greenhouse gases around the world during the last century may have significant impact on the climate of our planet. The large correlation between variations in carbon dioxide (CO₂) and surface temperature of the atmosphere suggests that an increase in CO₂ will lead to global warming. Numerical models have become the main tool to estimate the magnitude of changes in the average global temperature of our planet. Experiments with Energy Balance Models (EBMs) and General Circulation Models (GCMs) have been performed to create scenarios of global climate change due to a doubling in the concentration of CO₂ in the atmosphere. Among other things, these models predict that the average surface temperature will increase between 0.5 and 5K. Such change in temperature will not be spatially uniform. It will be larger in the middle and high latitudes during the winter, and milder in the tropics throughout the year (Fig 1.). GCMs also predict that the water cycle will enhance, leading to more frequent droughts and more intense floods.

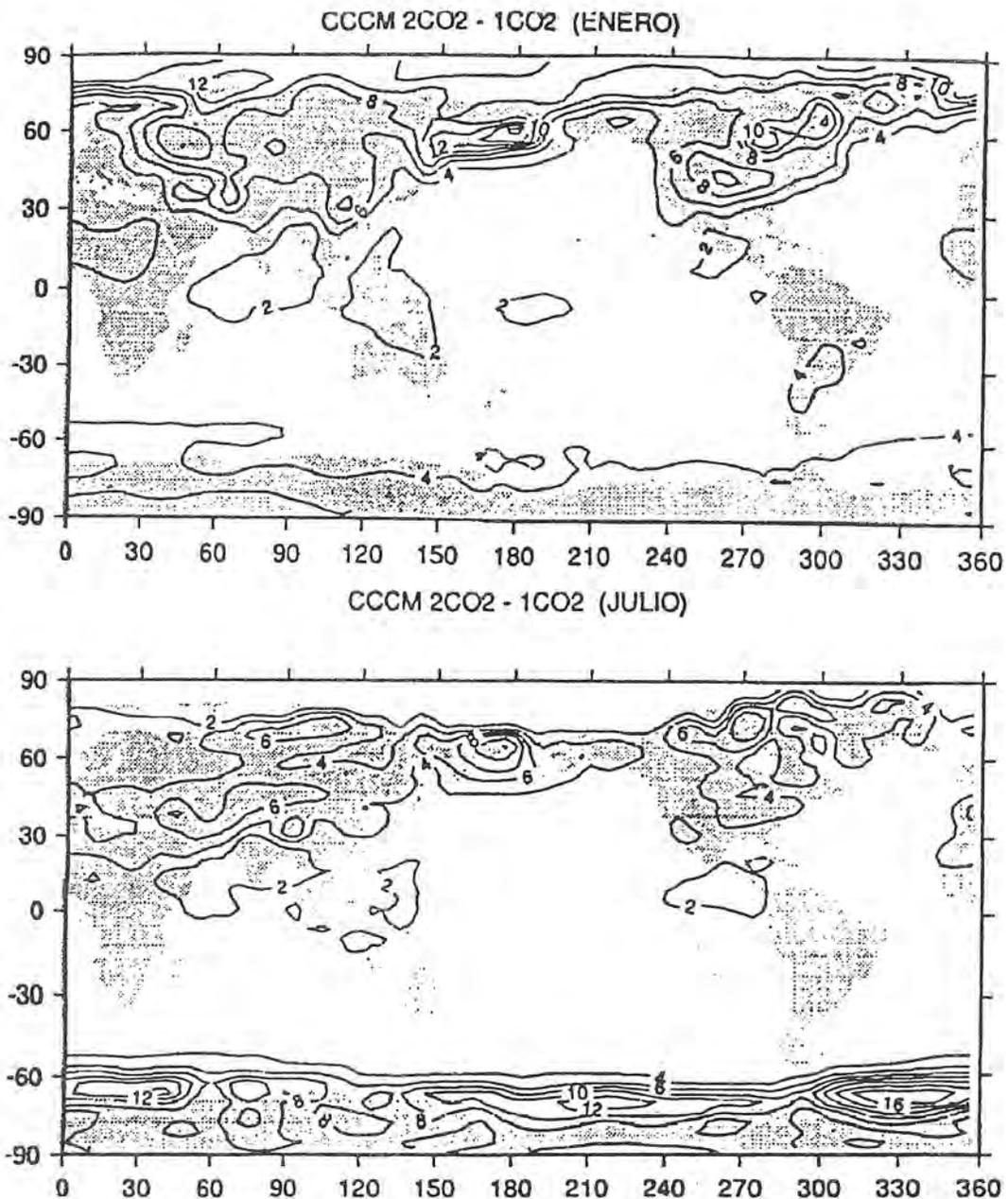


Fig. 1. Surface temperature change after doubling the concentration of CO₂ in the atmosphere as predicted by the GFDL GCM. (units °K)

Although GCMs adequately simulate the major large-scale circulations that control weather and climate, they have limitations to determine climate changes on regional or local scales. Some of these limitations are related to:

- i) Spatial resolution. The large number of operations involved in a GCM experiment make it costly. When high resolution is used this cost increases exponentially, to such extent, that climate change experiments can not be performed with spatial resolutions higher than 100 or 200 km. Even if high spatial resolution could be used, GCMs do not realistically simulate the effect of certain elements like mountain effects, land-sea distribution, etc., that determine regional climate. For instance, the hydrodynamics of the atmosphere is non-linear and the energy fed into the system cascades to the smallest scales through non-linear interactions. Since the model does not possess the resolution, nor the physics to simulate such exchanges of energy, climate simulations are only an approximation to reality.
- ii) Parameterization of sub-grid scale phenomena. The lack of high spatial resolution prevents

the explicit representation of sub-grid scale processes, such as cumulus clouds, orographically forced circulations, boundary layer process, etc. which have to be parameterized in terms of large-scale variables. Such parameterizations in GCMs may lead to additional errors in regional climate simulations (Thomas and Henderson-Sellers, 1991).

- iii) The effect of climate drift. GCMs tend to generate their own climate i.e., although they reproduce the major features of the general circulation of the atmosphere, after some time the phase and amplitude of the predicted atmospheric systems do not perfectly match the observed ones. Differences exist even among GCMs. Comparisons among various $2 \times \text{CO}_2$ GCM experiments show that significant uncertainties in predicted temperature anomalies and the hydrological cycle exist (Grotch 1992), specially on regional scales. Figure 2 shows a comparison of change in daily precipitation in Mexico during July, predicted by two GCMs, when the concentration in CO_2 is doubled. These models are the Canadian Climate Center Model (CCCM) and the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) GCM. The CCCM predicts a decrease in the daily precipitation over Mexico, while the GFDL GCM predicts the daily precipitation rate will increase. In this case, the difference in regional prediction of precipitation appears to be more related to the cumulus parameterization scheme rather than to the spatial resolution of the model, i.e., parameterization of subgrid scale processes.

This example clearly shows that one should be careful when interpreting the output from GCMs on regional scales. Because of this, there might exist a conflict between GCM modelers and users of GCM products. Climate people deliver potentially reliable predictions for large-scale circulations. However, users of these forecasts understand large scale as processes of the order of a hundred kilometers or less. The need for assessment of the potential impact of climate change at scales that cannot be resolved by current GCMs have led to the development of alternative ways of using climate predictions with coarse resolution to infer regional characteristics of climate change.

2. Downsizing information from Climate Model Output.

As already discussed, GCMs are capable of doing a credible job on global scales but not on regional scales. This may sound like a contradiction but it is not. The global climate is the response of the system to the large-scale structure of the earth's surface (land-sea distribution, topography) and to differential heating. The regional climate on the other hand represents the result of the interaction between the global and regional details. Therefore, it is possible to simulate global climate adequately even when none of the regional climates is simulated realistically. This interaction between scales is just what we would like to model in order to infer regional climate or "downsize" the products of GCM experiments.

There are basically two ways of downsizing the information from GCMs to regional scales.

- 1) By means of an statistical model
- 2) By means of a dynamical mesoscale model

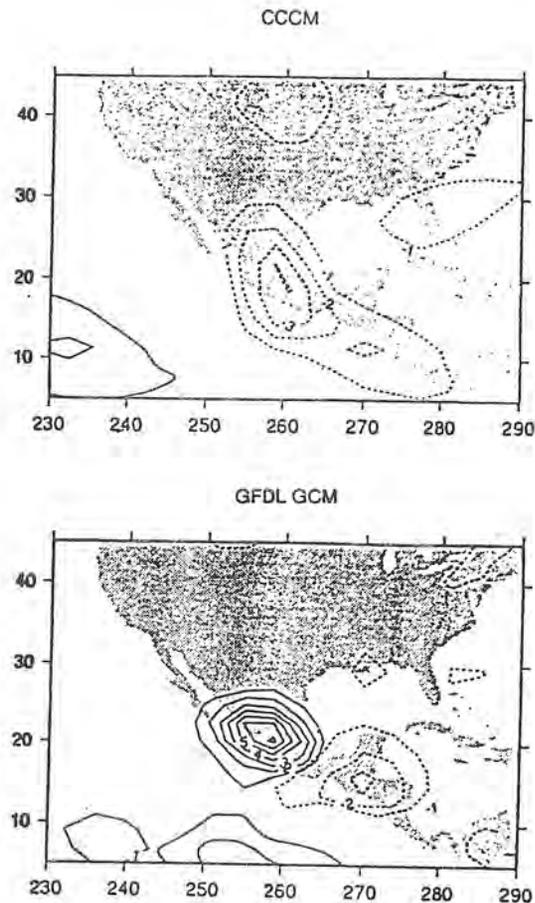


Fig. 2. Change in precipitation over Mexico due to a doubling in the concentration of CO₂ as predicted by a) the CCCM and b) the GFDL GCM.

Statistical Models.

In this method, the regional characteristics of weather and climate are related to large-scale circulation patterns through statistical relationships obtained from observed data. This procedure is similar to the well-known Model Output Statistics (MOS) method or the Perfect-Prog method used to interpret short-range large-scale forecasts. In MOS, model output is statistically related with surface observations, considering in this way systematic errors. This method

however, is model dependent. On the other hand, the Perfect Prog method, establishes such relationships using observed data. In each case, certain meteorological variables are associated with weather at the surface.

These methods involve at times the use of analogues, where the most common circulation patterns are classified and associated with a particular kind of weather at a specific region. Each group of analogues is associated with a particular kind of weather. There are various ways of classifying weather patterns.

Yarnal (1984) has proposed a classification scheme based on the Kirchhofer technique for normalized daily grids

$$Z_i = (x_i - \bar{x})/s$$

where Z_i is the normalized value at the grid point i , x_i = data value at the grid point i , \bar{x} = mean of the N -point grid, and s = standard deviation of the N -point grid. Two patterns, a and b , are similar or classified in the same group if the score S is less than a certain value, where

$$S = \sum_{i=1}^N (Z_{ai} - Z_{bi})^2$$

and Z_{ai} and Z_{bi} are normalized values for days a and b . Additional criteria can be considered to fully warranty similarity in the patterns. For instance, a score can be defined for each row or column.

After circulation patterns are classified in groups, the characteristic regional weather in each group can be obtained by calculating the averaged surface conditions for those days. The relationship between this group of similar patterns and surface conditions may be obtained through statistical relationships. This procedure was used by Magaña (1986) to determine maximum and minimum temperatures, probability of precipitation, etc., from 500 mb geopotential height data. For instance, the characteristic 500 mb geopotential height pattern associated with precipitation in the central part of Mexico (Fig. 3) is similar to the one presented by Douglas *et.al.* (1993) for the month of June, when the rainy season begins.

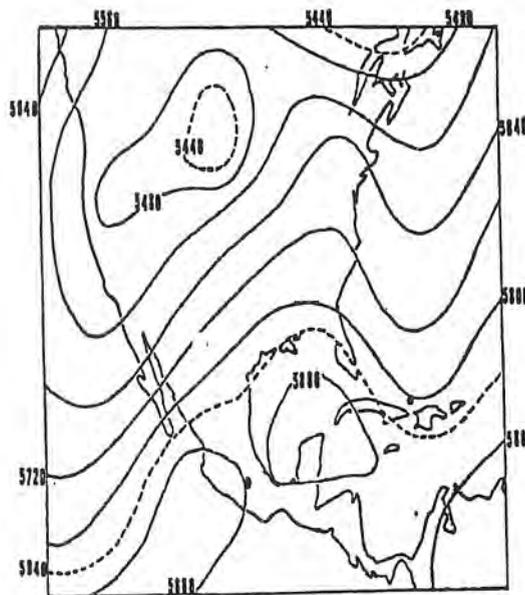


Fig. 3. 500 mb geopotential height pattern associated with periods of precipitation in the central part of Mexico

A second classification procedure involves the use of Empirical Orthogonal Functions (EOFs) of meteorological variables and their eigencoefficients (Lorenz 1956). In this method, the most persistent patterns are related to the first EOF and so on. The order of the EOF depends on the percentage of variance it explains. As in the previous method, each pattern is associated with a particular kind of weather. The time series of the eigencoefficients may be used to determine how often a particular kind of weather appears and therefore the characteristic climate for a region. Figure 4 shows a couple of composites of the circulation patterns at 200 mb for periods of weak and intense convective activity over Central America and part of Mexico, obtained from EOFs of outgoing long wave radiation (Magaña 1991). As in the previous case, an anticyclonic circulation over Mexico is dominant. Even more, the intensity of convection is highly related to the intensity of the circulation.

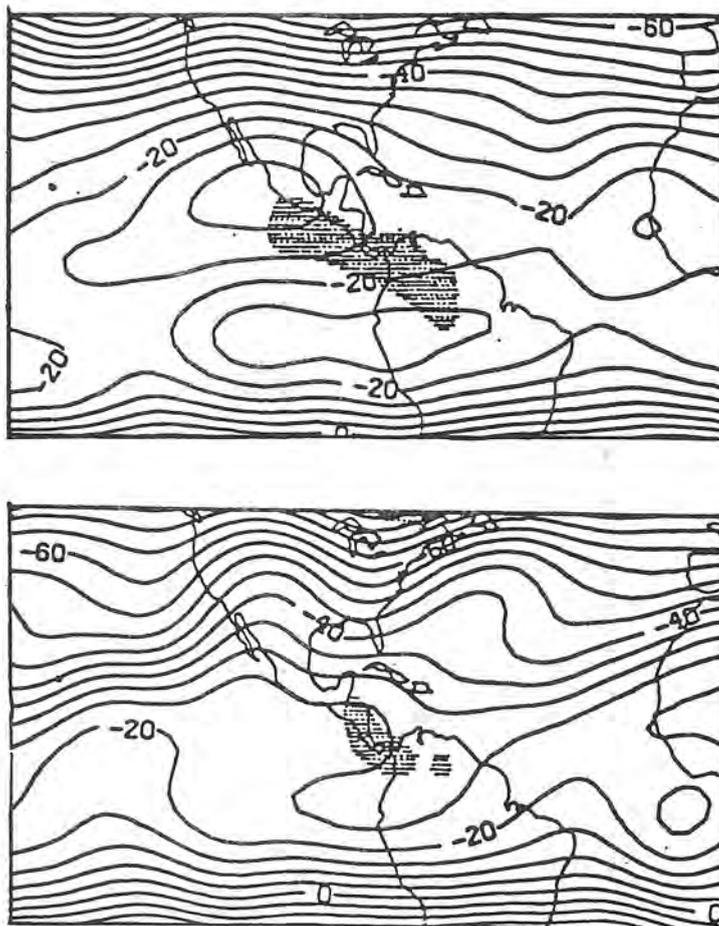


Fig. 4. Composites of streamfunction and outgoing long wave radiation (OLR) for periods of (a) intense and (b) weak convective activity over Central America and Mexico, obtained from the eigencoefficients from the first EOF of OLR (After Magaña and Yanai 1991).

To determine regional climate one can calculate the frequency of appearance of a certain pattern in a GCM experiment. The regional weather or climate for a certain region is obtained by comparing the most frequent circulation patterns in the experiment with groups of circulation patterns obtained from observations of historical data. A more quantitative estimation of climate change may be determined by using the statistical relationships that associate surface conditions with these circulation patterns. There is a major assumption in this method of downsizing GCM output. It is assumed that the relationships between large scale circulations and surface conditions do not change even under a global climate change. To what extent this assumption is valid is still unknown.

The method of correlating EOFs of large scale circulations and surface weather has been successfully used by Zorita *et al.* (1993) to create regional climate change scenarios for Europe. The comparison of frequency of appearance and intensity of circulation patterns of large-scale meteorological fields may be used to examine climate changes associated with increases in CO₂. Comparisons among observations, control experiments and 2 × CO₂ experiments may give an indication, not only on the changes in large scale circulations and regional climate, but also on the biases of the model i.e., the systematic errors or climate drift of the model.

Regional Dynamical Model.

Regional models, also known as Limited Area Models (LAMs), simulate regional atmospheric circulations with finer spatial resolution. They are driven at the boundary by large-scale conditions generated by GCMs with coarser scales (Giorgi 1990). LAMs are capable of reproducing small scale processes, such as circulations forced by orographic features, that are partially or totally absent in a GCM and that may be important for regional climate. Although the use of LAMs is physically and dynamically more meaningful, this may be a costly method and to some extent it still involves the use of parameterizations. In addition, feedbacks from the regional model into the GCM are not always incorporated during numerical experiments.

In Mexico, the Penn State University/NCAR model is currently being adapted for regional weather studies and Numerical Weather Prediction experiments (Fig. 4). Its coupling to GCM output should prove to be useful in the creation of regional climate change scenarios. Its use will be complemented with the method of analogues or dominant large-scale circulation patterns. A composite of each classified large-scale circulation pattern may be used to force the Mesoscale Model to generate regional weather. The result of such experiment may be compared with the characteristic weather or climate obtained from statistical relationships. This step constitutes an "independent" confirmation of the relationships between large-scale meteorological fields and local surface variables.

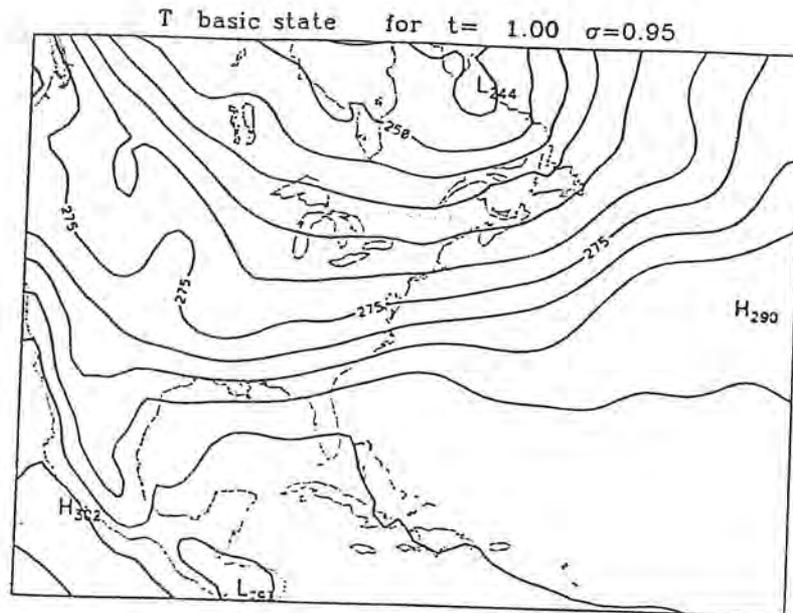


Fig. 5. Prediction of surface temperature on a regional scale by the Penn State/NCAR mesoscale model.

3. Conclusions

GCMs constitute a valuable tool in the study of global climate change that will result from increases in carbon dioxide concentrations in the atmosphere. However, GCM output itself does not always provide reliable information about climate change on regional scales. A simple interpolation of GCM output may give false expectations on the climate changes to occur locally.

Two alternative methods of interpreting GCM output and creating regional climate change scenarios are proposed. The first one consist on using a classification scheme for large scale circulation patterns statistically related to regional weather and climate. Various classification schemes exists: Kirchofer method, EOFs, etc.

The second method is associated to the use of a limited area model forced at the boundaries by the large scale circulations predicted by the GCM. The LAM is capable of reproducing regional circulations that take into account the effects of orography, land-sea contrasts, etc., that control local weather and climate.

Only through the use of such sophisticated post-processing methods, we will be able to obtain reliable estimates of climate change on regional scales.

REFERENCES

- Giorgi, F., 1990. Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. *J. Climate*, **3**, 941-963.
- Grotch, S. L., 1992. A statistical comparison of temperature and precipitation predicted by four general circulation models with historical data. In *Greenhouse-Gas-Induced Climatic Change: A Critical Appraisal of Simulations and Observations*. (Ed. M. Schlesinger). Elsevier. p. 3-

16.

- Lorenz, E. N., 1956. Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction. Sci. Rept. No. 1, Statistical Forecasting Project. Dept. of Meteorology. MIT, Cambridge Mass.
- Magaña V. and M. Yanai, 1991. Tropical-midlatitude interaction on the time scale of 30 to 60 days during the northern summer of 1979. *J. Climate*, 4, 180-201.
- Magaña, V., 1986. Post-procesamiento de los resultados del pronóstico numérico. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Thomas, G. and A. Henderson-Sellers, 1991. An evaluation of proposed representations of subgrid hydrologic process in climate models. *J. Climate*, 4, 898-910.
- Yarnal, B., 1984. A procedure for the classification of synoptic weather maps for gridded atmospheric pressure data. *Computers and Geosciences*, 10, 397-410.
- Zorita, E., J. P. Hughes, D. P. Lettemaier and Has Von Storch, 1993. Stochastic characterization of regional circulation patterns for climate model diagnosis and estimation of local precipitation. Report No. 109, Max Plank Institut für Meteorologie. Hamburg.

Escenario de cambio climático en México de resultados de modelos que suponen un doblamiento en el CO₂ atmosférico (Caso de Estudio: Hidrología)

V. M. MENDOZA, E. E. VILLANUEVA y J. ADEM

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Circuito Exterior, CU, 04510, México, D. F., México

ABSTRACT

We try to develop a climate change scenario (CCS) to explore the impact over the hydrological zones of Mexico, by the global warming due to the increase of the atmospheric-CO₂.

In this work we use the different results of the Adem's thermodynamic climate model (ATCM), together with those from the major general circulation models (GCM's) and the climate data of Mexico, to create a regional CCS. The method consists in applying the thermal energy balance equation at the surface continent layer of Mexico, using the atmospheric warming due to an increase of CO₂ as forcing to generate in detail the changes in the surface temperature of the continent, evaporation, sensible heat, net radiation as well as the change in other climatic variables on the surface.

RESUMEN

Tratamos de desarrollar un escenario de cambio climático (ECC) para explorar el impacto sobre las zonas hidrológicas de México debido al calentamiento global por un incremento del CO₂ atmosférico.

En este trabajo usamos los diferentes resultados del modelo termodinámico del clima de Adem (MTCA), junto con aquellos generados por modelos de circulación general (MCG) y los datos climáticos de México, para crear un escenario de cambio climático regional. El método consiste en aplicar la ecuación de balance de energía térmica a la capa superficial continental de México, usando el calentamiento atmosférico debido a un incremento de CO₂ como forzamiento para generar en detalle los cambios en la temperatura superficial del continente, la evaporación, el calor sensible, la radiación neta, así como en otras variables climáticas en superficie.

1. Introducción

Los MCG's son la mejor manera de describir cuantitativamente los procesos dinámicos y termodinámicos de gran escala en la atmósfera. Estos modelos han sido ampliamente usados para estimar el calentamiento global debido a un incremento de CO₂ atmosférico.

En México se ha integrado el MTCA en el Hemisferio Norte sobre una red regular de 817 km, para obtener el ciclo anual de temperatura superficial, precipitación, evaporación y demás funciones de calentamiento, así como circulaciones asociadas al calentamiento por el incremento del CO₂ atmosférico. Este modelo da una buena aproximación para crear un ECC para México.

Diana Liverman (1990) ha desarrollado un estudio sobre el impacto en México del calentamiento global, en su trabajo ella obtiene un ECC usando los resultados de cinco de los principales MCG's para cuadros de malla que cubren México.

La principal conclusión de su análisis acerca del impacto del calentamiento global sobre México es que la evaporación potencial se incrementará y la disponibilidad de humedad decrecerá, aún en aquellos casos donde los modelos proyectan un incremento en precipitación, es decir, México probablemente será más caliente y más seco que en la actualidad.

Shunji Ohta *et al.* (1993) desarrollaron un modelo físico basado en el balance de energía térmica aplicada a una capa delgada de agua sobre la superficie de Japón, usando el calentamiento atmosférico por el incremento de CO₂ calculado por el modelo de circulación general del Instituto Goddard Para Estudios Espaciales (GISS-GCM).

En este trabajo usaremos un método similar que consiste en aplicar la ecuación de balance de energía térmica a la capa superficial del continente de 60 cm de espesor, usando variables climáticas observadas distribuidas sobre una malla regular de aproximadamente 100 km.

Las anomalías de las variables climáticas debidas a un incremento de CO₂ serán superpuestas a las correspondientes variables climáticas y se usarán como forzamiento en la ecuación de balance de energía térmica, para generar en detalle el calentamiento superficial regional.

Las anomalías que usaremos son las de la temperatura del aire en superficie y de la precipitación, generadas por el modelo termodinámico del clima de Adem (AMTC) y por los modelos de circulación general canadiense (CGCM) y del Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos de Princeton (GFDL).

2. Ecuación de balance de energía Térmica

La ecuación de balance de energía térmica aplicada a la capa superior de los océanos y continentes está dada por:

$$\rho_s c_s h_s \frac{\partial}{\partial t} T_s = \delta_o^1 \rho_s c_s h_s \left[-V_{sT} \cdot \nabla T_s + K_s \nabla^2 T_s - \frac{W}{h_s} \right] + E_s - G_2 - G_3 \quad (1)$$

donde $\delta_o^1 = 1$ en los océanos y 0 en los continentes.

$\rho_s c_s h_s = 2.51 \times 10^{11}$ en los océanos con $h_s = 60$ m y 7.18×10^8 en los continentes con $h_s = 60$ cm.

En donde T_s es la temperatura de la superficie de océanos y continentes; ρ_s , la densidad; c_s , la capacidad calorífica específica; h_s , la profundidad de la capa superior; V_{sT} , la velocidad de la corriente superficial oceánica; K_s , el coeficiente de "Austausch"; W , la tasa de enfriamiento por surgencias; E_s , la radiación neta; G_2 , el calor sensible cedido a la atmósfera desde la superficie por transporte vertical turbulento y G_3 , el calor latente cedido por evaporación de océanos y continentes.

En este estudio vamos a aplicar la ecuación (1) únicamente a la capa continental ($\delta_o^1 = 0$); por lo tanto, la ecuación (1) se reduce a:

$$\rho_s c_s h_c \frac{\partial}{\partial t} T_s = E_s - G_2 - G_3 \quad (2)$$

3. Funciones de calentamiento

3.1 Radiación neta

El exceso de radiación en la superficie se obtiene usando la fórmula de Berliand - Budyko:

$$E_s = -\delta \sigma T_a^4 [0.254 - 0.00066 U_s e_s(T_a)] (1 - c\varepsilon) - 4\delta \sigma T_a^3 (T_s - T_a) + \alpha_1 I \quad (3)$$

donde

$$\alpha_1 I = (Q + q)_o [1 - (a + b\varepsilon)\varepsilon] (1 - \alpha) \quad (4)$$

En la ecuación (3), δ es la emisividad de la superficie; σ , la constante de Stefan-Boltzman; T_a , la temperatura del aire en superficie; U_a , la humedad relativa sobre la superficie; $e_s(T_a)$, la tensión del vapor de saturación a la temperatura T_a ; $c = 0.65$, coeficiente para la cubierta de nubes; ε , la nubosidad fraccional y $\alpha_1 I$ la radiación de onda corta absorbida por la capa, dada por la ecuación (4), en donde $(Q + q)_o$ es la radiación total directa y difusa recibida por la superficie en ausencia de nubes; las constantes $a = 0.35$ y $b = 0.38$ fueron tomadas de Budyko (1974) y α es el albedo de la superficie continental.

3.2 Calor sensible y calor latente

En los océanos:

$$G_3 = K_2 |V_a| (T_s - T_a) \quad (5)$$

$$G_3 = K_4 |V_a| [0.981e_s(T_s) - U_a e_s(T_a)] \quad (6)$$

En los continentes

$$G_2 = K_3 |V_a| (T_s - T_a) \quad (7)$$

$$G_3 = d'_1 E_s + d'_2 \quad (8)$$

donde K_2 , K_3 y K_4 son constantes; $|V_a|$ es la rapidez del viento en superficie; d'_1 y d'_2 son parámetros que dependen de la estación y de la posición geográfica.

4. Modelo físico

Substituyendo las fórmulas paramétricas (3), (7) y (8) en la ecuación de balance de energía térmica (1), podemos encontrar una relación simple entre la temperatura de la superficie del continente y las variables atmosféricas. Dadas por:

$$T_s = [\Delta t_o E_5 + D_s T_{sp}] / [D_s - \Delta t_o E_6] \quad (9)$$

donde T_{sp} es la temperatura de la superficie continental del mes previo; Δt_o es el intervalo de tiempo de un mes; las funciones E_5 , E_6 y el término de almacenamiento D_s , están dadas por:

$$E_5 = (1 - d'_1)E_1 - d'_2[(1 - d'_1)E_2 - E_3]T_a$$

$$E_6 = (1 - d'_1)E_2 - E_3$$

$$D_s = \rho_s c_s h_s$$

donde E_1 es una función que depende de T_a , U_a , ε y $\alpha_1 I$; E_2 es función de T_a y E_3 es función de $|V_a|$ dadas por:

$$E_1 = -\delta\sigma T_a^4 [0.254 - 0.0066U_a e_s(T_a)](1 - c\varepsilon) + \alpha_1 I$$

$$E_2 = -4\delta\sigma T_a^3$$

$$E_3 = K_3 |V_a|$$

5. Datos climáticos y método de solución

5.1 Datos climáticos

Para la temperatura T_a , la humedad relativa U_a y la nubosidad ε , usaremos las siguientes relaciones para estimar el cambio climático debido al doblamiento del CO_2 atmosférico

$$T_{a2} = T_{aN} + (T_{aG2} - T_{aG1})$$

$$U_{a2} = U_{aN} + (U_{aG2} - U_{aG1})$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_N + (\varepsilon_{G2} - \varepsilon_{G1})$$

$$r_2 = r_N + (r_{G2} - r_{G1})$$

donde T_{a2} , U_{a2} , ε_2 y r_2 son valores mensuales de la temperatura del aire, la humedad relativa, cantidad fraccional de nubes y precipitación para el clima $2 \times CO_2$, respectivamente. T_{aN} , U_{aN} , ε_N y r_N son los correspondientes valores normales observados. T_{aG1} , U_{aG1} , ε_{G1} y r_{G1} son los valores generados por el MTCA y los MCG's para $1 \times CO_2$, y T_{aG2} , U_{aG2} , ε_{G2} y r_{G2} son los valores generados por el MTC y los MCG's para $2 \times CO_2$.

El modelo termodinámico del clima no genera de manera directa las anomalías de la temperatura del aire y de la humedad relativa en la superficie (capa límite planetaria), ni tampoco las de la nubosidad; sin embargo, se pueden generar de manera indirecta usando las anomalías de la temperatura y la altura de un nivel medio troposférico, como por ejemplo, 700 mb, que sí son generadas por este modelo. De esta manera tenemos que:

$$T_a = \beta_N(Z_a - H) + T \quad (10)$$

donde β_N es el gradiente térmico vertical normal observado, Z_a es la altura del terreno, H es la altura del nivel medio troposférico y T es la temperatura en ese nivel generadas por el MTC. De esta manera:

$$T_{aG2} - T_{aG1} = (T_{G2} - T_{G1}) - \beta_N(H_{G2} - H_{G1})$$

por lo tanto

$$T_{a2} = T_{aN} + (T_{G2} - T_{G1}) - \beta_N(H_{G2} - H_{G1}) \quad (11)$$

La humedad relativa se determina de la siguiente fórmula:

$$U_{a2} = U_N + A_N(T_{aG2} - T_{aG1}) \quad (12)$$

donde A_N es parámetro climático semiempírico. Por lo tanto

$$U_{a2} = U_{aN} + A_N[(T_{G2} - T_{G1}) - \beta_N(H_{G2} - H_{G1})] \quad (13)$$

Por su parte la nubosidad se puede determinar de la fórmula Garduño - Adem (1963):

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_N - 1.26(T_{G2} - T_{G1}) \quad (14)$$

5.2 Método de Solución

La relación (9) permite determinar la temperatura de la superficie del continente, comenzando con una temperatura uniforme para el mes previo en el primer paso de tiempo, los pasos se continúan hasta que la solución sea estable, obteniéndose de esta manera el ciclo anual. Las fórmulas (3), (7) y (8) determinan los calentamientos de la superficie, usando la solución para T_s .

BIBLIOGRAFIA

- Budyko, M. I., 1974. *Climate and life*. International Geophysics Series, 18, Academic Press, Inc. 508 pp.
- Garduño, R. and J. Adem, 1993. Parameterization of cloudiness as a function of temperature for use in a thermodynamic model. *World Resources Review*, Vol. 5, No. 2, 246-253.
- Liverman, D., 1990. *The regional impacts of global warming in Mexico: Uncertainty, Vulnerability and Response*. Department of Geography. Pennsylvania State University. 54 pp.
- Ohta, S., Uchijima, S. Seino, H. and Oshima, Y., 1993. Probable effects of CO₂ - induced climatic warming on the thermal environment of ponded shallow water. *Climatic Change*, **23**, 69-90.

El cambio global del clima y posibles efectos en las necesidades de enfriamiento de locales en México

ERNESTO JAUREGUI

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, Circuito Exterior, CU, 04510, México D.F., México

RESUMEN

El crecimiento acelerado de la población en ciudades medias y en menor medida el correspondiente a ciudades grandes dará origen a una intensificación creciente de la isla de calor urbana. El aumento de temperatura debido a la urbanización se sumará a largo plazo al correspondiente originado por el calentamiento global. Se plantea una metodología que partiendo de los incrementos térmicos debidos al efecto invernadero estima la extensión de las áreas del país que requerirán de un mayor consumo de energía para reducir la carga de calor a niveles de confort.

ABSTRACT

The accelerated growth of the urban population in mid-size and big cities of Mexico is expected to intensify the heat island effect. In addition the thermal increase due to the doubling of CO₂ is likely to exacerbate seasonally and in some critical regions the urban thermal environment. Therefore, more energy will be used for air conditioning in order to reduce the heat load. A methodology to estimate the extent of such areas in Mexico is suggested.

1. Introducción

El aumento gradual de la temperatura del aire en las capas bajas de la atmósfera ocasionado por la creciente producción de los llamados gases de invernadero es un tema que adquiere cada vez mayor relevancia. Si bien se espera que los aumentos de temperatura serán mayores en las latitudes altas y medias del planeta, los aumentos que ocurran en los trópicos, con ser menores son aun significativos.

Por ser un país en desarrollo, México se encuentra en una situación de mayor vulnerabilidad a una variación del clima dada la dependencia de grandes áreas de cultivo a la variabilidad de las lluvias de temporal como señala Livermann (1992).

Aún cuando en la actualidad es todavía reducido el consumo de energía para refrescar locales, en los climas cálido-húmedos, cálido-secos del país (excepto quizá, en las ciudades del norte del país), a medida que el nivel socioeconómico se eleve, aumentará la demanda de energía para abatir la carga de calor en locales durante la estación cálida.

Esta demanda de energía crecerá no solo por el efecto invernadero sino que se verá incrementada en forma considerable por el aumento de la población urbana, tanto de las ciudades grandes (fig. 1) como en las llamadas ciudades medias (fig. 2) que en número de cien crecen a un ritmo mayor que las primeras. Un tercer factor que tendrá decidida influencia en el aumento de la demanda de energía para locales con aire acondicionado es el entibiamiento del aire urbano por el efecto de la isla de calor. La sustitución de superficies naturales por elementos urbanos (edificios, calles, banquetas, etc.) induce junto con otros factores (i.e. la combustión en vehículos e instalaciones fabriles) el contraste térmico ciudad/campo. Conviene hacer notar que el calentamiento del aire urbano se incrementa a un ritmo que es alrededor de cuatro veces mayor que el atribuido al cambio global. De ahí la conveniencia de intensificar los estudios que ligen el cambiante clima de ciudades con el esperado por el efecto de invernadero a escala planetaria.

De modo que, en resumen la demanda de energía crecerá en el país posiblemente por:

- a) crecimiento de la población urbana principalmente en ciudades medias y (en menor medida) en grandes ciudades.
- b) aumento de la temperatura del aire urbano por el incremento de la intensidad de la isla de calor urbano al aumentar la mancha urbana.

c) elevación de la temperatura a nivel regional por el efecto global de invernadero. Este incremento se prevee mayor en el norte del país decreciendo hacia el sur. (ver contribuciones de Gay *et al.* en este volumen)

En este trabajo se presenta evidencia de los puntos a) incremento de la población urbana y b) incremento de la isla de calor en algunas ciudades del país. Finalmente, se da un panorama actual de las necesidades presentes de enfriamiento estacional de locales (aire acondicionado) en el ámbito nacional así como una idea de la metodología para estimar las necesidades estacionales de enfriamiento de locales en el caso de un doblamiento de CO₂.

2. Los datos

Se contó con datos de los censos de población período 1950-90 para ciudades medias y grandes. Además, series de temperatura mínima promedio mensual/anual por períodos variables (más de 40 años). Datos de temperatura y humedad media mensual y anual para unos 60 observatorios.

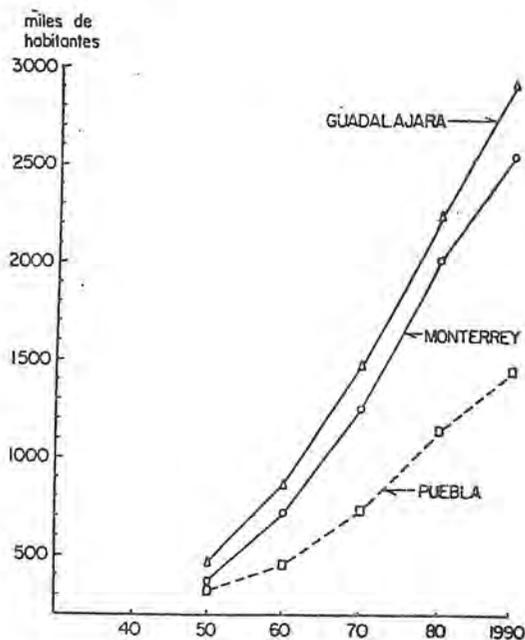


FIG. 1
TENDENCIA DEL CRECIMIENTO DE LA POBLACION URBANA EN CIUDADES MEDIAS EN MEXICO, 1950-1990.

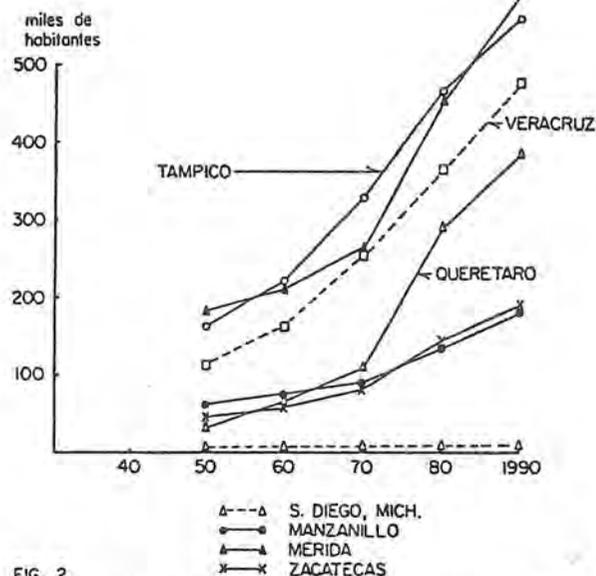


FIG. 2
TENDENCIA DEL CRECIMIENTO DE LA POBLACION URBANA EN CIUDADES MEDIAS EN MEXICO, 1950-1990.

3. Efecto de la urbanización sobre la temperatura del aire urbano

Las figuras 1 y 2 muestran algunos ejemplos del crecimiento acelerado que se observa en la población urbana de algunas ciudades medias y grandes de México.

En la medida en que crece la población urbana aumenta también en extensión la superficie cubierta por la ciudad. La intensidad de la isla de calor es una función directa del área en km² que ocupa la ciudad. En la figura 3 se ilustra el crecimiento del contraste térmico ciudad/campo a medida que la capital creció. En el período 1896-1985 la intensidad media de la isla de calor subió de 1.5 °C a unos 10°C (Jáuregui, 1986). Esta razón de crecimiento (0.017°C/año) es semejante a la que da la recta de regresión propuesta por Oke (1973) para ciudades de

Norteamérica.

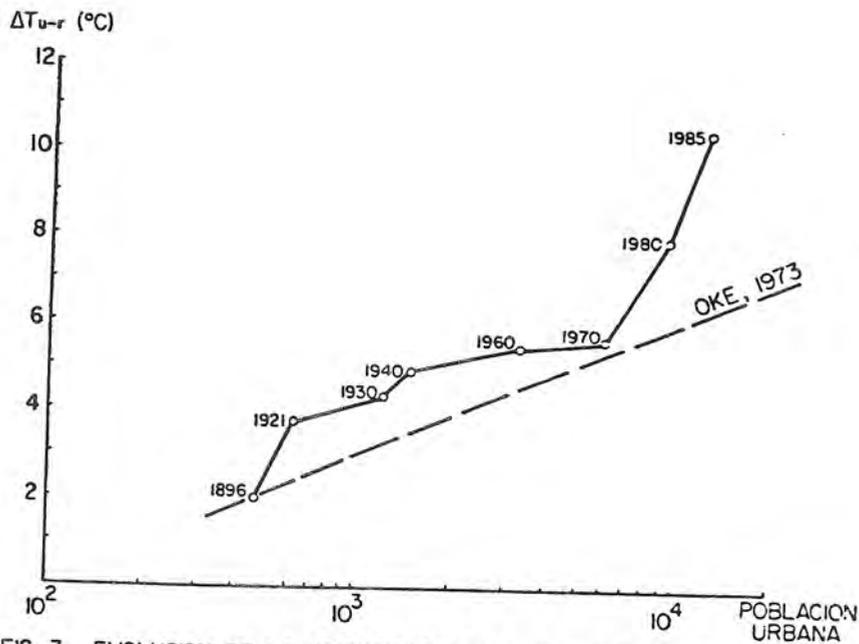


FIG. 3. EVOLUCION DE LA INTENSIDAD DE LA ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE MEXICO. PERIODO 1896-1985.

Es evidente que si aumenta la población urbana la intensidad de la isla de calor se incrementará y consecuentemente este aumento se sumará al correspondiente originado por el efecto invernadero. En algunos lugares este incremento bastará para que en la estación calurosa se rebase el llamado límite de confort térmico. En dichas ciudades se elevarán las necesidades de climatización para reducir la carga de calor en el verano.

4. Discusión

Con objeto de evaluar las condiciones bioclimáticas en el país se utiliza a) el concepto de temperatura efectiva (TE) propuesto por Thom (1954) T.E. (en °F) y b) el concepto de días grado enfriamiento (DGE).

$$T.E. = 0.4(T + Tw) + 15 \text{ Thom (1954)}$$

donde:

T - Temperatura (media mensual) del aire

Tw - Temperatura (media mensual) del bulbo húmedo.

Por experiencias realizadas en Estados Unidos, el número de días en que la T.E. promedio excedió el valor $T.E. = 70^{\circ}\text{F}$ acumulado a lo largo de la temporada de calor es proporcional a la energía consumida para refrescar los locales.

De modo que si la T.E. en el mes de julio resulta de 75 los días grado enfriamiento (DGE) en el mes sería $5 \times 31 \text{ días} = 155 \text{ DGE} = 155$.

Si los DGE se suman para todo el año se tendrá un parámetro de la demanda de energía basado en un índice que toma en consideración tanto la temperatura como la humedad del aire.

Si no se cuenta con datos de humedad puede hacerse el cálculo con la sola temperatura considerando como temperatura base 75°F (unos 24°C). Este valor se usa en E.U. para evaluar el impacto potencial del clima en la demanda de energía (i.e. Le Comte and Warren, 1981).

Existen unas 70 estaciones observatorios que cuentan con datos de temperatura y humedad con las cuales se podrían estimar la distribución espacial de los DGE en el país. Intentos de este tipo de evaluación se han realizado en el pasado. La figura 4 (Jáuregui y Soto, 1968) muestra la distribución de los DGE. La distribución a lo largo del año de los DGE tomada de dicho trabajo, se ilustra en la figura 4 para algunas ciudades del país. Puede verse de esta figura 5 que en algunas poblaciones costeras (como Acapulco) las necesidades de enfriamiento se extienden a todo el año mientras que en lugares de clima seco y extremo (i.e. Monterrey) el requerimiento de enfriamiento se limita al verano. Otras ciudades ubicadas en el altiplano no requieren de climatización (i.e. el D. F., Puebla).

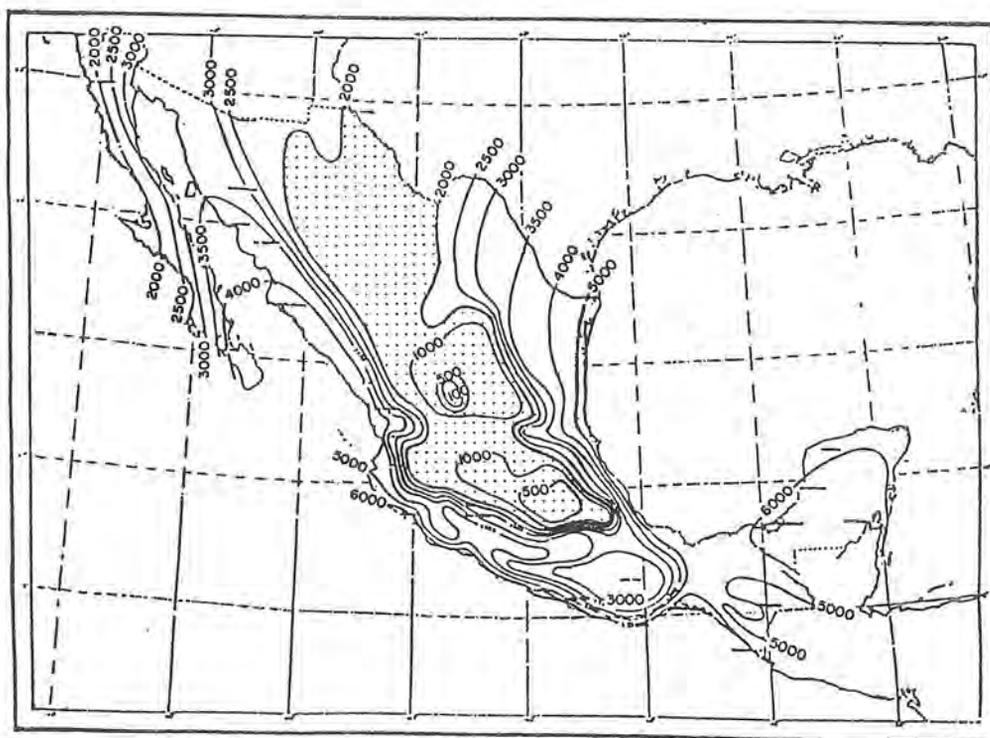


FIG. 4 DISTRIBUCION DE LOS GRADOS-DIA ENFRIAMIENTO (ANUALES) °F. BASE : 70 °F T.E.

Una vez que se cuenta con la información de las necesidades actuales de condicionamiento del aire en los diversos puntos del país, se puede abordar el problema de la estimación del requerimiento de energía que será necesario para estos fines suponiendo los incrementos de temperatura que predicen los diversos modelos.

Es posible que en algunos casos el incremento de temperatura originado por el calentamiento global no se refleje necesariamente en un incremento de la T.E. Si se considera que con el aumento esperado de temperatura no se modifica el contenido de vapor de agua atmosférico es posible que el déficit de saturación del vapor de agua se incremente abatiéndose así la humedad relativa en regiones continentales del país (i.e. Chihuahua, Durango, Zacatecas) alejadas de las fuentes oceánicas de humedad.

DIAS GRADO
ENFRIAMIENTO
(°F)

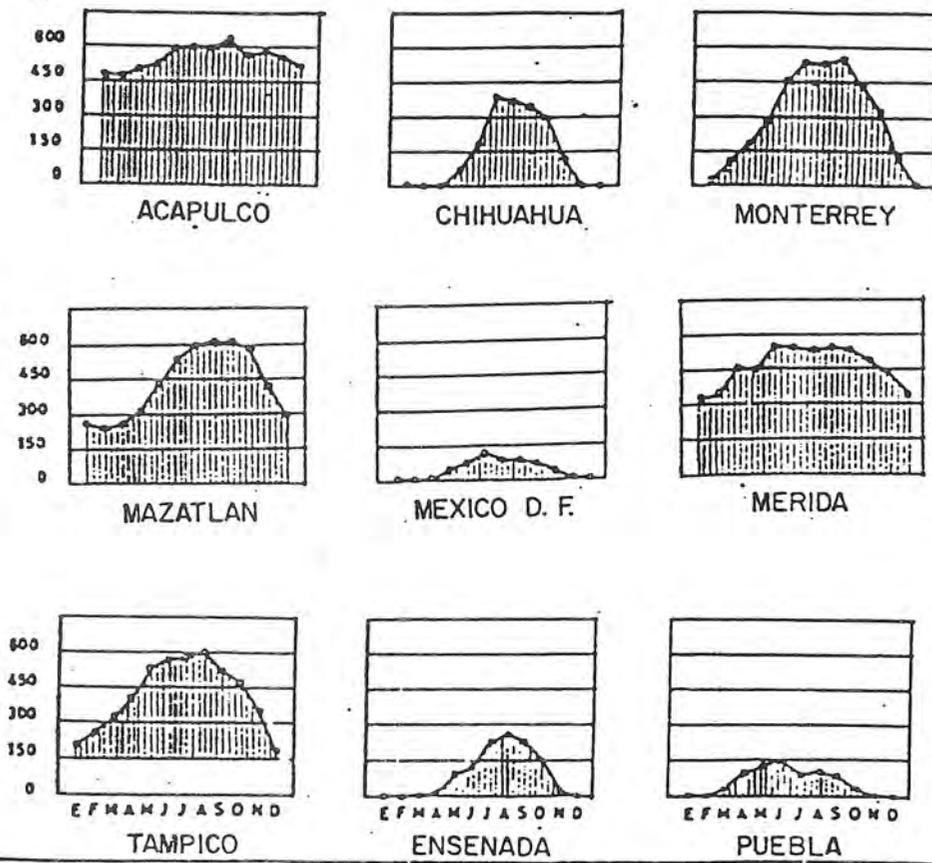


FIG. 5 VARIACION MENSUAL DE LOS DIAS GRADO DE ENFRIAMIENTO BASADO EN EL INDICE DE INCOMODIDAD, BASE: 70° F.

$$I \text{ de } I = 0.4 (t + t_w) + 15 \quad \text{(JAUREGUI, 1968)}$$

$$\text{(THOM, 1959)}$$

Por otra parte, en aquellas regiones de México donde se espera un aumento de las precipitaciones la humedad ambiente tenderá a aumentar. Este incremento se podrá estimar con la relación estadística a escala mensual propuesta por Tejeda *et al.* (1991):

$$Tw = A_5 + A_1T + A_2AT + A_3r$$

donde:

Tw temperatura media mensual del bulbo húmedo

A_1, A_2, A_3 coeficientes de regresión mensuales

AT amplitud térmica mensual

r precipitación mensual en mm

Una vez calculada la Tw media mensual y conocida la AT del modelo para cada región de México se podrá estimar la T.E. resultante.

Determinada la nueva distribución de T.E. con $2 \times CO_2$ se podrá comparar finalmente con la distribución actual y determinar así las variaciones espaciales de T.E.

Sólo en aquellas regiones del país donde los modelos de circulación general predicen un aumento de las lluvias, un incremento de la temperatura tenderá a coincidir con un correspondiente aumento en la T.E., lo cual redundaría finalmente en una elevación en el número de los DGE. El punto crucial del problema consistirá en traducir los incrementos de lluvia en función del contenido de humedad.

Es posible que el incremento de temperatura expresado por T.E. originado por el calentamiento global se reflejará en un incremento/decremento en el número de DGE por lo que finalmente al trazar las nuevas isolíneas de DGE en un mapa se podrán advertir las nuevas regiones donde se requerirán mayores horas de climatización de los locales, en las ciudades de México para mediados del siglo XXI. Conviene advertir que si bien aumentarán los requerimientos para reducir la carga de calor en algunas regiones del país, en otros lugares se reducirán las necesidades de calefacción por el mismo efecto invernadero (i.e. en las ciudades fronterizas).

Una evaluación de la reducción de dichos requerimientos puede llevarse a cabo utilizando el concepto de días grado calefacción (DGC) y siguiendo una metodología similar a la anteriormente expuesta.

5. Consideraciones Finales

Con la creciente urbanización de ciudades medias y grandes de México, la resultante intensificación de la llamada isla de calor urbana será considerablemente mayor que el esperado incremento térmico por efecto de invernadero.

En la estimación del riesgo a la salud y comodidad ambiental de la población urbana en México que traerá consigo un aumento en la temperatura por el efecto de invernadero de $2 \times CO_2$, en el presente trabajo se propone una metodología para estimar, por una parte, la elevación de temperatura debida al efecto de la isla de calor y por otra la valuación (de la extensión en el espacio y a lo largo del año) de los requerimientos de energía necesarios para afrontar el impacto del cambio de clima mediante la aplicación de parámetros de demanda de energía.

Reconocimientos

El autor agradece cumplidamente a las siguientes personas: Alfonso Estrada por la elaboración de los dibujos, al Dr. Adrián Aguilar por los datos demográficos de ciudades, al Mtro. A. Tejeda por algunas fructíferas discusiones y finalmente a Gpe. Zárraga quien se encargó del trabajo estenográfico.

REFERENCIAS

- Livermann, D., 1992. The regional impact of global warming in Mexico. en *The Regions and Global Warming*. Schmandt, J. y J. Clarkson (eds) Oxford Univ. Press.
- Jáuregui, E. y C. Soto, 1968. Necesidades de calefacción y enfriamiento de los locales en México Vol. 48. 33-39.
- Jáuregui, E., 1986. Tropical urban climates. En *Proceed. WMO Technical Conf. on Urban Climates* WMO No. 652, 26-45.
- Le Comte. D. y W. Warren, 1981. Modeling the impact of summer temperatures on national electricity consumption. *J. Appl. Meteor.*, 20, 1415-1419.
- Oke, T., 1973. City size and urban heat island. *Atmos. Environ.*, 7, 769-779.
- Tejeda, A., J. Maruri y A. Martínez, 1991. Three statistical models for simulation of the mean monthly wet-bulb air temperature in Mexico. *Atmósfera*, 4, 279-282.
- Thom, H., 1954. The rational relationship between heating degree days and temperature, *Mon. Wea. Rev.*, 82, 1-6.

Emissions of the energy chains in the Mexican energy system

J. QUINTANILLA and M. BAUER

Programa Universitario de Energía
Universidad Nacional Autónoma de México

ABSTRACT

The quantification and projection of the emissions of the energy chains in the Mexican energy system are of primary importance, in view of its overwhelming dependence (92%) on fossil fuels. An energy demand model, previously developed to project primary energy requirements under different economic growth scenarios, is applied to evaluate and project the expected emissions. In the present work, the model has been disaggregated at the level of the different sectors and subsectors as well as the fuel mix in each sector. Projections to year 2000 of global emissions and those of individual sector and subsectors are presented.

1. Introduction

The energy system of Mexico is based up to a 92% on fossil fuels. There is also a significant non-commercial use of fuelwood that contributes to the continued deforestation of the country. As a consequence, Mexico is eleventh worldwide in carbon emissions. A general view of the rural energy system in most of the locations is presented. This system has to be either structured in a progressive way or created entirely, in order to articulate it to the rest of the rural system and to reach the global goals of development. Furthermore, its main cities are experiencing considerable pollution problems. In Section 2, we discuss the rural sector and the energy balances corresponding to 1990 and 1991 and an estimation of the ensuing emissions according to an emission matrix given in Appendix 1. Also given in a brief description of the characteristics of the Metropolitan Area of Mexico City (MAMC) that lead to its severe environmental conditions.

In this study, on the basis of projected energy demands to the year 2000, the expected environmental impact in the absence of corrective and preventive measures is presented. The demand model, developed by the University Energy Program, contemplates three different scenarios of economic growth. The details of the model are given in Section 3 and Appendix 2.

In Section 4, the impact of energy-saving measures on the expected demand and emissions is presented, according to the demand model and a set of predicted achievable energy intensities, as obtained from panels of experts. Also given in this section is a description of the environmental actions undertaken by the energy sector and their expected consequences.

In the concluding Section 5, some comments are given on the economical hurdles that face a fuel switching policy towards nuclear energy. A recommendation is reiterated that more attention should be given to "soft technologies", that is, to measures that modify social behaviors in ways that reduce the energy demand and environmental impact.

2. The present energy system

In Table 1 the supply and demand structure of the Mexican energy system corresponding to 1990 and 1991 are shown. The internal energy supply, for those years, has a 92 and 92.3% dependence on fossil fuels, of which oil accounts for 55.4 and 56.8%, gas for 28.8 and 27.6% domestic coal for 2.7 and 2.6% and imports (oil products and coal) for 2.94 and 4.02%. Fuelwood still plays a significant role (5.4 and 5.37%) being still the sole source of energy for many small rural communities and thus contributing to the deforestation problem of the country. The installed electric capacity amounts to 25 299 and 26 797 MW respectively, having delivered 122.4 TWh and 119.2 in 1990 and 1991, respectively. By source this electricity generation was obtained from fuel oil (54 and 52.6%), natural gas (12 and 13.3%), diesel (1 and 1.3%), coal (6 and 6.2%),

hydro (20 and 18.4%), geo (4 and 4.6%) and uranium (3 and 3.6%) for those years.

The end use energy structure consisted of gasolines and naftas (25.8 and 26.6%); gas (15.8 and 16.8%); diesel (13.2 and 13.5%); fuel oil (10.6 and 9.4%); electricity (9.7 and 9.5%); LPG (9.3 and 9.5%); fuelwood (8.6 and 8.3%); kerosines (2.8 and 2.6%); sugar cane bagasse (2.3 and 2.2%); and coke (1.9 and 1.7%) for years 1990 and 1991, respectively.

Table 1. 1990, 1991 Internal Energy Balances

Energy supply	10 ⁶ GJ	%	10 ⁶ GJ	%
	1990		1991	
Domestic production				
Hydrocarbons	7 747.74	87.37	8 007.48	86.80
Biomass (Bagasse and fuelwood)	383.46	4.32	385.69	4.18
Hydraulic	252.00	2.84	232.56	2.52
Coal	149.10	1.68	135.73	1.47
Geothermal	55.44	0.63	58.15	0.63
Nuclear	31.08	0.35	45.89	0.50
<i>Subtotal domestic production</i>	8 618.82	97.19	8 865.50	96.10
Imports	260.82	2.94	370.65	4.02
Inventory changes	(11.76)	(0.13)	(10.96)	(0.12)
Exports	(3 166.38)	(35.71)	(3 361.75)	(36.44)
Others (spills, flaring,...)	(143.64)	(1.62)	(167.67)	(1.82)
Total internal energy supply	5 557.86		5 695.77	
Energy consumption				
<i>Transformation</i>		% end use		% end use
Oil sector	810.60	14.58	775.51	13.62
Electric sector	896.28	16.13	921.86	16.18
Coke	6.30	0.11	6.63	0.12
<i>Transformation subtotal</i>	1 713.18	30.82	1 704.01	29.92
<i>End use sectors</i>				
Industrial ^a	1 658.58	29.84	1 654.50	29.05
Transport	1 342.32	24.15	1 430.98	25.12
Residential and Commercial	729.96	13.14	791.60	13.90
Others ^b	113.82	2.05	114.68	2.01
<i>End use subtotal</i>	3 844.68	69.18	3 391.76	70.08
Total	5 557.86	100.00	5 695.77	100.00

^a Includes the energy uses and feedstocks.

^b Includes the Agricultural and Public sectors.

The environmental problems (local and global) arising from the energy system follow from:

1. The overwhelming dependence on hydrocarbons, coal and fuelwood; the characteristics of the crude oil refined, of which 31% is heavy crude with an average 3.3% sulphur content; and the lack of forestry management.
2. The large and still growing urban concentrations, led by the Metropolitan Area of Mexico City (MAMC), with insufficient –or without– massive transit systems.
3. The lack –until very recently– of any concern of measures of emissions control by the energy sector, the transport sector and industry in general.
4. The inefficient use of energy.

Table 2 shows an estimation of the overall emissions associated with the internal energy consumption. To this should be added the CO₂ emissions arising from cement production (3.1 MTONC in 1990 and a similar figure for 1991) and from the deforestation originated by the use of fuelwood, the uncontrolled exploitation of timber and the reclamation of land for agriculture (48.5 MTONC). The emission matrix between source and pollutant that was used is given in Table A.1.1 of Appendix 1.

Table 2. Energy related emissions in 1990 and 1991

CO ₂	86.1 × 10 ⁶ tonC	88.4 × 10 ⁶ tonC
CO	12 025.0 × 10 ³ ton	12 748.0 × 10 ³ ton
NO _x	1 856.6 × 10 ³ ton	1 928.8 × 10 ³ ton
SO _x	1 442.9 × 10 ³ ton	1 424.1 × 10 ³ ton
HC	239.5 × 10 ³ ton	246.3 × 10 ³ ton
Particulates	809.4 × 10 ³ ton	806.4 × 10 ³ ton

Fuelwood emissions in 1990 and 1991

CO ₂	6.28 × 10 ⁶ tonC	6.32 × 10 ⁶ tonC
-----------------	-----------------------------	-----------------------------

On the environmental side, the lower part of Table 2 shows an estimation of CO₂ emissions associated with the fuelwood consumption of this sector during years 1990 and 1991, which are included in the data presented in the upper part of the Table. It becomes clear that the rural sector contributes with the 7.3 and 7.15 to the total CO₂ emissions of the country of those years.

The Metropolitan Area of Mexico City is considered as one of the potentially worst ecological disaster worldwide. The problem arises from the following. It concentrates about 18 million people, almost one fourth of the country's population, as well as 25% of the industries (65% of the chemical industry and two thermoelectric plants –the refinery was finally closed in 1990) and over 40% of all registered vehicles of which close to three million are automobiles. It also accounts for 24%, 19% and 9.5% of the country total sales of gasoline, diesel and fuel oil respectively. On the other hand the physical conditions are very adverse. It is located in a 2240 m high plateau enclosed on three sides by mountain ranges. The prevailing winds –usually very mild–, come from the open side on the north, where most of the industry is concentrated; they thus carry the industrial and the motor vehicle emissions towards the south and stack them against the mountains, over the city. Thermal inversion prevent very often their dispersion. The fuels currently used still have a high content of sulphur and heavy metals. About 84% of the gasoline consumed is leaded, although the lead content has been reduced considerably.

Other large cities like Guadalajara (population 3.5 million) and Monterrey (population 2.5

million) are facing already severe pollution problems.

2.1 Energy aspects of the rural sector

Considering that the energy disponibility is a determinant factor for the general development of the country and in particular for the rural population it becomes important to have a precise knowledge of the energy reality of the sector in order to stablish the more adequate policies for development at the region and national level.

In this section we describe some of the general aspects of the Mexican rural sector from the energy point of view. The description is based on the study entitled Rural Energy in Mexico performed by the SEMIP in collaboration with several research and academic institutions under the patronage of the Commission of the European Communities during the period from 1986 to 1988.

In the study 170 communities of the rural sector across the country were selected and added to the information of 42 communities previously studied by the SEMIP and the IIE (Institute of Electrical Research).

The information gathered covers several energy and related aspects: from the origin to the end use of the energetic utilized in the domestic and industrial activities of the sector; the indigenous alternative energy sources; their potentiality of application and the problems of supply of traditional and commercial energy.

One of the most important aspects of this study was the regionalization of the national territory. This was performed on the basis of the object variable of the study. Through the regionalization study was possible to identify geographical areas, well defined and homogeneous from the energy point of view (supply and demand). In order to perform this task, it was necessary to consider diverse aspects, such as the social, economic and physical environment. The consideration of all these aspects allow to perform a division of the country into 10 big regions, called macro-regions. On the basis of potential energy resources (forestry and solar) each macro-region was divided into three regions (30 at the national level). Finally, on the basis of the net of electrical and petroleum products distribution, the micro hydraulic and eolic potentials, the agricultural concentration and activities, the whole country was divided into 88 subregions.

For the energy study 38 of these 88 sub regions were selected, under the following criteria:

- a. At least three subregions for each macro-region.
- b. There are no previous studies of supply and demand for these three subregions.
- c. Their distribution in the national territory must be homogeneous.

The communities within these sub regions were selected according to the following general criteria:

- a. Analyze for each sub region one community with a population between 1 500 and 2 500 inhabitants; one with a population between 1 000 and 1 500 inhabitants; two with a population between 500 and 1 000 inhabitants and one with less than 500 inhabitants.
- b. Analyze communities far from the main communication lines.
- c. Their activity must be centered on activities such as : agricultural, forestry, recollection and fishery.
- d. The community has to be more than 20 kilometers away from a city, with a population greater than 30 000 inhabitants.
- e. At least, one questionnaire per municipality applied.
- f. The geographical distribution of the communities must cover the entire sub region.

There were two types of questionnaires, on for the general information of the community and

one for the family information. In practice, there was one, at least, for the community and a variable number for the families, this number depending on the number of inhabitants in the community. Nine academic and research institutions were in charge of the application of the questionnaires, so that personnel was highly capable and knowledgeable of the region and its problematic.

Figure 1. Rural population
Macro-regional comparison
24 209 218 inhabitants

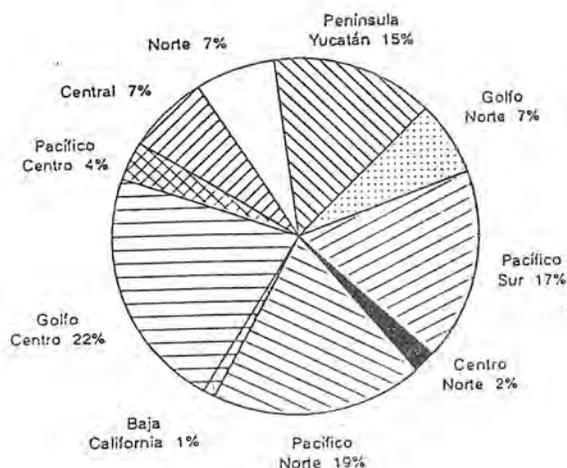
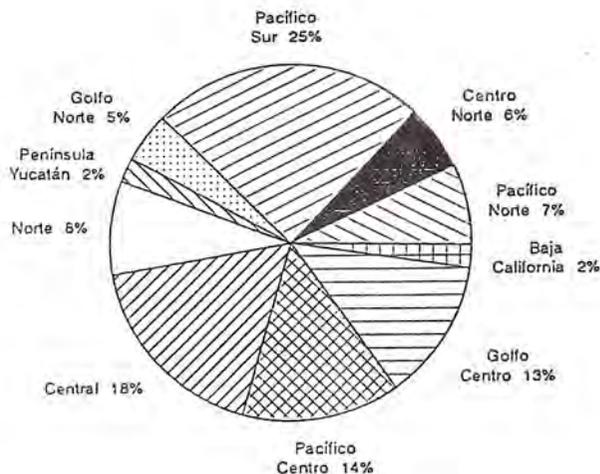


Figure 2. Rural energy consumption
Macro-regional comparison
417.84 PJ/year



The results are shown in Figures 1 to 10. Figure 1 shows the distribution of rural population for the macro-regions. As we can see 73% of the population is located in four of them. From Figure 2 it becomes clear that the macro-regions with the major energy consumption are, also, those with the major population density.

Figure 3 shows the energy structure of the rural sector, it is clear that the sector depends very strongly on fuelwood (69%), on gasoline and LPG (10%) each, diesel (6%), electricity (3%) and kerosine (2%).

Figure 4 shows the per capita rural energy consumption for the 10 macro-regions and the national average for the sector. Five of the macro-regions show a per capita consumption above the national average for the sector.

Figure 5 shows the distribution of fuelwood consumption in kilograms per month-inhabitant. Again, there are five macro-regions above the national average for the sector, even that they are not the same (see the macro-regions Pacifico Norte and Yucatán). As we mention at the beginning of the presentation the use of fuelwood is responsible, in part, for the deforestation in the country, but uncontrolled exploitation of timber and the reclamation of land for agriculture are also responsible. The total consumption represents 15.7 million tonnes per year which corresponds to a per capita average consumption of 54 kilograms per month. The used amount of this fuel depends of several factors, for example, depends on the level of development of the community, on the number of inhabitants, on the physical conditions of the roads, on the level of education, the climate and the type of vegetation. The main use of this fuel is for the meals preparation, followed by water and home heating and furnaces for some industrial activities. The cooking appliances (three stone or open fire) have a very low efficiency.

**Figure 3. Energy structure of the rural sector
National level (1987)**
Total consumption: 417.84 PJ

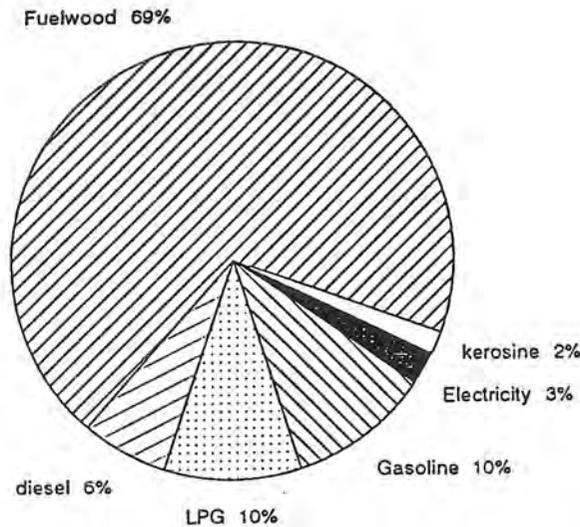


Figure 6 shows the gasoline consumption for the macro-regions and the national average for the sector. The total consumption in the sector reaches 1.3 million of litres per year which correspond to an average of 4.4 litres per month-inhabitant, 21% of the national average (21 litres per month-inhabitant). Those communities who are dedicated to fishery industry have a higher consumption (1 800 litres per month-family). The agricultural and cattle-rising communities have two kinds of consumption; those who have an intensive use of machinery use 300 litres per family and those with traditional agriculture use 2 litres per family, mainly for lighting.

Figure 7 shows the LPG consumption for the 10 micro-regions and the national average for the sector. LPG is the main substitute for fuel wood but presents several problems for its use. There are problems for the supply due to transportation and the conditions of the access roads; price of the fuel and the domestic appliances and accessories and the generalized opinion that the meals taste better when are fixed with fuelwood. The national average of the sector is 2.8 kilograms per month, a total consumption of 814 million of kilograms per year and per capita consumption of 5.8 kilograms per month which is less than half the per capita consumption at the national level. Other uses are: water and room heating in cold climates, lighting and food refrigeration in communities without electricity.

Figure 8 shows the diesel consumption for the macro-regions and the national average for the sector. The total sector consumption of this fuel was 648 million of litres per year, which corresponds to an average of 2.4 litres per month, 21% of the national average (11.1 litres per month). The main uses are for the agricultural machinery and transportation, for water pumping and irrigation.

Figure 9 shows the electricity consumption for the sector. Its average is at 10.09 kWh per month, which represents a 12.5% of the national average (80.8 kWh per month). The use of electricity depends on the economic level of the population and its productive activities.

Figure 4. Per capita rural consumption
Macro-regional comparison

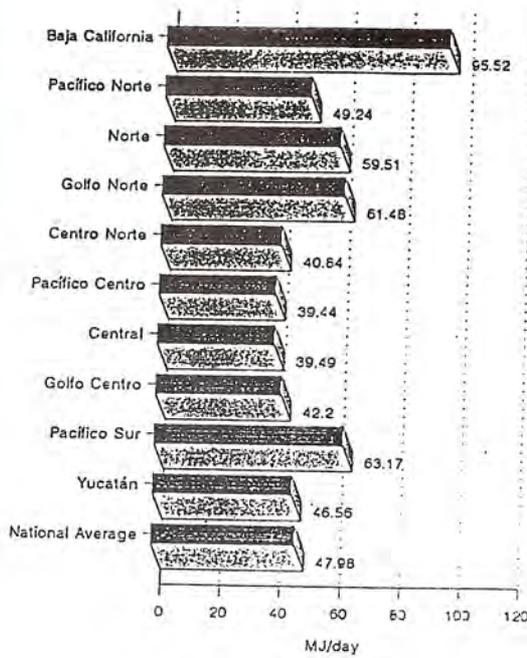


Figure 5. Fuelwood consumption
Macro-regional comparison

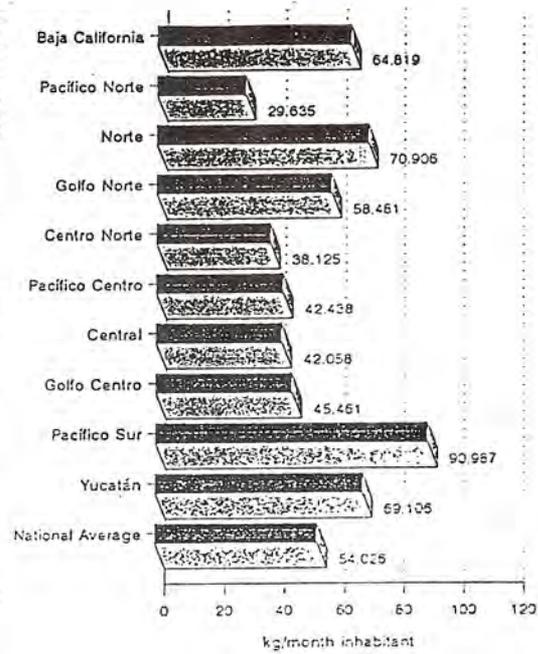


Figure 6. Gasoline consumption
Macro-regional comparison

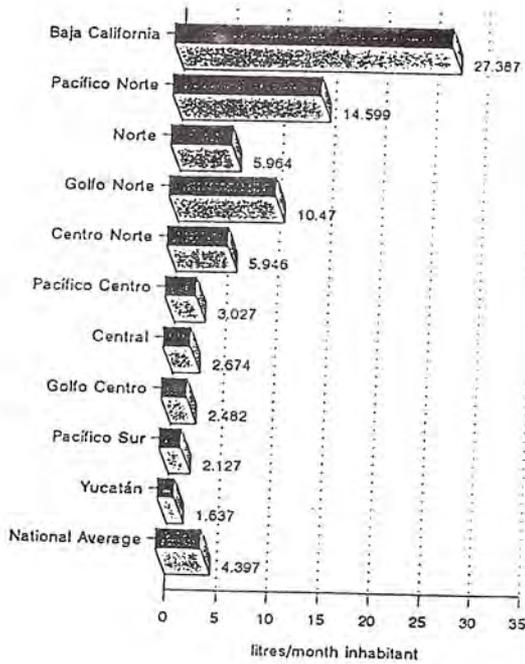


Figure 7. LPG consumption
Macro-regional comparison

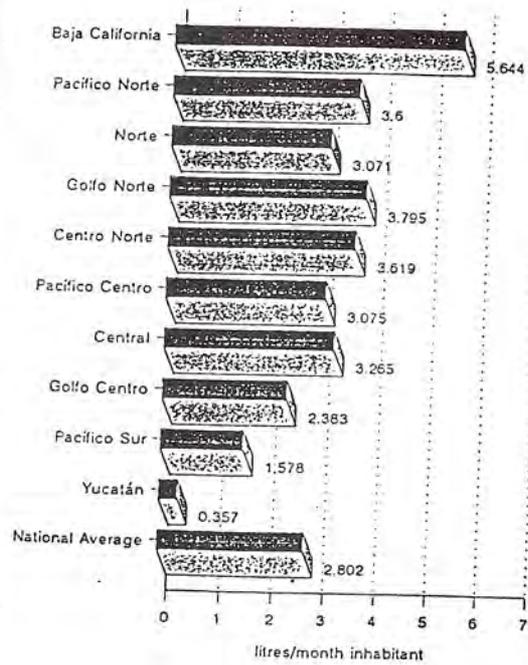


Figure 4. Per capita rural consumption
Macro-regional comparison

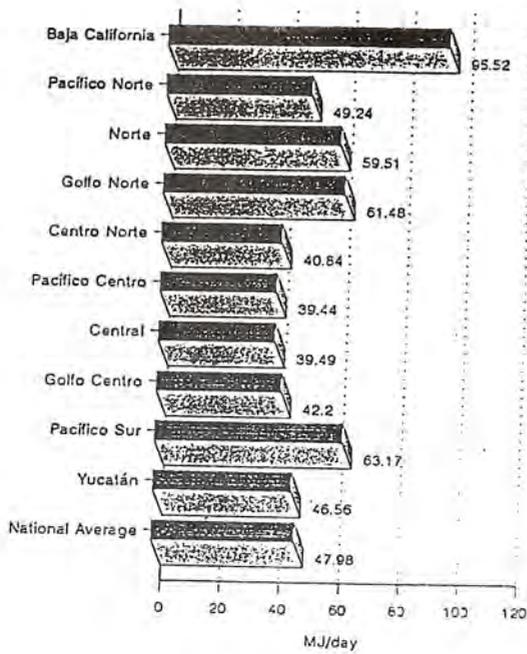


Figure 5. Fuelwood consumption
Macro-regional comparison

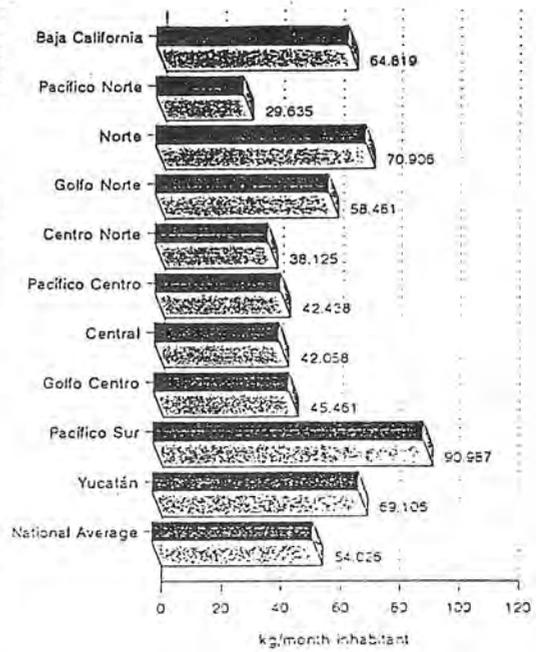


Figure 6. Gasoline consumption
Macro-regional comparison

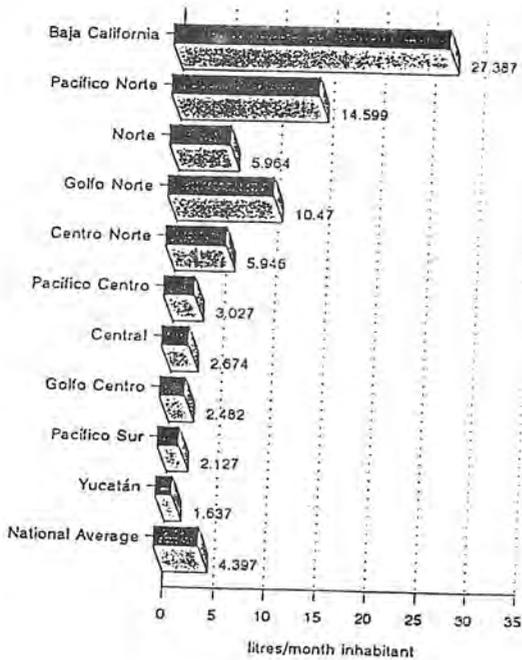
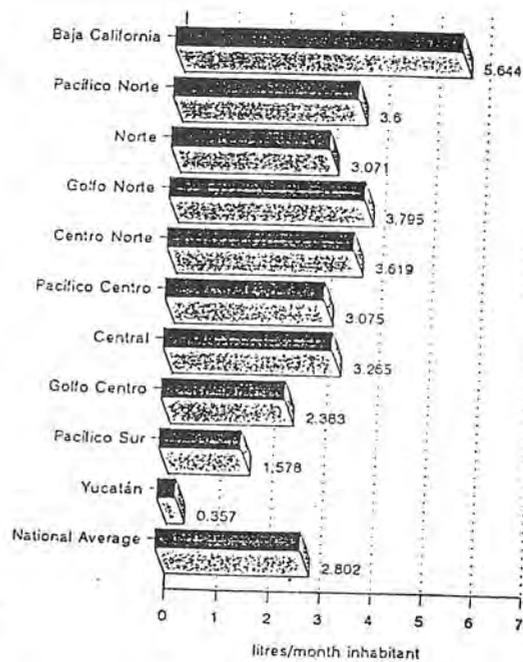


Figure 7. LPG consumption
Macro-regional comparison



Finally, on Figure 10 we show the kerosine consumption for the sector. The main use is for lighting. The total sector consumption of this fuel was 179 million of litres per year, which corresponds to an average of 0.61 liter per month, 20% of the national average (3.06 litres per month).

3. Projections of energy demand and emissions

Mexico is a developing country, listed by the World Bank in the low tier of the middle income countries. Its GDP per capita amounts to \$ 2010 (1989 U. S. dollars), one tenth of that in the OECD. Its energy consumptions per capita is 54.1 GJ, five times less than in the OECD, while its energy is 40% higher. Thus, to achieve development, the country needs to use much more energy, to do it efficiently and, as much as possible, cleanly. In the present section, the energy demand projections under different growth scenarios are given. The expected concurrent emissions are also calculated, giving the dimension of the environmental problem to be addressed.

3.1. *The energy demand model*

The aim of the constructed model is to simulate the primary and end use energy demand for Mexico in the short and medium range, as much as fifteen years. The size, structure and distribution by sector of the energy demand are expressed in terms of a set of determining variables that define the behavior of the social and economic development, and their casual relations with the energy demand.

The economy is broken into sector and subsectors, analyzing their individual participation and energy needs. The projections will thus depend upon the relative weight and the expectations in terms of growth and energy policies. As a consequence, one is in a position to carry out an individual analysis of the main sectors and subsectors, and therefore give a more detailed energy projection than the one arising from an overall energy-gross domestic product (GDP) relationship. The energy policies that can be considered are those of energy conservation, of fuel switching or improvement, etc. The detailed model is given in Appendix 2.

3.2 *Results of the projections*

In the present analysis three growth scenarios have been considered, denoted A, B and C. The assumption in scenario A is a GDP growth equal to that of the economically active population (EAP), as shown in Table A.2.2 of Appendix 2; this is the least needed to avoid further unemployment and deterioration of the standard of living. In scenarios B and C, GDP growths of 4.5% and 6.5% are assumed, respectively, according with the officially expected results of the changes in economic policies that the country is undergoing.

Table 3 shows the projection of the energy demand, as well as the ratio of the end year (2000) to the 1990 energy demand data. Table 4 gives the expected emissions, which constitute the main challenge for the country in relation to its future energy needs.

Figure 8. Diesel consumption
Macro-regional comparison

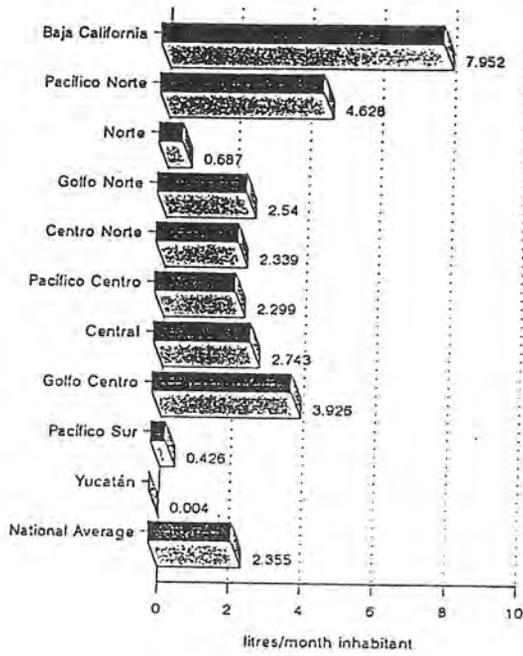


Figure 9. Electricity consumption
Macro-regional comparison

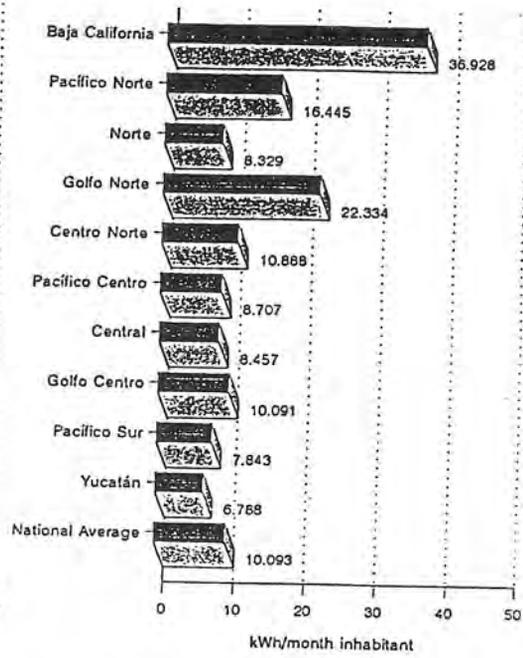


Figure 10. Kerosine consumption
Macro-regional comparison

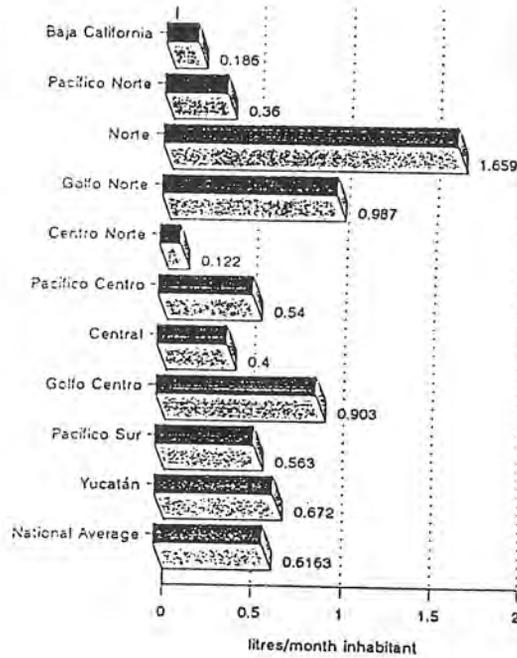


Table 3. Projection of energy demand by sector (PJ)
(without energy saving measures)

Sectors	1988	Scenario A			
		1991	1994	1997	2000
Energy	1659.81	1926.72	2216.49	2526.15	2851.92
Agricultural	94.45	101.82	108.72	115.10	120.66
Industrial	1675.68	1865.43	2057.53	2248.73	2434.96
Transport	1143.92	1263.41	1381.77	1497.58	1607.44
Commercial	84.62	92.49	99.94	107.06	113.59
Public and Services	11.43	11.97	12.43	12.73	12.85
Residential	660.84	689.23	707.82	727.54	741.27
Total	5330.75	5951.07	6584.75	7234.89	7882.69

Sectors	1988	Scenario B			
		1991	1994	1997	2000
Energy	1659.81	2010.50	2435.92	2950.73	3573.85
Agricultural	94.45	106.26	119.53	134.44	151.23
Industrial	1675.68	1946.53	2261.17	2626.67	3051.34
Transport	1143.92	1318.88	1518.55	1749.29	2014.35
Commercial	84.62	96.51	109.86	125.02	142.31
Public and Services	11.43	12.48	13.65	14.86	16.08
Residential	660.8	689.62	707.82	727.54	741.27
Total	5330.75	6180.78	7166.50	8328.55	9690.43

Sectors	1988	Scenario C			
		1991	1994	1997	2000
Energy	1659.81	2128.15	2729.37	3499.70	4486.78
Agricultural	94.45	112.46	133.94	159.48	189.83
Industrial	1675.68	2060.45	2533.60	3115.36	3830.80
Transport	1143.92	1395.50	1701.52	2074.73	2528.91
Commercial	84.62	102.16	123.09	148.30	178.69
Public and Services	11.43	13.23	15.28	17.63	20.18
Residential	660.84	689.23	707.82	727.54	741.27
Total	5330.75	6501.18	7944.62	9742.74	11976.46

Projected demand year 2000/Actual demand year 1990

	Scenario A	Scenario B	Scenario C
I. Energy	1.66	2.09	2.62
III. Industrial	1.47	1.84	2.31
IV. Transport	1.20	1.50	1.88

4. Environment and energy saving measures

Although energy consumption certainly has to increase in the coming years for a continued development, improving the energy efficiency from production to end use is essential to moderate the energy demand growth and the ensuing emissions. In addition, emission control measures need to be implemented to assure a reversal of the present trends, to improve local conditions and to eventually comply with international agreements.

4.1. Impact of energy savings and energy demand and emissions

A survey of the status of the energy production and consumption in Mexico (from panels of experts gathered by the University Energy Program from 1983 to 1988, and other sources), yielded the evolution of energy intensities in the different sector shown in Table 5, achievable

Table 4. Projected emissions (year 2000) without energy saving measures and the corresponding emission ratios 2000/1990

	CO ₂		CO		NO _x		SO _x		HC		Particulates	
	10 ⁶ TonC	<u>2000</u> 1990	10 ³ Ton	<u>2000</u> 1990								
Energy	71.71	2.62	3508.40	2.62	1442.90	2.62	1357.78	2.62	160.96	2.53	735.94	2.54
Agricultural	3.06	2.13	455.72	5.83	159.08	1.94	79.74	1.86	19.42	2.02	52.13	1.85
Industrial	52.79	2.74	2090.80	29.44	894.72	2.92	1082.91	2.01	101.43	2.40	555.35	2.05
Transport	49.08	1.89	17977.00	1.73	1630.40	1.97	661.85	2.04	228.02	1.91	420.31	2.05
Commercial	2.52	6.73	4.60	3.90	33.14	5.50	119.39	8.66	8.66	7.69	59.18	8.40
Public and Services	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.09	n.s.	0.59	n.s.	0.04	n.s.	0.29	n.s.
Residential	12.75	1.14	283.85	1.90	80.63	.99	4.22	1.18	3.99	1.21	8.29	0.99
Total	191.91	2.20	24320.00	2.02	4241.00	2.28	3306.48	2.29	528.45	2.21	1854.86	2.29

Table 7. Projected emissions (year 2000) with energy saving measures and the corresponding emission ratios 2000/1990

	CO ₂		CO		NO _x		SO _x		HC		Particulates	
	10 ⁶ TonC	<u>2000</u> 1990	10 ³ Ton	<u>2000</u> 1990								
Energy	62.39	2.28	3052.30	2.28	1255.40	2.28	1181.30	2.28	145.20	2.28	660.46	2.28
Agricultural	2.87	1.99	428.35	5.49	149.57	1.82	75.01	1.75	18.27	1.90	49.01	1.74
Industrial	48.25	2.54	1881.90	26.49	805.28	2.63	974.65	1.81	91.23	2.15	499.81	1.84
Transport	41.72	1.58	15280.00	1.47	1385.80	1.67	562.57	1.73	193.82	1.62	357.26	1.74
Commercial	2.23	5.96	4.06	3.39	29.33	4.83	105.64	7.66	7.66	6.70	52.36	7.43
Public and Services	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.08	n.s.	0.53	n.s.	0.03	n.s.	0.26	n.s.
Residential	11.89	1.06	264.39	1.77	75.17	.93	3.92	1.10	3.72	1.13	7.74	0.92
Total	169.36	1.97	20912.00	1.74	3700.60	1.99	2903.60	2.01	459.94	1.92	1626.90	2.01

Table 5. Projected energy intensities with energy savings (kJ/pesos 1970)

Sectors	1988	1991	1994	1997	2000
I. Energy	52 228.19	50 074.46	48 459.15	47 382.27	46 843.84
II. Agricultural	1 160.54	1 129.72	1 111.55	1 102.22	1 096.40
III. Industrial	6 619.16	6 351.71	6 218.03	6 084.30	6 017.44
IV. Transport	22 410.39	21 226.82	20 211.06	19 483.27	18 991.32
V. Commercial	232.32	224.99	220.10	217.63	216.41
VI. Public and Services	77.25	74.82	73.18	72.35	71.97

Projected per capita consumption with energy savings (10⁶ kJ)

VII. Residential	7.79	7.49	7.29	7.12	6.90
------------------	------	------	------	------	------

**Table 6. Projection of energy demand by sectors (PJ)
(with energy saving measures)**

Sectors	Scenario A				
	1988	1991	1994	1997	2000
Energy	1609.99	1791.87	1994.84	2222.60	2481.18
Agricultural	93.99	98.26	103.67	108.77	113.42
Industrial	1658.94	1772.15	1913.49	2046.34	2191.45
Transport	1086.73	1149.70	1215.97	1287.90	1366.32
Commercial	80.39	85.08	89.93	95.25	100.53
Public and Services	10.89	11.01	11.18	11.30	11.35
Residential	641.00	654.77	665.37	680.23	691.24
Total	5181.93	5562.84	5994.45	6452.39	6955.49

Sectors	Scenario B				
	1988	1991	1994	1997	2000
Energy	1609.99	1869.74	2192.33	2596.65	3109.24
Agricultural	93.99	102.53	113.92	127.03	142.14
Industrial	1658.94	1849.23	2102.90	2390.29	2746.21
Transport	1086.73	1199.69	1336.34	1504.40	1712.19
Commercial	80.39	88.76	98.85	111.29	125.94
Public and Services	10.89	11.47	12.27	13.23	14.24
Residential	641.00	654.77	665.37	680.23	691.24
Total	5181.93	5776.19	6521.98	7423.12	8541.20

Sectors	Scenario C				
	1988	1991	1994	1997	2000
Energy	1609.99	1979.18	2456.44	3079.73	3903.52
Agricultural	93.99	108.52	127.61	150.68	178.44
Industrial	1658.94	1957.41	2356.25	2834.97	3447.70
Transport	1086.73	1269.90	1497.33	1784.25	2149.59
Commercial	80.39	93.95	110.78	131.97	158.14
Public and Services	10.89	12.18	13.77	15.66	17.88
Residential	641.00	654.77	665.37	680.23	691.24
Total	5181.93	6069.91	7227.55	8677.49	10546.51

Projected demand year 2000/Actual demand year 1990

	Scenario A	Scenario B	Scenario C
I. Energy	1.45	1.82	2.28
III. Industrial	1.32	1.66	2.08
IV. Transport	1.02	1.28	1.60

With energy saving measures of the first level, e.g. maintenance. It excludes large investments in new equipment or changes in industrial processes.

Incorporated in the energy demand model, these energy-saving measures would lead to the reductions in demand and emissions shown in Table 6 and 7. Comparison with Table 3 and 4 shows that a total energy saving of 13% can be achieved in the desirable high-growth scenario, together with a similar reduction in expected emissions. Although important, it is clear that more forceful measures are needed.

4.2 Present environmental policies and initiatives

Environment and rational use of energy constitute priorities of the present administration. Consequently, general and specific policies have been instituted and some initiatives are beginning to be implemented.

Constitutionally, energy supply is responsibility of the state. The government entities in charge of this are: Petroleos Mexicanos (PEMEX) for hydrocarbons, oil products and basic petrochemicals; and Comision Federal de Electricidad for electricity generation and distribution.

PEMEX is implementing an "ecological package" aimed at the following: internally, to control the emissions of its own operations (the refinery operating within Mexico City was shut down definitely); externally, to improve the quality of the fuels it supplies, as well as installing a production capacity of fuel additives that improve the combustion process, Ethyl Tertiary Butyl Ether (MTBE) and T-Amyl Methyl Ether (TAME).

A large fraction of the oil directed to internal consumption is heavy crude (3.3% sulfur content by weight). Four hydrodesulfurization plants are under construction, with a capacity of 100 000 barrels per day of diesel (44.7% of the total production and 2.5 times the consumption in the MAMC), to reduce its sulfur content from 0.5% to 0.1%. The upgrading of the Tula refinery, in process, will reduce the sulfur content of the fuel oil delivered to the MAMC from an average of 4% to 0.8%. This is expected to decrease 54% the CO₂ emissions in this area.

Gasolines are being reformulated. The lead content of the regular gasoline, that accounted for 50% of the market in 1990 (378 000 b/d of which 24% is consumed in the MAMC), has been reduced. An unleaded gasoline was introduced in 1991 to gradually substitute the leaded one, projected to be phased out by the year 2000. Consequently, all new cars are required to be fitted with catalytic converters. Imported oxygenates, mainly MTBE, were added from the winter of 1989, as an emergency measure, to the gasolines sold in the MAMC. Several plants to produce MTBE and TAME are expected to be on line by 1994, as well as an increased production of isopentanes and isohexanes that will allow to reformulate the gasolines.

The ecological package implies up to now an investment of \$ 2000 million U. S. dollars. The expectation is that, globally, it will reduce 29.4% the emissions from the use of hydrocarbons; in particular the expected reductions are 47.3% for CO, 16% for NO_x, 71.1% for Pb, 64.3% for SO₂ and 12% for suspended particles.

The electric sector is proceeding to upgrade the operation of its fossil fuel driven generating plants, that constitute 65% of the installed capacity. To alleviate the condition of the MAMC, the two generating plants located in the Valley of Mexico (226 MS) have been operated mostly on gas since 1990, instead of fuel oil. They were estimated to account previously for 9% of the pollutants emitted by the fixed sources. Although this has been reduced significantly, there is a definite need to relocate them elsewhere. The increased use of natural gas for electricity generation is stressing the availability of this fuel.

Figures 11 to 15 show the projection emissions of CO, CO₂, NO_x, SO_x, HC and particulates for scenario A with and without energy conservation actions. The energy sector will be the most important contributor to the emissions of CO₂ followed by the industrial, transport and residential sectors. The transport sector becomes the most important contributor to the CO emissions, followed by the energy, industrial and residential sectors. With respect to the NO_x

Figure 11. Energy sector projected emissions (1988-2000)

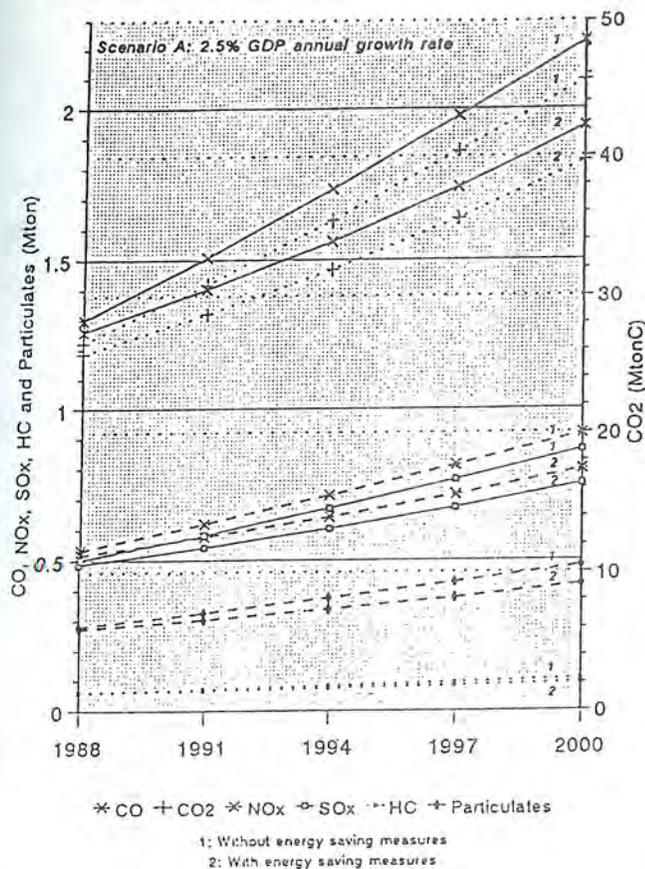


Figure 12. Industrial sector projected emissions (1988-2000)

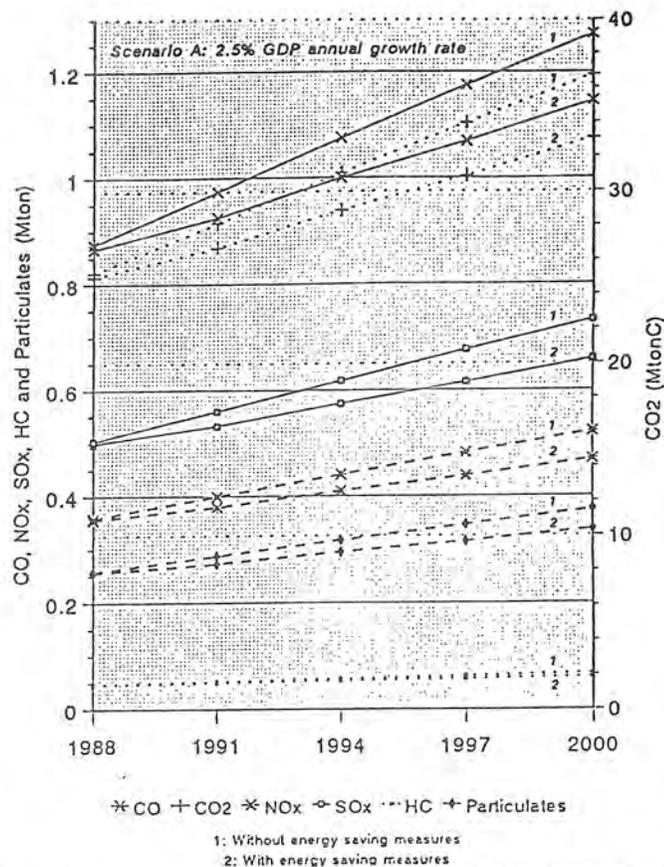


Figure 13. Transport sector projected emissions (1988-2000)

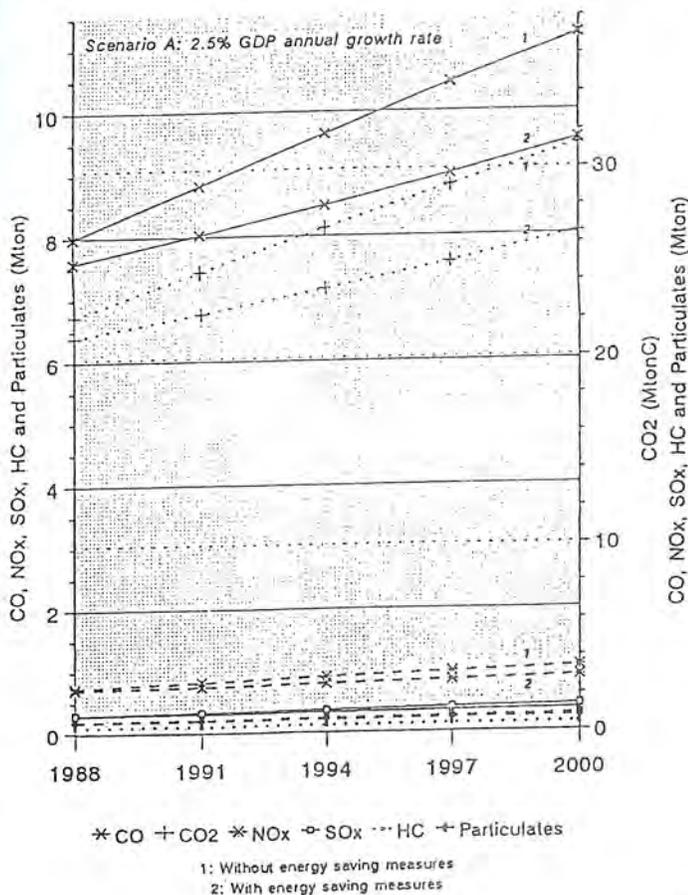


Figure 14. Residential sector projected emissions (1988-2000)

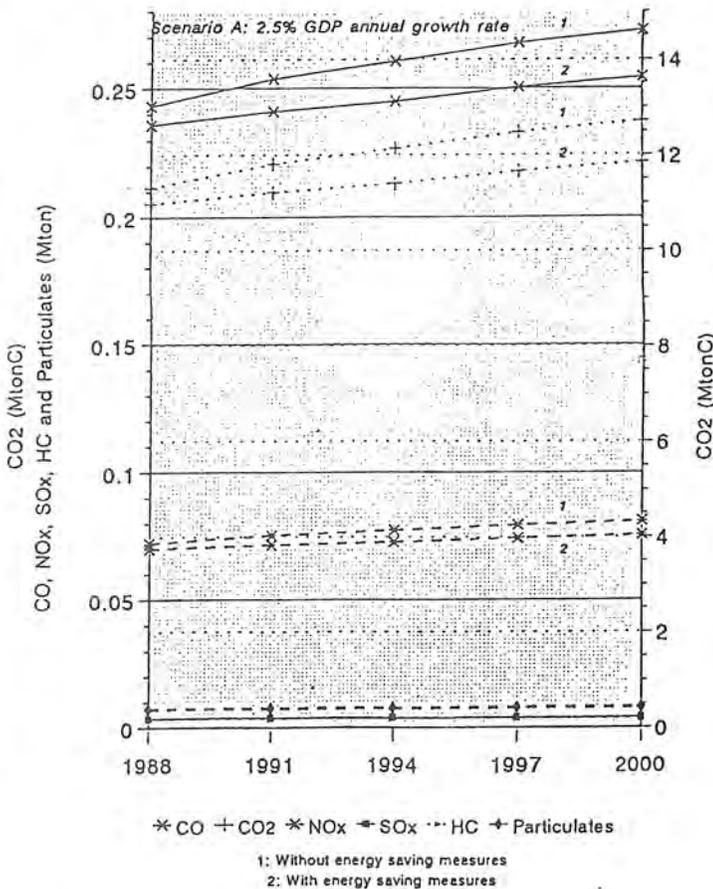


Figure 15. Total projected energy emissions (1988-2000)

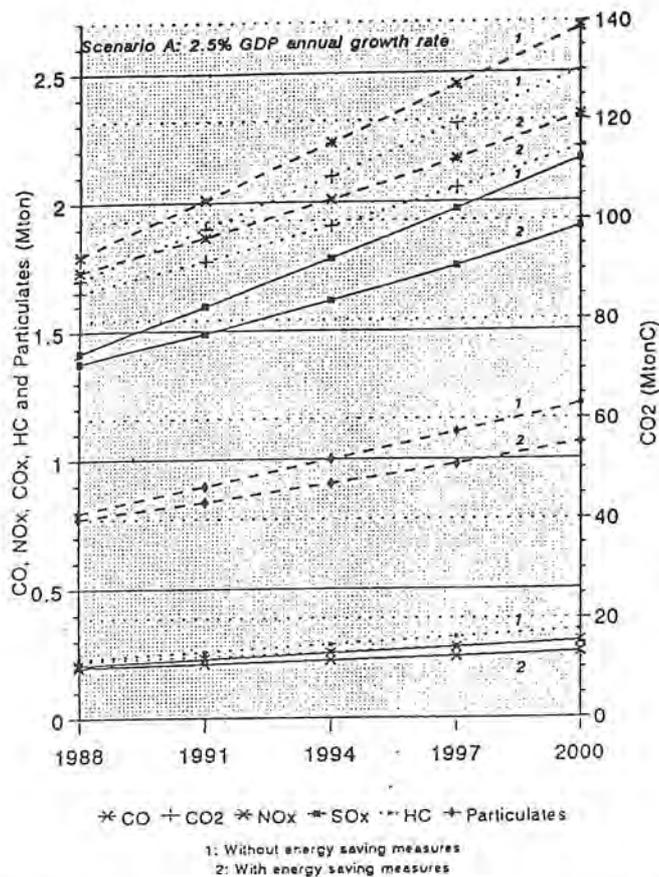


Figure 16. Energy sector projected emissions (1988-2000)

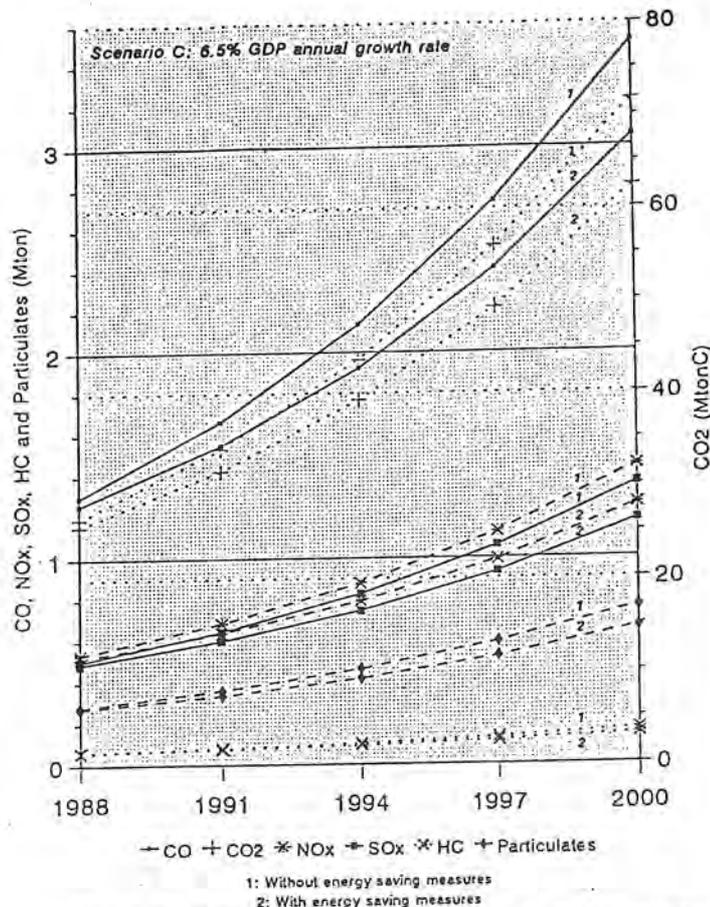


Figure 17. Industrial sector projected emissions (1988-2000)

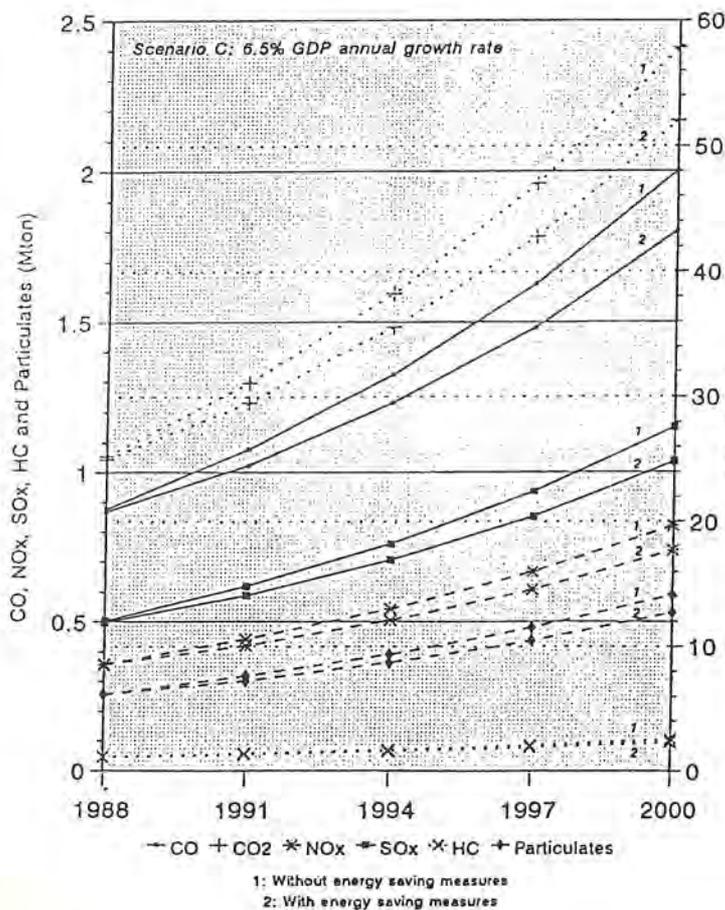
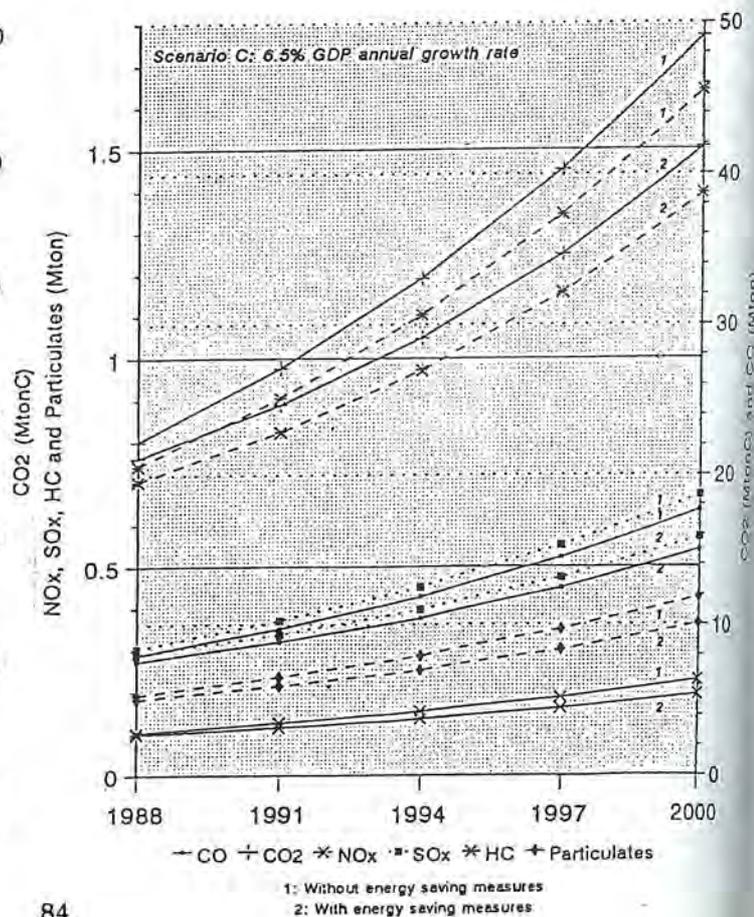


Figure 18. Transport sector projected emissions (1988-2000)



emissions the transport sector becomes in first place followed by the energy, industrial and residential sectors. For SO_x emissions the energy and industrial sectors are in first place followed by the transport and residential sectors. In terms of HC the transport sector is in first place followed by the industrial and energy sectors, the residential sector has a very small contribution. Finally the contribution to the emissions of particulates the energy and transport sectors are in first place followed by the industrial sector and a small contribution from the residential sector. In all the figures there are two curves for each pollutant, those marked by a (1) correspond to the emissions without energy saving measures and those marked with a (2) to the case of indicated energy saving measures. Finally, Figure 15 shows the total projected energy emissions for scenario A along the period.

For the case of scenario C (Figures 16 to 20) the comments are very similar, except that the amounts of emissions for each sector are greater than for scenario A (compare Figures 15 and 20).

5. Conclusion

The energy system of Mexico faces severe challenges with respect to the control of environmental impacts, that arise from the following:

It has to meet a growing demand in order for the country to develop. In the period 1982-1989 where the GDP hardly grew due to the economic crisis, there was nevertheless a sustained growth in the electricity demand, about 6% annually. This rose to 9% in 1991, exceeding already the average annual rate of 6.2% contemplated in the national energy plan for the 1992-2010 period. There was also a noticeable 10% increase in the demand of gasoline in the same year. Thus, the investment needed to curb emissions will compete with the ones needed to expand the energy supply, and more so if one wishes to maintain an export capability of crude oil.

It may not be able to reduce its overwhelming dependence on fossil fuels, due among other things to the economic restrictions that the large foreign (over 100 000 million U. S. dollars again) and domestic debts impose. Notwithstanding that the operation of its first nuclear plant is extremely successful –it holds the record of continuous operation (250 days) in the first fuel cycle of all G. E. BWR reactors–, no further investment beyond the completion of the second 635 MS_e unit is contemplated in the near future. In the present national energy plan, the increase in thermal electricity generation is based on smaller units fueled with hydrocarbons as well as domestic and imported coal.

There is the need of curbing the rate of increase in energy demand without arresting the expected economic recovery. The energy sector is now removing subsidies and pricing energy realistically. While this will induce savings, in the short run this certainly compacts the already depressed standard of living of the majority of the population. But it is deemed necessary, to give the energy sector the investment capability –supplemented with foreign loans– to meet both the energy demand and the proposed environmental goals, i.e., clean operation and the best fuels possible. However, it may not be sufficient as the prices cannot exceed significantly those prevailing in the U. S. in view of the free trade agreement with the U. S. and Canada; higher prices would curtail the competitiveness of the domestic industry and discourage foreign investments.

Furthermore, to redress the environmental problems associated with the energy system, energy efficiency and emission controls are needed in all transformation processes and end uses. A more aggressive environmental policy is being implemented, spearheaded by legislation and enforcement of regulations and emissions in the industrial and the transport sectors. Unfortunately there is no comparable policy that, in the present trend towards an open economy, would promote and guarantee a leapfrogging to the more advanced and efficient technologies in the needed industrial modernization; and that only the best products, domestic and imported, would reach the consumers.

Figure 19. Residential sector projected emissions (1988-2000)

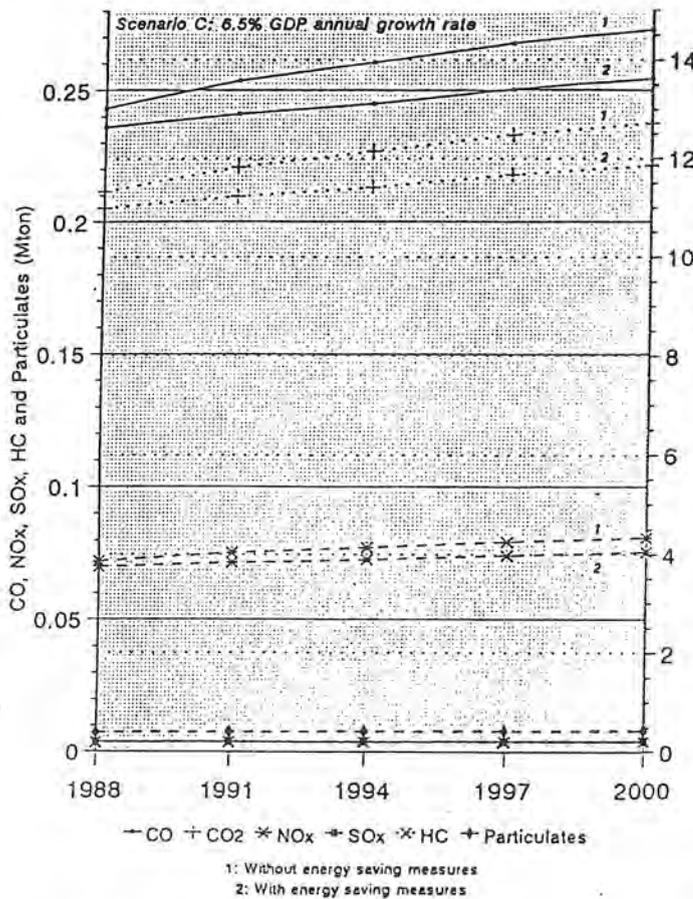
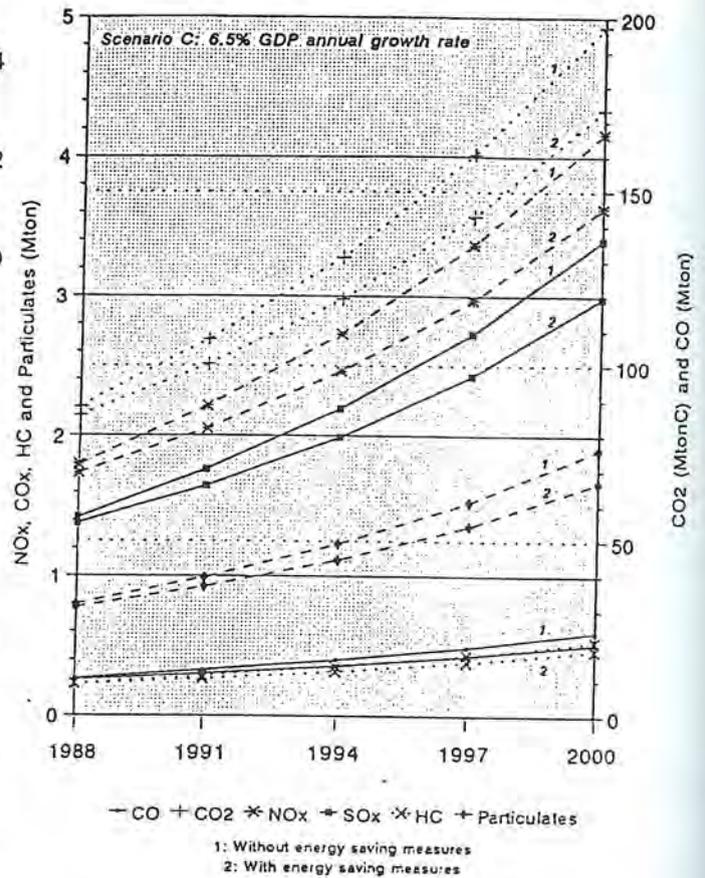


Figure 20. Total projected energy emissions (1988-2000)



Indeed, more attention should be accorded to the "soft technology" approach to the moderation of future energy demand, like requiring that industrial projects, to be approved, should contain an energy efficiency evaluation comparable to the now compulsory environmental impact one; or requiring labels of energy consumption on the end use products, to alert the consumers; or exploring the implementation of different social organization patterns, such as the proposed modification of the weekly work schedule, aimed to reducing the demand of transportation in the larger urban concentration like the MAMC (Bauer, M., *et al.*, 1986).

BIBLIOGRAPHY

- Banco de México, Indicadores Económicos, México, diciembre 1992.
- Banco Mundial, Informe sobre el Desarrollo Mundial 1991, Washington, D. C., junio 1991.
- Bauer, M., J. Quintanilla and F. Schutz. La diversificación energética au Mexique: jusqu'à quell point?, CE-IX Congress 1986-4.2.18.
- Poem, Memoir de Labores 1990 y 1991, México, 1990 y 1991.
- Semip, Energía Rural en México, México, Noviembre 1988.
- Semip, Balances de Energía, 1990 y 1991, México, 1991 y 1992.

Appendix 1

The emission matrix

Table A.1.1 Emission factors

Source	CO ₂ (TonC/TJ)	CO (Ton/TJ)	NO _x (Ton/TJ)	SO _x (Ton/TJ)	HC (Ton/TJ)	Particulates (Ton/TJ)
Oil	20.00 ^a					
Gasoline	19.42 ^b	10.6 ^b	0.41 ^b	0.067 ^d	0.0697 ^c	0.0405 ^d
Diesel	20.13 ^b	0.625 ^b	1.25 ^b	0.672 ^e	0.147 ^e	0.440 ^e
Fuel Oil	21.30 ^b	0.0143 ^b	0.205 ^b	1.41 ^d	0.0936 ^e	0.682 ^e
Natural Gas	15.30 ^a					
Natural Gas (Boilers)	15.30 ^b	0.02 ^b	0.25 ^b	0.00876 ^f	0.00774 ^a	0.0259 ^f
Coal	25.80 ^a					
Hard Coal	25.69 ^b	0.01 ^b	0.74 ^b	0.542 ^f	0.00534 ^g	0.167 ^f
Biomass	21.20 ^a					

^a Greenhouse Gas Emissions: The Energy Dimension, OECD/IEA, 1991, p. 64.

^b Greenhouse Gas Emissions: The Energy Dimension, Tables E-1.A, E-2 and E-3, OECD/IEA, 1991, pp. 179-181.

^c Environmental Biology, Altman Philip (ed.), Bethesda: Federation of American Societies for Experimental Biology, 1966, p. 271.

^d Authors Calculation, Programa Universitario de Energía, UNAM, México, 1991.

^e Magar, R., La Contaminación en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, *Dynamis*, J. Quintanilla y A. Rojas (eds.), Programa Universitario de Energía, UNAM, México, Enero-Febrero, 1991, p. 5.

^f C.F.E., private communication.

^g Environmental Effects of Electricity Generation, OECD, Paris, 1985, pp. 69-71.

The CO₂ emission factors refer to the carbon content of the fuels per unit energy production and therefore to the CO₂ carbon content upon complete combustion. To obtain the amount of carbon remaining in the atmosphere and contributing to the greenhouse effect, a multiplicative factor of 0.44 should be applied (see World Resources 1990-91, World Resources Institute, Oxford University Press, N.Y., 1991). The other emission factors give the amount of emitted gas or particulates.

Appendix 2

Details of the energy demand model

Briefly, the sectors of the economy are divided into net productive and net consumer ones. The total energy demand is given by:

$$E(t) = E^P(t) + E^C(t)$$

where $E^P(t)$ and $E^C(t)$ are given by:

$$E^{(p,c)}(t) = \sum_{\alpha} ED_{\alpha}^{(p,c)}(t) = \sum_{\alpha, \mu} ED_{\alpha\mu}^{(p,c)}(t)$$

where the index α refers to the sector and the index μ to the subsectors (see Table A.2.1); and

$$ED_{\alpha\mu}^{(p,c)}(t) = V^{(p,c)}(t) \times r_{\alpha\mu}^{(p,c)}(t) \times c_{\alpha\mu}^{(p,c)}(t)$$

For the productive sector side:

$V^P(t)$ is taken as the GDP for the year under consideration,

$r_{\alpha\mu}^P(t)$ is the percentage contribution of each subsector to the GDP, and

$c_{\alpha\mu}^P(t)$ is the corresponding energy intensity, *i.e.*, the energy used per unit product value.

For the consumer sector side:

$V^C(t)$ is the total population,

$r_{\alpha\mu}^C(t)$ is the percentage contribution of the subsector considered, and

$c_{\alpha\mu}^C(t)$ is the corresponding energy consumption per capita.

In Table A.2.1 are shown the sectors and subsectors considered, together with the set of average values for the energy intensities and consumptions per capita corresponding to the year 1986. These are kept constant in the non energy saving projections. The energy sector incorporates its own consumption plus transportation, distribution and storage losses. The industrial sector includes the petrochemicals it uses as feedstock.

The historical and projected evolution of the population structure are shown in Table A.2.2., taken from governmental data. With respect to GDP growth, three scenarios are considered, as described in the main text.

To obtain the demand by energy source the matrix shown in Table A.2.3 is used. Using the emission matrix (Table A.1.1, Appendix 1), the emissions by source are computed, and finally, the emissions associated with each sector can be aggregated. Table A.2.4 shows the detailed output for the end year of high growth scenario C, for the rest of the scenarios see: Quintanilla, J., *et. al.*, Impact of energy saving policies on the International energy demand and energy supply prospects from Mexico, Proc. V Brazilian Congress on Energy, Rio du Janeiro, 1990.

The structure of the model is shown in Figure 1. The sectors and subsectors are divided into productive and net consuming. The first ones are characterized by their participation (%) in the GDP and energy intensity (E/\$); the second ones, namely the residential sector, by the population distribution (%) into urban and rural and the consumption per capita (E/cap). Figures 2a and 2b

show the sectors and subsectors considered, as well as the fuel mix. The total energy demand is also disaggregated by geographical regions, as shown and listed in figures 3a and 3b.

Table A.2.1 Classification of sectors and subsectors, and energy indicators

	energy intensity (kJ/pesos 1970)		energy per capita (10 ⁶ kJ)	
	C _α ^p	C _{αt} ^p	C _α ^c	C _{αt} ^c
I. ENERGY	53843.50			
II. AGRICULTURAL	1166.36			
III. INDUSTRIAL	6686.03			
III.1 Siderurgy and metallurgy		12769.74		
III.2 Basic Petrochemistry		293076.00		
III.3 Sugar		43961.40		
III.4 Cement		52335.00		
III.5 Wood and paper		3165.22		
III.6 Glass		11949.12		
III.7 Fertilizers		7494.39		
III.8 Others		3039.61		
IV. TRANSPORT	23589.89			
IV.1 Autotransport		29516.94		
IV.2 Airway		14444.46		
IV.3 Railway		5220.93		
IV.4 Maritime		10467.00		
IV.5 Electric		4655.72		
V. COMMERCIAL	244.55			
VI. PUBLIC AND SERVICES	81.30			
VII. RESIDENTIAL			7.99	
VII.1 Rural				13.15
VII.2 Urban				5.90

Table A.2.2 Evolution of the population structure

Year	Population	Structure (%)		Economically active population	
		Urban	Rural	Total	Average yearly growth rate (%)
1900	13 607 259	28.29	71.71		
1910	15 160 369	28.70	71.30		
1921	14 334 780	31.15	68.85		
1930	16 552 722	33.47	66.53		
1940	19 653 552	35.09	64.91		
1950	25 791 017	42.59	57.41	8 345 200	
1960	34 923 129	50.70	49.30	10 212 900	
1970	48 225 238	58.70	41.30	13 655 100	
1980	66 846 833	66.27	33.73	19 636 100	
1985	---	--	--	23 261 727	3.447
1988	82 703 046	71.00	29.00	25 637 295	3.294
1991	87 285 448	72.30	27.70	28 037 100	3.028
1994	91 621 832	74.65	25.35	30 378 968	2.710
1997	95 792 693	76.45	23.55	32 617 441	2.398
2000	100 039 008	79.00	21.00	34 695 905	2.080

Source: INEGI-INAH, *Estadísticas Históricas de México*, México, 1990.

CONAPO-STyPS, *Proyecciones de Población Económicamente Activa: Nivel Nacional y Estatal*, México, 1986.

Table A.2.3 Structure in percentage of sectorial consumption by source for 1986

	Sector						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Coal	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Non associated gas	2.88	0.00	2.72	0.00	0.00	0.00	0.00
Associated gas	13.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bagasse	0.00	0.00	4.98	0.00	0.00	0.00	0.00
Firewood	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.30
Coke	0.37	0.00	4.89	0.00	0.00	0.00	0.00
LPG	2.33	1.28	1.32	4.40	20.42	7.50	33.40
Gasolines and naphthas	3.87	0.02	4.38	58.26	0.00	0.00	0.00
Kerosines	2.88	21.68	0.24	5.85	0.00	0.00	3.40
Diesel	8.29	59.70	3.42	29.69	2.11	3.12	0.00
Fuel Oil	16.62	0.07	17.30	1.59	51.81	9.37	0.00
Non energetic products	1.23	0.00	13.62	0.00	0.00	0.00	0.00
Gas	41.94	0.00	37.81	0.00	0.00	0.00	4.70
Electricity (hydro and geothermal)	5.60	17.28	9.33	0.21	25.65	80.00	8.20
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Table A.2.4 Projected emissions (year 2000) without energy saving measures under high growth Scenario C

	Energy PJ	CO 10 ³ Ton	CO ₂ 10 ⁶ TonC	NO _x 10 ³ Ton	SO _x 10 ³ Ton	HC 10 ³ Ton	Particulates 10 ³ Ton
Energy sector							
Oil products	3406.85	3493.16	59.62	1238.56	1339.04	160.96	735.94
Gasolines and naphthas	173.64	1840.60	3.37	71.19	11.63	12.10	7.03
Kerosines	129.22	1369.70	2.50	52.98	8.66	9.00	5.23
Diesel	371.95	232.47	7.48	464.94	249.95	54.68	163.66
Fuel oil	745.70	10.66	15.88	152.87	1051.40	69.80	508.57
L.P.G.	104.54	2.09	1.60	26.14	0.92	0.81	2.71
Gas	1881.80	37.64	28.79	470.44	16.48	14.57	48.74
Natural gas	751.09	15.02	11.48	187.97	6.58	5.81	19.46
Non associated gas	129.22	2.58	1.97	32.31	1.13	1.00	3.35
Associated gas	621.87	12.44	9.51	155.47	5.45	4.81	16.11
Solids	22.43	.23	0.57	16.61	12.16	0.12	3.74
Coal	5.83	.06	0.15	4.32	3.16	0.03	0.97
Coke	16.60	.17	0.42	12.29	9.00	0.09	2.77
Total	4180.37	3508.41	71.67	1443.14	1357.78	166.89	759.14
Agricultural sector							
Oil products	153.77	455.71	3.05	159.08	79.74	19.42	52.13
Gasolines and naphthas	0.04	0.44	n.s.	0.02	n.s.	n.s.	n.s.
Kerosines	36.17	383.44	0.70	14.83	2.42	2.52	1.47
Diesel	114.84	71.78	2.31	143.55	77.18	16.88	50.53
Fuel oil	0.08	n.s.	n.s.	0.02	0.12	n.s.	0.06
L.P.G.	2.64	0.05	0.04	0.66	0.02	0.02	0.07
Total	153.77	455.71	3.05	159.08	79.74	19.42	52.13

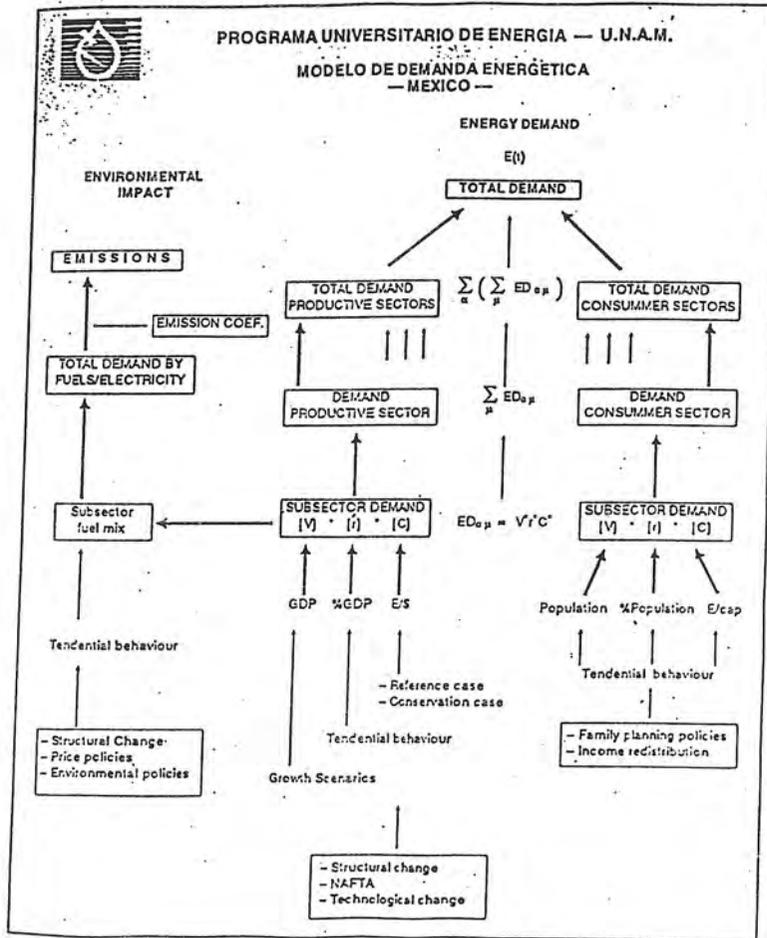
(Continuation of Table A.2.4)

	Energy PJ	CO 10 ³ Ton	CO ₂ 10 ⁶ TonC	NO _x 10 ³ Ton	SO _x 10 ³ Ton	HC 10 ³ Ton	Particulates 10 ³ Ton
Commercial sector							
Oil products	131.34	4.59	2.51	33.14	119.39	8.66	59.18
Diesel	4.02	2.51	0.08	5.02	2.70	0.59	1.77
Fuel Oil	82.48	1.18	1.75	16.91	116.30	7.72	56.25
L.P.G.	44.84	0.90	0.68	11.21	0.39	0.35	1.16
Total	131.34	4.59	2.51	33.14	119.39	8.66	59.18
Public And Services sector							
Oil products	0.42	n.s.	n.s.	0.08	0.59	0.04	0.29
Fuel Oil	0.42	n.s.	n.s.	0.08	0.59	0.04	0.29
Total	0.42	n.s.	n.s.	0.08	0.59	0.04	0.29
Residencial sector							
Oil products	300.52	283.75	4.71	79.33	4.17	3.95	8.16
Kerosines	26.25	278.26	0.51	10.76	1.76	1.83	1.06
L.P.G.	244.38	4.89	3.74	61.10	2.14	1.89	6.33
Gas	30.00	0.60	0.46	7.47	0.27	0.23	0.77
Natural Gas	5.19	0.10	0.08	1.30	0.05	0.04	0.13
Non Associated Gas	5.19	0.10	0.08	1.30	0.05	0.04	0.13
Biomass	375.81		7.97				
Fuelwood	375.81		7.97				
Total	681.52	283.85	12.76	80.63	4.22	3.99	8.29
Grand Total	10623.93	24319.8	192.65	4241.08	3306.48	528.45	1854.86

(Continuation of Table A.2.4)

	Energy PJ	CO 10 ³ Ton	CO ₂ 10 ⁶ TonC	NO _x 10 ³ Ton	SO _x 10 ³ Ton	HC 10 ³ Ton	Particulates 10 ³ Ton
Industrial sector							
Oil products	2424.87	2085.93	42.11	720.32	977.76	99.40	519.94
Gasolines And Naphthas	175.05	1855.00	3.39	71.77	11.73	12.20	7.09
Kerosines	11.47	121.60	0.22	4.70	0.77	0.80	0.47
Diesel	112.25	70.15	2.25	140.31	75.43	16.50	49.39
Fuel Oil	621.74	8.89	13.24	127.46	876.65	58.20	424.03
L.P.G.	36.76	0.74	0.56	9.19	0.32	0.30	0.95
Gas	1467.60	29.35	22.45	366.89	12.86	11.40	38.01
Natural Gas	129.50	2.59	1.98	32.37	1.13	1.00	3.36
Non Associated Gas	129.50	2.59	1.98	32.37	1.13	1.00	3.36
Solids	191.92	1.92	4.93	142.02	104.02	1.03	32.05
Coke	191.92	1.92	4.93	142.02	104.02	1.03	32.05
Biomass	214.91		4.56				
Bagasse	214.91		4.56				
Total	2961.20	2090.44	53.58	894.71	1082.91	101.43	555.35
Transport sector							
Oil products	2515.31	17976.80	49.08	1630.38	661.85	228.02	420.31
Gasolines And Naphthas	1507.80	15982.00	29.28	618.18	101.02	105.09	61.06
Kerosines	144.40	1530.70	2.80	59.21	9.68	10.07	5.85
Diesel	738.93	461.83	14.87	923.66	496.56	108.62	325.13
Fuel Oil	38.18	0.55	0.81	7.83	53.84	3.57	26.04
L.P.G.	86.00	1.72	1.32	21.50	0.75	0.67	2.23
Total	2515.31	17976.80	49.08	1630.38	661.85	228.02	420.31

Figure 1



Metodología "bottom up" para el análisis de las emisiones de gases invernadero debidas al uso de la energía

CLAUDIA SHEINBAUM y LUIS RODRIGUEZ VIQUEIRA

Instituto de Ingeniería, UNAM, CU, 04510, México D. F.

1. Introducción

Existe un consenso en la comunidad científica internacional en el sentido de que las emisiones antropogénicas de bióxido de carbono y otros gases invernadero adicionales al flujo natural, provocarán un calentamiento global de la atmósfera terrestre. El uso de la energía fósil, la primera fuente de emisión de gases invernadero, es responsable de cerca del 57% de todas las emisiones antropogénicas (EPA 1990) y en consecuencia, las decisiones energéticas que se tomen en la actualidad tendrán implicaciones para el clima futuro del planeta.

En un estudio reciente sobre varios países en desarrollo, Sathaye y Ketoff (1991) encontraron que México, en 1987, era ya el tercer generador de emisiones de carbón por producción y uso de energía en el mundo en desarrollo, después de India y China. Entre 1987 y 1991 la producción de energía primaria en México creció en 4% y la contribución de los combustibles fósiles se mantuvo en alrededor del 92% (SEMIP, 1992) lo que sugiere que la emisión de carbón a la atmósfera ha ido en aumento.

En años recientes, la preocupación por el cambio climático global ha llevado a los gobiernos de diversos países, así como a organizaciones internacionales, a valorar la importancia de tener políticas energéticas comunes que promuevan la disminución en las emisiones de gases invernadero. Este objetivo, sin embargo, sólo puede ser cumplido si se desarrollan métodos de análisis y prospectiva energética, que permitan comparar el uso de la energía en diversos países y que estén orientadas al uso eficiente y la conservación.

La metodología de análisis "bottom up" o por usos finales (de abajo hacia arriba o bottom up) surge a principios de los años setentas cuando el aumento en el precio del petróleo plantea un dilema a los países industrializados: seguir incrementando la dependencia de las economías a la importación de hidrocarburos o replantear los patrones de consumo energético y generar recursos propios. De esta forma, la metodología "bottom-up" nace como un procedimiento de análisis cuyo objetivo principal es la conservación de energía y se plantea como una alternativa al estudio tradicional que utiliza variables económicas como el Producto Interno Bruto, el ingreso y el precio, como los únicos elementos explicativos de la demanda energética.

En la actualidad, cuando los problemas ambientales plantean nuevamente la necesidad de la conservación y eficiencia energética, la metodología por usos finales adquiere aun más relevancia. Este procedimiento, permite evaluar el efecto que variables individuales tienen en el uso de la energía y en las emisiones de gases invernadero.

2. Distintos enfoques en el análisis y la propectiva de las emisiones de gases invernadero debidas al uso de la energía

Existen dos enfoques fundamentales en el análisis del uso de la energía. Uno es el llamado "top-down" o de arriba a abajo y el otro es el denominado "bottom-up" o de abajo hacia arriba. El primero utiliza como herramienta fundamental los métodos econométricos y como las variables explicativas de la demanda energética, los indicadores económicos (precio, ingreso, valor agregado, PIB, etc.). Bajo este modelo, la intensidad energética está definida con base en variables económicas, donde la más agregada es la energía (medida en unidades físicas) por unidad de PIB o de valor agregado. Las mayores desventajas de esta metodología son que no permite desagregar los efectos estructurales y no toma en cuenta al sector residencial ni al

transporte de pasajeros por no formar parte de la composición directa del PIB (Block y Schipper, 1994).

El segundo enfoque, el "bottom-up", 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. Este procedimiento incorpora las demandas estructurales como elementos explicativos y permite contabilizar las intensidades energéticas en relación tanto a unidades físicas como a económicas. En el siguiente inciso se abunda en la discusión de este procedimiento de estudio de la demanda energética.

3. Descripción de la metodología por usos finales

Siguiendo este método (Goldenberg *et al.*, 1987), el consumo de energía "E" total para un sector está dado por la suma de la sub-demanda de energía por usos finales "i", es decir:

$$E = \sum E_i$$

y ésta a su vez está dada por:

$$E_i = a \sum I_j^* S_j$$

En donde I_j es la intensidad energética¹ o el consumo unitario de energía de la fuente de energía j (es decir el promedio del consumo de energía por persona correspondiente al uso final y al tipo de fuente), S_j (saturación) es el porcentaje de unidades físicas o económicas (valor agregado, toneladas, población, vivienda, etc.) que utilizan la fuente de energía j para cubrir el uso final i y "a" es la actividad (valor agregado en el caso del sector industrial o población en el caso del sector residencial).

Esta desagregación del uso de la energía residencial en usos finales y diversas variables, también permite analizar las causas de los cambios en las tendencias de consumo (Schipper *et al.*, 1992). Estos cambios están definidos de la siguiente manera:

Efecto en la actividad:

$$\% \Delta E_a = (a_t \sum_i \sum_j (I_{jio}^* S_{jio} - E_{io}) / E_{io}$$

De manera similar, el cambio hipotético en el uso de la energía debido a los cambios estructurales, manteniendo constante las variaciones en la intensidad y la actividad es:

$$\% E_s = (a_o \sum_i \sum_j (I_{jio}^* S_{jit} - E_{io}) / E_{io}$$

Y el cambio de la energía utilizada por el sector residencial debido a la intensidad energética, manteniendo constante la población y los cambios estructurales está dado por:

$$\% E_I = (P_o \sum_i \sum_j (I_{jit}^* S_{jio} - E_{io}) / E_{io}$$

¹ A los indicadores como el uso de la energía per cápita, o uso de energía para calefacción por unidad de superficie de la vivienda se denominan *intensidades energéticas*. En general, la eficiencia energética de un uso final es el inverso de la intensidad energética del mismo uso.

De esta forma, en el análisis de las tendencias del uso de la energía en el sector residencial, la metodología por usos finales permite entender con detalle en donde se llevaron a cabo los mayores ahorros energéticos y por lo tanto, evaluar los éxitos de las políticas energéticas implementadas. En este trabajo se estudian los siguientes usos finales: calefacción, calentamiento de agua, cocción, iluminación y electrodomésticos.

4. Emisiones de gases invernadero y STAIR

Para la elaboración de los escenarios de consumo de energía a futuro así como para la cuantificación de las emisiones a la atmósfera de los distintos contaminantes atmosféricos se han desarrollado diferentes modelos, entre los que se encuentra el "STAIR". El modelo STAIR (nombre formado por las iniciales en inglés de los cinco sectores consumidores de energía Servicios, Transporte, Agropecuario, Industria y Residencial), es básicamente un marco contable basado en la metodología por usos finales, que provee diferentes alternativas de estimación del impacto de políticas energéticas en el uso sectorial y agregado de la energía, así como de las emisiones de gases invernadero (Sathaye, Ketoff, 1991).

STAIR consta de dos elementos básicos. El primero es una desagregación de la demanda energética por usos finales. La energía primaria y final se pueden estimar bajo la base de la demanda por combustible y uso final para cada sector económico. En este sentido, las emisiones per cápita (Em) en el año t de un contaminante o gas invernadero debidas al uso de la energía en un sector están descritas por:

$$Em_t = \left(\sum_i \sum_j (F_{jit} a_t C_{jit} I_{jit} S_{jit}) \right),$$

donde:

F_{ji} = Porcentaje de uso de la fuente de energía j en el año t para el uso final i

C_{ji} = Coeficiente de emisión de la fuente de energía j

I_{jit} = Intensidad energética del uso final i , de la fuente de energía j en el año t

S_{jit} = Saturación de la tecnología del uso final i , de la fuente de energía j en el año t

a_t = Medida de la actividad en el año t

El segundo elemento es un balance de la oferta y demanda energética con el objetivo de cubrir los recursos disponibles (Martínez *et al.*, 1992). La Tabla 1 muestra la desagregación del análisis bottom-up que se utiliza en el modelo STAIR para cada uno de los sectores.

4. Plan de trabajo para el taller de Cambio Climático Global

Se plantea elaborar, utilizando el modelo STAIR y sus modificaciones, dos escenarios alternativos de emisiones de gases invernadero generadas en la producción y el uso de la energía en México, tomando en cuenta políticas de conservación y eficiencia energética. Un escenario que describa a una sociedad que derrocha sus recursos naturales, que corresponde a la tendencia actual del país y otro escenario que contemple medidas tanto de conservación y eficiencia, como de fuentes renovables de energía. La Fig. 1 muestra las emisiones de bióxido de carbono en 1994, debidas al uso final de la energía en México para el año de 1990. Este será la base para el cálculo de los distintos escenarios.

Tabla I
Desagregación del Modelo STAIR

Sector	Desagregación	Intensidad física	Intensidad económica
Industrial	Tipo de industria Cemento Pulpa o papel Siderúrgica etc.	MJ/ton	MJ/\$ (V.A)
Transporte	Carga: Autotransporte Aéreo Marítimo Ferro Pasajeros Autotransporte: Automóvil Autobús Aéreo Marítimo Ferro	MJ/ton-km MJ/pas-km	
Agropecuario			MJ/\$
Servicios	Edificios Escuelas Hospitales Comercios	MJ/area*	MJ/\$
Residencial	Usos finales: Calefacción Cocción Agua caliente Iluminación Electrodom.	MJ/area MJ/viv MJ/viv MJ/area C.U.E.	

Pas-km= factor de ocupación* número de unidades*kilómetros recorridos

Tonn-km= factor de carga* número de unidades*kilómetros recorridos

Area= Se utiliza para calefacción, aire acondicionado o iluminación

V.A. = Valor agregado del sector

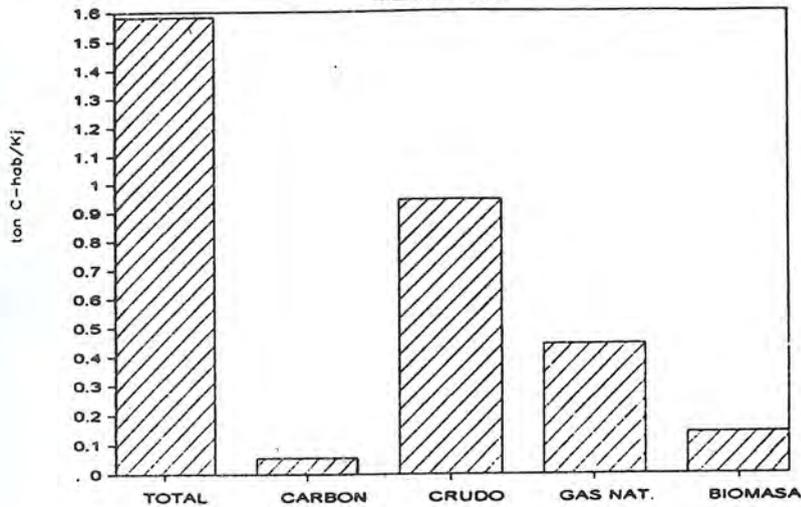
viv= vivienda

C.U.E = Consumo unitario de energía por electrodoméstico

5. Plan de trabajo para el taller de Cambio Climático Global

Se plantea elaborar, utilizando el modelo STAIR y sus modificaciones, dos escenarios alternativos de emisiones de gases invernadero generadas en la producción y el uso de la energía en México, tomando en cuenta políticas de conservación y eficiencia energética. Un escenario que describa a una sociedad que derrocha sus recursos naturales, que corresponde a la tendencia actual del país y otro escenario que contemple medidas tanto de conservación y eficiencia, como de fuentes renovables de energía. La Fig. 1 muestra las emisiones de bióxido de carbono en 1994, debidas al uso final de la energía en México para el año de 1990. Este será la base para el cálculo de los distintos escenarios.

FIG 1. EMISIONES GLOBALES DE CO₂
MEXICO 1990



REFERENCIAS

- Block, K. and L. Schipper, 1994. *International comparisons of energy efficiencies: A problem catalog*. En *International Comparison of Energy Efficiency*. Workshop documentation. Lawrence Berkeley Laboratory, marzo 1994, pp 9-27.
- Comisión Nacional de Ahorro de Energía, 1992. Informe. CONAE-SEMIP. México D. F., México.
- Environmental Protection Agency, 1990. *Environmental Information Management*. Hemisphere Publishign Company, Washington, D. C.
- Goldemberg, J., T. Johansson, A. K. N. Reddy, and R. Williams, 1987. *Energy for a Sustainable World*. World Resources Institute, N. Y.
- Martínez, M. and L. Rodríguez, 1992. Cuantificación de emisiones al aire por el consumo de energía. *Memorias del XVIII Congreso Asociación Nacional de Ingeniería*, A. C. Septiembre, Aguascalientes, México.
- Sathaye, J. and A. Ketoff, 1991. CO₂ Emissions from Developing Countries: Better Understanding the Role of Energy in the Long Term. Volume 1, Summary. Lawrence Berkeley Laboratory, LBL-29507, Berkeley CA.
- Schipper, L. and S. Meyers with R. Howarth, and R. Steiner, 1992. *Energy Efficiency and Human Activity*. Cambridge University press.
- Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal (SEMIP), 1992. *Balance Nacional de Energía*, México, D. F.

Long-term carbon emission and sequestration scenarios in Mexican forests: Methodological issues and preliminary results

OMAR MASERA CERUTTI

Centro de Ecología, UNAM, CU, 04510, México, D. F., México

(Presented at the First Workshop of the Mexico's Country Study, Cuernavaca, Morelos, April 18-22 1994)

ABSTRACT

Using a carbon balance model (CO-PATH) two preliminary long-term carbon emission scenarios (2025) are developed for the Mexican forest sector. Additionally, two demand-driven carbon sequestration scenarios, short-term (year 2000) and midterm (2010), and a long-term normative scenario (2090) are presented. The emission scenarios show that the annual carbon balance from deforestation and forest fires will likely diminish in the long term either because of the reduction in forested area or because of improved policies to reduce deforestation rates and increase carbon uptake. The carbon sequestration scenarios suggest that Mexican forest can act as large carbon sinks. This carbon sequestration potential could help offset a significant share of carbon emissions from energy use in the country.

Introduction

The present paper summarizes the results of two sets of future carbon emission and sequestration scenarios for the Mexican forest sector. The first set of scenarios were developed as part of an effort to estimate current and long-term carbon emissions in Mexico's forests (Masera *et al.*, 1992). The second set of scenarios have been developed to estimate the carbon conservation and sequestration potential in the forest sector (Masera *et al.*, 1994). These last scenarios include preliminary estimates of the costs associated to the different response options. The scenarios illustrate the type of work to be conducted within the workline.

Carbon Emission Scenarios

Carbon emissions from deforestation were estimated using existing information on forest cover and deforestation rates as well as on forests' carbon-related biological characteristics. The methodology used was based mainly on the CO-PATH model (Makundi *et al.*, 1991), although several additions and modifications were incorporated into the model. The study covers all closed forest types in the country, that is: tropical evergreen, tropical deciduous, temperate coniferous, and temperate broadleaf.

Two contrasting emission scenarios were developed: high emissions (HES) and low emissions (LES). The scenarios are intended to provide the most likely range of emissions given contrasting long-term policies on land-use patterns within the country. We choose 2025 as the final year to make the scenarios compatible to those developed for emissions from energy use (Mendoza *et al.*, 1991).

Table 1 shows the biological parameters used in the analysis and Table 2 the basic assumptions of each scenario. The HES visualizes a future with little concern for forest conservation. For evergreen forests, deforestation rates are adjusted so that these forests only remain within the existing protected areas. The same resulting scaling factor is applied to the remaining forest types to estimate future deforestation rates. Carbon intensities are kept the same as in the base year (in other words, it is assumed that the present structure of carbon emissions and uptake will continue in the future). The LES assumes a 50 percent decrease in deforestation rates with respect to the current ones, plus a doubling in wood used for long-term purposes and reforestation rates and improved vegetation recovery from forest fires and other perturbations. In the HES only 37 percent of the base-year forested area remains, in contrast with 70 percent

Table 1. Biomass and carbon-related parameters of forests used for carbon emissions estimates

Parameter	Temperate coniferous	Temperate broadleaf	Tropical evergreen	Tropical deciduous
General				
Dominant species	Pinus sp	Quercus sp	Terminalia amazonia	Caesalpinia eristachys
Wood density (tonne/m ³)	0.48 ^a	0.6 ^b	0.6 ^c	0.5 ^d
Biomass (tonne/ha)				
Total	112 ^e	78 ^e	288 ^e	135 ^f
Above	86	60	240	85
Total/above	1.3	1.3	1.20	1.59
Carbon				
Content (%) ^g	50	50	50	50
Total (tC/ha)	165.1	68.5	210.0	97.0
Vegetation	56.0	39.0	144.0	67.5
Soils ^g	109.1	29.5	66.0	29.5
Combustion release ^g				
Biomass carbonized	0.4	0.4	0.2	0.4
Slash-and-burn				
agriculture	0.6	0.6	0.5	0.4
pasture	0.6	0.4	0.3	0.3
Soil disturbance				
agriculture	0.3	0.3	0.3	0.3
pasture	0.3	0.2	0.2	0.2
Uptake ^g				
% Fires reconverted	70	60	80	70

Table 2. Main assumptions for carbon emissions scenarios in Mexico

Indicator	Base Year (~1985)	High Emissions (2025)	Low Emissions (2025)
Forested Area (million ha)	51.5	19.0	38.0
Evergreen	9.7	1.7	5.9
Deciduous	16.1	4.0	10.8
Coniferous	16.9	8.7	14.0
Broadleaf	8.8	4.6	7.3
Deforestation rate (%/yr)			
Evergreen	2.44%	4.20%	1.22%
Deciduous	2.02%	3.43%	1.00%
Coniferous	0.96%	1.66%	0.48%
Broadleaf	0.94%	1.61%	0.47%
Conversion activity shares		Same as base year	Same as base year
Carbon Release Parameters		Same as base year	Double proportion wood for long-term use.
Carbon Uptake			
Recovery from Forest Fires	60-80%	60-80%	70-90%
Reforestation		Same rate (in ha/yr) as in base year from 1985 to 2025	Twice the rate (in ha/yr) as in base year from 1985 to 2025

Table 3. Long-term carbon emissions from deforestation in Mexico

Indicator	Base Year (1985)	High Emissions (2025)	Low Emissions (2025)
Annual Carbon Balance (MtC/yr)	53.4	22.9	16.5
Prompt Uptake (MtC/yr)	0.5	0.9	1.5
Net Committed Emissions (MtC)	45.5	2.8	-21.7
Stored Carbon (GtC)	7.0	2.5	5.1

for the LES. It should be noted that deforestation rates assumed for the HES are within the range of those found in most case studies within Mexico (Masera *et al.*, 1992).

By 2025, the annual carbon balance reaches 22.9 MtC/yr in the HES and 16.5 MtC/yr in the LES (Table 3). The reduction in forest cover (HES) and the combination of reduced forest cover and deforestation rates (LES) are responsible for the reduction of carbon emissions in both scenarios with respect to the base year (53.4 MtC/yr). Cumulative emissions are important in both scenarios, as evidenced by the decrease of 1.9 GtC (LES) and 4.5 GtC (HES) in the forests' stored carbon from the base year. Cumulative emissions, also permit a better appreciation of the difference between the HES and LES.

The contribution to delayed carbon uptake from the estimated relatively large area under growing reforestation in 2025 leads to very low (HES) or even negative (LES) net committed emissions in the two scenarios. The result for the LES illustrates that if deforestation is stopped by 2025, Mexico's forests could begin serving as an important carbon sink.

Carbon conservation and sequestration scenarios

In order to explore alternatives for sustainable forest management, that also contribute to the sequestering of carbon, two demand scenarios, short-term (year 2000) and midterm (2010), and a long term normative scenario (2090) were developed. For each scenario, the potential incremental area regarding the reference year (1990), the net unit and total carbon sequestration, and the unit cost of carbon sequestration by forest option are estimated (Table 4). It should be noted that cost information is only illustrative, as only a few sample points were available for the analysis. Also, cost figures presented are only initial or establishment costs, which underestimates the actual costs of undertaking each option. Carbon sequestration estimates assume the option will remain in place in perpetuity. Only carbon in vegetation and soils is included. Below we present the main results of each scenario. Refer to Tables 4 and 5 for a detailed description of the assumptions used.

a. Short-term and midterm demand scenarios

The short term (ST) -year 2000- and midterm (MT) -year 2010- scenarios were derived using existing projections for future demand for forest products and stated (ST) government plans to the year 2000 regarding protected areas and restoration plantations. The scenarios assume that the current efforts to restructure the Mexican forest sector will continue, allowing Mexico to satisfy its domestic demand for subsistence and industrial forest products by the year 2000.

We identified 5.9 million ha (ST) and 14.4 million ha (MT) were options to save and sequester carbon can be undertaken. The unit establishment costs of these options range from \$0.3 to \$14/tC sequestered. The large uncertainty in the estimates makes it impossible to rank options according to their unit cost. Total carbon sequestration reaches 0.66 and 1.26 GtC in the ST and MT scenarios, respectively (Table 4). These figures represent an average carbon sequestration of 60 MtC/yr between 1990 and 2010, or about 50% of current annual CO₂ emissions in the country. The adequate conservation of natural protected areas in closed forests and the sustainable management of native forests are the two options with the largest carbon sequestration and saving potential. The total cost of putting in practice the suggested options is estimated at \$2.7 (ST) and \$5.1 (MT) billion, with large uncertainties at both ends.

b. Long-term normative scenario

The normative long-term (100 yr) forest use scenario, is based on the following premises for the target year (2090): (a) there is no deforestation and no further forest degradation; (b) all forests with commercial value are managed; (c) Mexico fully covers its subsistence and industrial

Table 4. Future Carbon Sequestration Scenarios for Mexican Forests

Response Option/Scenario	Incremental Area (million ha)			Unit Costs (\$/tC) ^a	Unit Carbon sequestration (tC/ha) ^b	Total C sequestration (GtC) ^c		
	ST 2000	MT 2010	LT 2090			ST 2000	MT 2010	LT 2090
Conservation								
Natural Protected Areas	2.1	3.9	6.0	7-14	40-130	0.23	0.36	0.5-0.6
Forest Management (commercial)	3.6	7.6	18.7	0.3-3	84-130	0.40	0.80	1.5-2.3
Improved woodburning cookstoves	n.a.	n.a.	n.a.	8-14	1.3 tC/stove/yr	<0.01	0.02	0.05- 0.3
Afforestation								
Restoration Plantations	0.2	0.5	16.6	6-9	50-150	0.02	0.06	1.3-1.8
Commercial Plantations	0.0	0.5	1.6-3.0	5-11	25-55 (w/o soil C)	0.00	0.02	0.1-0.2
Total	5.9	14.4	42.7-44.3			0.66	1.26	3.4-5.2

Notes: a. Only initial or establishment costs are considered (range shown indicates differences by forest type), therefore the stated figures for unit costs of carbon sequestration underestimate actual costs; b. Only carbon sequestered in vegetation and soils is included; c. Total carbon sequestration calculated as unit carbon sequestration times unit costs by forest type, summed over all forest types.

NOTES TO TABLE 4: The main assumptions used to calculate carbon sequestration are presented below.

a. Natural Protected Areas (NPA): We assume that 80% of the current area legally protected is adequately managed and conserved (ST scenario), at least 5% of each forest type is protected (MT scenario), and a minimum of 10% of current area by forest type is protected (LT scenario). Range for unit carbon sequestration shows differences by forest type. The increase in NPA comes from non-commercial forests. Carbon sequestration calculated using emission parameters by forest type reported in Ref. 16. LT scenario, range for total carbon sequestration assumes same release parameters as in Ref. 16 (low) and 20% higher (high).

b. Forest Management: ST and MT scenarios, figures refer to the area needed to satisfy domestic demand for timber and fuelwood--see below. Area under management calculated as follows: (a) ST scenario, timber demand is covered 50% with improved forest management systems (IFMS) (6 m³/ha/yr of commercial productivity) and 50% with the conventional method (1.5 m³/ha/yr); pulp demand 100% with IFMS; (b), MT scenario, timber demand comes entirely from IFMS and 50% of demand for pulp and paper comes from this option; (c) LT scenario: the whole commercial area by forest type is managed, mainly for domestic urban/industrial demand and for exports. Noncommercial forests are used for protection, subsistence uses, recreation, etc. Carbon sequestration is calculated only for commercial forests, as avoided emissions from deforestation -using release parameters cited in Ref. 16 plus (minus) the difference in carbon content between native forests and managed forests. For ST and MT, range for carbon sequestration refers to differences between tropical managed forests (134 tC/ha) and temperate forests (121 tC/ha); For LT, temperate forests, above ground biomass equivalent to pine plantations (approx. 370 m³/ha); soil carbon is thought to be the same as in native forests (high estimate) and total carbon content is 70% that of high estimate (low); evergreen forests, commercial forests have the same carbon stock as native forests -because of the low-intensity in currently used harvesting systems (high) and 80% of the carbon stock (low estimate).

c. Improved Woodburning Cookstoves: 0.1 million (ST) and 2 million improved cookstoves (MT) are disseminated. Figures for total carbon sequestration are for the expected 2 year stove duration. These stoves reduce 2.3% (ST) and 53% (MT) unsustainable fuelwood use. Ten percent (ST) and 100% (MT) of the remaining unsustainable fuelwood use is covered by appropriate forest management systems -the area for this option is added to forest management. LT scenario: improved cookstoves are disseminated in between 30% and 100% of rural households that use fuelwood for cooking. Annual carbon sequestration taken from Ref. 15 and calculated as the avoided emissions from non-renewable fuelwood harvesting. Unit carbon costs correspond to the cost of conserved carbon associated to the stoves. Cumulative savings are estimated as the carbon sequestration in 1990 (higher range) or half of this amount (lower range) extrapolated to 100 yr in the future (this rate might vary according to the percentage of non-renewable fuelwood harvesting and the percentage of rural households using fuelwood).

d. Forest Restoration The area planned for restoration plantations is 0.5 Mha by the year 2000.²¹ The ST scenario uses this figure, adjusted by the trees' survival rate (currently 34%). In the MT scenario, it is assumed that reforestation will continue at the same rate as in the period 1990-2000, but that tree survival rates are improved by a factor of 2 (68%). Figures for carbon sequestration assume that most reforestation will be carried out using coniferous species. LT scenario: the whole area currently degraded and deforested is reforested. Given the more difficult environmental conditions faced by reforested areas, carbon stock by forest type in these areas assumed to reach 70% (high) and 50% (low) of the carbon stock in native forests (estimated from Ref. 16). Carbon sequestration assumes that original vegetation is bare land.

e. Commercial Plantations: Because industrial plantations are just beginning to be established at a large scale in Mexico, the ST scenario assumes no timber supply will come from this option. MT scenario, 50% of domestic demand for pulp and paper will come from industrial plantations. We assume that the area under plantations will be enough to cover domestic demand for cellulose in 2090 and there will be 50% excess for exports. Unit carbon sequestration corresponds to the rotation cycle average carbon content in eucalyptus (lower boundary) and pine (upper boundary) plantations. No account is taken for potential gains in soil carbon.

TABLE 5: ST AND MT SCENARIO PARAMETERS

Year	2000	2010
General		
Pop Growth	1.80%	1.60%
Rural	0.10%	-0.20%
GNP growth	3.20%	3.20%
Population (Million)	102	120
Rural	25	25
Demand for forest products		
<u>AAGR (%)</u>		
Timber	2.80%	2.80%
Pulp & Cellulose	5.70%	5.70%
<u>Total demand (M m3)</u>		
Timber	11.9	15.8
Trop forest	0.9	1.3
Pulp & Cellulose	8.3	13.9
Fuelwood (domest)	31	27
<u>Area needed (Mha)</u>		
<u>Demand for timber</u>		
Improv manag	1.0	4.5
% demand cover.	50.00%	90.00%
Trad mang	2.8	2.0
% demand cover.	50.00%	10.00%
Trop Forest	0.9	1.3
<u>Demand for Pulp & paper</u>		
Improv manag	1.4	0.5
% demand cover.	100.00%	50.00%
Plantations	0.0	0.5
% demand cover.	0.00%	50.00%
<u>Improv Woodstoves</u>		
Unsustainable demand (M m3/yr)	9.4	8.1
Stoves disseminated	100000	2000000
% Unsust. demand solved	2.30%	53.24%
<u>Fuelwood management</u>		
Unsust dem. remaining (M m3/yr)	9.2	3.8
Area needed (Mha)	3.1	1.3
% achieved	10.00%	100.00%
Total area managed	0.3	1.3
<u>Reforestation (million ha/yr)</u>		
Restoration	0.17	0.51
ha yr	0.05	0.05
cumulative	0.50	0.50
% survival	34.00%	68.00%
<u>Deforestation rates</u>		
<u>AAGR (%)</u>		
Temperate		
Coniferous	0.67%	0.48%
Broadleaf	0.66%	0.47%
Tropical		
Evergreen	1.71%	1.22%
Deciduous	1.41%	1.01%
<u>Area remaining (Mha)</u>		
Temperate		
Coniferous	24.2	23.1
Broadleaf	16.0	15.2
	8.2	7.9
Tropical		
Evergreen	22.2	19.9
Deciduous	8.8	7.7
	13.4	12.1
<u>Area deforested (Mha)</u>		
Temperate		
Coniferous	1.7	2.8
Broadleaf	1.1	1.9
	0.6	0.9
Tropical		
Evergreen	3.7	6.0
Deciduous	1.6	2.7
	2.1	3.4

needs for forest products and there is a remaining for export; (d) all degraded forest lands are reforested; (e) a portion of forested area, large enough for securing biodiversity, recreation, and scientific research needs, is set aside as natural protected areas.

All together we identified from 42.7 to 44.3 million ha where response options could be applied. Total carbon sequestration ranges between 3.4 and 5.2 GtC by 2090. Management of native forests and restoration plantations appear as the most promising alternatives in terms of their carbon sequestration potential. In particular, a fraction of the area under restoration plantations could be used for bioenergy projects (e.g. wood gasification schemes) which may make this option cost-effective.

The average yearly carbon sequestration in the 100 yr period (35 to 54 MtC/yr), suggests that Mexican forests may help offset a proportion of carbon emissions from the energy sector (currently at 74 MtC/yr and expected to grow to 223 MtC/yr by 2025 (Mendoza *et al.*, 1991).

Conclusions

The emission scenarios show that the annual carbon balance from deforestation and forest fires will likely diminish in the long term either because of the reduction in forested area or because of improved policies to reduce deforestation rates and increase carbon uptake.

The carbon sequestration scenarios suggests that the potential for carbon sequestration in Mexican forests is large and might serve to significantly reduce the country's net carbon emissions to the atmosphere arising from energy use. Management of native temperate and, to less extent, of native tropical forests appear as the most important alternatives in terms of both total carbon sequestration and its economic feasibility. Restoration of degraded forest lands has also a large carbon sequestration potential, however this option will only be cost effective if it is linked to income generating activities such as energy plantations. Also, achieving the potential identified for the various carbon sequestration options needs a reforming of the current political and institutional context of the forest sector in Mexico.

REFERENCES

- Makundi, W., J. Sathaye and A. Ketoff. 1991. "COPATH: A Spread-sheet Model for Estimating Carbon Flows Associated with Tropical Forest Use." Presented at the International Workshop on Tropical Forestry and Global Climate Change: Landuse Policy, Emissions and Sequestration. Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California, May.
- Masera, O.R., M.J. Ordoñez, and R. Dirzo, 1992. "Carbon emissions from Deforestation in Mexico: Current Situation and Long-term Scenarios", in W. Makundi and J. Sathaye (series eds.) "Carbon Emissions and Sequestration in Forests: Case Studies from Seven Developing Countries", Volume IV: Mexico. Report # LBL-32759, Energy and Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), (Sept.)
- Masera, O.R., M.R. Bellón, and G. Segura, 1994. "Forest Options for Sequestering Carbon in Mexico's Forests". Accepted in *Biomass and Bioenergy*.
- Mendoza, Y., O. Masera and P. Macias, 1991. "Long-term Energy Scenarios for Mexico: Policy Options for Carbon Savings and Main Barriers", *Energy Policy*, 19, 962-969.

Forests and the global carbon balance

MARKKU KANNINEN

*The Finnish Research Programme on Climate Change (SILMU)
Academy of Finland, P. O. Box 57, FIN-00551, Helsinki, Finland*

TOMI TOUMASJUKKA

*University of Helsinki, Department of Forest Resource Management,
P.O. BOX 24, FIN-00014 University of Helsinki, Finland*

Introduction

The total area of world's forests is about 4 billion hectares, i.e. one third of world's land surface is covered with woody vegetation. A considerable portion of the total forest area is so called open woodland, including savannas, and the total area of closed forests is about 2.8 billion hectares (about one fifth of the world's land area). One half of open and closed forests is in the tropics and the other half in temperate and boreal zones.

The area of world's forests is decreasing annually by approximately 12 to 15 million hectares. Most of it (10 to 12 million ha.) is taking place in the tropical latitudes. In fact, the forest area in temperate and boreal regions has slightly increased during the last decades (UN-ECE/FAO 1992). The main reasons for the deforestation in the tropics are the conversion of forest to agricultural land and to pastures, and cuttings of fuelwood and timber.

In spite of the development described above, the role of forests as an agent for industrial development is increasing. On the other hand, the global community is setting new challenges to the use of forest resources. These comprise the need for the management of all forests in a sustainable way, and the protection of biodiversity and world's atmosphere. All these include such objectives that their simultaneous achievement requires actions, which consider the use and role of world's forests from a new perspective.

Forests are not only seen as a renewable natural resource, but also as a considerable pool of biological diversity and as a sink of the atmospheric carbon dioxide and thus as a vital link in the global carbon cycle. This "new" role of world's forests is also reflected in the framework convention on climate signed in the Earth Summit of Rio de Janeiro in 1992.

The global carbon cycle

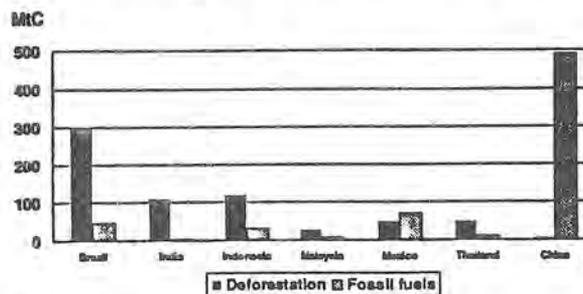
The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has estimated that the anthropogenic emissions of CO₂ in 1987 were 5.7 Gt C (Gt C = gigatonnes of carbon; gigatonnes = billion tonnes) due to fossil fuel burning plus 0.6 to 2.5 Gt C due to deforestation (estimate for 1980). During the last decade about 48% of the anthropogenic emissions have stayed in the atmosphere, the remainder has been taken up by the oceans and possibly by the land ecosystems.

Our qualitative knowledge of the global carbon cycle is relatively good. However, the current quantitative estimates of sources and sinks do not balance; the atmospheric increase is less rapid than expected on the basis of the carbon cycle models. This and model analyses of the inter-hemispheric CO₂ gradient, indicate that the Northern Hemisphere terrestrial ecosystems may act as a significant sink of carbon. Such a sink has, however, not been directly identified. In summary (also see Table 1):

ecosystems are acting as a sink for approximately 0.7 to 1.0 Gt of carbon annually. There are two main reasons for this development described. First, in many countries the area of temperate and boreal forests has been increasing in recent decades. In Europe, for instance, the forest area of 24 countries has increased over the period of 1954 - 1984, resulting in a total increase of 15 % in the forest area (Sedjo, 1992). The same trend is observed in the development of the total volume of growing stock (Kauppi *et al.*, 1992; Sedjo, 1992). Second, our forestry statistics are now more accurate than earlier, now giving us a more reliable view of our forest resources. This implies that in earlier data there may have been a slight underestimation of the forest area and growing stock.

The tropical and sub-tropical regions have the least accurate estimates of forest areas and growing stocks. Generally, the tropical forest ecosystems have been considered as net carbon sources. Past studies have given a range between 0.6 - 3.6 Gt C from the tropical biome. However, recent studies on emissions and sequestration of carbon in seven developing countries (Brazil, China, India, Indonesia, Malaysia, Mexico, and Thailand) that represent about two thirds of deforestation of tropical moist forests show that these forests are emitting an estimated 0.8 Gt C per year, while sequestering 0.4 Gt C annually. Proportional projection of these estimates to the entire tropical biome shows that the total emissions are between 1.1 and 1.7 Gt C per year, with a working average of 1.4 Gt C, and the total sink of 0.5 Gt C annually. The emissions are significantly less than the most recent estimates, resulting in an annual net source of 0.9 Gt C (Makundi *et al.*, 1993) (Table 1) (Fig. 1). This discrepancy underscores the uncertainties and wide range of values for recent estimates of net emissions from tropical forests. It also indicates the need for significant research and systematic data collection to obtain more credible estimates (Kanninen, 1993).

Carbon emission from energy and forestry in seven countries



Source: Makundi *et al.* 1993

Fig. 1.

Climate convention: objectives, targets and commitments

The framework convention on climate signed last year in the Rio summit includes several actions related to forests. The ultimate objective of the convention is to stabilise the greenhouse gas concentrations in the atmosphere at a certain level, which would a) prevent dangerous anthropogenic interference with climate and b) minimize risks to and adverse effects on ecosystems. So far, it has not been defined what that level of GHG's in the atmosphere is or should be and how fast the stabilization target should be met. We know, however, that stabilization of e.g. CO₂ at the present level (350 ppm) would require an immediate reduction of emissions to 30% of their present level, which seems to be impossible to achieve. In short, this means that the stabilization

Table 1. Global carbon balance: some estimates.

Component of the carbon balance	IPCC (1990) (1) Gt C a ⁻¹	New estimates (2) Gt C a ⁻¹
A Anthropogenic emissions (sources)	6.8	5.9
1 Fossil fuel burning	5.0	5.0
2 Tropical deforestation	1.8	0.9
B Atmospheric increase	3.0	3.0
C Sinks	3.8	2.9
1 Uptake by oceans	1.6	1.6
2 Unknown sink	2.2	0.4
3 Boreal/temperate forests		0.9

(1) IPCC, 1990. Climate change - The IPCC Scientific Assessment (Eds. J.T. Houghton, G.J. Jenkins ja J.J. Ephraums). Report prepared for IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) by Working Group I. Cambridge University Press, Cambridge. 365 p.

(2) Kanninen, M. (ed.). 1993. Carbon balance of world's forested ecosystems: towards a global assessment. Proceedings of the IPCC AFOS Workshop held in Joensuu, Finland, 11-15 May, 1992. Publications of the Academy of Finland 3/93. 271 p.

- the total anthropogenic CO₂ emissions are about 7.0 1.1 Gt C
- the annual uptake by the oceans is estimated to be about 1.6 1.0 Gt C
- the annual atmospheric accumulation is about 3.0 0.2 Gt C.

Thus the annual sequestering by the terrestrial ecosystems ("unknown sink") is about 2 Gt C. While several mechanisms that could sequester carbon in terrestrial ecosystems have been suggested, it has been difficult to account for the total sink required. Therefore, it appears likely that: (a) the uptake of CO₂ by the oceans is underestimated, (b) there are important unidentified processes in terrestrial ecosystems that act as a sink, and (c) the amount of CO₂ released from tropical deforestation is at the low end of the current estimates (IPCC, 1990).

Forests and the carbon cycle

Two of the three points of uncertainty mentioned above are related to world's forests. It is evident, however, that at the global level, terrestrial ecosystems play an important role in the carbon cycle. Unfortunately, we do not have enough data to assess quantitatively the role of the forests in the global carbon cycle (increase in the sequestering of carbon by temperate and boreal forests vs. the amount of CO₂ released from tropical deforestation).

The scientific community has widely agreed, at least on qualitative basis, upon two main points: (a) the tropical forest ecosystems have been net carbon sources, and (b) the northern temperate and boreal forests are a major carbon sink (e.g. Kauppi *et al.*, 1992; Sedjo, 1992; Kanninen, 1993) (Table 1). Quantitatively, there is still a range of uncertainty in the estimates.

Recent estimates on carbon balance of temperate and boreal forests suggest that these ecosystems may be a considerable net sink of atmospheric carbon. It has been estimated that these

of GHG concentrations in the atmosphere can only be achieved at some future levels and only in the long run.

Parties of the convention will then commit themselves to certain actions in order to achieve the global objective of the convention. The target for stabilization of the concentrations of GHG's in the atmosphere can, in principle, be achieved by: a) reducing the emissions of GHG's to the atmosphere (reduction of sources), and b) removing GHG's from the atmosphere (enhancement of sinks) (Fig. 2).

Framework Convention on Climate change: long-term objective

- Stabilization of greenhouse gas concentrations in the atmosphere

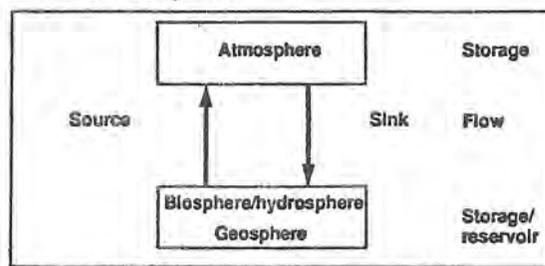


Fig 2

For the global target of the climate convention, it is of primary importance that the forest ecosystems of the world are in a state where their ability to act as sinks of greenhouse gases is maintained and enhanced. This requires both conservation and sustainable management of forests. In relation to the conservation, sustainable management, and enhancement of sinks and reservoirs, four different types of general actions are required:

- Measures against desertification, deforestation and forest destruction. These should be aimed at the stabilization of forest area, where appropriate, and increasing it further, when possible. Promotion of the overall health of ecosystems. This includes especially actions against harmful effects caused by pollutants (acid rain etc.). Measures against the degradation of ecosystems (unsustainable management etc.) and measures that increase the potential of forests to act as sinks of GHG's (stocking densities, amount of biomass etc.). Promotion of scientific research, monitoring and information exchange on a) forests as sources and sinks of GHG's and b) sustainable management of forests.

Forests and the climate convention

Forests can be both sources and sinks of greenhouse gases. Forest ecosystems also are a considerable reservoir of carbon. They contain more than 80% of the global aboveground carbon. Thus, actions including forests are related to all these three categories: sources, sinks and reservoirs. If both sources and sinks are considered to be important in controlling the atmospheric concentrations of greenhouse gases, they should, at least in theory, be considered in the commitments, as well. However, at the present, the scientific background for reliably accounting sinks (negative sources) in national inventories of GHG emissions (concept of "net" emissions) is limited, and internationally acceptable methods for these calculations are under development.

One feature of the convention is that in the future, when our knowledge on sources and sinks has improved, it could be possible to add new data to national inventories and thus adjust national targets, too. This approach can be called as "crediting for the enhancement of sinks". Its implementation would then require that: a) new anthropogenic sinks over and above those that exist due to natural causes or past human activities are developed, and b) such measures can be adequately quantified by internationally accepted methods (through an international review mechanism). However, it has to be noted that in the developed world, the "crediting for the enhancement of sinks"-approach seems to have only a marginal (theoretical) value, i.e. effective control of GHG emissions being the main line of action. Also for many countries, more important issue is the way of accounting CO₂ emissions from the use of renewal biomass energy in national inventories of GHG emissions.

In Europe, there are some countries like Finland and Sweden where the annual accumulation of carbon into forest ecosystems accounts for about one third of the country's total emissions of CO₂ (Figs. 3,4, and 5).

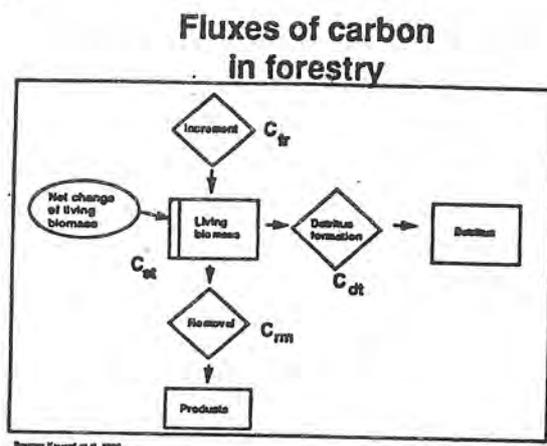


Fig. 3.

Annual fluxes of carbon in removal (C_{rm}), into detritus (C_{dt}), into living biomass (C_{tr}), within forestry in total (C_{tr}), and in energy related CO₂ emissions (C_{toe}) (10¹² g C/yr)

Country/ Region	Increment C_{tr}	Change in biomass C_{dt}	Removal C_{rm}	Flow to detritus C_{dt}	Emissions from combustion C_{toe}
Austria	8.7 - 10.1	1.9 - 2.8	3.3	1.5 - 4.0	15.6
Finland	20.5 - 30.7	4.5 - 6.7	10.4	5.6 - 13.6	16.0
Norway	5.6 - 8.4	1.9 - 2.8	2.4	1.3 - 3.2	6.7
Sweden	27.8 - 41.7	10.6 - 15.9	11.4	6.8 - 14.4	15.1
Switzerland	1.8 - 2.7	0.2 - 0.3	1.1	0.5 - 1.3	12.1
EFTA	62 - 84	19 - 28	29	15 - 36	68
Belgium	1.3 - 2.0	0.3 - 0.5	0.7	0.3 - 0.8	33.8
Denmark	1.0 - 1.6	0.3 - 0.5	0.4	0.3 - 0.6	15.3
France	19.9 - 29.7	6.6 - 8.3	10.4	3.9 - 11.1	104.7
Germany	19.7 - 29.6	4.9 - 7.3	9.4	6.4 - 12.9	283.4
Greece	1.3 - 2.0	0.1	0.6	0.7 - 1.2	22.1
Ireland	0.9 - 1.4	0.5 - 0.8	0.3	0.1 - 0.3	9.0
Italy	5.4 - 8.1	2.6 - 3.9	1.6	1.2 - 2.6	112.1
Luxemburg	0.2 - 0.3	0.1	0.06	0.05 - 0.1	2.8
Netherlands	0.7 - 1.1	0.3 - 0.5	0.3	0.09 - 0.3	49.9
Portugal	3.3 - 5.0	0.3 - 0.4	2.2	0.9 - 2.5	11.7
Spain	10.1 - 15.1	4.1 - 6.3	3.7	2.2 - 5.2	61.2
United Kingdom	3.1 - 4.7	0.8 - 1.2	1.5	0.9 - 2.0	160.6
EU	67 - 100	20 - 30	31	16 - 40	670
EUROPE	130-194	39 - 58	60	31 - 78	930

Source: Kauppi et al. 1993

Fig4.

In addition to the general actions described above, specific actions aimed at the enhancement of sinks of GHG's can be implemented. They include e.g. the formulation and implementation of afforestation and reforestation programmes.

It should be noted, however, that in relation to the global objective of the convention these programmes involving the forest sector may have many parallel objectives. For instance, increasing the removal of GHG's from the atmosphere by enhancement of sinks can be considered as a



Fig. 5.

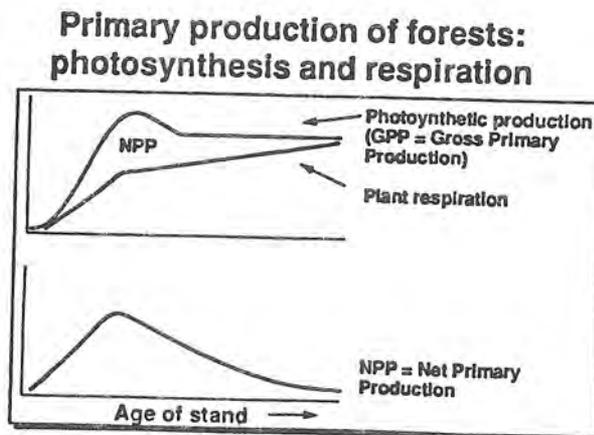


Fig. 6. (a) Gross primary production (GPP), net primary production (NPP), and plant respiration of a forest stand as function of stand age, (b) Net primary production (NPP) decreases due to increased plant respiration as the stand matures.

short term goal. When the forests are maturing, no net uptake of carbon occurs, i.e. the forest ecosystem is saturated with carbon (Fig. 6). On the other hand, tree and biomass energy can be used as a replacement of fossil fuels. This is a long term goal due to the fact that when wood is burned, carbon is released to the atmosphere, but it is "recycled" carbon, i.e. no new (fossil) carbon is added to the system. Finally, the main objective in afforestation and reforestation programmes is usually production of goods and services (fuelwood, raw material, erosion control etc.), and the sequestration of carbon can be considered only as an additional (and short term) benefit from those programmes.

Forestry alone cannot solve the problem of global warming. The emissions due to tropical deforestation account for only about one fifth of the emissions from fossil fuel burning. However, together with other measures forestry can be one player in the global act, but is difficult to quantify its contribution. In addition, it has to be noted that forest ecosystems and forestry have functions and goals other than solving the greenhouse effect. For a major part of people in developing countries, trees are the main source of energy. Forest land is cleared for agriculture, for the production of food for the constantly increasing population. New challenges for sustainable management of forests and conservation of biodiversity are rising. However, these do not imply that nothing can be done. Development of tools that allow the combination of these multiple objectives seems to be the minimum target to aim at.

REFERENCES

- IPCC, 1990. Climate change - The IPCC Scientific Assessment (Eds. J.T. Houghton, G.J. Jenkins ja J.J. Ephraums). Report prepared for IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) by Working Group I. Cambridge University Press, Cambridge, 365 p.
- Kanninen, M. (ed.), 1993. Carbon balance of world's forested ecosystems: towards a global assessment. Proceedings of the IPCC AFOS Workshop held in Joensuu, Finland, 11-15 May, 1992. Publications of the Academy of Finland 3/93. 271 p.
- Kanninen, M., R. Korhonen, I. Savolainen and Sinisalo, J., 1993. Comparison of the Radiative Forcings due to the CO₂ Emissions Caused by Fossil Fuel and Forest Management Scenarios in Finland. In: Kanninen, M. (ed.). Carbon balance of world's forested ecosystems: towards a global assessment. Proceedings of the IPCC AFOS Workshop held in Joensuu, Finland, 11-15 May, 1992. Publications of the Academy of Finland 3/93. Pp 240-251.
- Kauppi, P. E., K. Mielikdinen and K. Kuusela, 1992. Biomass and Carbon Budget of European Forests, 1971 to 1990. *Science* 256, 70-74.
- Kauppi, P. E. and E. Tomppo, 1993. Impact of forestry on net national emissions of carbon dioxide in West Europe. In: J. Wisniewski and R.N. Sampson (eds.). *Terrestrial Carbon Fluxes: Quantification of Sinks and Sources of CO₂*. Water, Air and Soil Pollution 70(1-4). Kluwer Academic Publications.
- Makundi, W., J. A. Sathaye and O. R. Masera, 1993. Carbon Emissions and Sequestration by Forests: Case Studies of Seven Developing Countries. In: Kanninen, M. (ed.). Carbon balance of world's forested ecosystems: towards a global assessment. Proceedings of the IPCC AFOS Workshop held in Joensuu, Finland, 11-15 May, 1992. Publications of the Academy of Finland 3/93. Pp 68-97.
- Sedjo, R., 1992. Temperate Forest Ecosystems in the Global Carbon Cycle. *Ambio*, 24(4), 274-277.
- UN-ECE/FAO. 1992. The forest resources of the temperate zones. Main findings of the UN-ECE/FAO 1990 Forest Resource Assessment. ECE/TIM-60. New York. 32 p.

Diferencias en la evaluación de proyectos ambientales entre un país desarrollado y un país en desarrollo

MARICRUZ MAGOWAN

*U. S. Country Studies Program, Forrestal Building, 1000 Independence Avenue, SW,
PO-69, Washington, DC 20585, USA*

Los análisis de costo/beneficio han sido siempre utilizados como un instrumento importante en la evaluación de los efectos provenientes de las medidas y regulaciones ambientales. El buen uso de estas técnicas permiten al evaluador preparar un buen diagnóstico y perfilar diferentes políticas a seguir usando los instrumentos adecuados para cada situación.

En la mayoría de las ocasiones, los países desarrollados han sido los originadores del uso de instrumentos de costo/beneficio. A través del tiempo estos países han transferido este conocimiento a los países en desarrollo, y últimamente a los países con economías en transición.

Sin embargo, aunque el uso de una metodología de costo/beneficio estandarizado puede rendir múltiples beneficios a cualquier sector que lo aplique, el uso de esta técnica podría dar resultados diferentes a los esperados si no se efectúan los ajustes necesarios para cada situación.

Por esta razón, en esta presentación se mostrará primero los pasos aconsejados a seguir en una evaluación de costo/beneficio diseñada en un país desarrollado, y luego se analizará si esta metodología dará los resultados esperados en el caso de ser aplicada en un país en desarrollo o en un país de economía en transición.

Por cada política considerada, los análisis de costo/beneficio que se efectúan deberán proveer lo siguiente:

- Una descripción detallada de los instrumentos políticos contenidos en la alternativa escogida, incluyendo una discusión en los incentivos de mercado disponibles,
- Los costos sociales totales por cada alternativa. Este costo deberá ser desglosado, a manera de mostrar los beneficios individuales por cada sector.
- Los beneficios netos totales por cada alternativa. Lo cual se obtiene sustrayendo los costos totales de los beneficios totales. Esto muestra las ganancias económicas totales asociadas con la implementación de diferentes alternativas políticas.
- La tasa interna de retorno por cada alternativa. Esta tasa es igual a la tasa de interés de descuento al momento que el valor presente neto de los beneficios totales es igual al valor presente neto de los costos.

Además se debe tomar en cuenta el uso de una tasa de descuento: En general, para efectuar una evaluación de sensibilidad de los resultados, se usarán diferentes tasas de descuento. Esto permitirá hacer las comparaciones pertinentes por cada alternativa.

Los pasos a seguir en la aplicación de análisis de costo/beneficio son los siguientes:

1. Identificación de los impactos relevantes.

Consiste en la división de los impactos ya sea como costo o como beneficio, y en la identificación de la población que se verá afectada por los costos o mejorada por los beneficios. Cada política considerada tiene dos elementos: las *metas* de la política; por ejemplo, la reducción de emisiones de bióxido de carbono, y los *instrumentos* de la política; por ejemplo, la aplicación de impuestos al carbón. Cada política propuesta se comparará no sólo a las otras políticas, sino también al *status quo*.

1. Valorización monetaria de los impactos.

Determinar qué política ambiental es la más adecuada sería casi imposible si no se contara con la suficiente información acerca de los costos de la contaminación. La degradación ambiental generalmente ocurre como consecuencia de fallas en los mercados. Los mercados tradicionales no reflejan el verdadero valor del medio ambiente, ya sea porque a estos recursos no se les da una valorización eficiente o porque son de propiedad pública. Lo último implica que cada individuo tiene un incentivo para abusar de estos recursos en detrimento de la sociedad.

Fallas en las políticas a seguir también pueden llevar a la degradación ambiental. Es por eso que proveer a los gobernantes con una metodología que les permita cuantificar estos daños, conlleva a una minimización de políticas erróneas.

En esta metodología, los insumos son elevados bajo una metodología de "costo de oportunidad", y los resultados se evalúan usando una metodología de "disposición de pago". El costo de oportunidad de una política representada el valor de los recursos requeridos en su mejor uso alternativo. La metodología de disposición de pago define los beneficios como la suma de los montos máximos que la gente está dispuesta a pagar para obtener resultados que ellos consideran deseables y define los costos como la suma de los montos máximo que la gente está dispuesta a pagar para evitar situaciones que ellos consideran indeseables.

3. Descuento por tiempo y riesgo

Ya que la mayoría de las políticas ambientales dictadas al presente tienen un efecto que se manifiesta muchos años más tarde, una contabilidad apropiada debe incluir una evaluación de los costos y los beneficios futuros, los cuales deben ser descontados a un valor presente neto. Este ejercicio se debe realizar en cada política considerada. Es decir, a efectos de evaluar diferentes políticas, se deben usar una gama de tasas de descuento. Además, se deben calcular Tasas Internas de Retorno por cada una de las políticas consideradas. La Tasa Interna de Retorno es la tasa de descuento que reduce el Valor Presente Neto a cero.

Después de hacer los cálculos necesarios, se tomarán en cuenta las opciones donde la Tasa Interna de Retorno sea menor a la tasa de interés en el mercado financiero, ya que esto hará que el Valor Presente Neto sea mayor que cero, lo cual indica que el proyecto generará beneficios netos positivos a la sociedad.

Obstáculos existentes en la aplicación del análisis de costo/beneficio en los países en desarrollo

Los analistas que desean usar esta técnica en su forma más simplificada, sugerirán el uso de políticas que generen beneficios netos más altos. Sin embargo, contrariamente a los analistas de los países desarrollados, los evaluadores de los países en desarrollo tienen que confrontar decisiones que son más complicadas dado el hecho de que sus recursos son más limitados y las presiones de desempleo e inflación son más fuertes que las existentes en los países industrializados. Por ejemplo, aún si una de las políticas propuestas rindiera beneficios netos más altos, los costos de emprendimiento pudieran ser suficientemente altos como para impedir a una región con serias restricciones monetarias el aplicar esta opción.

Eso significa, que en cada paso sugerido anteriormente, los evaluadores de países en desarrollo tienen que hacer ajustes que les permita obtener resultados que estén de acuerdo con la realidad económica y social de sus países. A continuación se nombrarán algunas diferencias importantes en la evaluación de proyectos que vale la pena considerar:

a. Parámetros usados en el análisis:

El principal parámetro usado en la evaluación de costo/beneficio en un país desarrollado es la de eficiencia social. La razón es la siguiente: estos países, al igual que los países subdesarrollados, quieren obtener costos mínimos en el control de la contaminación. Estos costos se obtienen cuando el costo marginal de reducir la contaminación es el mismo para todos los que causan la contaminación y es el mismo para todos los afectados por la contaminación (en este caso costo social).

Si este objetivo no se obtiene naturalmente como resultado de la aplicación de una política, un país industrializado contará con un sistema legal y social que le permita coordinar las políticas ambientales con las políticas de bienestar social. El estado en este caso, contará con los recursos financieros suficientes y la estructura que permitirá a la población afectada alcanzar un cierto grado de eficiencia social. Esto quiere decir, que la equidad en este caso, deja de ser una prioridad ya que el sistema social y legal y la capacidad financiera se encargarán de que ciertos sectores sociales no terminen pagando un mayor porcentaje del costo de reducción de la contaminación.

Por otra parte, en un país subdesarrollado, dicha infraestructura no existe. Eso da lugar a que la equidad social y el concepto de desarrollo sostenido y no la eficiencia social, sean los valores primordiales a ser considerados al efectuarse un análisis de costo/beneficio.

b. Disposición de pago:

La experiencia ha demostrado que los métodos usados para evaluar "disposiciones de pago" individuales que se usan para reducir riesgos ecológicos y de salud en países industrializados, no son apropiados para los países en desarrollo o para los países con economías en transición. Más aún, existen serias dudas acerca de si los beneficios derivados de la reducción de la contaminación ambiental pueden ser estimados en los países en desarrollo aplicando las metodologías usadas, tal cual se las emplea en los países desarrollados.

La respuesta a este problema puede ser que el factor pobreza no ha sido incluido en estas metodologías. Un porcentaje importante de la población en los países menos beneficiados económicamente viven bajo la "línea de pobreza". Más aún, esta población tiende a ser la más desfavorecida en términos de estar más expuesta a mayores niveles de contaminación, ya sea del aire, del agua, o desechos industriales.

Además de esta situación desventajosa, grupos sociales pobres destinarán menores o ninguna cantidad de sus ingresos hacia la obtención de beneficios ambientales. Eso quiere decir que las elasticidades sugeridas para el uso de la metodología de "disposición de pago" es diferente en países menos desarrollados. Entonces, aún dándose el caso de dos ingresos reales iguales —uno en un país industrializado y el otro en un país en desarrollo—, los cálculos para determinar la "disposición de pago" darán resultados diferentes.

En resumen, en el caso de los países menos desarrollados ya no se puede hablar de una "disposición de pago", sino más bien, de una "capacidad de pago", ya que lo máximo que algunos de estos sectores pueden pagar para evitar fenómenos ambientales indeseables o para obtener beneficios de un medio ambiente más deseable es muy cercano cero.

c. Regulaciones de comando y control:

Aunque las políticas ambientales de comando y control en los países industrializados están siendo remplazadas cada vez más por políticas que usan incentivos e instrumentos económicos, los resultados obtenidos de las políticas más tradicionales todavía generan beneficios deseables. Sin embargo, cuando se trata de implementar este tipo de regulaciones en los países en desarrollo, los resultados no son tan satisfactorios. Uno de los problemas más serios es la falta de infraestructura legal y financiera que impide que estas normas sean obedecidas por las fuentes de contaminación.

Por un lado, el sistema financiero no cuenta con la capacidad crediticia y la disponibilidad de fondos que tienen los países industrializados. Las empresas centro de contaminación, carecen de financiamiento que les permita adquirir tecnología usada en la reducción de la contaminación. Ya que sus márgenes de beneficio son más bajos que en los países industrializados, sin el debido acceso a financiamiento, estas compañías no pueden afrontar un gasto tan significativo como es la adquisición de esta tecnología. Este hecho, unido a los problemas nombrados anteriormente, conlleva en muchos casos, a una incapacidad por parte de estas fuentes de contaminación de obedecer las leyes de orden y control.

Por otro lado, muchos de estos países todavía confrontan el problema de una actividad informal creciente en todas las áreas de la economía, lo cual hace muy difícil la tarea de recuperar impuestos. Debido a esto, la opción de aplicar impuestos al consumo de energía, como ser impuestos al carbón, impuestos al contenido de calor de los combustibles (BTU), etc.; no resultan ser una opción realista, ya que no hay razón para pensar que este tipo de impuestos van a tener un porcentaje de recuperación más alto que otro tipo de impuestos.

Con respecto al cumplimiento directo de normas de inspección, la mayoría de los países subdesarrollados no tienen los recursos necesarios que les permita emplear inspectores especializados, ya que para empezar, la mayoría de los inspectores no tienen el entrenamiento adecuado.

d. Tasa de descuento, tasa de inflación, tasa de especulación

En las evaluaciones de proyectos ambientales se comparan costos incurridos en el corto plazo con beneficios a obtenerse en el largo plazo. Por esta razón, los analistas usan una tasa de descuento. En un país desarrollado, la determinación de una tasa de descuento, dentro de un marco de relativa estabilidad política y financiera resulta ser un paso adecuado y una herramienta útil en los análisis de costo/beneficio. Por el contrario, en un país menos desarrollado, el uso de una tasa de descuento tiene una relevancia menos significativa debido a un grado menor de estabilidad y a un grado mayor de incertidumbre en los mercados financieros.

Además de lo mencionado, las evaluaciones preparadas en los países menos desarrollados, tienen que necesariamente tomar en cuenta las tasas de inflación existentes y las tasas de desempleo. Finalmente, las tasas de especulación son una realidad en los países subdesarrollados. Estas tasas actúan como parámetros de distorsión que impiden obtener resultados acertados. Los incrementos en el costo de las políticas a seguir debido a la existencia de las tasas de especulación deben ser estimadas e incluidas en los análisis a efectuarse en proyectos ambientales en los países subdesarrollados. Estas tasas generalmente se crea como una "tasa intermedia" entre la tasa de descuento bancaria y la tasa de interés.

Conclusiones

En resumen, tanto los países en desarrollo como los países industrializados necesitan encarar los problemas ambientales. En este caso en particular, los problemas derivados de cambios climatológicos potenciales. Sin embargo, las metodologías a seguir no pueden ser las mismas. En general, las restricciones que los países en desarrollo encarar son mayores y más entreveradas que las limitaciones existentes en los países desarrollados.

Sin embargo, a pesar de estas restricciones, los países en desarrollo no pueden postergar para el futuro la adopción de políticas ambientales, ya que estos mismos costos serán mucho más altos si no se toman medidas inmediatas orientadas a la reducción de la contaminación. Esta realidad es especialmente palpable en los casos de los gases invernadero. La inventariación de los gases invernadero por parte de todos los países participantes en la Convención de Cambios Climáticos de las Naciones Unidas, es un paso necesario y crucial que se debe cumplir en el futuro inmediato. Igualmente importante es la adopción de estrategias de mitigación de estos gases, y el diseño y planificación de medidas de adaptación de nuestro medio ambiental a nuevas

situaciones creadas por estos cambios climáticos.

Dentro de este marco, es necesario reconocer que debido a que el problema de cambios climáticos es por naturaleza un problema internacional, un esfuerzo conjunto de implementación de políticas y coordinación de acciones, entre los países industrializados y el resto de los países, es el único camino a seguir.

En resumen, las regiones de bajos ingresos deben ser consideradas desde un punto de vista de equidad global. Las herramientas de costo/beneficio deben ser usadas en estas regiones dentro de un marco de desarrollo sostenido. Es de vital importancia para los países en desarrollo, determinar sus prioridades, ajustar a su realidad las metodologías disponibles y seleccionar las estrategias que estén de acuerdo con sus apremiantes limitaciones de recursos y sus necesidades económicas y sociales.

Marco teórico-metodológico de la vulnerabilidad a la desertificación

ORALIA OROPEZA OROZCO y GLORIA ALFARO SANCHEZ

Instituto de Geografía, UNAM, Circuito Exterior, CU, 04510, México, D. F., México

RESUMEN

Este trabajo queda inscrito en el proyecto de Vulnerabilidad a la Desertificación en México, que, a su vez, forma parte del gran proyecto internacional Estudio de País ("Country Study"), relativo al Cambio Climático Global (CCG).

Se presentan los fundamentos relevantes que, desde los años setenta se han venido estableciendo, con mayor empeño, para analizar el proceso de la desertificación y para determinar la vulnerabilidad a ésta en México.

Se examina la evolución del concepto desertificación hasta llegar al que se maneja actualmente en el consenso mundial, que sirve de apoyo para desarrollar el proyecto de investigación. Otro concepto que se analiza es el de la vulnerabilidad global.

Igualmente, de las variables consideradas en el trabajo (clima, suelo, uso del suelo y actividades productivas), se precisan las principales causas que favorecen la desertificación, y los efectos más significativos asociados al CCG.

Se define el marco territorial en el cual se da este proceso y, por último, se hace la clasificación y evaluación preliminar de la bibliografía, que al respecto, existe sobre el país.

ABSTRACT

This work is subscribed in the Mexican Vulnerability to Desertification Project. At the same time, it is part of the great "Country Study" International Project, related to the Global Climate Change (GCC).

This paper presents the relevant principles that has been established since the seventies, with great emphasis to analyze the process of desertification and the determination of vulnerability to this phenomenon within Mexico.

It reviews the evolution of the desertification concept to arrive to the one that is managed actually within the worldwide consensus. It is the cornerstone to develop the research project. Another concept that is analyzed is the global vulnerability.

Of all variables that has been taken into account within this work (climate, soil, use of soil and productive activities), it points out the main causes that helps the desertification to develop and the most significant effects associated with GCC.

It defines the territorial framework where this process is taken place. Finally, it makes a preliminar evaluation and classification of the bibliography of the topic that exists on the country.

1. Introducción

Este trabajo queda inscrito en el proyecto de Vulnerabilidad a la Desertificación en México, que, a su vez, forma parte del gran proyecto internacional Estudio de País ("Country Study") relativo al Cambio Climático Global (CCG).

La finalidad principal de este documento consiste en establecer los principales fundamentos teórico-metodológicos en los que se apoya la investigación que recientemente se ha iniciado, además se presenta un panorama general del estado actual del conocimiento sobre la desertificación en México.

La desertificación es un proceso muy complejo que conlleva la degradación de los geosistemas, como consecuencia, esencialmente, de las variaciones climáticas y las actividades humanas.

La desertificación constituye un problema ambiental que se relaciona con otros de carácter global, como son el cambio climático y el calentamiento de la Tierra, la disminución de la biodiversidad y la falta de disponibilidad de recursos hídricos. Estos problemas afectan a la comunidad internacional, por ello, dentro del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) se han creado varias convenciones para combatirlos.

México está suscrito en la mayoría de estas convenciones internacionales ya que tiene numerosos problemas ambientales, de ellos la desertificación es uno muy grave. Tan sólo desde el punto de vista de la erosión del suelo, se estima que el 80% del país muestra algún grado de erosión, desde incipiente hasta superficies totalmente erosionadas (Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL-Instituto Nacional de Ecología, INE, 1993); la destrucción de la cubierta vegetal se calcula que varía de 329 mil a 1.5 millones de hectáreas por año; asimismo, se estima que, debido a la sobreexplotación de los acuíferos en los distritos de riego más importantes, se han salinizado los suelos en superficies de 500 mil a un millón de hectáreas. En fin, según evaluaciones recientes (Comisión Nacional de Zonas Áridas-SEDESOL, 1994), puede afirmarse que más del 97% del país está afectado por uno o varios procesos de degradación del suelo, y aproximadamente el 60% manifiesta una degradación severa o extrema.

Es un hecho que las superficies más vulnerables a la desertificación corresponden a las zonas áridas y semiáridas del país, no sólo por la posición geográfica que tienen, sino también por la sobreexplotación de los recursos; sin embargo, este problema ha rebasado el límite de estas zonas extendiéndose a otras áreas donde se ha intensificado el uso del suelo con fines, principalmente, de producción alimentaria.

Ante esta situación, resulta interesante e importante emprender un estudio de vulnerabilidad a la desertificación, con un enfoque integral y cartográfico que permita conocer, con mayor detalle, la distribución geográfica y las implicaciones de este proceso en el marco de la teoría de CCG.

El objetivo general del estudio consiste en determinar las áreas del país que son vulnerables a la desertificación (escenarios).

El objetivo particular estriba en determinar la variabilidad de los límites de las áreas desertificadas y las propensas, en términos de parámetros climáticos, edáficos y de uso del suelo.

Reiterando, para lograr lo anterior es necesario contar con una base teórico-metodológica que permita cumplir con los objetivos de la investigación; éste es el propósito del siguiente escrito.

2. Marco Conceptual

Desertificación

Desde el punto de vista semántico, el término desertificación no existe en la lengua castellana, pero éste se ha adoptado ampliamente en la comunidad científica internacional; su equivalente corresponde al de desertización, de origen francés, el cual significa "transformación de una región en desierto" (Larousse pour Tous, 1a. Ed. 1957).

Una de las primeras diferencias que se establecieron entre ambos términos fue la siguiente: "Desertización cuando *se refiere al acrecentamiento de los desiertos por causas naturales principalmente cambios climáticos a muy largo plazo. Desertificación cuando se refiere a la disminución o destrucción del potencial biológico de la tierra que puede desembocar, en definitiva, en condiciones de tipo desértico.*

Constituye un aspecto del deterioro generalizado de los ecosistemas y ha reducido o liquidado el potencial biológico, es decir la producción vegetal y animal, con múltiples fines. Se hace hincapié en que la desertificación es principalmente incrementada por actividades humanas" (La Desertificación en México, pág. 13, 1978).

Lo más importante es comprender el concepto, mismo que ha evolucionado a partir del interés que surgió a raíz del gran desastre provocado por una serie de sequías en el Sahel (Africa), durante 1968-1973, cuyas causas tuvieron un origen climático; sin embargo, desde entonces llamaron la atención otras zonas que han perdido su capacidad productiva debido al impacto de las actividades humanas, de tal manera que se han creado condiciones similares a las generadas por una sequía.

Los avances tecnológicos que permitieron a los medios de difusión dar a conocer mundialmente las noticias sobre las sequías en el Sahel y sus nefastas consecuencias (considerables pérdidas

humanas por inanición, enfermedades derivadas de la desnutrición, escasez de agua, se secaron todos los pozos de poca profundidad, se sacrificaron los hatos ganaderos, se agotaron los recursos vegetales, y otras más), tuvieron gran repercusión puesto que significaron un importante presagio de lo que sucederá en el planeta de continuar con el mismo rumbo.

Ciertamente, la sequía es un fenómeno natural, pero actúa como detonador de la desertificación, sobre todo en tierras que han sido mal utilizadas y en donde la presión de la población humana es muy fuerte sobre el medio ambiente.

Tal panorama sirvió para que, a partir de 1974, la Asamblea General de las Naciones Unidas propiciara la campaña internacional para combatir la desertificación, mediante varias convenciones en las cuales México ha participado.

En el transcurso de estas convenciones surgieron grandes controversias porque no estaban esclarecidos los problemas de desertificación, que a menudo se confunden con los problemas de las zonas áridas.

Aun cuando estas últimas zonas tienen una problemática propia y a la vez compleja, y también se involucran las actividades humanas como generadoras de la desertificación, ésta tiene un sentido mucho más amplio, pues sus efectos o consecuencias no se restringen a dichas zonas, aun cuando se manifiesten principalmente en franjas semiáridas o subhúmedas situadas alrededor de los desiertos, ya que tienen una distribución geográfica más vasta.

Así, desde la definición de desertificación que surgió en el seno de la Conferencia sobre Desertificación de las Naciones Unidas, (1977), descrita como "la disminución o destrucción del potencial biológico de la tierra lo cual conduciría definitivamente a la formación de condiciones similares a los desiertos", el concepto se ha revisado constantemente.

Según Dregne (1992), la definición de 1977, aunque aparenta ser simple en el planteamiento, aún no muestra nada definitivo, pues existen muchas ideas que justifican lo que la desertificación constituye. Para algunos representa la erosión eólica de los pastizales y tierras de temporal, o que la desertificación está confinada a los pastizales sobrepastoreados; para otros es un cambio climático hacia la desecación causada por factores naturales y humanos, para algunos más, la desertificación sólo ocurre si las tierras se han vuelto baldíos improductivos. Reining, citado por Mondragón (1983), la define como una forma de deterioro de los ecosistemas debida a la presión ejercida por los sistemas antropogénicos. Tal parece que sólo hay común acuerdo en que la desertificación es un proceso de degradación de tierras.

El concepto más reciente que se maneja en el medio internacional es el establecido en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), celebrada en Brasil, 1992. "Desertificación" se entiende como la degradación de los suelos de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores, entre los cuales figuran las variaciones climáticas y las actividades humanas, (PNUMA-ORPALC, 1993).

En el glosario de información sobre las definiciones acordadas por la Convención Internacional de lucha contra la Desertificación en los Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación, en particular en Africa, celebrada en enero de 1994, en Nueva York, se mantiene la definición anterior, además de otras de gran importancia como las siguientes:

Por "Sequía" se entiende una deficiencia constante de las precipitaciones, que afecta a amplias zonas de una determinada región, y se traduce en un periodo de clima anormalmente seco y lo suficientemente prolongado como para que la escasez de agua dé lugar a un agudo desequilibrio hídrico.

Por "Degradación de los suelos" se entiende la reducción del potencial de productividad biológica y económica de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivo de regadío o las dehesas, los pastizales o los bosques, ocasionada por un proceso o una combinación de procesos, entre los cuales cabe citar:

- a. El desplazamiento de los materiales de los suelos debido a la erosión del viento y el agua;
- b. El empobrecimiento interno de los suelos ocasionado por procesos físicos y químicos,

salinización, acidificación, aridificación, agotamiento de los nutrientes, compactación, oclusión, crustificación, anegamiento y hundimiento; y

c. La pérdida, a largo plazo, de vegetación natural.

Dada la importancia nacional como internacional que representa el proyecto "Estudio de País", en el subproyecto de Vulnerabilidad a la Desertificación, se adoptan los últimos criterios mencionados sobre desertificación, aunque el análisis no abarcará únicamente las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, sino también otras zonas de México, como las húmedas, que igualmente muestran una degradación de los suelos.

Vulnerabilidad a la desertificación

Al hablar de vulnerabilidad a la desertificación, esta última tiene una connotación de "riesgo", es decir, representa un "peligro" o "amenaza" (daño potencial) que se correlaciona con determinadas condiciones naturales, sociales y económicas susceptibles de ser afectadas. Si las condiciones señaladas llegan a tener alteraciones muy intensas, en el tiempo y en el espacio, entonces se hablará de un "desastre".

La desertificación constituye pues un riesgo, pero de dinámica retardada, ya que es un proceso paulatino muy complejo, sus consecuencias generalmente no se observan a corto plazo y, por lo mismo, en ocasiones, resulta un fenómeno imperceptible, hasta cuando sus efectos son prácticamente irreversibles.

Por su parte, la vulnerabilidad es un factor de riesgo, que corresponde al grado estimado de daño o pérdida de un elemento o conjunto de elementos (sistema) expuestos como resultado de la ocurrencia de un fenómeno de una magnitud o intensidad dada, (Cardona 1993). Dicho de otra manera, la vulnerabilidad determina la intensidad de los daños que produzca la ocurrencia efectiva del riesgo.

Vulnerabilidad global

La vulnerabilidad puede analizarse con diferentes enfoques, de ahí que se divida en vulnerabilidad: natural, física, económica, ecológica y otras más; no obstante, para el proyecto objeto de esta investigación, se considerará la vulnerabilidad global.

La vulnerabilidad global representa un sistema dinámico que surge de la interacción de una serie de factores y características (internas y externas) que convergen en un ambiente particular. Como señala Wilches 1993, su propia definición determina su carácter integral.

El análisis de la vulnerabilidad implica el proceso mediante el cual se establece el nivel de exposición y la predisposición de las unidades territoriales espacio-temporales (geosistemas) que se manejarán. Los grados o niveles de la vulnerabilidad son cuatro: ligera, moderada, severa y muy severa, mismos que usualmente se utilizan en los reportes nacionales para las Convenciones sobre Desertificación, de la Organización de las Naciones Unidas.

Escenarios

La vulnerabilidad global se plasmará en un mapa, al representar la distribución espacial de los efectos actuales y potenciales que puede causar un evento (desertificación) de determinada intensidad (cuatro grados) delimitada sobre un área geográfica (geosistema) lo que estará conformando el "Escenario".

Marco Territorial

La unidad principal que se propone como fondo de referencia de los documentos cartográficos de la desertificación es el geosistema, que para este trabajo tiene el mismo significado que unidad ambiental, complejo territorial, paisaje, etc. Se considera al geosistema como el resultado, en un marco espacio-temporal dado, de la interrelación naturaleza-sociedad-economía (Instituto de Geografía, UNAM, 1992).

Los geosistemas se diferencian y delimitan tipológicamente (unidades repetitivas) en antrópicos, seminaturales y naturales de acuerdo con el grado de transformación que presentan por influencia de las actividades humanas.

Principales variables que intervienen en la desertificación

Las variables que se utilizarán para analizar la vulnerabilidad a la desertificación se engloban en tres grandes grupos, de acuerdo con las principales causas que facilitan el proceso de desertificación y los efectos más notables que influyen en el CCG.

Clima. Los elementos climáticos que serán considerados son: la temperatura media, precipitación total, albedo y circulación general de la atmósfera.

A su vez, los elementos señalados se relacionarán con los principales factores que los modifican, tales como efectos orográficos, corrientes oceánicas, efectos de sombra pluviométrica, posición continental y condiciones locales o regionales.

Suelos. Las características edáficas que se tendrán en cuenta son: salinidad, sodicidad, estructura, porcentaje de materia orgánica, permeabilidad, pendiente, susceptibilidad a la erosión, compactación y encostramiento.

Uso del suelo. Este se encuentra estrechamente relacionado con las diversas actividades del hombre: forestal, agrícola, ganadera, industrial, minera, y otras más que serán tratadas en su expresión territorial.

De acuerdo con el concepto de desertificación, el cual dice que se debe principalmente al impacto de las actividades humanas, aunque también interviene la sequía como factor natural, es necesario apoyarse en los registros prehistóricos e históricos que estén relacionados con el tema.

Causas de la desertificación

En general, se reconocen dos grupos de causas que corresponden con las variables que serán estudiadas.

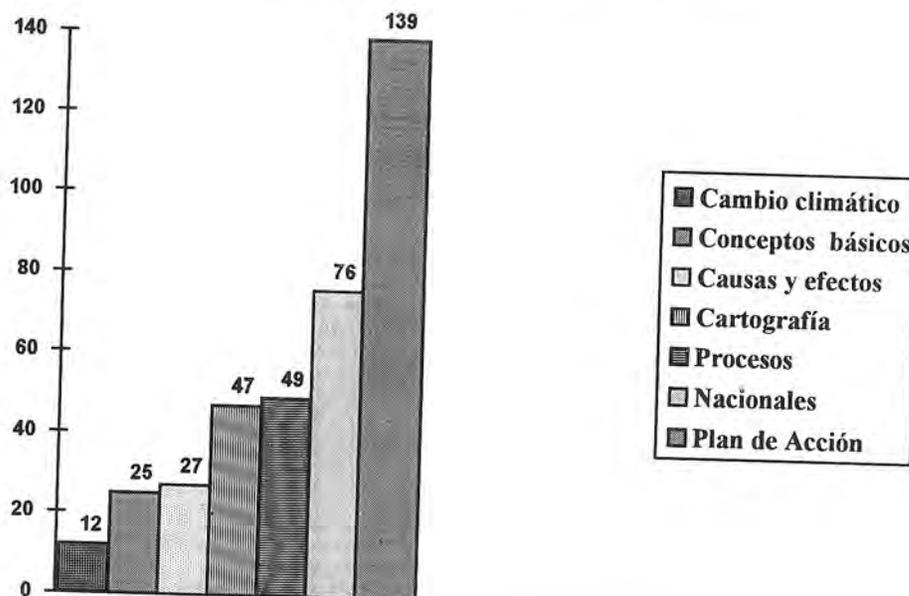
El primer grupo considera la erosión hídrica y eólica, la degradación de la cubierta vegetal y la salinización.

En el segundo, la disminución de la materia orgánica, el encostramiento, la compactación del suelo y la acumulación de sustancias tóxicas.

Otras causas más que contribuyen en el proceso son (Secretaría de Desarrollo Social-Instituto Nacional de Ecología, 1993):

- Sobrexplotación de los recursos naturales.
- Uso inadecuado de tecnologías en zonas agrícolas de temporal y de riego, el abuso de plaguicidas y fertilizantes, y el uso incorrecto de técnicas de riego.

FIGURA 1. INVESTIGACIONES SOBRE LA DESERTIFICACIÓN EN MÉXICO (1944-1994)



- Incremento de la presión sobre las tierras de cultivo de temporal.
- Pérdida de control al emplear el fuego para ciertas labores agrícolas y pecuarias.
- El depósito de desechos urbanos e industriales en ecosistemas aledaños y lejanos a asentamientos humanos.
- Agotamiento de corrientes y cuerpos de agua superficiales y subterráneos.
- Fenómenos atmosféricos como sequías, heladas, granizadas y tormentas.
- Asentamientos humanos sobre suelos fértiles.
- Deterioro de zonas por el uso inapropiado de vehículos automotores.

Principales consecuencias o efectos de la desertificación

- Disminución de rendimientos agrícolas, pecuarios y forestales.
- Disminución de la diversidad biológica.
- Empobrecimiento, migración rural y deterioro de la calidad de vida de la población.

Efectos significativos de la desertificación asociados con el cambio climático

Antes de señalar cuáles son los efectos más significativos relacionados con el CCG, es importante mencionar que la desertificación es un problema que no afecta únicamente al clima, sino que tiene implicaciones globales que van más allá de la afectación climática. Tiene como consecuencias: desequilibrio ecológico, deterioro de la producción agrícola, disminución de los hatos ganaderos, disminución de la actividad agrícola, deterioro de la salud pública y la migración campesina, entre otras.

Por otro lado, la desertificación no es un problema aislado, depende de muchos factores de orden natural, social, económico y político en un determinado lugar.

De acuerdo con lo anterior, se puede decir que los efectos más importantes en el CCG son: la sequía que, como factor de la desertificación, altera directamente al clima, disminuyendo la producción vegetal y aumentando la evaporación; de igual manera, la deforestación, como factor de la desertificación, altera al clima aumentando la reflectividad y disminuyendo la evapotranspiración (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1991).

Ahora bien, todas las implicaciones de la desertificación sobre el CCG se manifiestan en diferentes escalas, la principal es la regional en el contexto del "Estudio de País".

3. Estado del arte de la desertificación en México

En México se distinguen cuatro etapas de deterioro ambiental. Este se inicia en la época prehispánica (hasta 1521) a partir del momento en que se incrementa la población y se vuelve sedentaria. No obstante, la degradación de los paisajes se intensifica durante la época colonial (1522-1821), cuando se amplían las superficies agrícolas, se introduce la ganadería extensiva, se desarrolla la minería y se produce una explotación exhaustiva de regiones ricas en recursos naturales. A fines de la época independiente (1822-1910) da comienzo el desarrollo económico del país, que coincide con la revolución industrial, la producción se orienta hacia la explotación, se introduce el ferrocarril, se impulsan las compañías forestales, mineras y petroleras, de manera que la devastación del medio natural no tiene límites.

En la época contemporánea el impacto ambiental es altamente negativo, a tal grado que adquiere proporciones catastróficas.

Existen evidencias de que las primeras culturas que se asentaron en el territorio mexicano llevaban a cabo prácticas de conservación de suelos para evitar su degradación y la pérdida de

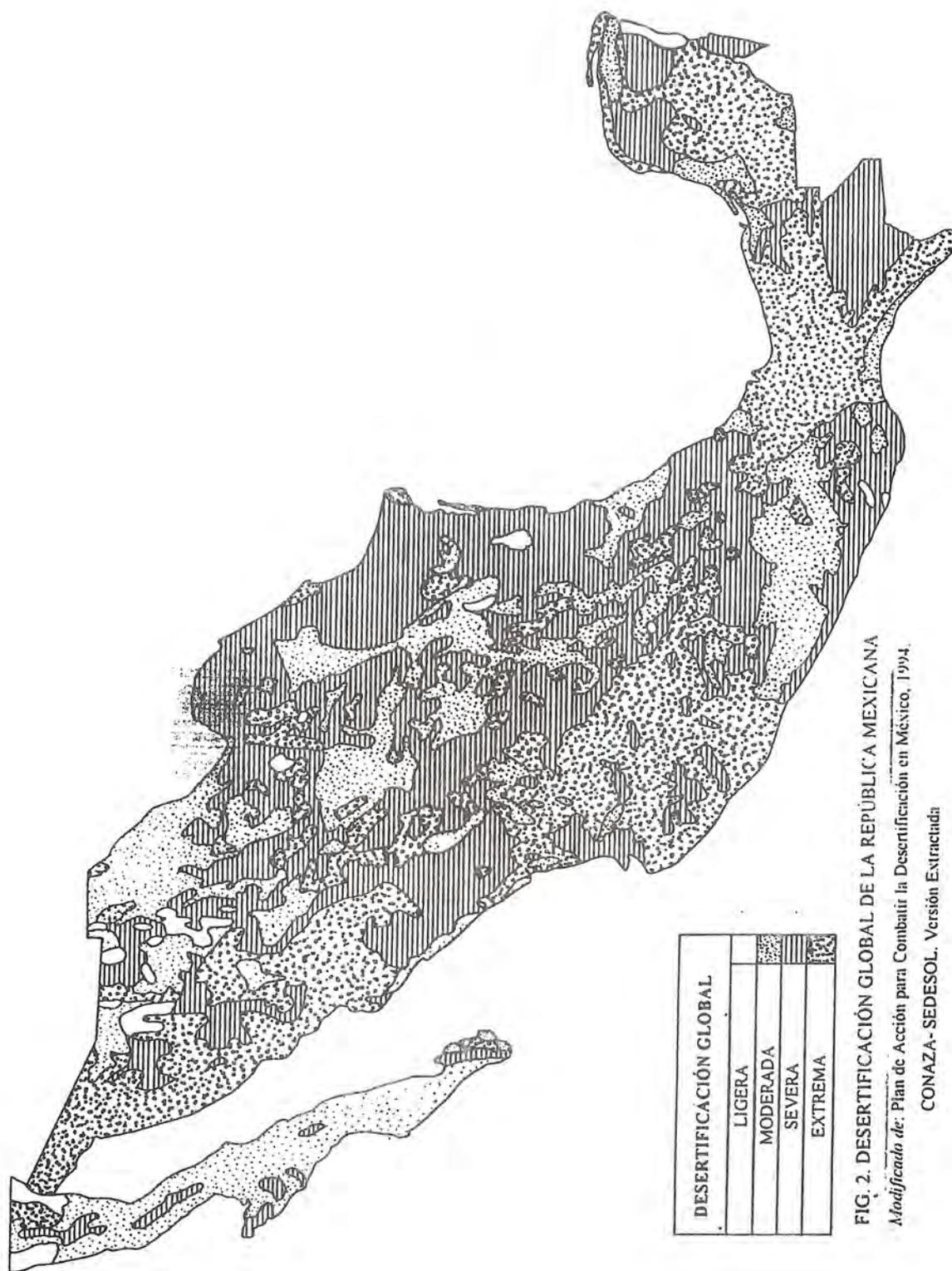


FIG. 2. DESERTIFICACIÓN GLOBAL DE LA REPÚBLICA MEXICANA

Modificado de: Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México, 1994.

CONAZA-SEDESOL. Versión Extractada

los recursos en general (Oropeza, 1992; Llerena *et al.*, 1992). No obstante, es hasta los años cuarenta cuando se inician los estudios científicos y sistemáticos para evaluar la pérdida de los recursos edáficos.

De la revisión bibliográfica preliminar que se ha realizado para este proyecto se observa que el enfoque principal de los estudios sobre la desertificación está dirigido hacia la erosión hídrica que resulta del mal manejo de las tierras agrícolas y forestales.

En las últimas cinco décadas se han desarrollado metodologías cualitativas y cuantitativas que estudian principalmente el proceso de erosión como parte de la desertificación; pero es en los últimos años cuando las investigaciones son de carácter multidisciplinario e integral.

Analizando la información sobre este tema, se observa que es numerosa pero se encuentra dispersa; de todo el país es muy generalizada, en tanto que los estudios regionales o locales muestran mayor detalle; en la Figura 1 se clasifica la bibliografía de acuerdo con diferentes aspectos de la desertificación, y en la Figura 2 se presenta, como ejemplo, una versión muy generalizada de la desertificación global del país, modificada a partir del Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México, 1994.

4. Metodología

El desarrollo de esta investigación se basa exclusivamente en los documentos que hasta el momento existen, ya que por razones de tiempo y de escala no sería posible generar nueva información basada en trabajo experimental y de campo.

El trabajo se inicia con una búsqueda bibliográfica y cartográfica. La información se clasifica y se lleva a la escala de presentación cartográfica final, la cual se propone sea 1:4,000,000.

El criterio de clasificación se hará de acuerdo con las variables: clima, suelo, uso del suelo y actividades productivas. Además de un análisis de los registros prehistóricos e históricos.

Los aspectos antes tratados permitirán llevar a cabo un diagnóstico sobre el conocimiento actual de la desertificación en México. A partir de este diagnóstico la siguiente etapa consiste en determinar el escenario de avance y retroceso de los límites de las zonas propensas, en función de las variables consideradas, y evaluar la vulnerabilidad de las zonas donde el problema está presente y aquellas susceptibles de ser afectadas.

La información generada estará contenida en una base de datos dentro del Sistema de Información Geográfico propuesto para el "Estudio de País".

El producto final será la cartografía de la vulnerabilidad actual y potencial a la desertificación en México.

Conclusiones

Las investigaciones respecto a la desertificación y al cambio climático aún son muy escasas y generales en México, situación similar a muchos países en vías de desarrollo.

Aunque existen algunas investigaciones sistemáticas, éstas tratan principalmente de aspectos relacionados con la erosión hídrica.

Prácticamente, las variables climáticas constituyen los registros más o menos constantes que pueden apoyar este tipo de investigaciones. Esto no es suficiente para determinar la vulnerabilidad a la desertificación, pues, como se ha señalado, éste es un proceso complejo en el que intervienen numerosas variables (naturales, sociales, económicas y muchas más), de las cuales no hay suficiente información. Por otra parte, es importante mencionar que no existen programas sistemáticos para monitorear este importante proceso.

Por todo lo anterior, los resultados de este proyecto serán eminentemente cualitativos. En la medida en que cada uno de los factores, elementos y/o componentes que influyen en la deserti-

ficación se cuantifiquen y analicen por largos períodos, los resultados serán más precisos.

REFERENCIAS

- Cardona, A., O. D., 1993. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. En: Los desastres no son naturales. Andrew Maskrey (compilador). La RED: Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina. Tercer Mundo Editores, Colombia. pp. 51-74.
- Conferencia Internacional para el Desarrollo de las Zonas Aridas. 1993. "Desarrollo Sustentable para Nuestro Futuro Común". Memorias.
- Comisión Nacional de Zonas Aridas-SEDESOL, 1994. Plan de Acción para combatir la Desertificación en México (PACD-México). Versión extractada.
- Convención Internacional de Lucha Contra la Desertificación. Nueva York. 1994.
- Dregne H.E. and Nan-Ting Chou, 1992. Global Desertification Dime

Cambio Global: la paleoclimatología y los modelos climáticos

JOSE ORTEGA-RAMIREZ

Departamento de Paleomagnetismo y Exploración Geofísica, Instituto de Geofísica, UNAM

RESUMEN

Los análisis de los registros climáticos de los últimos 100 años muestran un incremento de la temperatura del orden de 0.4 a 0.5°C, desde hace más de dos décadas los científicos han reconocido que un calentamiento global es inevitable, como consecuencia de las perturbaciones atmosféricas provocadas por el incremento de los gases de invernadero, que en gran medida son producto de la actividad antrópica. Por su parte los modelos climáticos prevén un aumento de 2.8 a 5.2°C de duplicarse la cantidad de CO₂ atmosférico actual, hacia la mitad del siglo próximo.

El escenario de calentamiento global de la magnitud pronosticado por los modelos, cuenta en ocasiones con análogos paleoclimáticos de varias regiones del hemisferio norte; y en otras, los escenarios discrepan o son inciertos por la falta de un mayor número de datos paleoclimáticos que permitan validar los pronósticos de los modelos, por tal razón se deben incrementar los estudios de reconstrucción paleoambiental base del conocimiento paleoclimático, hacia latitudes tropicales e intertropicales, como nuestro país, en el que son aún insuficientes.

ABSTRACT

The analyses of the climate registers over the last hundred years reveal an increase in the temperature of the order of 0.4 to 0.5°C, scientists have been admitting for more than 2 decades that a global rise in the temperature is inevitable, as a result of the atmospheric disturbances triggered off by increase of the greenhouse gases, which is largely a product of the anthropogenic activity.

As for climatic models, they forecast an increase of 2.8 to 5.1°C by the middle of the next century, should the current amount of carbon dioxide in the atmosphere double.

The scenario of the global rise in the temperature, the magnitude of which is being forecast by the models, is occasionally supported by paleoclimatic analogues from various regions in the northern hemisphere, in other cases, the scenarios diverge or are uncertain, for lack of sufficient paleoclimatic data, that might validate the prognoses of the models. Therefore the studies of paleoenvironmental reconstructions on which is based the paleoclimatic knowledge, should increase and extend to tropical and intertropical latitudes, as in our country in which they are still insufficient.

1. Introducción

Las variaciones climáticas globales han ocurrido de manera constante a lo largo de la historia de la Tierra (4.5 Ga), como resultado de los procesos exógenos y endógenos, y de la interacción constante entre los componentes del sistema terrestre. Sin embargo, desde las últimas décadas, la acción del hombre ha rebasado la capacidad de cambio de los procesos naturales, transformando la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera, con velocidades superiores a las del ciclo climático natural del Cuaternario (periodo Glacial-Interglacial), creando escenarios típicos de un planeta con atmósfera de super-interglacial (recalentamiento por emisión de gases) y una biomasa vegetal terrestre equivalente a la de un Máximo Glaciar (desertificación). Los estudios paleoclimáticos que pretendían explicar dichos fenómenos, habían sido ignorados hasta años recientes, limitando su fin a ejercicios intelectuales sin aplicación práctica. Hoy en día, gracias a estos estudios se conoce la composición química y las temperaturas atmosféricas y los ambientes que prevalecían durante las épocas cálidas (e.g. Interglaciales de los Estadios Isotópicos 5e y 1) y frías (e.g. glaciales de los Estadios Isotópicos 6, 4 y 2); a partir de esta información se caracterizan las condiciones climáticas actuales y se infieren las futuras, estas últimas coinciden de una manera general con los ciclos cálidos pasados (Interglaciales).

Los modelos climáticos, basados principalmente en las ecuaciones termodinámicas de la atmósfera, pronostican un doblamiento en las concentraciones de CO₂ atmosférico para las próximas décadas y consecuentemente un aumento de la temperatura a nivel global de ca. 2.8 a ca. 5.2°C (Schlesinger, 1989). Los escenarios que se prevén comprenden: variaciones en los niveles marinos

por efecto de ablación de los glaciares continentales, inundaciones en zonas costeras; alteraciones en los patrones climáticos y efectos directos en las actividades humanas, en la agricultura, en la salud pública, en la energía, en el transporte, ...

A pesar de que existen analogías variadas entre los escenarios previstos por cambio global y los registros geológicos (paleoclimáticos), también existen discrepancias, por lo que consideramos que los pronósticos propuestos por los modelos son aún inseguros para ser directamente utilizados. Estas deficiencias pueden ser superadas en la medida en que se obtenga un mayor número de análogos paleoclimáticos, tanto continentales como marinos, que permitan incrementar nuestro conocimiento acerca del cambio global, conjuntamente con el desarrollo tecnológico de la computación.

En el presente trabajo, se presentan evidencias de escala antropozoica, relacionadas con las variaciones climáticas, los tipos y los principios generales de funcionamiento de los modelos climáticos, los modelos empíricos paleoclimáticos, y por último, la comparación entre los registros paleoclimáticos y los escenarios propuestos por los modelos.

2. Los cambios climáticos globales a escala antropozoica

Las variaciones climáticas siempre han existido en la historia del planeta Tierra; sin embargo, todo parece indicar que, durante la época antropozoica, la influencia del hombre ha contribuido y continúa contribuyendo a elevar los niveles de concentración del CO_2 atmosférico y, con ello, la temperatura terrestre. Por mencionar sólo algunos ejemplos: (1) de acuerdo con el estudio geoquímico del aire atrapado en las capas de hielo de la artártida, la concentración de CO_2 varió de 280 ppmv, en el año de 1750, a 290 ppmv en 1880 (Siegenthaler y Oeschger, 1987); (2) las medidas realizadas en el Mauna Loa, Hawai, muestran una variación de 315 ppmv en el año de 1958 a 346 ppmv en 1985, es decir, un incremento de 10% en 28 años (Keeling y Boden, 1986, cit. por Schlesinger, 1989).

Ante éstas y otras evidencias, los climatólogos, desde hace aproximadamente 50 años, comenzaron a reunir todos los datos relacionados con los cambios climáticos, tales como: las periodicidades de las mareas, el ritmo de las manchas solares, los ciclos de los ápsides lunares, las variaciones de los niveles marinos, y del albedo; las variaciones en el crecimiento de ciertos organismos (los cangrejos *Callinectes Sapidus*, de la bahía Chesapeake, Libby, 1983); los anillos de crecimiento de los árboles; los registros históricos como indicadores de las variaciones climáticas (la revolución francesa, la revolución americana contra la corona inglesa); y los datos de las variaciones de tipo histórico-económicas.

Al mismo tiempo, con el desarrollo tecnológico de los instrumentos científicos de mediciones atmosféricas, y el progreso en la computación, actualmente se cuenta con modelos numéricos que permiten con base en el conocimiento hidrodinámico de la atmósfera, predicciones climáticas con intervalos de tiempo de décadas a siglos.

3. Los modelos climáticos

Debido al gran interés mundial que existe por conocer las causas y los efectos de los cambios climáticos globales, actualmente se dispone de modelos matemáticos computarizados, utilizando como valor el doble de la concentración actual de CO_2 (de 300 a 600 ppmv), que pronostican un aumento en la temperatura de hasta 5.2°C para mediados del próximo siglo, valor comparable al ocurrido durante la transición entre el último máximo glacial y el presente interglacial (Gates, 1976a).

En general, existen tres tipos de modelos climáticos para simular los cambios en el equilibrio climático resultado del incremento de $2\times\text{CO}_2$: (1) modelos de Balance Energético (EBMs: energy-balance models); (2) modelos Convectivos-Radiativos (RCMs: radiative-convective models); y (3), modelos de circulación atmosférica general (GCMs: General Circulation Models).

3.1. Modelos de Balance Energético

Desarrollados inicialmente en la ex URSS (Budyko, 1969) y en los Estados Unidos (Seller, 1969), estos modelos pronostican variaciones en la temperaturas de la superficie terrestre en términos de valores promedios globales y zonales. En éstos, los flujos de la energía meridional (producto de la circulación atmosférica y oceánica), y las pérdidas de energía del planeta se parametrizan en forma de gradientes de temperatura. Es decir, de incrementarse la concentración de los gases de invernadero tendríamos cambios en el flujo de la energía radiativa, que, a su vez, provocaría un aumento de la temperatura de superficie.

Debido a que los flujos de energía se expresan en términos de temperaturas de superficie, las estimaciones de los promedios globales de calentamiento que se producirían, de duplicarse la concentración del CO₂ atmosférico, cubren rangos muy amplios que varían de 0.2 a 10°C.

3.2. Modelos Radiativos-Convectivos.

Estos modelos determinan el equilibrio vertical de la temperatura de la atmósfera y de la superficie subyacente, para un valor de insolación solar determinado y, además describen la composición de la atmósfera y del albedo de superficie, siempre en términos de promedio globales. En estos modelos se considera a la troposfera en equilibrio radiativo convectivo, y a la estratosfera en equilibrio radiativo. Así, de aumentar la concentración de los gases de invernadero, se producirían cambios en el perfil vertical de equilibrio térmico de la energía radiativa, fenómeno que provocaría un calentamiento superior al actual, de la superficie terrestre, de 0.48 a 4.2°C, y un enfriamiento generalizado de la estratosfera. Como resultado del aumento de la temperatura troposférica se producirían variaciones en la densidad del aire y, como consecuencia, movimientos convectivos.

3.3. Modelos de la circulación general de la atmósfera (GCM)

Estos modelos, además de determinar las temperaturas de superficie y los perfiles térmicos atmosféricos, determinan las distribuciones geográficas de la precipitación, los contenidos de vapor de agua, los valores de las presiones de superficie, los porcentajes de humedad de los suelos, y los valores del albedo de las áreas cubiertas por nieve, nubes o ambas. Además, por medio de estos modelos se pueden precisar las distribuciones geográficas de las temperaturas de las superficies oceánicas (SST: Sea Surface Temperature) y las distribuciones de los icebergs.

Los modelos tipo GCM se basan en los principios de conservación de la energía y la conservación de masa, así como en la segunda ley de movimiento de Newton. Estas leyes definen los intervalos de tiempo durante los cuales ocurren las variaciones de temperatura, las variaciones de presiones de superficie, y los cambios en la velocidad del viento. Las cantidades que se obtienen se denominan variables pronósticas.

Los patrones de movimiento, a gran escala, de la circulación atmosférica, se determinan por medio del cálculo de la liberación del calor latente, cuando el vapor de agua se condensa o se sublima; por tanto, la concentración del vapor de agua en los suelos y en las masas continentales de nieve también es considerada como variable pronóstica.

Para su funcionamiento, los modelos atmosféricos requieren, además, de variables, denominadas diagnósticas, cuyas magnitudes se rigen por leyes [cf. Tabla Núm. 1]. Estas leyes se describen matemáticamente como ecuaciones diferenciales parciales; sin embargo, debido a que en la actualidad no existe método alguno de resolución, por la complejidad de las mismas, se utilizan métodos numéricos en los que el comportamiento de la atmósfera se determina en forma espacial y temporal. Por último, para las simulaciones climáticas es necesario el ordenamiento de varios parámetros y condiciones límites [cf. Tabla Núm. 2].

De manera general, los modelos del GCM subdividen la atmósfera, verticalmente, en capas (de 2 a 11), y horizontalmente en mallas (de 500 a 1,000 km.); estas últimas no se seleccionan

con base en las características físicas de los continentes, sino en las limitaciones de cálculo de las supercomputadoras; por ejemplo: para una simulación de cambio climático, para una malla de 500 km se requiere de 300 horas de cómputo; si incrementáramos la resolución, para 50 km. necesitaríamos 40 años. Debido a estas limitaciones, los modelos tienen una escala de resolución mínima horizontal de 1000 km.

Se cuenta en la actualidad con diferentes tipos de modelos GCM, tales como: el GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Wetherald and Manabe, 1986); el GISS (Goddard Institute for Space Studies, Hansen *et al.*, 1984); el NCAR (National Center for Atmospheric Research, Washington y Meehl, 1984); el OSU (Oregon State University, Schlesinger y Zhao, 1989), y el UKMO (United Kingdom Meteorological Office, Wilson y Mitchel, 1987). En todos ellos los pronósticos de variaciones de las temperaturas del aire de superficie simulados para una concentración de $2 \times \text{CO}_2$ varían de 2.8 a 5.2°C, y los promedios globales de precipitación anual, de 7.1 a 15% (Schlesinger, 1989).

Estos modelos también han sido utilizados para las simulaciones paleoclimáticas del Cenozoico y del Mesozoico, y en todas ellas se presentan altas concentraciones de CO_2 y temperaturas del orden de 4X a 10X superiores a los valores actuales (cf. Barron y Washington, 1982, 1984, 1985; Barron, 1985; Crowley *et al.*, 1986).

Tabla 1. Principales variables pronósticas y diagnósticas en los modelos de Circulación Atmosférica General GCM (in: MacCracken *et al.*, 1990)

VARIABLES PRONOSTICAS	VARIABLES DIAGNOSTICAS
Presión de superficie	Velocidad vertical
Temperatura	Elevación geopotencial
Componentes de la velocidad horizontal	Densidad
Temperatura del suelo	Nubes
Humedad del suelo	Albedo de superficie
Masas de nieve	

Tabla 2. Parámetros y condiciones límites en los modelos de Circulación General de la Atmósfera, GCM (in: MacCracken *et al.*, 1990)

Radio, gravedad de superficie, y velocidad de rotación de la Tierra.
 Constante solar y parámetros orbitales de la Tierra.
 Masa total de la atmósfera y su composición.
 Constantes termodinámicas y radiación de los gases y nubes de la atmósfera.
 Albedo de superficie y tipo de suelo para definir sus características hidrológicas.
 Topografía de la superficie.

4. Los modelos empíricos: la paleoclimatología cuaternaria

Hace 20 años Budyko (1974) declaró : "A pesar de los grandes progresos realizados por los estudios modernos de la teoría climática, los modelos numéricos disponibles para los regímenes meteorológicos son aproximativos, y su verificación es limitada por innumerables restricciones. Es evidente que los datos empíricos de los cambios climáticos son muy importantes tanto para la construcción de modelos numéricos como para la validación de las teorías de los cambios climáticos globales".

Los modelos empíricos, desde los años 70 se han venido desarrollando con el objeto de obtener

análogos paleoclimáticos que sirvan tanto para la construcción como para la validación de los resultados de los modelos climáticos. En su elaboración se emplean diferentes tipos de datos que varían, desde los meteorológicos, prehistóricos e históricos, hasta los proporcionados por los estudios de reconstrucción paleoambiental, principalmente del período más reciente de la Tierra, el Cuaternario (Pleistoceno/Holoceno). Así, contamos en la actualidad, a pesar de ser aún insuficientes, de cronoestratigrafías terrestres regionales, de datos geoquímicos del aire entrampado en las capas de hielo de las regiones árticas y antárticas, datos de los paleosuelos desarrollados en los loess y, además, con la evolución de nuevas técnicas de datación, como la espectrometría de masas, la termoluminiscencia, la resonancia electromagnética (ESR), las medidas del ^{10}Be , las medidas de la relación $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y los isótopos de $\equiv^{18}\text{O}$ y $\equiv\text{D}$, con lo que nuestro conocimiento de las condiciones paleoclimáticas ha aumentado considerablemente.

Por ejemplo, por medio de los análisis de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de los foraminíferos bentónicos y planctónicos, sabemos que las concentraciones de CO_2 durante las épocas glaciales fueron relativamente bajas, y más elevadas durante los interglaciales (Shackleton *et al.*, 1983; Pisias y Shackleton, 1984; Shackleton y Pisias, 1985). De una manera general, estos resultados han sido corroborados por los estudios geoquímicos del aire entrampado en los hielos de la región ártica (Barnola *et al.*, 1987; Neftel *et al.*, 1988), en los que se citan concentraciones promedios de CO_2 , de 180-200 ppmv durante el máximo glacial, de 280 ppmv en el siglo XVII, y de 348 ppmv para el año de 1987 (Neftel *et al.*, 1987); de igual manera, en la región antártica (Lorius, 1990) se mencionan datos, para las épocas glaciales, de 25% de CO_2 y de 50% de CH_4 inferiores a las concentraciones de los interglaciales. En lo que respecta a las paleotemperaturas, los estudios isotópicos del $\text{equiv}^{18}\text{O}$ y $\equiv\text{D}$ (Lorius *et al.*, 1985; Jouzel *et al.*, 1987) reportan variaciones de ca. 4°C entre los ciclos glaciales/interglaciales, cantidad comparable a la pronosticada por los modelos, de duplicarse la concentración del CO_2 en las próximas décadas.

5. Analogía entre los datos paleoclimáticos y los resultados de los modelos

Los modelos sugieren un aumento gradual en la temperatura de 1.5 a 4.5°C , para las próximas décadas, y de incrementarse la concentración de $2\times\text{CO}_2$, este incremento será de 1°C hacia el año 2000, para el hemisferio norte, condiciones de temperatura análogas a las del óptimo holocénico; para el año 2025 será de 2°C , similar al del interglacial eemiano (125000 a. A.P.); y por último, hacia mediados del próximo siglo, el calentamiento corresponderá aproximadamente a 4°C , parecido al del óptimo pliocénico (de 4.3 a 3.3 ka.A. P.).

Los modelos prevén también un incremento considerable de la aridez para la parte central de América del Norte y Eurasia (Manabe y Wetherald, 1986; Washington y Meehl, 1984). Una sequía similar provocada por los cambios en la insolación orbital (Kutzbach y Getter, 1986) aconteció durante el período cálido del Holoceno Temprano (de ca. 10,000 a ca. 6,000 a. A. P.; COHMAP, 1988).

El calentamiento global pronosticado podría incrementar en aproximadamente 5 m los niveles marinos del mundo debido a la ablación del glaciar antártico (Mercer, 1978); un nivel similar se observó durante el interglacial de ca. 125,000 a. A. P. (Mesolella *et al.*, 1969; Dodge *et al.*, 1983). Además, el efecto de invernadero podría provocar la transferencia de la masa del carbón de la biosfera y de la hidrosfera a la atmósfera (Bryan y Spelman, 1985); este escenario cuenta con una evidencia geológica durante el Cretácico, en el cual la circulación termohalina fue menos intensa con bajos niveles de productividad de los océanos, y niveles de CO_2 del orden de $2-3\times$ superiores a los actuales (Barron, 1983).

6. Discrepancia entre la paleoclimatología y los modelos climáticos

Todos los modelos climáticos predicen un calentamiento global, sin embargo, algunos registros geológicos sugieren que tal escenario puede ser no válido, por ejemplo:

1. Los datos de las fluctuaciones climáticas históricas, como la "Pequeña Edad de Hielo" (de ca. 1450 a 1890 a. D.C), muestran temperaturas inferiores a las actuales, del orden de 1 a 1.5°C, en la mayor parte de la Tierra (Crowley, 1983, Mosley-Thomson y Thomson, 1982), y a pesar de que el origen de estas fluctuaciones climáticas (de 1000 a 2000 años) no ha sido aún bien determinado, sabemos que la última fase ocurrió hace ca. 300 años y, por tanto, existen probabilidades de que un enfriamiento ocurra en los próximos siglos y modifique el calentamiento previsto por los modelos;
2. Dansgaard *et al.* (1971), basados en el análisis estadístico de las series de tiempo de los isótopos de $\equiv 18O$ de un núcleo de la región de Groenlandia, proponen un mínimo "natural" de temperaturas atmosféricas a finales del siglo XX, es decir, al mismo tiempo que los modelos climáticos suponen un calentamiento global.
3. Para el hemisferio sur y durante el último glacial, los modelos climáticos del GCM infieren una disminución de la temperatura de 4 a 5°C con respecto a la actual (Hansen *et al.*, 1984; Broccoli y Manabe, 1987), mientras que las estimaciones realizadas por medio de los isótopos de $\equiv 18O$, en los núcleos de hielo de la Antártida (Jouzel *et al.*, 1987) sólo reportan la mitad de estos valores.
4. Por último, los modelos océano-atmósfera predicen que el aumento de $2 \times CO_2$ debió incrementar las temperaturas de las superficies oceánicas (SST) de ca. 4-5°C (Manabe y Bryan, 1985); sin embargo, aún es incierto que estas altas concentraciones de CO_2 hayan sido eliminadas por las bajas temperaturas de las latitudes septentrionales.

7. Conclusiones generales

1. A pesar de su indiscutible eficiencia para regiones templadas, no existe concordancia entre los valores de las temperaturas pronosticadas por los diferentes modelos si se duplicara la concentración del CO_2 y aumentaran los gases de invernadero; además los fenómenos naturales que influyen directa e indirectamente en el clima, como los observados por medio de imágenes de satélite: los anticiclones polares móviles (Leroux, 1992) y las emisiones volcánicas; las variaciones de la radiación solar; la influencia de los aerosoles, a nivel troposférico, de las actividades agrícolas, biológicas e industriales; la inercia térmica de los océanos y los ciclos del carbono, aún no han sido objeto de modelización. Por último, de acuerdo con Schneider (1991), los modelos climáticos actuales toman en consideración, por motivos de cálculo, el doble de la concentración del CO_2 atmosférico mientras que en la actualidad sólo se registra 1/4 de este incremento. Consideramos por tanto, que los resultados de los modelos climáticos son aún insuficientes para ser directamente utilizados en la prevención de fenómenos reales, a escalas de cambios globales.
2. Un sistema natural tan complicado como el geobiosférico debe ser estudiado por medio de la asociación estrecha entre las ciencias naturales y las ciencias exactas. La comprensión, después la modelización y la predicción del funcionamiento, en las que el hombre interfiere de una manera no despreciable y exponencial, necesita de una aproximación a la vez naturalista y matemática. Sólo combinando los resultados de las aproximaciones empíricas con los de los modelos climáticos estaremos en posibilidad de incrementar la veracidad acerca de los futuros cambios climático/ambientales.
3. Los modelos climáticos pronostican un calentamiento global, superior al actual, de varios grados centígrados, cuyas consecuencias serían, principalmente, la disminución de los contrastes térmicos de temperatura entre el ecuador y los polos; alteraciones en las presiones atmosféricas y en la circulación general de la atmósfera, lo cual provocaría transformaciones en los regímenes de precipitación, y la expansión, hacia latitudes septentrionales, de las zonas subtropicales situadas dentro del cinturón de las altas presiones del hemisferio norte (Budyko e Izrael, 1990), además, las sequías serían más frecuentes en las regiones situadas en las lati-

tudes medias, y la humedad más homogénea en el interior de los continentes; menor humedad de los suelos en las regiones septentrionales, actualmente húmedas, y mayor en las regiones áridas.

Este escenario es característico de las épocas cálidas del pasado geológico; sin embargo, en México no contamos con análogos paleoclimáticos que nos permitan caracterizar las regiones vulnerables ante tal cambio global; por tal motivo, el Instituto de Geofísica de la UNAM, con apoyo financiero del CONACyT, llevará a cabo un proyecto de investigación de reconstrucción paleoambiental en el norte de México (regiones áridas y semiáridas), cuyos resultados podrán ser comparados con la información existente sobre los estudios de paleoclimatología realizados en la parte central del país, con el objeto de conocer cuáles fueron los efectos de las condiciones glaciales/interglaciales, y, de esta manera contar con un marco de referencia en la utilización de cualquier modelo climático.

4. Con el propósito de mejorar nuestro conocimiento acerca de las causas de los cambios climáticos, se deben intensificar los estudios paleoclimáticos hacia latitudes intertropicales y tropicales; en el caso de México éstos son aún insuficientes y, por tanto, no contamos con análogos paleoclimáticos que permitan validar los resultados de los modelos climáticos; además, como oportunamente se ha mencionado, la resolución de estos últimos es evidentemente inadecuada, por lo menos hasta el momento actual, debido a que las resoluciones horizontales, de 1000 km, de ninguna manera reflejan las condiciones del ambiente reales, ni presentes ni futuras.

Agradecimientos

Se agradece al Sr. Carlos Jaso Vega la revisión gramatical.

REFERENCIAS

- Barnola, J. M., D. Raynaud, Y. S. Korotkevich and C. Lorius, 1987. Vostok ice core provides 160,000-year record of atmospheric CO₂. *Nature*, **329**, pp. 408:414.
- Barron, E. J., and W. M. Washington, 1982. Cretaceous climate: A comparison of atmospheric simulations with the geologic record. *Palaeogeog., Palaeoclim., Palaeoecol.*, **40**, pp. 103:133.
- Barron, E. J., 1983. A warm, equable Cretaceous: The nature of the problem. *Earth Sci. Rev.*, **19**, pp. 309:338.
- Barron, E. J., and W. M. Washington, 1984. The role of geographic variables in explaining paleoclimates: Results from Cretaceous climate model sensitivity studies. *J. Geophys. Res.*, **89**, pp. 1267:1279.
- Barron, E. J., 1985. Explanations of the Tertiary global cooling trend. *Palaeogeog., Palaeoclim., Palaeoecol.*, **50**, pp. 45:61.
- Barron, E. J., and W. M. Washington, 1985. Warm Cretaceous climates: High atmospheric CO₂ as a plausible mechanism. In: *The carbon cycle and atmospheric CO₂: Natural variations Archean to Present*, eds. E. T. Sundquist and W. S. Broecker, Amer. Geophys. Union, Washington DC, pp. 546:553.
- Broccoli, A. J., and S. Manabe, 1987. The influence of continental ice, atmospheric CO₂, and land albedo on the climate of last glacial maximum. *Clim. Dynam.*, **1**, pp. 87:100.
- Budyko, M. I., 1969. The effect of solar radiation variations on the climate of the Earth. *Tellus*, **21**, pp. 611:619.
- Budyko, M. I., 1974. Climatic changes. *Gidrometeoizdat*, Leningrad, 280 pp. (English Translation: American Geophysical Union, 1977, 261 pp.)
- Budyko, M. I., and Yu. A. Izrael, 1990. Anthropogenic Climate Change. English translations: Arizona University Press, 485 p.

- Bryan, K., and M. J. Spelman, 1985. The ocean response to CO₂-induced warming. *J. Geophys. Res.*, **90**, pp. 11679:11688.
- COHMAP Members, 1988. Climatic changes of the last 18,000 years: Observations and model simulations.- *Science*, **241**, pp. 1043:1052.
- Crowley, T. J., 1983. The geologic record of climatic change. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **21**, pp. 828:837.
- Crowley, T. J., D. A. Short, J. G. Mengel and G. R. North, 1986. Role of seasonality in the evolution of climate during the last 100 million years. *Science*, **231**, pp. 579:584.
- Crowley, T.J., 1989. Paleoclimatic perspectives on a greenhouse warming. In: *Climate and Geosciences*, ed. A. Berger, Kluwer Academic Publisher, p. 179:207.
- Dansgaard, W., S. J. Johnsen, H. B. Clausen and C. C. Langway, 1971. Climatic record revealed by the Camp Century ice core. In: *The Late Cenozoic glacial ages*. ed. by K. K. Turekian, pp. 37:56. Yale University Press.
- Dodge, R. E., R. G. Fairbanks, L. K. Benninger and F. Maurrasse, 1983. Pleistocene sea levels from raised coral reefs of Haiti. *Science*, **219**, pp. 1423:1425.
- Gates, W. C., 1976a. Modeling the ice-ages climate. *Science*, **191**, pp. 1138:1144.
- Hansen, J., A. Lacis, D. Rind, G. Russell, P. Stone, I. Fung, R. Ruedy y J. Lerner, 1984. Climate sensitivity: Analysis of feedback mechanisms. In: J. E. Hansen and T. Takahashi, eds., *Geophys. Union*, Washington, DC, pp. 130:163.
- Jones, P. D., T. M. L. Wingley and P. B. Wright, 1986. Global temperature variations between 1861 and 1984. *Nature*, **322**, p. 430:434.
- Jouzel, P. D., C. Lorius, J. R. Petit, C. Genthon, N. I. Barkov, V. M. Kotlyakov and V. M. Petrov, 1987. Vostok ice core: A continuous isotope temperature record over the last climate cycle (160,000 years). *Nature*, **329**, pp. 103:118.
- Keeling, C.D., and C. D. Boden, 1986. Atmospheric CO₂ concentration Mauna Loa Observatory, Hawaii 1958-1986. Carbon Dioxide Information Center *CDIC (numeric data collection, NDP-001/R1 Oak Ridge National Laboratory, 17 pp., cit par. Schlesinger, M. E., 1989.- Model projections of the climatic changes induced by increased atmospheric CO₂.- In: A. Berger, S. Schneider y J. Cl. Duplessy (eds.) *Climate and Geo-Sciences*, pp. 375:415. Kluwer Academic Publishers.
- Kutzbach, J. E., and P. J. Guetter, 1986. The influence of changing orbital parameters, and surface boundary conditions on climate simulations for the past 18,000 years.- *J. Atmos. Sci.*, **43**, pp. 1726-1759.
- Leroux, M., 1993. The Mobile Polar High: a new concept explaining present mechanisms of meridional air-mass and energy exchanges and global propagation of paleoclimatic changes. *Global and Planetary Change*, **7**, 1-3, pp. 69:94.
- Libby, L. M., 1983. Past climates: Tree thermometers, commodities, and people. University of Texas Press, Austin, 143p.
- Lorius, C., J. Jouzel, C. Ritz, L. Merlivat, N. I. Barkov, Y. Korotkevich and M. V. Kotlyakov, 1985. A 150,000 year climatic record from Antarctic ice.- *Nature*, **316**, pp. 591:596.
- Manabe, S. and K. Bryan, 1985. CO₂-induced change in a coupled ocean-atmosphere model and its paleoclimatic implications. *J. Geophys. Res.*, **90**, pp. 11689:11708.
- Manabe, S., and R. T. Wetherald, 1986. Reduction in summer soil wetness induced by an increase in atmospheric carbon dioxide. *Science*, **232**, pp. 626:628.
- Mercer, J. H., 1978. West Antarctic ice sheet and CO₂ greenhouse effect: A threat of disaster. *Nature*, **271**, pp. 321:325.
- Mesolella, K. J., R. K. Matthews, W. S. Broecker and D. L. Thurber, 1969. The astronomical theory of climatic change: Barbados data. *J. Geol.*, **77**, pp. 250:274.

- Mosley-Thompson, E., and L. G. Thompson, 1982. Nine centuries of microparticle deposition at the South Pole. *Quat. Res.*, **17**, pp. 1:13.
- Neftel, A., H. Oeschger, T. Staffelbach and B. Stauffer, 1988. CO₂ record in the Byrd ice core 50,000-5,000 years B.P. *Nature*, **331**, pp. 609:611.
- Pisias, N. G. and N. J. Shackleton, 1984. Modeling the global climate response to orbital forcing and atmospheric carbon dioxide changes. *Nature*, **310**, pp. 757:759.
- Schlesinger, M. E., 1989. Model projection of the climatic changes induced by increased atmospheric CO₂. In: *Climate and Geosciences*, ed. A. Berger, Kluwer Academic Publisher, p.
- Schlesinger, M., M. E., and Z. C. Zhao, 1989. Seasonal climatic changes induced by doubled CO₂ as simulated by OSU atmospheric GCM/Mixed-Layer ocean model. *J. Climate*, **2**, pp. 463:499.
- Schneider, S. H., 1991.- Global warming: Causes, effects, and implications. Ch. S. Sloane, Ch. S., and Th. W. Tesche, eds., 1991., *Atmospheric chemistry models and predictions for climate and air quality.*, Lewis Publishers, Inc, pp. 25:45.
- Sellers, W. D., 1969.- A global climate model based on the energy balance of the Earth-atmosphere system. *J. Appl. Meteorol.*, **8**, pp. 392:400.
- Shackleton, N. J. and N. S. Pisias, 1985. Atmospheric carbon dioxide orbital forcing and climate. In : *The carbon cycle and atmospheric CO₂, Natural variations, Archean to Present*, eds. E. T. Sundquist and W. S. Broecker. *Geophys. Mono.* **32**, Amer. Union.
- Siegenthaler, U., and H. Oeschger, 1978. Predicting future atmospheric CO₂ levels. *Science*, **199**, pp. 388:395.
- Skacleton, N. J., M. A. Hall, J. Line and S. Cang, 1983. Carbon isotope data in core V19-30 confirms reduced carbon dioxide of the ice-age atmosphere. *Nature*, **306**, pp. 319:322.
- Washington, W. y G. Meehl, 1984. Seasonal cycle experiment on the climate sensitivity due to a doubling of CO₂ with an atmospheric general circulation model coupled to a mixed layer ocean. *Geophys. Res.*, **89**, pp. 9475-9503.
- Wilson, C. A., and J. F. B. Mitchell, 1987. A doubled CO₂ climate sensitivity experiment with global climate model including a simple ocean.- *J. Geophys. Res.*, **92**, **13**, pp. 315:343.

La sequía en México

MA. ENGRACIA HERNANDEZ CERDA

Instituto de Geografía, UNAM, Circuito Exterior, CU, 04510, México, D. F., México

RESUMEN

Las sequías producen severos efectos en el medio ambiente, en la sociedad y la economía. Es por ello que actualmente a nivel mundial se le está dando un gran interés a este fenómeno que se torna más amenazador en el contexto del calentamiento asociado al problema del cambio global, entre cuyas consecuencias el aumento de la frecuencia de sequías en determinadas zonas del planeta es uno de los más serios problemas que posiblemente tendrá que enfrentar la humanidad. Actualmente se está trabajando en la distribución espacial de la sequía meteorológica en nuestro país. Se han determinado cinco grados de intensidad de este fenómeno por medio de las anomalías de precipitación respecto a la moda (valor más frecuente) de largo periodo. Se consideran años muy secos a los de anomalías entre -25 y -50% y años secos en extremo a los de anomalías mayores a -50%. Los porcentajes de ambos se obtuvieron para el periodo 1921-1980 y se designan así: muy alta intensidad más de 20, alta entre 15 y 20, moderada entre 10 y 15, baja entre 5 y 10 y muy baja menor de 5.

ABSTRACT

Droughts produce severe effects in the environment, as well as in society, and economy. That is why in present times, and throughout the world, this phenomenon is raising a great interest and it is more threatening day by day, in the context of heating associated to the problem of global changing. Among the consequences of the latter, increase of drought frequency in certain zones of the planet is one of the most severe problems mankind will probably have to face.

This study proposes to work on the space distribution of meteorological drought in our country. Five intensity degrees of this phenomenon have been determined by means of precipitation anomalies, with respect to the long period mode (most frequent value). Years with the anomalies between -25 and -50% are considered as very dry; and extremely dry years the ones with anomalies higher than -50%. Both percentages were obtained for the 1921-1980 period and they are assigned in the following way: very high intensity, more than 20; high, between 15 and 20; moderate, between 10 and 15; low, between 5 and 10; very low, under 5%.

1. Introducción

La sequía, precursora del hambre es sin duda alguna uno de los peores enemigos naturales de la humanidad. No solamente afecta cada año a la vida económica y social de millones de personas, sino que de vez en cuando pone en peligro la misma existencia de naciones enteras.

En muchas partes del mundo la historia climática reciente ha incluido pertinaces y graves sequías, difíciles de soportar incluso por ecosistemas sanos. En la mayoría de las zonas examinadas las consecuencias han sido severas, pues el medio se encuentra bajo fuerte presión para producir cantidades crecientes de alimentos, madera, fibra y agua (Hare, 1985).

Las sequías son fenómenos bastante frecuentes a escala mundial. Su incidencia varía considerablemente de un año a otro, y a un año de ligera sequía puede sucederle otro con sequías pertinaces.

Es importante distinguir entre sequía y aridez, pues la primera es un fenómeno temporal mientras que la segunda es una característica permanente del clima en amplias zonas geográficas.

La sequía encierra significados distintos para diferentes personas, en función de su interés o su necesidad de que llueva. En forma habitual la sequía se considera como un fenómeno meteorológico, pero también pueden darse sequías usando diferentes enfoques: el agrícola, hidrológico, biológico, ambiental urbano o social, etc. Por ejemplo, para un agricultor la sequía puede significar deficiencia de humedad en la tierra de cultivo mientras que un hidrólogo puede considerarla como un nivel de agua menor que un valor promedio en presas, acuíferos, ríos y lagos. En el sentido económico, sequía significa un déficit de agua que afecta un nivel establecido de producción

o de uso del agua. Tales puntos de vista dependen básicamente, de los efectos prolongados de las condiciones climáticas con deficiencia de agua y/o humedad.

En términos generales, sequía meteorológica puede definirse en función del grado de falta de agua (expresado en porcentaje con respecto a la pluviosidad media anual o estacional a largo plazo) y de su duración en una región dada.

En sí se han listado más de 60 definiciones de sequía, muchas de ellas basadas en anomalías de precipitación, otras en temperatura, evapotranspiración, radiación solar, humedad del suelo y etapa de desarrollo de la planta.

En nuestro país, se tiene información de la ocurrencia de sequías con efectos devastadores en la economía agrícola desde los pueblos prehispánicos. (Castorena, *et al.*, 1980).

2. Método

No obstante la magnitud de los daños que causan las sequías en el mundo, la investigación, el estudio y conocimiento acerca de ellas son inferiores en comparación con otros fenómenos naturales que originan desastres. La falta de un mejor conocimiento de las sequías no permite elaborar programas y acciones concretas encaminadas, por un lado, a mitigar sus efectos y por otro, a prestar auxilio oportuno a los afectados.

Por tal motivo, se inició el proyecto de investigación: Estudio de la Sequía Meteorológica en México en colaboración con la Maestra Enriqueta García, donde la primera etapa consistió en la realización y análisis de 60 cartas de anomalías de la precipitación respecto a la moda estadística de largo periodo en la República Mexicana para los años de 1921 a 1980. Se utilizaron 542 estaciones meteorológicas distribuidas a lo largo del territorio nacional (García y Hernández, 1988).

Se eligió la moda estadística, sobre la media aritmética porque representa los valores más frecuentes de la precipitación, dicha medida tiene una probabilidad de ocurrir entre 70 y 75%.

En efecto, la curva de frecuencia de precipitación es generalmente asimétrica, su asimetría se acentúa al aumentar la aridez. Su valor más frecuente (moda), que corresponde a la parte más alta de la curva, no coincide con el promedio aritmético de la serie, sino que es siempre menor que él. Esto se acentúa en los meses o años secos por lo que los métodos estadísticos que deben emplearse para evaluar el comportamiento de la precipitación no pueden ser los de una distribución normal o gaussiana.

Mosiño y García (1978 y 1981) han demostrado que la moda estadística, o sea el valor más frecuente de la precipitación, es una medida más representativa de la tendencia central que la media aritmética, promedio generalmente utilizado, y por tanto, de una gran utilidad para determinar el índice de pluviosidad de una zona.

Se llama índice de pluviosidad a la medida que representa la cantidad de lluvia registrada en un lugar durante un lapso determinado.

Estos autores proponen la siguiente fórmula para el cálculo de la moda:

$$Mo = x - \frac{SD^2}{X}$$

SD es la desviación estandar de la serie, lo que simplifica grandemente el cálculo de la moda, ya que basta conocer la media aritmética *X* y calcular la desviación estándar.

Se calcularon las anomalías anuales de la precipitación respecto a la moda, de 542 estaciones pluviométricas de largo periodo en la República Mexicana las que constituyen una referencia más significativa para juzgar si un año tuvo precipitación abundante o deficiente, y proporcionan un medio de evaluar la sequía meteorológica. Se utilizó la fórmula:

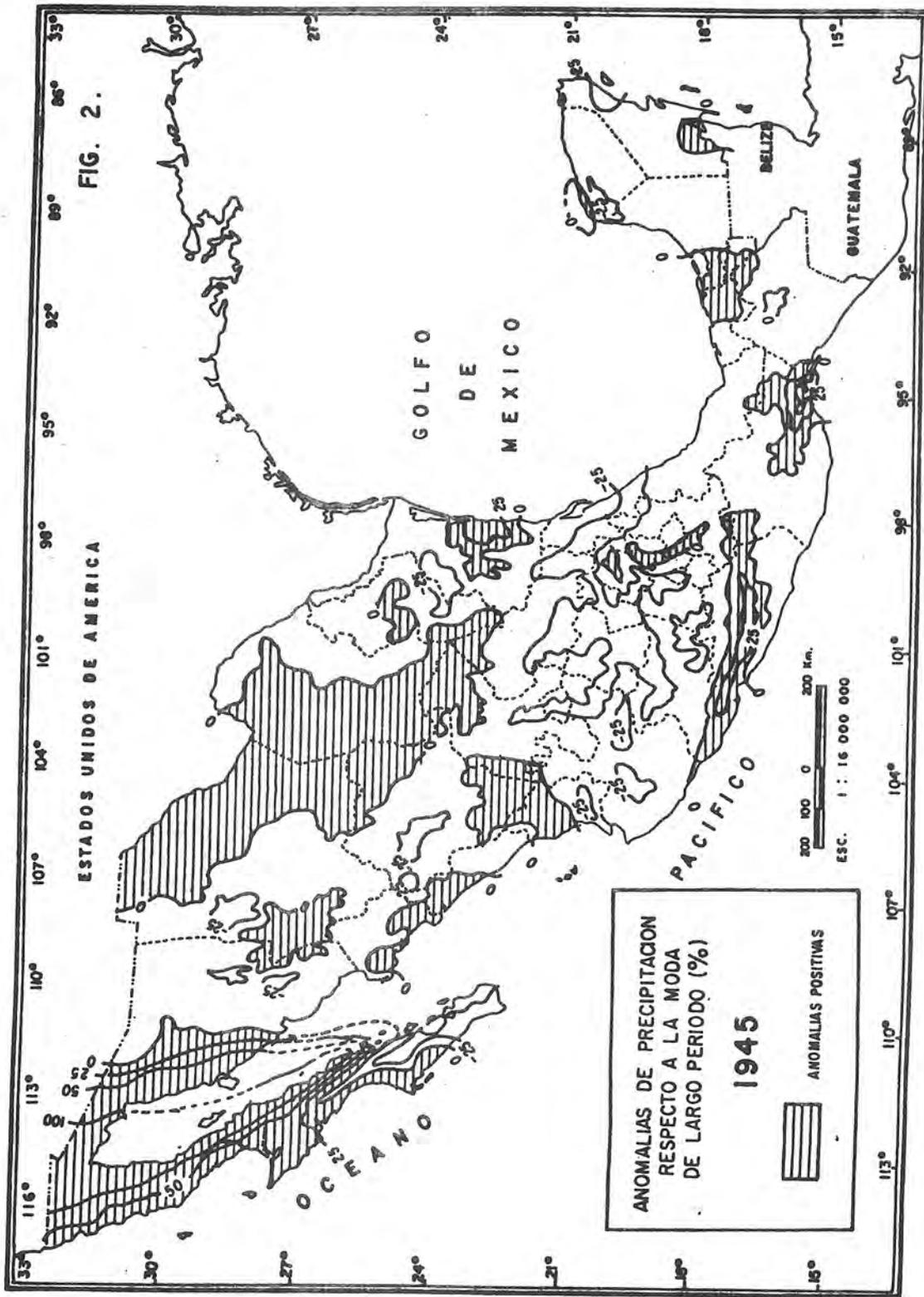
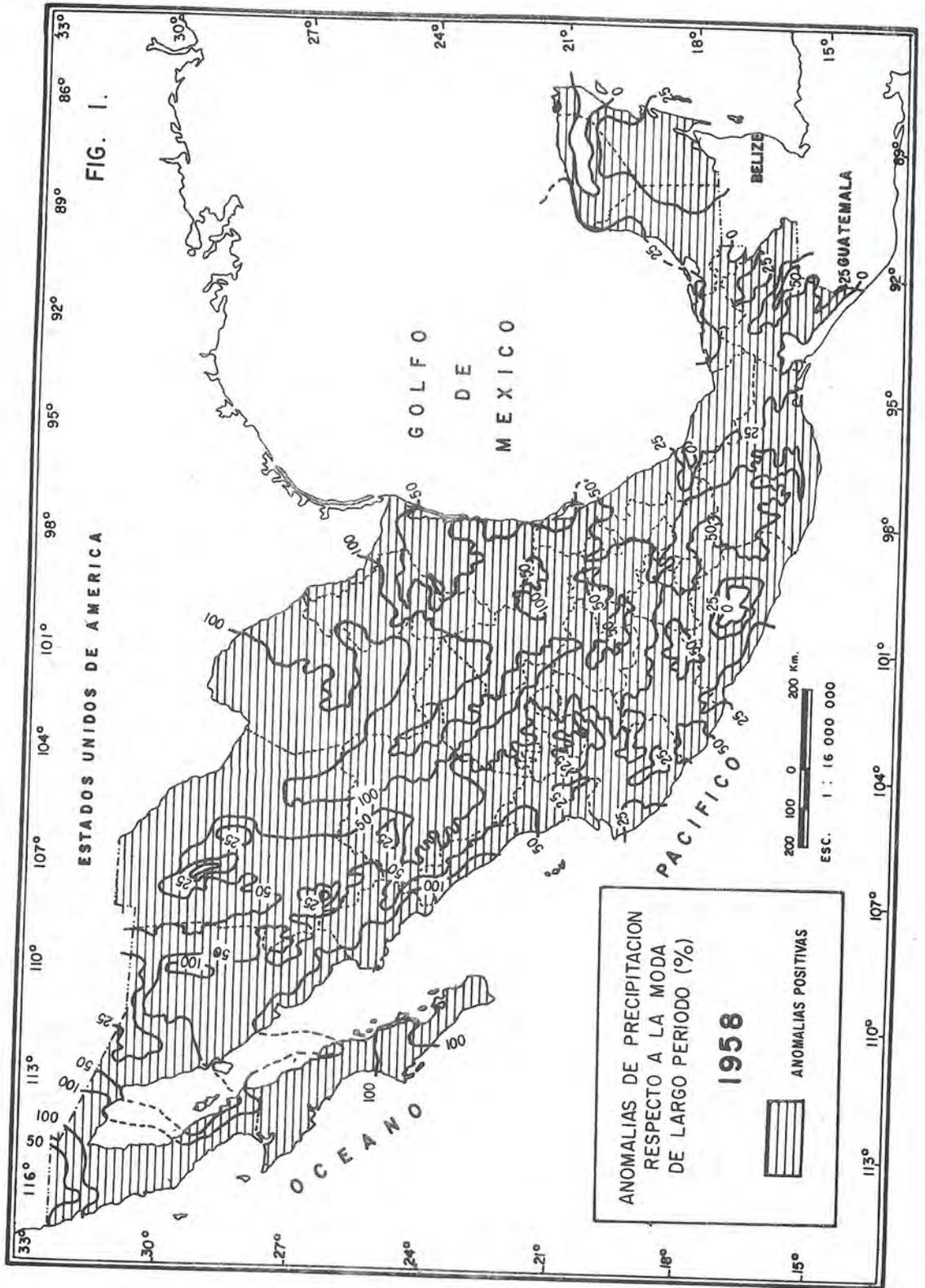
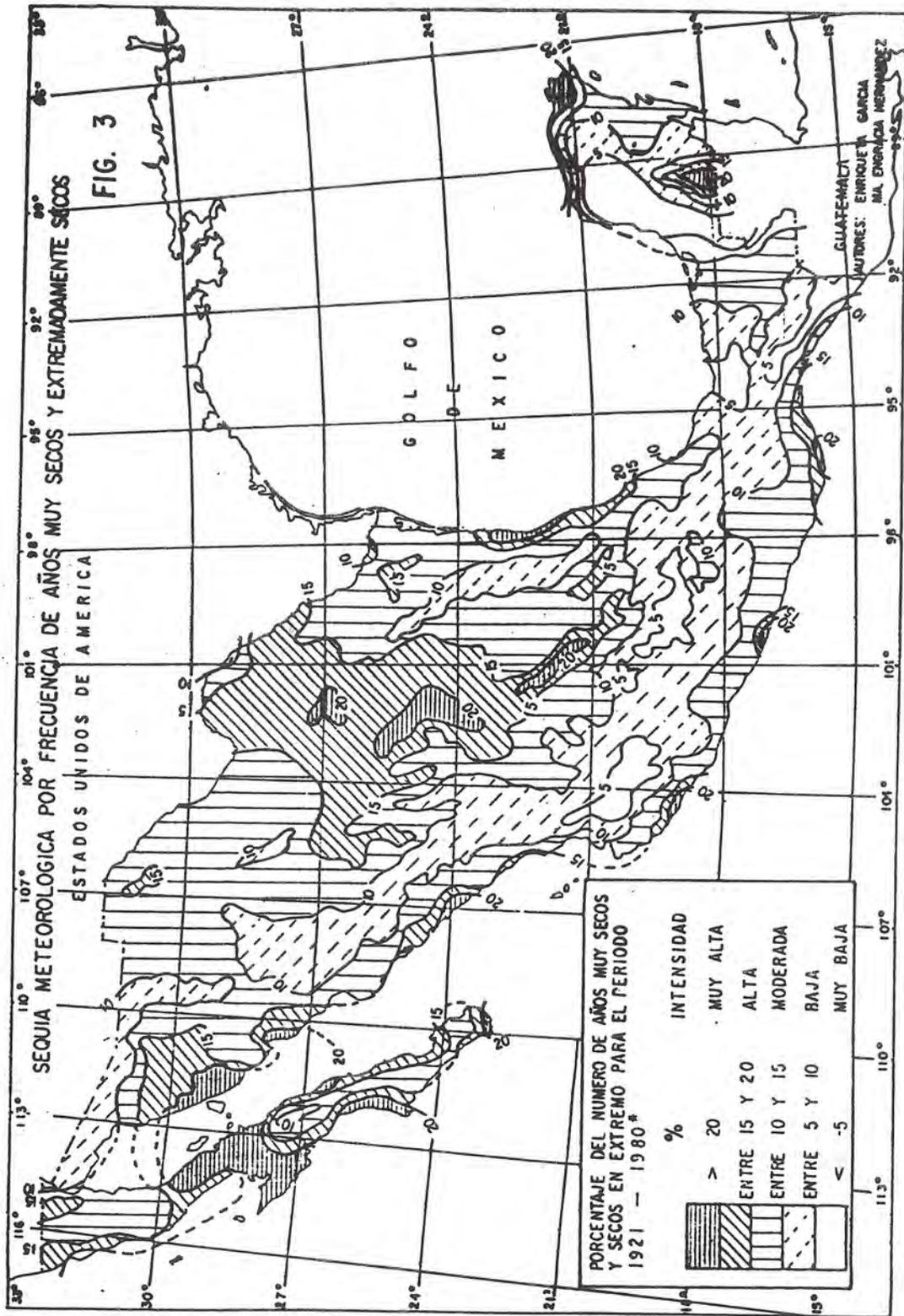


FIG. 2.





* El grado de sequía meteorológica se determinó por medio de las anomalías de precipitación respecto a la moda de largo período (valor más frecuente) considerando años muy secos a los de anomalías entre -25 y -50 % y años en extremo a las anomalías mayores a -50 %

$$\text{Anomalia}(\%) = \frac{X_i - M_o}{M_o} 100$$

En que X_i es el valor de la precipitación de cada año y M_o la moda de largo periodo.

Con estos datos se trazaron las cartas de anomalías, los valores se expresan en porcentajes; aunque no se incluyen mapas de la temporada lluviosa, los anuales dan una idea bastante clara de ella, puesto que en gran parte del territorio nacional abarca el verano y parte del otoño, lo que representa más del 80% de la precipitación total anual.

Las anomalías negativas significan que el año que las presenta, la precipitación fue menor que la moda, esto es, que fue un año seco. Anomalías positivas indican que la cantidad de lluvia registrada fue superior a la cantidad que más frecuentemente se presenta, y por tanto, lluvioso.

El grado de sequía o pluviosidad está dado por los valores de las anomalías, que en ocasiones son más bajas que -50% y en ocasiones exceden el 100% de la moda.

3. Resultados y conclusiones

Entre los resultados obtenidos, se pueden mencionar que por 20 años, dentro del lapso estudiado, el 90% o más del territorio nacional presentó precipitación superior a la moda en los años 1925, 1926, 1927, 1932, 1935, 1936, 1944, 1946, 1948, 1955, 1957, 1958, 1966, 1967, 1968, 1970, 1972, 1973, 1976 y 1977. Se muestra como ejemplo el año 1958. (Fig. 1). En 16 años, más del 80% del país tuvo precipitación menor al valor moda y fueron los siguientes: 1921, 1922, 1924, 1929, 1934, 1940, 1945, 1949, 1950, 1951, 1953, 1956, 1957, 1960, 1962 y 1979. En la figura 2, se presenta el año 1945.

También se propuso considerar como años normales los que presentan anomalías comprendidas entre 0 y +25%, lluviosos los de anomalías entre 25 y 50%, muy lluviosos entre 50 y 100% y lluviosos en extremo los de anomalías mayores al 100%. En contraste, se designaron como secos los de anomalías entre 0 y -25%; muy secos entre -25 y -50% y secos en extremo con anomalías menores de -50%.

De acuerdo a esta designación se hizo un análisis de los mapas, y se clasificaron en siete grupos principales de acuerdo con la localización de las áreas lluviosas y/o secas. Del estudio de los mapas de anomalías, se pudo deducir que no siempre es posible hablar de sequía en todo el país, pues en general, mientras unas áreas son lluviosas, otras son secas, dependiendo del predominio de los fenómenos meteorológicos dominantes en la producción de lluvias.

Con la información obtenida del cálculo de las anomalías de la precipitación respecto a la moda, de las 542 estaciones pluviométricas utilizadas, se obtuvo el grado de sequía meteorológica, donde se consideraron solamente los años muy secos (anomalías entre -25% y -50%) y años secos en extremo (anomalías mayores a -50%). Se determinaron cinco grados de intensidad de la sequía meteorológica: muy alta con más de 25%, alta entre 15 y 20, moderada entre 10 y 15, baja entre 5 y 10 y muy baja menor de 5%.

Con estos datos se trazó la carta de Sequía Meteorológica por frecuencia de años muy secos y extremadamente secos (García y Hernández, 1992), que se muestra en la Figura 3, en donde destacan 16 zonas con muy alta intensidad de sequía meteorológica que se localiza en cuatro subtipos climáticos: muy áridos (BW), árido (BS_o), semiárido (BS_1) y subhúmedo (Awo), el más seco de los subhúmedos según el Sistema de Clasificación climática de Köppen Modificado (García, 1988).

Actualmente se trabaja en los siguientes aspectos:

1. Completar las series de tiempo con los últimos años de información climatológica.
2. Estudiar la sequía a nivel mensual y estacional, es decir se intenta analizar los periodos secos y húmedos.

3. Por último, se pretende relacionar las áreas afectadas por sequía meteorológica con las situaciones sinópticas a través del uso de imágenes meteorológicas en años seleccionados.

De esta forma se podrá conocer con bases más sólidas, cuáles son los fenómenos meteorológicos productores de la sequía en las diversas regiones del país.

REFERENCIAS

- Castorena, G., M. E. Sánchez, M. E. Florescano, R. G. Padilla, y U. L. Rodríguez, 1980. Análisis histórico de las sequías en México. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 137 pp.
- García, E., 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Primera Edición 1964. Offset Larios, S.A., México, D. F., 219 pp.
- García, E. y M. E. Hernández, 1988. Anomalías de la Precipitación en la República de 1921 a 1980. *Revista de Geografía*. 2 (3): 1-24.
- García, E. y M. E. Hernández, 1992. Sequía meteorológica por frecuencia de años muy secos y extremadamente secos; Zonas susceptibles a desastres por fenómenos naturales. En: García de Fuentes, A. Edit. Atlas Nacional de México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía, Vol. II, Cap. V, Núm. 2.9. Mapa esc. 1:16 000 000
- García, E. y P. A. Mosiño, 1978. Caracterización del Régimen Pluviométrico de las Regiones áridas y semiáridas de México, mediante la Distribución Gamma. In: Mem. del VII Congreso Nacional de Geografía Aplicada, Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, Saltillo, Coah. México.
- Hare, K. F., 1985. Sequía, variación climática y desertificación. Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza. OMM. No. 653. 35 pp.
- Mosiño, A. P., 1981. The variability of rainfall in Mexico and its determination by means of the Gamma Distribution *Geogr. Ann.* 63 A (1-2): 1-10, Stockholm.

Evaluación de la desertificación por erosión hídrica aplicando el procedimiento SOTER

RAFAEL ZARATE ZARATE

*Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Instituto de Recursos Naturales
Programa de Edafología. Montecillo, Estado de México CP. 56230*

RESUMEN

En el estudio de la desertificación/degradación de la tierra, es necesario considerar un enfoque regional para la apreciación de la variabilidad espacial de dicho proceso. Esta investigación se realizó con el objeto de evaluar la desertificación por erosión hídrica en el Estado de México, México, mediante la aplicación del procedimiento SOTER y el comportamiento de este proceso ante un posible cambio climático.

El procedimiento para la evaluación de la erosión hídrica se basó en el uso de información cartográfica a escala 1:250,000, referente a: fisiografía, topografía, clima, suelo y vegetación. Por lo que se aplicó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) a pequeña escala. Para la generación de escenarios de cambio climático se utilizó el método de incrementos, aplicado sólo a la variable precipitación total mensual.

Los resultados indicaron que durante el período húmedo, se encontró que el valor del índice de erosividad hídrica varió de 552.95 a 3835.19. Por otra parte, el valor de la erosividad para el período seco fluctuó entre 61.19 y 402.45.

Considerando las condiciones actuales del riesgo de erosión hídrica, la clase de riesgo bajo se presentó en 24.7%, el riesgo moderado en 21.37%, el riesgo severo en 25.69%, y el riesgo extremo en 28.23. Por otra parte, respecto a la velocidad actual de erosión hídrica, la superficie afectada por cada clase fue: nula 3.58%, lenta 33.24%, media 38.33%, rápida 21.17% y extremadamente rápida 3.67% del total de la superficie bajo estudio.

Se puede indicar que al existir un cambio climático, dominaría el riesgo bajo (del 20 al 27.5% de la superficie total) cuando se presente un decremento en la precipitación total mensual (P_j), aunque de existir un incremento en P_j , dominaría la clase de riesgo extremo (del 24 al 32% de la superficie total) en todos los escenarios creados.

Ante la ocurrencia de un cambio climático, la superficie afectada por velocidad actual será dominada por las clases media y lenta en todos los escenarios, ya que en conjunto ocupan del 68 al 76% del área total. Por otra parte, las clases rápida y extr. rápida, cubre una proporción entre 18 y 30% del total.

ABSTRACT

In the study of desertification/land degradation, is necessary to consider a regional focus, in order to appreciate the spacial variability of this process. The present research was carried out with the objective of assess the desertification by hydric erosion take of the State of Mexico, Mexico, throught the use of the SOTER procedure and the behavior of this process in the face of a possible climatic change.

The procedure in order to assess the hydric erosion was based on the use of cartographic information at 1:250,000 scale, with respect to: physiography, topography, climate, soil and vegetation. Because of the Universal Soil Loss Equation work hard (USLE) to small scale. The generation of climatic change scenarios was done following the method of incremental scenarios, only applied to total monthly precipitation.

The results showed that during the humid period, it was founded that the erosivity index values varied from 552.95 to 3835.19. On the other hand, the value for dry period ranges between 61.19 to 402.45.

Considering the current conditions of hydric erosion the risk the class of low risk was occupied 24.7%, the moderate risk 21.37%, the severe risk 25.69%, and the extreme risk 28.23%. On the other hand, the present rate of hydric erosion, for each class was: null 3.58%, slow 33.24%, middle 38.33%, rapid 21.17% and extremely rapid 3.67% of the total area under study.

Could be indicated that upon existing a climatic change, would dominate the low risk (the 20 to 27.5% of the total surface) when a decrease of the monthly total precipitation reminds (P_j), although if an increments in P_j exists, the class of extreme risk would dominate (of the 24 to 32% of the total surface) in all the created scenarios.

In the face of the occurrence a climatic change, the affected surface for present rate is dominated by the medium and slow classes in all the scenarios, since on the whole they occupy of the 68 to 76% of the total area. On the other hand, the rapid and extremely rapid classes, a proportion covers among 18 to 30% of the total.

1. Introducción

En el estudio de la desertificación (degradación de la tierra), es necesario considerar un enfoque regional, con el propósito de lograr la apreciación integral de la variabilidad temporal y espacial de dicho proceso. Esto puede permitir la elaboración de planes de desarrollo acordes a las condiciones ecológicas de cada región, en las cuales existen prioridades que se deben atacar con base en plazos de acción.

Esta investigación se realizó persiguiendo dos objetivos generales: a) evaluar la desertificación por erosión hídrica tomando como región de estudio el Estado de México, México, mediante la aplicación del procedimiento SOTER y b) generar escenarios climáticos para el estudio del comportamiento de la erosión hídrica ante un posible cambio climático.

2. Revisión de literatura

La desertificación (degradación de la tierra) es un proceso (físico y antropogénico) que conduce a la destrucción del ecosistema, de la productividad natural y a la reducción del potencial económico de estas áreas (Kharin, 1982).

Una de las últimas definiciones reconocidas, para el proceso de desertificación o degradación de tierras fue adoptada por la tercera reunión del grupo técnico sobre evaluación y cartografía de la desertificación de UNEP (United Nations Environment Programme), realizada en junio de 1991, donde se adoptó la definición siguiente: la desertificación es la degradación de áreas áridas, semi-áridas y sub-húmedas secas, principalmente como resultado del impacto humano adverso. En este contexto tierra incluye los recursos hídricos y edáficos locales, la superficie terrestre y la vegetación natural o cultivos. Degradación implica la reducción del potencial de los recursos por uno o una combinación de procesos actuando sobre la tierra. Estos procesos incluyen erosión hídrica y eólica, y sedimentación por estos agentes, reducción a largo plazo en la cantidad o diversidad de vegetación natural o disminución del rendimiento de los cultivos donde sean importantes y la salinización y sodicación de suelos (Dregne *et al.*, 1991).

La nueva definición reconoce que, aunque la principal causa de la degradación es el impacto humano adverso, el impacto de las condiciones climáticas naturales, particularmente las sequías recurrentes, sobre la degradación puede jugar un papel importante bajo ciertas circunstancias (Dregne *et al.*, 1991).

Procesos de degradación de la tierra

El fenómeno de degradación de la tierra, se constituye de tres grandes grupos de tipos de procesos (Dregne, 1985; Oldeman, 1988), que son los siguientes:

- a. Degradación de la cubierta vegetal. Definido como la eliminación o la alteración de la biodiversidad de plantas por diversos agentes, siendo en la mayoría de los casos iniciados y acelerados por el hombre, al provocar desequilibrios en un ecosistema natural estable (FAO, 1984).
- b. Degradación por desplazamiento del material del suelo. Esta categoría se refiere a la degradación del suelo por movimiento o desprendimiento del material del suelo cuyos efectos son in situ y a distancia del lugar donde se originan, y está representado por dos procesos, que son: a) erosión hídrica y b) erosión eólica.
- c. Degradación por deterioro interno del suelo. En esta tercera categoría se agrupan los tipos de procesos de degradación del suelo, que dañan a este recurso sin manifestarse de forma impactante a escala global, ya que es el resultado de su deterioro interno, es decir, en el perfil del suelo, los cuales son: deterioro químico, físico y biológico.

Técnicas para el estudio de la degradación de la tierra

En México, la apreciación y evaluación de los efectos de la degradación ambiental, datan de épocas prehispánicas. Sin embargo, la introducción de criterios cualitativos y cuantitativos sistematizados se iniciaron a mediados del presente siglo.

En la actualidad, las metodologías existentes para evaluar los diversos tipos de procesos de degradación de tierras se pueden agrupar en dos categorías, de acuerdo al tipo de resultados que se pueden obtener al utilizarlas: a) cualitativas y b) cuantitativas; que a su vez, pueden clasificarse con base en la información que requieren para ser aplicadas, en nivel de precisión y de predicción deseado: a) detalladas, b) semidetalladas y c) compilaciones. Todas las combinaciones posibles de esta serie de agrupaciones han sido empleadas en México, a través de 50 años de labor científica.

Metodologías cualitativas

El principio básico sobre la consideración de un mapa base es similar al de los métodos cuantitativos, con la diferencia de que aquí sólo se considera las actividades humanas como causa de los diferentes tipos de procesos de degradación ya indicados anteriormente.

Algunos de los métodos clásicos para realizar su evaluación, son los propuestos por: FAO (1984), Mabbutt (1984), Woods (1984) y Oldeman (1988); además de los indicadores específicos utilizados para medir cada tipo de proceso de degradación como son los mencionados por Reining (1979).

Metodologías cuantitativas

La siguiente serie de aproximaciones se analizó con la finalidad de utilizar la información existente a nivel regional, tomando como base un grupo de escalas cuyo intervalo fluctúa entre 1:50,000 y 1:4,000,000, siendo necesario realizar su ajuste a las condiciones ambientales de cada área específica de estudio. Estas tienen como principio común la ejecución de las dos etapas siguientes: (a) la elaboración de una base de datos climáticos y (b) la elaboración de un mapa base. Los métodos típicos son los propuestos por la FAO (1980), FAO (1984) y Shields y Coote (1989).

¿Que es SOTER?

SOTER (SO=Soil=Suelo, TER=Terrain=Terreno), es una base de datos en la que se incluye información de atributos del suelo y del terreno. El objetivo principal de esta base de datos es la de proporcionar los datos necesarios para mejorar la evaluación y cartografía de los cambios ocurridos en los recursos suelo y terreno del mundo. Esta compuesto de un grupo de archivos, para su uso mediante un sistema de manejo de base de datos y un sistema de información geográfica (ISRIC, 1993).

El principio teórico de SOTER se originó de la idea de que la Tierra (donde existen suelo y terreno), incluye procesos y sistemas interrelacionados con fenómenos físicos, biológicos y sociales involucrados a través del tiempo (ISRIC, 1993).

Con el uso de SOTER se pretende la identificación de áreas de tierra con características homogéneas dentro de éstas (unidad SOTER), pero diferentes entre dos o más áreas delimitadas. La fuente de datos básicos para la construcción de unidades SOTER son: fisiografía, geología, topografía y suelos. El criterio de diferenciación de las unidades SOTER considera tres jerarquías, de esta forma la unidad SOTER puede ser definida progresivamente en terreno, componente de terreno y componente de suelo. El nivel de disgregación en cada etapa del análisis de la tierra, depende del nivel de detalle o resolución requerido y de la información temporal y/o espacial

viable (ISRIC, 1993).

3. Materiales y Métodos

El área bajo estudio

El Estado de México está localizado entre las coordenadas extremas de 18°21' y 20°17' de latitud norte y entre los 98°35' y 100°36' de longitud oeste. Esta entidad cuenta con una superficie de 23,244.22 km², dividida en 121 municipios, agrupados en ocho regiones políticas. El clima predominante es el templado. Las temperaturas medias anuales en el sureste son mayores a 20°C, en tanto que en el centro y norte están por abajo de 13°C. La precipitación media anual oscila entre 600 y 800 mm (INEGI, 1989).

Existe la dominancia de suelos con fase lítica en el 60.62 % del Estado de México (SPP, 1981), lo cual indica que en la mayor proporción de los suelos de la entidad se encuentra el lecho rocoso entre 10 y 50 cm de profundidad, por lo que es de esperarse que su límite permisible a la erosión sea muy bajo.

El crecimiento de la población en el Estado de México ha sido muy acelerado; por ejemplo, de 3.8 millones de habitantes que existían en 1970, la cifra aumentó a 7.5 millones en 1980; es decir, en 10 años se duplicó a una tasa media anual de 6.5 %.

Por otra parte, en 1960 la población urbana ocupaba el 38 % del total estatal, para 1970 se elevó a 62.3 % y en 1978 ascendió a 88.4 % (SARH, 1981).

Este comportamiento demográfico ha originado una disminución en la superficie terrestre disponible por habitante (con base en INEGI, 1987), ya que de existir 2.48 hectáreas disponibles por habitante en 1900, para 1990 sólo existían 0.23 hectáreas por habitante, lo que es un indicador del descenso en la capacidad de los recursos para abastecer de bienes y servicios a los habitantes de la entidad.

Metodología

La presente investigación se realizó a nivel estatal utilizando una escala de trabajo de 1:250,000, con base en el esquema integrado por Zárate (1991) a partir de la conjugación de diversas metodologías ya elaboradas y su ajuste a las condiciones ecológicas locales del área bajo estudio.

Base de datos climatológicos

La información necesaria para hacer este banco de datos se obtuvo de los registros del Servicio Meteorológico Nacional, ubicado en la Ciudad de México. En esta actividad se seleccionaron 164 estaciones meteorológicas con un registro mayor a 15 años. Los datos digitalizados fueron a nivel mensual para: precipitación total, precipitación máxima y número de días con lluvia apreciable.

Elaboración del mapa base

El mapa base fue obtenido a través de la delimitación de unidades SOTER sobre una imagen de satélite ERTS/LANDSAT en "falso color", a escala 1:250,000, cuya cartografía se realizó considerando el enfoque paisajista, con base en procedimientos para el estudio de sistemas terrestres (levantamiento fisiográfico) (Vink, 1975), dichas unidades se agruparon a nivel sistema terrestre de acuerdo a las características referentes al relieve, al drenaje y al color, considerando un área mínima cartografiada igual a 1 cm², lo cual representó una superficie de 625 ha estudiadas. De esta forma se delimitaron 748 unidades SOTER, cubriendo una superficie de 22630.9 km², que representa el 97.36% del total estatal.

Evaluación de la erosión hídrica

Se utilizó un esquema obtenido de la conjugación de dos métodos: el editado por Shields y Coote (1989) y el de FAO (1980). Este procedimiento se basa en el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) aplicada a pequeña escala (1:250,000). El modelo de la EUPS, considerado para evaluar la erosión es el siguiente:

a) Riesgo de erosión hídrica: $A = R \cdot K \cdot LS$

b) Velocidad actual de erosión hídrica: $A = R \cdot K \cdot LS \cdot Cv \cdot P$

Donde:

A = Pérdida de suelo (t/ha · año).

R = Factor erosividad hídrica (kgm · ha⁻¹/mm · h).

K = Factor erosionabilidad del suelo (t · ha⁻¹ · año⁻¹/kgm · ha · m · h).

LS = Factor longitud-inclinación del terreno.

Cv = Factor cobertura vegetal.

P = Factor prácticas de conservación.

De estos cuatro factores, el que se trabajó para elaborar los escenarios de cambio climático, fue el de erosividad hídrica.

Factor erosividad hídrica (R)

El valor de Rb se estimó por el método desarrollado por Bols (1978), citado por Shields y Coote (1989), cuya ecuación es la siguiente:

$$Rb = R_j \sum_{j=1}^{12} = 6.119(P_j)^{1.21}(D_j)^{-0.47}(P_{max})^{0.53}$$

Donde:

R_j = Factor R medio para el mes j-ésimo (unidades métricas).

P_j = Precipitación total del mes j-ésimo (cm).

D_j = Número de días con lluvia apreciable del mes j-ésimo.

P_{max} = Lluvia máxima en 24 horas del mes j-ésimo (mm).

La estimación del factor R se realizó para dos épocas del año: seca y húmeda. El período seco (de noviembre a abril) se delimitó por la ocurrencia de una cantidad menor o igual al

20% de la precipitación total anual. Por otra parte, el periodo húmedo (de mayo a octubre) se caracterizó por presentar una precipitación mayor o igual al 80% de la precipitación anual.

Con base en el escenario actual (cambio en $P_j = 0\%$), se procedió a elaborar los escenarios por medio del método de incrementos en la variable de interés, en este caso solamente se trabajó modificando P_j . Quedando constantes D_j , que representa la distribución temporal de la lluvia y P_{max} que es la intensidad con que ocurre la precipitación, por lo que se obtuvieron cuatro escenarios por efecto de cambio climático, más uno base (actual):

- a) La precipitación total mensual menos el 20% de su valor.
- b) La precipitación total mensual menos el 10% de su valor.
- c) La precipitación total mensual más el 10% de su valor.
- d) La precipitación total mensual más el 20% de su valor.

Con los nuevos valores de R no se realizaron mapas de isolíneas para obtener el valor de erosividad por unidad SOTER, sino que se realizaron regresiones entre el escenario base por unidad SOTER y cada una de las nuevas condiciones, por lo que se obtuvo una función para la predicción en cada una de los escenarios creados.

Factor erosionabilidad del suelo (K)

El factor K se obtuvo para tres clases de texturas: a) gruesa (< 18 % de arcilla y > 65 % de arena), b) media (< 35 % de arcilla y < 65 % de arena, o < 18 % de arcilla y < 82 % de arena); y c) fina (> 35 % de arcilla).

La forma de obtener los valores para el factor K , de acuerdo a cada clase de erosionabilidad y con base en las unidades de suelos de la FAO, se puede consultar en FAO (1980) y Zárate y Anaya (1992). Estos valores se obtuvieron usando las cartas edafológicas publicadas por el INEGI (1980) a escala 1:250,000.

Factor longitud-inclinación del terreno (LS)

Para realizar la aplicación del factor LS , a la escala de trabajo (1:250,000), se procedió a utilizar un mapa topográfico (Gobierno del Estado de México, 1984), para segmentar a las pendientes en longitudes de igual inclinación y los cálculos fueron hechos para cada uno de los segmentos, después se calculó un valor medio ponderado de LS para cada unidad SOTER, mediante el uso del Cuadro 1.

Cuadro 1. Valor del factor LS, estimado para las unidades SOTER.

Clase de pendiente		Clase de longitud de pendiente (m)	
%	Clave	151-300	> 300
1 - 3	a	0.29	Factor LS 0.33
4 - 9	b	1.80	2.20
10 - 15	c	5.60	7.30
16 - 29	d	16.00	21.00
30 - 59	e	45.00	60.00
> 60	f	92.00	120.00

Factor cobertura vegetal (Cv)

Con los valores de Cv proporcionados por Shields y Coote (1988), se construyó el Cuadro 2. El valor del factor utilizado en la evaluación se obtuvo de las cartas de vegetación y uso actual del suelo publicadas por el INEGI (1984) y el mapa de vegetación publicado por el Gobierno del Estado de México (1987). Cuando en una unidad SOTER (US) se encontró más de un uso del suelo, se tomó el valor de Cv dominante en la US.

El factor P (prácticas de conservación) se consideró con valor de 1, debido a la existencia de inconvenientes cartográficos, siendo posible su aplicación a una escala mayor.

Cuadro 2. Valores del factor cobertura vegetal (Cv)

Cobertura	mayo-octubre	Periodos noviembre-abril
Tierras misceláneas	1.00	1.00
Cultivo de temporal	0.37	0.75
Cultivo de riego	0.37	0.43
Pastos perennes	0.10	0.30
Pastos y arbustos	0.05	0.20
Bosque en producción 0.05	0.05	

Clases de riesgo y velocidad actual de erosión hídrica

El producto de los cuatro factores, $R \cdot K \cdot LS$, resulta en una estimación del riesgo de erosión media anual de tipo laminar y en arroyuelos, esperada si un área de tierra es labrada continuamente hacia arriba y hacia abajo de la pendiente dominante y sin vegetación. De tal forma que el valor del producto $R \cdot K \cdot LS$, representa el potencial inherente de un suelo a la erosión laminar y en arroyuelos (Committee on Conservation, 1986).

Los valores del factor Cv, son multiplicados por el producto $R \cdot K \cdot LS$, 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. Es decir, un valor de $Cv = 0.2$ indica que la cobertura vegetal y las prácticas de manejo reducen la erosión sobre las tierras de cultivo en un 20% de su potencial inherente, estimado por el producto $R \cdot K \cdot LS$.

En el Cuadro 3, se presenta la clasificación de las clases de riesgo y velocidad actual de degradación del suelo por erosión hídrica.

Cuadro 3. Clases de erosión hídrica.

Clase de riesgo		Pérdida de suelo (t/ha · año)		Clase de velocidad		Pérdida de suelo (t/ha · año)
Nulo(N)		< 2.00		Nula(N)	<	1.00
Bajo(B)	2.0	- 9.90		Lenta(L)	1.0	- 4.90
Moderado(M)	10.0	- 49.90		Media(M)	5.0	- 24.90
Severo(S)	50.0	- 199.90		Rápida(R)	25.0	- 99.90
Extremo(E)		> 200.00		Extremadamente rápida(E)	>	100.00

4. Resultados y discusión

Erosividad hídrica

En la determinación cuantitativa de la erosión provocada por la acción del agua se necesita evaluar la acción que ejerce la precipitación sobre el suelo, una forma alternativa para obtener este conocimiento del clima es mediante la estimación de la erosividad, que en esta investigación se realizó con el uso del método de Bols (1978), de cuya aplicación se obtuvieron dos diagramas de isólinas, donde se estableció la distribución espacial de líneas con igual valor del índice de erosividad de la lluvia.

Durante el periodo húmedo, se encontró que el valor del índice varió de 552.95 a 3835.19. Por otra parte, durante el periodo seco, la erosividad fluctuó entre 61.19 y 402.45, y como es notable, las cifras son mucho menores para el periodo seco, respecto al húmedo. Con base en estas cifras se puede decir que la erosividad de la lluvia constituye un factor de riesgo de erosión, dado el alto valor determinado para la época húmeda.

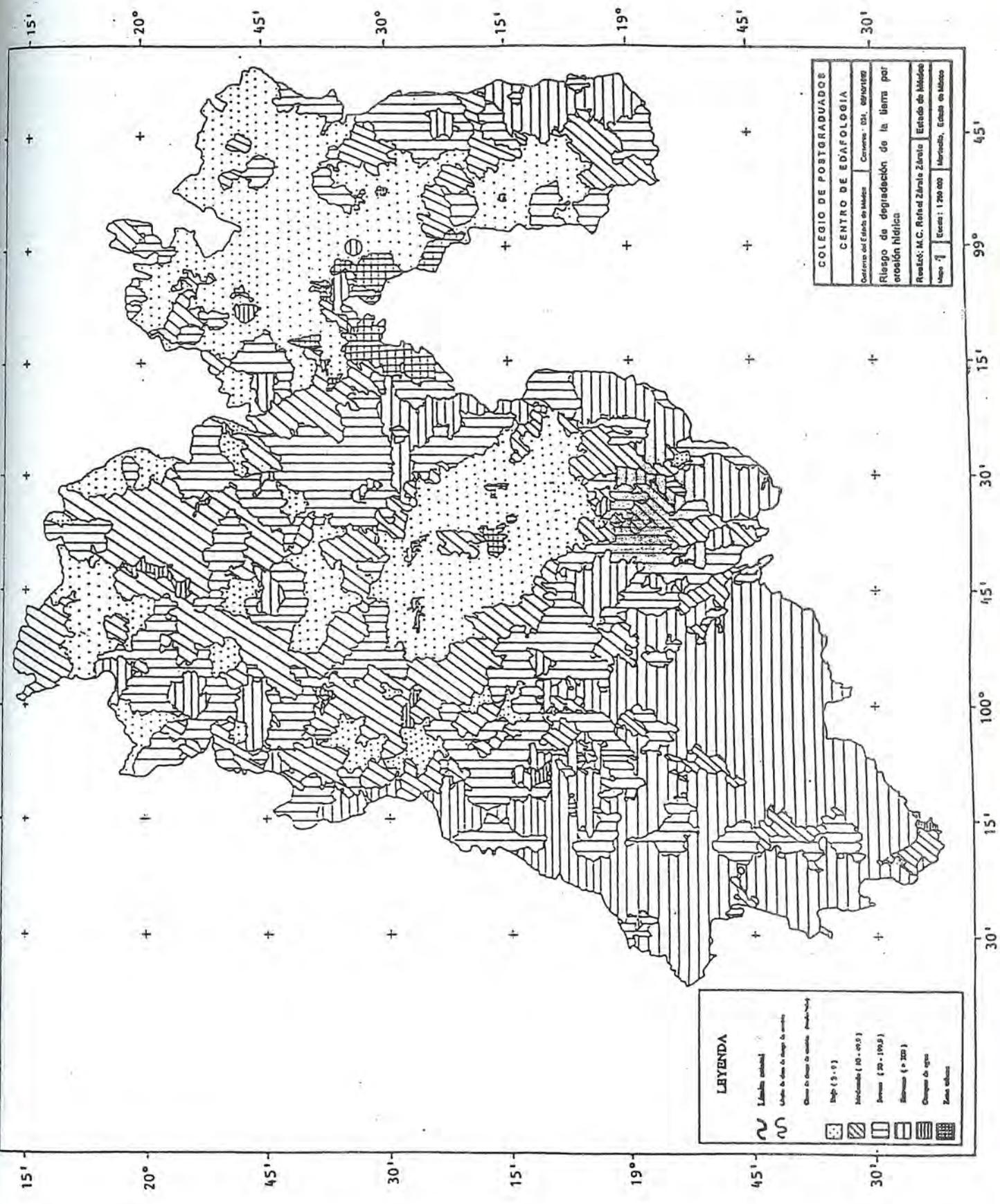
Riesgo de erosión hídrica

La evaluación de este aspecto de la erosión es un indicador de la cantidad de material de la superficie terrestre que puede ser desplazado por la acción de la lluvia, bajo condiciones donde no existe protección contra este proceso de degradación.

Como resultado de este trabajo se obtuvo que en el Estado de México se presentan cuatro clases de riesgo: bajo, moderado, severo y extremo, las cuales se encuentran afectando: 160, 162, 218 y 208 unidades SOTER (US), respectivamente. Lo que significa que toda esta entidad se encuentra bajo alguna clase riesgo, no existiendo el riesgo nulo.

Con base en la determinación de la proporción afectada por cada clase, se observó que el riesgo bajo se presentó en 5591 km² (24.7%), la clase moderado en 4837.89 km² (21.37%), el riesgo severo en 5813.24 km² (25.69%) y la peor clase (extremo) en 6388.8 km² (28.23%). Así, se aprecia la dominancia del riesgo extremo, siguiendo en orden de importancia el riesgo severo, después el riesgo bajo, y ocupando una menor superficie el riesgo moderado.

La representación cartográfica del riesgo de erosión se presenta en el Mapa 1, donde se proporciona una apreciación visual de la distribución las clases de riesgo, cuya posible pérdida de suelo fluctúa entre 2 y más de 200 ton/ha · año. En este mapa se observa que el riesgo extremo domina en la parte sur de la entidad, donde se encuentran las tierras más escarpadas y los municipios



LEYENDA

- Llanuras pedregales
- Uvalde de agua de campo de cenizas
- Climas de campo de cenizas
- Selva (15-9)
- Intermedios (10-40%)
- Semiaridos (20-100%)
- Estepas (1-10%)
- Campos de agua
- Zonas urbanas

COLEGIO DE POSTGRADUADOS
CENTRO DE EDAFOLOGIA
 Oficina del Estado de México Carrera: DSI, Edafología
Riesgo de degradación de la tierra por erosión hídrica
 Realizó: M.C. Rafael Zárate Zárate Estado de México
 Mapa: 1 Escala: 1:200,000 Mérida, Yucatán de México

más aislados y con menos densidad de población, esto indica que se deben vigilar los sistemas de explotación de los recursos naturales, con la finalidad de evitar que con una acción adversa en el equilibrio del ecosistema se produzca la erosión esperada en ese ambiente.

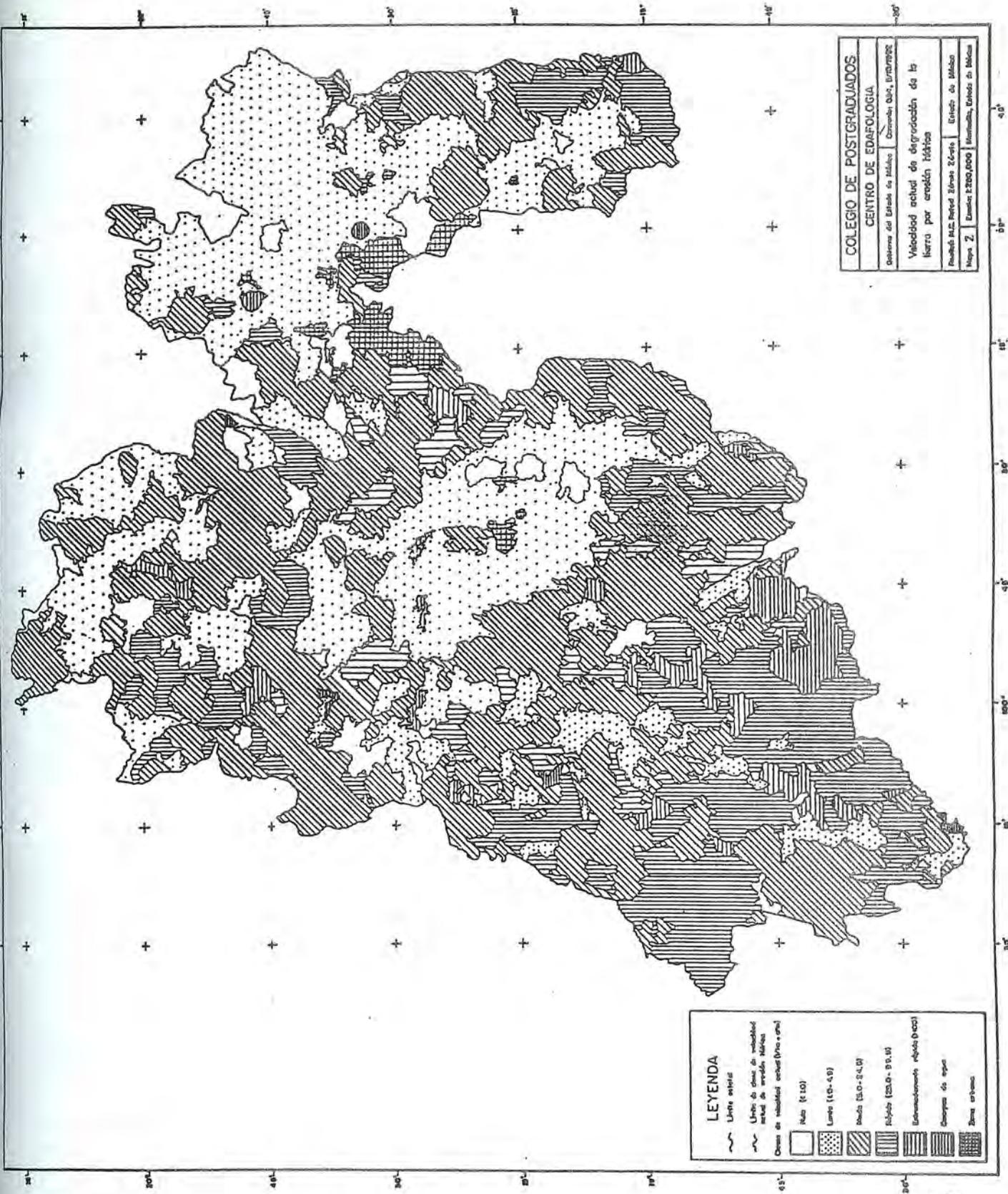
Con referencia al escenario base (actual), se puede indicar que la superficie ocupada por la clase de riesgo bajo puede aumentar hasta un 17.45%, en caso de que la P_j , disminuya en 20%; por otra parte, puede disminuir hasta un 33.94%, al aumentar P_j 20%. En el caso del riesgo moderado, se determinó un decremento del 6.19% en la superficie al disminuir P_j en 10%, siendo mínimo (0.04%) al disminuir P_j en 20%, aunque aumentó hasta 29.07% al incrementarse P_j 20%. En cuanto al área afectada por riesgo severo, se apreció un incremento de 1.10% al disminuir P_j 10% y decreció en 2.22% al disminuir 20%, comportamiento similar sucede cuando P_j se incrementó, no obstante, los cambios fueron mayores. En el caso del riesgo extremo, éste disminuye hasta 13.22%, con un decremento del 20% en P_j , sin embargo, aumenta en 14.30% al incrementarse P_j en 20%.

Cuadro 4. Comportamiento del riesgo de erosión hídrica ante un posible cambio climático.

Clases de riesgo	Escenarios por decrementos e incrementos en la precipitación total mensual (P_j)							
	-20%		-10%		+10%		+20%	
	S (km^2)	P (%)	S (km^2)	F (%)	S (km^2)	P (%)	S (km^2)	P (%)
Bajo(B)	6566.90	29.01	6167.43	27.25	4582.08	20.25	3693.16	16.32
Cambio(1)	+17.45		+10.31		-18.04		-33.94	
Moderado(M)	4836.04	21.37	4538.17	20.05	5488.67	24.25	6244.43	27.59
Cambio(1)	-0.04		-6.19		+13.45		+29.07	
Severo(S)	5684.24	25.12	5877.37	25.97	5911.43	26.12	5391.02	23.82
Cambio(1)	-2.22		+1.10		+1.69		-7.26	
Extremo(E)	5543.94	24.50	6048.14	26.72	6648.93	29.38	7302.50	32.26
Cambio(1)	-13.22		-5.33		+4.07		+14.30	

S=superficie afectada (km^2), P=porcentaje respecto a 22630.9 km^2 . (1) Cambio porcentual, incremento (+) o decremento (-), respecto a la superficie ocupada por la clase de riesgo en el escenario base (actual).

Con la finalidad de apreciar la importancia relativa de cada clase de riesgo de erosión, en cada escenario, se elaboró un ordenamiento. Del cual se puede apreciar que en los escenarios creados por decrementos en P_j , existe la dominancia del riesgo bajo, en tanto que ocupa una menor superficie el riesgo moderado. Por otra parte, con los incrementos existió la dominancia del riesgo extremo y con menor importancia del riesgo bajo, es decir se invierte el orden. Esto significa que de existir una disminución en P_j , se tendrían condiciones menos peores, dado la dominancia del riesgo bajo, sin embargo, de aumentar P_j dominaría el riesgo extremo, colocando al Estado de México en peores condiciones de riesgo de erosión hídrica.



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
CENTRO DE EDAFOLOGIA
 Instituto del Estado de Jilisco, Comarca de Oca, provincia
 Velocidad actual de degradación de la
 tierra por erosión hídrica
 Resulta del Repertorio de la Zona 2, Estado de México
 Mapa 2, Escala 1:200,000, Estado de México

LEYENDA

	Límite exterior
	Límite de clase de velocidad actual de erosión hídrica
	Clase de velocidad actual (V _{act} en cm/año)
	Más (< 1.0)
	Leve (1.0-4.9)
	Medio (5.0-9.9)
	Alto (10.0-19.9)
	Extremadamente alto (20.0)
	Geografía de agua
	Zona urbana

Cuadro 5. Comportamiento de la velocidad actual de erosión hídrica ante un posible cambio climático.

Clases de velocidad actual	Escenarios por decrementos e incrementos en la precipitación total mensual (P)							
	-20%		-10%		+10%		+20%	
	S (km ²)	P(%)	S (km ²)	P(%)	S (km ²)	P(%)	S (km ²)	P(%)
Nula(N)	1238.42	5.47	1021.50	4.51	607.03	2.68	433.87	1.92
Cambio(1)	+52.73		+25.98		-25.13		-46.49	
Lenta(L)	9029.92	39.90	8083.50	35.72	7037.95	31.09	6875.09	30.38
Cambio(1)	+20.02		+7.45		-6.45		-8.61	
Media(M)	8211.79	36.28	8464.97	37.40	8813.15	38.94	8521.83	37.65
Cambio(1)	-5.34		-2.42		+1.59		-1.77	
Rápida(R)	3605.55	15.93	4316.92	19.07	5159.30	22.79	5503.77	24.32
Cambio(1)	-24.73		-9.88		+8.53		+14.89	
Ex. rápida(E)	545.42	2.41	744.22	3.29	1013.69	4.48	1296.55	5.73
Cambio(1)	-34.37		-10.45		+21.96		+56.00	

S=superficie afectada (km²), P=porcentaje respecto a 22630.9 km². (1) Cambio porcentual, incremento (+) o decremento (-), respecto a la superficie ocupada por la clase de velocidad actual en el escenario base (actual).

De éste se aprecia la dominancia de la clase media y lenta, las cuales de manera conjunta cubren del 68 al 76% de la superficie del área bajo estudio, en todos los escenarios, lo cual significa una pérdida de suelo menor a 24.9 ton/ha · año. Por otra parte, uniendo las partes afectadas por las clases rápida y extr. rápida, se tiene una superficie del 17 al 30% en todos los escenarios, lo que significa una pérdida de suelo superior a 25 ton/ha · año. Las clases que cubren menor proporción son la extr. rápida y la nula.

Consideraciones generales

Es necesario considerar la modificación del comportamiento de las variables Dj y P_{máx}, incluidas en el índice de erosividad utilizado en este estudio, debido a que de esta forma se tendrá una estimación de la variación temporal (Dj) y de la intensidad con que ocurra la precipitación (P_{máx}), y evitar el hacer referencia a una variable individual (Pj). Esto puede permitir el análisis del efecto de la lluvia como factor de desertificación y su comportamiento ante un cambio climático.

Por otra parte, es indispensable conocer la ubicación geográfica de las áreas que se verán afectadas por el cambio climático, por lo que se tendrá que realizar la cartografía de éstas según su grado de afectación.

En esta investigación en particular, sólo se varió el factor erosividad hídrica de la EUPS, sin embargo, al evaluar la velocidad actual de erosión hídrica se tienen dos factores (Cv y P) que pueden ser afectados por un cambio en el clima, por lo que deben elaborarse las proyecciones de su variación e incluirlas en la creación de nuevos escenarios, con el propósito de hacer un estudio más integral de este proceso de degradación.

5. Conclusiones

Con base en los objetivos planteados y los resultados obtenidos de la evaluación de la desertificación por erosión hídrica en el Estado de México, y de los escenarios probables ante un cambio climático, se pudieron obtener las conclusiones siguientes:

La erosividad hídrica constituye un factor importante de degradación de la tierra, debido a que durante el periodo húmedo existen valores de hasta 3835.

La ausencia de la clase de riesgo nulo de erosión hídrica en el Estado de México, manifiesta el enorme peligro de los ecosistemas de la entidad ante este tipo de degradación, lo cual viene a agravarse por la dominancia del riesgo extremo y severo en el 53.92% del área de este Estado, siendo mayor su presencia del centro hacia la parte sur de la entidad.

Respecto a la velocidad actual de erosión hídrica es posible indicar que existe la dominancia de la clase media y lenta en el 71.57% del Estado, lo cual significa que esta superficie está perdiendo una cantidad menor a 24.9 ton/ha.año.

Con base en los escenarios creados, se puede indicar que de existir un cambio climático, existiría una dominancia del riesgo bajo (del 20 al 27.5% de la superficie total) cuando se presente un decremento en la precipitación total mensual (Pj), aunque de existir un incremento en Pj, dominaría la clase de riesgo extremo (del 24 al 32% de la superficie total).

Ante la ocurrencia de un cambio climático, la superficie afectada por velocidad actual es dominada por las clases media y lenta en todos los escenarios, ya que en conjunto ocupan del 68 al 76% del área total. Por otra parte, las clases rápida y extr. rápida, cubren una proporción entre 18 y 30% del total.

REFERENCIAS

- Committee on Conservation, 1986. Soil conservation: assessing the national resources inventory, Vol. I. Committee on Conservation Needs and Opportunities. National Academic Press. Washington, D. C., U. S. A., 114 p.
- Dregne, H. E., 1985. Desertification of arid lands. 2th. ed. Advances in desert and arid land technology and development V. 3. Harwood Academic Publishers. New York, U. S. A., 242 pp.
- Dregne, H., M. Kassas and B. Rozanov, 1991. A new assessment of the world status of desertification. Desertification Control Bulletin, 20:6-18.
- FAO, 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO/UNEP/UNESCO. Roma, Italia, 86 p.
- FAO, 1984. Metodología provisional para la evaluación y la representación cartográfica de la desertización. FAO/UNEP. Roma, Italia, 74 p.
- Gobierno del Estado de México, 1984. Estado de México: carta topográfica, escala 1:250,000. Gobierno del Estado de México. Toluca, México.
- Gobierno del Estado de México, 1987. Carta forestal del Estado de México, escala 1:250,000. Gobierno del Estado de México. Toluca, México.
- INEGI, 1987. Síntesis geográfica, nomenclator y anexo cartográfico del Estado de México. INEGI. México, 223 p.
- INEGI, 1989. Anuario estadístico del Estado de México. INEGI. México, 614 p.
- ISRIC, 1993. Global and national soils and terrain digital databases (SOTER): procedures manual. UNEP/ISSS/ISRIC/FAO. Wageningen, The Netherlands, 115 p.
- Kharin, N. G., 1982. Remote sensing and monitoring of desertification in arid lands. p. 1295-1309. In Alternatives strategies for desert development and management. Vol. 4. Desert Management. Pergamon Press, USA, p. 947-1396.

- Mabbutt, J. A., 1984. A new global assessment to the status and trends of desertification. *Env. Conservation*, 11(2):103-113.
- Oldeman, L. R. (ed.), 1988. Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation. ISRIC. Wageningen, The Netherlands, 15 p.
- Reining, P., 1979. Handbook on desertification indicators. Based on The Science Associations' Nairobi Seminar on Desertification. *Amer. Assoc. for the Adv. of Sc.*, USA, 141 p.
- SARH, 1981. Plan de desarrollo agropecuario y forestal 1982-1988. Tomo I. SARH. México, 268 p.
- Shields, J. A. and D. R. Coote, 1989. SOTER: procedures manual for small scale map and database compilation. GLASOD project, ISRIC. Wageningen, The Netherlands, 190 p.
- SPP. 1981. Carta de suelos del Estado de México, escala 1:500,000. SPP. México.
- Vink, A. P. A., 1975. Land use in advancing agriculture. Springer-Verlag. Germany, 349 p.
- Woods, L.E., 1984. Land degradation in Australia. AGPS. Canberra, Australia, 105 p.
- Zárate, Z. R., 1991. Diagnóstico y control de la degradación de la tierra en el Estado de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 215 p.
- Zárate Z., R. y M. Anaya G. 1992. Evaluación y cartografía del riesgo a la degradación del suelo por erosión hídrica en el Estado de Tlaxcala. *Terra* 10(1):3-14.

La desertificación en México. Estudio de caso

MANUEL ANAYA GARDUÑO

Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México

Introducción

La desertificación se refiere a procesos dinámicos que degradan física, química y biológicamente a los ecosistemas, algunas veces en forma irreversible con consecuencias de tipo social, económico y político.

Algunos factores naturales, como prácticas culturales indeseables y la presión creciente de la población, han provocado el empobrecimiento y la destrucción del potencial biológico de la tierra, reduciendo la productividad animal y de las plantas y provocando condiciones de tipo desértico.

Muchos países de Africa, Asia y América Latina están afectados por el dinámico deterioro de sus recursos naturales, en algunos de ellos ya se presentan las hambrunas.

La desertificación incluye procesos naturales o inducidos que destruyen el equilibrio de los sistemas: suelo, vegetación, aire y agua y se acentúa más en aquellas áreas con aridez edáfica y climática y constituye un serio problema de tipo social y económico ya que la desertificación es la expresión global de varios procesos.

El daño físico, químico y biológico puede ser causado por el uso y abuso de los recursos naturales.

Las naciones más pobres sufren los problemas más grandes de la erosión sobre todo cuando se tienen concentraciones altas de población, baja producción de granos básicos y un producto nacional bruto bajo tal y como ocurre en varios países de Africa, Asia y América Latina.

México está afectado por la desertificación sobre todo porque no se cuenta con una planeación integrada para realizar actividades agrícolas (riego y temporal), ganaderas y forestales provocando la destrucción física química y biológica de diversos ecosistemas.

Población y desertificación

Actualmente, la creciente población de México está poniendo en peligro la capacidad productiva de los ecosistemas, sobre todo en aquellas áreas donde dicho crecimiento es mayor que la velocidad de producción de alimentos, presentándose problemas de desnutrición en varias comunidades.

Esta concentración humana favorece el rápido deterioro de los ecosistemas debido a las siguientes actividades: tala inmoderada, corte de leña, sobrepastoreo, reducción de la cubierta vegetal y exposición del suelo superficial a la erosión hídrica y eólica lo que trae como consecuencia la disminución de la productividad, el deterioro ecológico y el abandono de la tierra. Esto es peculiar principalmente en la parte central de México donde la desertificación avanza más rápido que la recuperación de la tierra.

Avance de la desertificación

Se estima que el sobrepastoreo ha dañado más de 60 millones de hectáreas y que estas tierras manifiestan el máximo deterioro. En segundo lugar de daño se encuentran áreas forestales, las cuales son afectadas por talas inmoderadas, corte de leña e incendios. En tercer lugar se encuentra la agricultura de temporal, la cual ocupa una superficie de 21 millones de hectáreas con problemas de erosión hídrica y eólica en un 70%. Finalmente, la agricultura de riego cubre una

Cuadro 1. Procesos Físicos, Químicos y Biológicos que Causan la Desertificación (* Causas Naturales)

Causas	Problemas
<p>Agua *Escasa precipitación *Errática y mala distribución de la lluvia Mal manejo del agua de riego Superexplotación de mantos acuíferos y de almacenamientos superficiales *Errática y mala distribución de la lluvia Deficientes sistemas de drenaje *Esguimientos superficiales sin control Desconocimiento del uso consuntivo Nivelación deficiente de las tierras Distribución inadecuada del agua Métodos inadecuados de riego Inadecuada distribución de las parcelas *Errática y mala distribución de la lluvia</p> <p>Suelo Reducción de la cubierta vegetal *Erosión geológica *Esguimientos no controlados Sedimentación y azolves Degradación de la estructura del suelo Labranza inadecuada Erosión eólica Disminución de la profundidad del perfil del suelo Pérdida de fertilidad del suelo superficial Lixiviación Reducción de la capacidad de retención de la humedad Acumulación excesiva de sales Riego excesivo *Calidad del agua Prácticas deficientes de lavado Mal manejo del agua de riego Sistemas inadecuados de drenaje *Esguimientos sin control</p> <p>Planta Agricultura de roza-tumba-quema Desmontes Sobrepastoreo Invasión por plantas indeseables Tala inmoderada Fuego *Sequía</p>	<p>Escasez de Agua</p> <p>Mal manejo del agua de lluvia en áreas de temporal</p> <p>Mal manejo del agua de riego</p> <p>Falta de control de los esguimientos superficiales</p> <p>Erosión</p> <p>Salinidad y drenaje deficiente</p> <p>Reducción de la cubierta vegetal</p>

superficie de 5.8 millones de hectáreas y presenta problemas de ensalitramiento, anegamiento, intrusiones marinas, sobreexplotación de los acuíferos y una acelerada sedimentación en los almacenamientos superficiales. Lo anterior representa un peligro para la producción sostenida de alimentos.

Los usos del suelo antes mencionados no son los únicos que presentan riesgos de la desertificación ya que también se encuentran en parques nacionales, reservas ecológicas, caminos, asentamientos humanos y zonas mineras.

En el cuadro 1 se presentan algunos procesos físicos, químicos y biológicos que causan deterioro ambiental relacionados con el agua, el suelo y la planta. Los principales procesos de la desertificación son: 1) reducción de la cubierta vegetal, 2) erosión eólica, 3) erosión hídrica, 4) deterioro de la estructura del suelo, 5) reducción de la materia orgánica, 6) ensalitramiento y 7) anegamiento.

Los factores antes mencionados indican la necesidad de una adecuada planeación integral para el uso de los recursos: agua, suelo, flora y fauna con el objeto de prevenir la desertificación, reducir el deterioro ecológico y asegurar la producción sostenida de alimentos y un mejor desarrollo social.

Características ambientales de México

El país se encuentra ubicado entre las latitudes 14°30" y 32°42" N cubriendo una superficie de casi 2 millones de km², una población aproximada de 82 millones de habitantes. Sus límites son: al Norte con Estados Unidos de América, al Este con el Golfo de México, al Oeste con el Océano Pacífico y con la República de Guatemala en el Sureste. Más de las dos terceras partes de México son zonas áridas y semiáridas, donde la actividad humana depende de la escasa y variable precipitación pluvial, además son zonas vulnerables a los efectos de la sequía y de otras variaciones climatológicas.

Existe una relación inadecuada entre el recurso agua y la población ya que el 12% del total del agua se encuentra en el Centro del país donde se localiza el 60% de la población y el 50% de la superficie agrícola.

México, desde antes de la conquista por los españoles y después de la Guerra de Independencia siempre le ha dado gran importancia al recurso agua y ha tratado de establecer un adecuado equilibrio entre las actividades industriales, urbanas y agrícolas.

La biodiversidad en México tiene su origen en 52 diferentes tipos de comunidades vegetales. También se presentan diferencias entre los aspectos sociales y culturales lo cual aumenta la diversidad, factores importantes a considerar en el desarrollo nacional.

Los principales suelos de México

Uno de los recursos naturales de mayor significancia en la vida humana es el suelo ya que éste se relaciona con los diversos sistemas de uso. El conocimiento de este recurso es indispensable para la planeación del desarrollo y para la producción sostenida de alimentos.

De acuerdo al criterio de la FAO se tienen tres divisiones climáticas en México: 1) tierras bajas y calientes, con una altitud menor a los 1500 m.s.n.m y una temperatura media anual de 20°C cubriendo el 86% del territorio mexicano; 2) tierras altas o templadas con una altitud entre 1500 y 3000 m.s.n.m., una temperatura media anual que varía de 10 a 20°C cubriendo el 13% de la superficie y 3) las tierras muy altas o frías, con más de 3000 m.s.n.m., con una temperatura media anual menor a 10°C que cubre menos de 1% de la superficie total.

Sistemas de uso del suelo

Los sistemas de uso del suelo en México están influenciados por la topografía y el clima. Con dos importantes cadenas montañosas que corren paralelas a lo largo de las costas y con un Eje Neovolcánico que cruza el país a lo largo del paralelo 19, se tiene una área total considerable de zonas montañosas lo que limita las actividades agrícolas, como se indica a continuación:

Pendiente en %	% del Total
0 a 10	36
10 a 25	36
más de 25	28

Con respecto al clima, las zonas del Centro Norte y Noroeste son áridas y la región del Sureste es húmeda. Las áreas desérticas áridas y semáridas ocupan el 76% del país, 21% corresponde a áreas semihúmedas y 6% a áreas húmedas y muy húmedas.

Sistemas de uso del suelo en México

Sistema de uso del suelo	Millones	% del Area Total
Agricultura de riego	5.8	3.0
Agricultura de temporal	21.0	10.7
Pastizales y Savanas	26.6	13.5
Chaparrales arbustos y cactus	73.0	37.2
Tierras bajas y meandros	1.4	1.0
Bosques montañosos	29.7	15.1
Bosques húmedos tropicales	31.4	16.0
Areas urbanas	4.5	2.3
Almacenamientos y corrientes de agua	2.4	100.0
Total	195.8	100.0

La mayor concentración de la población se localiza en el Eje Neovolcánico, en la parte Central de México, donde en el 20% del territorio nacional se concentra el 60% de la población total.

Desertificación en México

La desertificación global en México se evaluó a una escala de 1:2000,000 con el objeto de analizar los siguientes procesos de degradación de la tierra: erosión hídrica, erosión eólica, sodicidad, lixiviación, reducción de la materia orgánica, encostramiento y compactación del suelo. Los resultados mostraron que más del 85% del territorio nacional está afectado por la desertificación desde un nivel muy ligero hasta el más severo.

Los procesos de degradación de la tierra se estimaron en 16 regiones fisiográficas (Fig. 1).



Fig. 1. Procesos de Degradación

Los procesos de desertificación en México son causados por lo siguiente: deforestación, sobrepastoreo, sobre-explotación de los acuíferos, erosión, ensalitramiento, disminución de la materia orgánica, reducción de la profundidad del suelo y contaminación. Estos procesos se acentúan al aumentar la densidad de población. La parte más afectada se localiza en el Centro del país.

Las zonas áridas se localizan principalmente en el Norte de México, y están propensas a la desertificación debido a lo siguiente: erosión, sistemas intensivos de explotación de los recursos naturales, sequía, bajo nivel educacional y pobreza.

En México, las zonas áridas y semi-áridas cubren más del 70% del territorio nacional, en ellas existen 14 millones de productores con escasas posibilidades de trabajo y con una migración de 900 mil personas por año, hacia las zonas urbanas.

Cerca de 170 millones de hectáreas, alrededor del 85% de la superficie total presenta cierto grado de desertificación cada año se pierden de 150 mil a 200 mil hectáreas.

Entre los diversos factores que causan desertificación en México se tiene como uno de los más importantes la falta de planeación industrial, urbana y agrícola.

México tiene 22 millones de hectáreas bajo cultivo, 70% bajo condiciones de temporal. Con una población proyectada de 108 millones de habitantes para el año 2000 y un límite superior de 25 millones de hectáreas cultivables, se tiene un promedio de 0.23 hectáreas per cápita; si no se toman medidas adecuadas, las hambrunas harán acto de presencia.

Consideraciones importantes en la planeación integral sobre el uso de los recursos naturales

Agua y tierra disponibles para propósitos agrícolas

El manejo correcto del agua y del suelo representa la infraestructura básica para lograr sistemas permanentes de producción agrícola. El factor limitante más importante para el desarrollo de las zonas áridas y semi-áridas ha sido, es y será el agua. Los principales usos del agua en orden de importancia y con respecto al volumen consumido son: agrícola, industrial y doméstico. Algunos países como México y la India usan más del 80% de su agua para propósitos agrícolas y menos del 20% para la industria y usos domésticos; otros tales como la ex Unión Soviética y los Estados Unidos de América tienen las proporciones siguientes: 40% uso agrícola, 45% uso industrial y 15% restante para uso doméstico. La demanda estimada para uso industrial es de 20 a 40 m³ por persona por año.

Tenencia de la tierra y tamaño de la parcela

La inseguridad sobre la tenencia de la tierra causa problemas socio-económicos en los sistemas de producción agrícola y forestal, en la mayoría de los casos reduce la producción. Otros problemas relacionados con el tamaño de la parcela es cuando ésta es muy pequeña y con una baja capacidad de producción. Esto ocasiona que el productor busque trabajo en otros lugares y abandone total o parcialmente su parcela.

En muchas ocasiones la erosión del suelo afecta a varias parcelas y se requiere la participación de la comunidad para un control efectivo de la erosión. El abandono de las parcelas produce una baja remuneración marginal y al mismo tiempo favorece la desertificación. Sería deseable que se considerara a cada comunidad como una unidad de producción y que se le hiciera responsable del manejo de sus recursos naturales. En el caso de falta de alimentos, deberá evitarse que las mejores tierras se dediquen a cultivos remunerativos por lo que habrá que establecer un plan de acción para la producción de cultivos básicos.

Disponibilidad de insumos

Todos los sistemas de uso de la tierra requieren de ciertos insumos: créditos, fertilizantes, maquinaria, semillas, etc., con el objeto de mejorar la productividad y prevenir el desarrollo de la desertificación. Desafortunadamente las tierras más degradadas requieren de mayores inversiones, si éstas no vienen, se establece un círculo vicioso y la desertificación avanza a mayor velocidad, sobre todo en las comunidades con una baja capacidad de desarrollo.

Los sistemas extensivos de producción con baja productividad por unidad de área y por unidad de tiempo son los que predominan en México. Por lo tanto urgen planes de acción a corto y largo plazos para inducir un cambio gradual a sistemas intensivos de producción con mejores rendimientos unitarios.

La tecnología utilizada deberá escogerse con cuidado con el objeto de aumentar la producción y las ganancias y así poder reinvertirlas en estos sistemas de producción. La seguridad del mejoramiento de la calidad de vida motivarán a las comunidades a trabajar con mayor entusiasmo y a reducir la migración masiva a los centros urbanos.

Niveles de mecanización

En los países en vías de desarrollo como México, la principal fuente de energía en los sistemas de uso de la tierra son la mano del hombre y los animales de tiro, lo cual en la mayoría de los casos no satisface las demandas de energía para la ejecución oportuna de ciertas actividades agrícolas por lo que deberán reforzarse los esfuerzos para desarrollar maquinaria e implementos

agrícolas adecuados a las condiciones sociales y económicas.

Estrategias para el control de la desertificación

A nivel internacional

La estrategia mundial para prevenir y combatir la desertificación se encuentra en el plan adoptado en la Conferencia Mundial sobre Desertificación que tuvo lugar en Nairobi, Kenya en 1977 y que fue organizada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Se acordó que cada nación debería establecer su plan nacional para combatir la desertificación y que éste debe estar en relación con el manejo adecuado de los recursos agua, suelo, flora y fauna, importante herencia de las presentes y futuras generaciones.

Durante la conferencia de Nairobi se establecieron medidas y principios para prevenir y combatir la desertificación, la cual se consideró como un problema de la humanidad, por lo que deberá invitarse a las comunidades a organizarse y a participar con entusiasmo ya que ellas son responsables del uso de sus recursos naturales.

El plan de acción deberá ser integral y las medidas deberán considerar un nivel tecnológico adecuado, acorde con los sistemas de producción y con las condiciones sociales, económicas y ecológicas.

A la fecha, México y los Estados Unidos de América han establecido un acuerdo sobre el manejo de las zonas áridas y semi-áridas y sobre el control de la desertificación. Ambos países han mostrado preocupación por el deterioro ecológico ya que éste presenta problemas económicos y políticos para los habitantes de ambos países.

Elementos de un plan para combatir la desertificación

Algunas acciones para combatir la desertificación son las siguientes: 1) Selección de tecnología apropiada, 2) Establecimiento de un plan de acción, 3) Areas piloto.

Es de crucial importancia contar con el apoyo de la población local ya que el objetivo es, no solamente combatir la desertificación y promover el crecimiento económico, sino que esto se relaciona con la moral de la comunidad, especialmente en aquellas áreas seriamente afectadas donde la miseria, el desempleo y el subdesarrollo están presentes.

Tecnología y desertificación

La desertificación es un fenómeno inducido por el hombre lo cual causa que se afecten los límites potenciales de producción en los diferentes sistemas de uso de la tierra. Cualquier uso de la tierra significa un peligro potencial si no se selecciona la tecnología apropiada.

La desertificación es a menudo causada por la necesidad del hombre para subsistir y en muchas ocasiones por el deseo de sobre-explotación de los recursos naturales. La tecnología representa una unión entre los sistemas naturales y sociales y puede resultar en un buen o mal manejo de los recursos naturales. Existen muchos ejemplos de la correcta e incorrecta aplicación de la tecnología, existen casos donde la aplicación errónea ha sido responsable de muchos problemas ambientales, la desertificación es solamente uno de ellos.

La tecnología puede considerarse como simple, intermedia o avanzada, dependiendo del punto de referencia establecido, aunque simple no necesariamente se relaciona con la tecnología tradicional o primitiva. La tecnología apropiada, desde el punto de vista de su complejidad puede ser simple, intermedia o avanzada y así una tecnología en particular puede ser apropiada para ciertas condiciones específicas e inapropiada para otras.

A la fecha existe una gran variedad de tecnologías generadas con enfoques empíricos y científicos.

cos; podría decirse que en general el problema de la desertificación no es de tipo tecnológico sino de tipo social, económico y político.

La selección y aplicación de las tecnologías para combatir la desertificación en México deberá basarse en la educación y la motivación de la población local, la disponibilidad de personal técnico bien capacitado y los niveles de inversión y de tiempo dedicados a la recuperación de áreas específicas afectadas por la desertificación.

Tres principios básicos deberán tomarse en cuenta para determinar las tecnologías más eficientes para combatir la desertificación:

Primero, para empezar a combatir la desertificación es necesario dar prioridad a los sistemas de producción menos deteriorados. Esto es especialmente importante cuando las limitaciones económicas son severas, ya que inversiones bajas producirán ganancias satisfactorias en periodos cortos de tiempo y podrán ser reinvertidas para aumentar la productividad gradualmente. Además, estas ganancias extras podrán ser utilizadas para recuperar otras áreas con mayor deterioro.

El segundo principio consiste en tomar conciencia de la importancia de la tecnología de carácter intermedio. Muy frecuentemente los países en vías de desarrollo tienen una capacidad industrial reducida, una falta de centros de salud en buenas condiciones, sistemas deficientes de transporte, limitaciones de crédito y un desarrollo tecnológico pobre, lo cual dificulta la introducción de tecnologías más avanzadas y complejas. Esta es la razón por lo que la tecnología de carácter intermedio representa una solución más razonable.

Algunas características de la tecnología de carácter intermedio, apropiado o transicional son las siguientes: 1) un alto sentido de justicia social; 2) adaptación a los aspectos sociales y de comportamiento de los grupos humanos; 3) capacidad para mezclarse exitosamente y complementarse con la experiencia del conocimiento antigua y moderna; 4) costos reducidos (esto es importante en países en desarrollo con poco capital para la inversión); 5) mínimos efectos dañinos sobre el ecosistema; 6) utilización más eficiente de la mano de obra local y, 7) genera un crecimiento gradual, lo cual será más realista en los sistemas sociales y económicos de una localidad.

Tercero, las tecnologías tradicionales desarrolladas por las comunidades, así como otros sistemas de vida, deberán ser consideradas antes de establecer nuevos sistemas de uso de la tierra ya que ellos han sido probados a través de largos procesos de experimentación de error y acierto y representan las bases para el manejo de los recursos naturales. Frecuentemente esta experiencia local proporciona el punto de partida para combatir la desertificación y para generar desarrollo. Además, cuando la tecnología tradicional se complementa con la de carácter intermedio y moderno, se contará con la suficiente capacidad para pasar, creativa y gradualmente, de un sistema extensivo a un sistema intensivo de producción.

Es importante enfatizar que la tecnología *per se* no es suficiente para controlar la desertificación, ya que además deberá contarse con una infraestructura básica y aún más importante será el entusiasmo de la comunidad y su decisión para participar en el combate de la desertificación.

Principios para el establecimiento de un plan de acción para controlar la desertificación

Un plan es una forma de organizar la acción para controlar la desertificación y se relaciona con lo siguiente: prevención, reorientación, sistematización y evaluación. Un plan comprende varios programas de acción en un área considerada la cual puede ser a nivel nacional, estatal o municipal.

Los componentes de un plan de acción son los siguientes: 1) diagnóstico; 2) pronóstico; 3) objetivos; 4) niveles de aplicación; 5) niveles de coordinación; 6) operación del plan y 7) evaluación.

1. Diagnóstico. Este se refiere a la evaluación de lo sucedido en el pasado y debe considerar la disponibilidad de agua, suelo, flora y fauna, y el aspecto socio-económico el cual muestra

las condiciones actuales de la población, los aspectos legales y administrativos, los cuales definen las bases de organización de tipo legal en la lucha contra la desertificación. Esta evaluación deberá considerar los indicadores de la desertificación los cuales se pueden agrupar como sigue: 1) físico, químico y biológico, y 2) socio-económico. Las metodologías actuales son muy diversas y se relacionan con el uso de imágenes de satélite, fotografías aéreas, observaciones de campo y modelos matemáticos. La escala a la cual estas metodologías son aplicadas, es de gran importancia. El diagnóstico es un componente significativo del plan y de éste depende en gran medida el éxito o fracaso para prevenir y combatir la desertificación.

Prognosis. En este componente se analizan las tendencias generales y específicas del avance de la desertificación y es útil para llegar a las propuestas preventivas y correctivas.

Objetivos. Pueden ser de tipo general o específico y se refieren a lo que debe hacerse en el corto, mediano y largo plazos, también sirve para establecer las hipótesis de trabajo.

Niveles de aplicación. Estos se refieren a cómo el plan debe llevarse a cabo de acuerdo a los instrumentos disponibles tales como: políticas, estrategias, legislación y metodologías. El control de la desertificación puede lograrse a través de la utilización masiva de la ciencia y de la tecnología apropiadas. Los programas de extensión ayudarán a facilitar la difusión de las tecnologías promisorias.

Niveles de coordinación. La coordinación y la organización son ingredientes esenciales para la acción armonizada a corto, mediano y largo plazos. Actualmente existen numerosos programas en México de lucha contra la desertificación en los cuales la participación de los sectores público y privado, de los técnicos y sobre todo de las comunidades, son observados. Sin embargo se requiere mejorar aún más la coordinación y la organización.

Niveles de operación. La participación organizada de las comunidades de los técnicos del sector privado y del sector público es indispensable. Las negociaciones deberán llevarse a cabo a nivel municipal, estatal y federal con la idea de cubrir varios niveles de operación y de ejecución.

Evaluación. Este componente dará continuidad al plan, su objetivo es evaluar periódicamente con el fin de reorientar y reafirmar las acciones establecidas.

Experiencia mexicana en proyectos piloto

El establecimiento de áreas piloto para combatir la desertificación tiene tres objetivos: 1) investigación, 2) demostración y 3) capacitación a varios niveles. Las áreas piloto contribuyen a encontrar estrategias viables que ayuden por un lado a impedir el deterioro ecológico y por otro a la productividad sostenida de los ecosistemas. Una evaluación deberá establecerse con cierta periodicidad para valorar sistemáticamente los impactos sociales, económicos y ecológicos.

Otro aspecto importante es la ubicación de las áreas piloto, éstas deberán ser representativas de las condiciones sociales, económicas y ecológicas. No deberán ser tan pequeñas como un campo experimental, ni tan grandes que no se puedan controlar fácilmente.

La participación entusiasta de la comunidad y de los sectores público y privado es, ha sido y será indispensable para el logro de los objetivos, las áreas piloto bien ubicadas servirán de base para programas de mayor escala, los cuales se convertirán en una parte importante del patrón global de combate a la desertificación.

En México se han establecido áreas piloto en los estados de Sonora, Coahuila, Zacatecas, Guanajuato, México, Oaxaca y Tabasco.

En cada una de las áreas piloto se tiene un marco de referencia tomando como base la acción a nivel de municipio. El marco de referencia comprende: 1) caracterización física; 2) aspectos socio-económicos; 3) sistemas de producción.

El área piloto se selecciona con base en recorridos de campo, con el apoyo de la comunidad y de las instituciones participantes considerando los puntos siguientes:

1. Se recomienda, cuando sea posible, que el área piloto sea una cuenca o subcuenca hidrográfica considerándose como una unidad de producción y una unidad ecológica.
2. Que el área seleccionada presente varios sistemas de uso de la tierra.
3. Que las condiciones sean representativas con el objeto de que las experiencias obtenidas puedan ser extrapoladas.

Las fases de un proyecto piloto son las siguientes: 1) elaboración del marco de referencia; 2) diagnóstico del problema; 3) selección de las medidas preventivas y correctivas; 4) presentación y aprobación de proyectos; 5) ejecución de trabajos de investigación, demostración y capacitación a varios niveles.

Estrategias complementarias para el combate a la desertificación y a la sequía

1. Establecimiento de programas a corto y largo plazo en los sistemas de uso del suelo siguientes: bosques, pastizales, zonas agrícolas de riego, zonas agrícolas de temporal, caminos, parques nacionales, minas y asentamientos humanos.
2. Utilizar a la cuenca o subcuenca como una unidad ecológica, hidrológica y de producción para la acción concertada de las comunidades los técnicos y las instituciones.
3. Promover una red de información tecnológica a nivel nacional, estatal y municipal que permita el intercambio efectivo de experiencias bajo diversas condiciones sociales, económicas y ecológicas.
4. Promover la colaboración entre científicos y técnicos de todas las áreas de estudio considerando los niveles estatal y municipal para el combate a la desertificación. Para ello es deseable contar con un comité consultivo de carácter científico e interdisciplinario.

Conclusiones

1. Para el año 2000, México tendrá 108 millones de mexicanos, cada uno de ellos requerirá alimento y condiciones adecuadas de vida. Por ello, el desarrollo social y económico es indispensable para prevenir y combatir la desertificación.
2. Sin embargo, si los recursos naturales continúan degradándose, el territorio mexicano pronto parecerá un desierto, incapaz de producir los alimentos básicos.
3. La batalla contra la desertificación no está perdida, la esperanza de la victoria permanece a través del esfuerzo unido de la comunidad para salvar a las siguientes generaciones de un futuro de miseria, pobreza, hambruna y muerte.

BIBLIOGRAFIA

- Anaya, G. M., 1977. Technology and desertification: "Its causes and consequences" Secretariat of the United Nations Conference on Desertification. Pergamon Press. Pag 319-448.
- Anaya, G., J. W. Estrada, J. L. Oropeza M. y A. Corona V., 1983. Aplicación de la desertificación en tres áreas de prueba en México. In "Methodology for Desertification Assessment and Mapping, FAO/UNEP, Rome, Italy.
- Anaya, G. M., 1983. Strategies for the prevention of and fight against desertification. In: Nature Resources and Development in Arid Region. Edited by E. Campos-López and R. J Anderson. West View Press. Pág. 131-144.
- Anaya, G. M. 1985. Problemas de erosión y desertificación en suelos de América Latina. Conferencia Magistral. X Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Cali-Colombia.
- Anaya, G. M. *et al.*, 1989. Global assessment of soil degradation in Mexico GLASOD Project.

- Colegio de Postgraduados. Chapingo, Montecillo, Mex. 106 Págs.
- Brundtland, G. H., 1988, Nuestro futuro común. Alianza Editorial, S. A., Madrid, España, 460 Págs.
- Estrada, B. W. J. y Ortiz, S. M. L. M., 1982. La desertificación en México. Universidad Autónoma de Chapingo, Méx. 4 Págs.
- FAO, 1984. Metodología provisional para la evaluación y representación cartográfica de la desertificación. Roma, Italia, 74 Pág.
- ISRIC, 1983. Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation. Edited by L. R. Oldeman, Wageningen, Netherlands. 15
- Oldeman, L. R., 1990. World Map of the Status of Human Induced Soil Degradation: An Explanatory Note. I S B N 90-6672-042-5, ISRIC. The Netherlands 27.
- United Nations, 1992. Adoption of Agreements on Environment and Development. Agenda 21. U. N. Conference on Environment and Development. Río de Janeiro, Brazil, 3-4 June.

Distribución y duración de la sequía intraestival en el estado de Morelos

TERESA REYNA TRUJILLO

*Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México,
Circuito Exterior, CU, 04510, México, D. F., México*

MARISELA TABOADA SALGADO

*Centro de Investigaciones Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos,
Av. Universidad No. 1001 Col. Chamilpa. CP 62210. Cuernavaca, Morelos, México*

RESUMEN

Se determinó la vulnerabilidad a la sequía de medio verano en Morelos, siendo ésta baja (de 0 ó a más de 15% de intensidad) para toda la entidad, aun así sus efectos han sido nocivos para la agricultura de temporal (bajos rendimientos de maíz, frijol, cacahuate, etc).

Se propone calcular mediante simuladores cómo sería esta vulnerabilidad a la "canícula" ante un cambio climático con duplicidad de CO₂ y cómo se verían afectadas las áreas agrícolas y los rendimientos de algunos cultivos de temporal, maíz por ejemplo en algunos estudios de caso.

ABSTRACT

It was determined the vulnerability to the mid-summer drought in Morelos, this was lower from (0 or more than 15% of intensity) in all the entity, but the injurious effects to the temporal agriculture still (lower output in corn, bean, peanut, etc).

The propose is the estimate though simulators, to know the vulnerability to the "canicula" in a climate change with duplication of CO₂ and how the agriculture areas will be injurious and the output from some temporal cultivation of corn. For examples some studies of specific localities.

1. Introducción

La precipitación es uno de los elementos climáticos de gran importancia para cualquier ambiente y en cualquiera de sus formas. En el país la distribución temporal y geográfica de la lluvia, ha sido estudiada por diversos autores: Page (1930), Wallen (1955), García (1965), Mosiño y García (1966), Reyna (1970), García *et al.* (1974), Jáuregui (1975), Jáuregui y Soto (1975); y han detectado al igual que Reyna, Flores y Rebollo (1989), Beltrán (1990), Taboada, Reyna, Oliver y Beltrán (1993) entre otros, al analizar la precipitación para regiones o entidades específicas, que la lluvia tiene un comportamiento bimodal, es decir, que en el verano registra dos máximos unidos por un mínimo secundario.

A esta disminución "relativa", en comparación con lo que podría esperarse si la temporada lluviosa fuera modal, se le conoce como sequía intraestival, relativa, de medio verano o "canícula" y es el receso o merma en la cantidad de precipitación caída de mayo a octubre inclusive, es decir, durante la época temporalera, aprovechada fundamentalmente para realizar la actividad agrícola en el país.

Esta sequía meteorológica, no es una sequía absoluta, sino una reducción en el número de días con precipitación, ocasionando una disminución en las cantidades mensuales recibidas que se evidencian en los registros climáticos y que pueden ocasionar también pérdidas más o menos considerables en los rendimientos de los cultivos temporaleros (maíz, frijol, chile, calabaza, otros) dependiendo de los estadios fenológicos en que se encuentren éstos y de la duración e intensidad de la misma sequía.

Mosiño y García (1966), señalan que la sequía relativa o mínimo secundario de precipitación se registra sobre la mitad oriente y sur del país y que la causa de esta distribución bimodal obedece

a cambios en la circulación atmosférica que anualmente tiene lugar en el Golfo de México y mares adyacentes. Esto debido a la presencia de una vaguada polar que bloquea la entrada de vientos alisios y de ciclones tropicales del Golfo, provocando la disminución en la precipitación.

Posteriormente Mosiño y Reyna (1989), enfatizan que una causa parcial de la sequía intraestival son los ciclones tropicales que se forman en el Golfo de México sin entrar al territorio mexicano y se asocian a una configuración de las isohipsas en forma de una área anticiclónica que los abraza por el norte, produciendo una lengua de aire seco, subsidente, dentro del área del anticiclón, cuya presencia ocasiona la recesión en las lluvias, sobre la mitad oriental del país.

La importancia del fenómeno radica en las grandes extensiones que abarca, ya que de 1900 estaciones meteorológicas del país, la mitad registra sequía intraestival.

Hasta el momento esta sequía se había estudiado en el país en general (Reyna, 1970) y específicamente en algunas entidades: Coahuila (Reyna y Villegas, 1978), Michoacán (Flores, 1984) y Morelos (Beltrán, 1990 y Taboada, Reyna, Oliver y Beltrán, 1993) desde el punto de vista meteorológico, climático y su impacto en la agricultura, pero no en relación al cambio climático global y cómo éste podrá incidir en esta actividad.

2. Distribución de la precipitación en Morelos

Los grandes contrastes topográficos que caracterizan el estado de Morelos, influyen notablemente sobre la intensidad de las precipitaciones registradas a lo largo del año, los sistemas de circulación atmosférica definen claramente dos épocas: la húmeda y la seca.

La primera se inicia a mediados de mayo y finaliza en la primera quincena de octubre; época en que los vientos alisios que llegan al continente después de pasar por el Golfo de México en donde recogen humedad, originan la presencia y el aumento de lluvias. Movimientos convectivos del aire en el fondo de los valles al enfriarse por condiciones adiabáticas precipitan al ascender por las laderas montañosas tanto en el norte como en el sur de la entidad. Es frecuente que la precipitación se concentre por la tarde y noche, produciendo aguaceros que resultan de las corrientes alisias del este. Los ciclones tropicales también contribuyen a incrementar la precipitación debido a que introducen bastante humedad al continente, concentrándose en esta temporada el 95% de la precipitación total anual, estableciéndose por lo tanto, un régimen pluviométrico de verano.

En contraparte, durante la época seca (de noviembre a marzo, principalmente), los alisios se debilitan, se hacen descendentes y secos, el desplazamiento hacia el sur de la zona intertropical de convergencia, provoca condiciones de sequía, reflejo de la presencia de los vientos del oeste que dominan en esta época del año; sin embargo, puede existir un mínimo de lluvia en este periodo no mayor al 5% de la total anual, que resulta del efecto de la entrada de los frentes de aire polar continental que abaten la temperatura y cuando estos son profundos, llegan a la entidad en forma de lluvia.

Se registran valores máximos de 1200 mm anuales sobre la región norte, destacando entre estos macizos montañosos la Sierra de Chichinautzin, con una extensión de 2100 km² y a una altitud de 3500 msnm; la precipitación va descendiendo hacia el sur conforme disminuye la altitud, la región intermedia se encuentra situada a pie de monte, donde se reciben entre 1000 y 1200 mm y, finalmente, los valores mínimos se registran en la región del valle, en el centro-sur de la entidad, la cual recibe menos de 1000 mm.

Estas cantidades dan a la región carácter de subhumedad, las probabilidades de tener anualmente esta precipitación, o una cantidad mayor a ésta, según García *et al.* (1974), es de 44 a 48%. El régimen de precipitación definitivamente de verano, muestra en la totalidad del estado distribución bimodal, correspondiendo a este receso el establecimiento de la sequía intraestival.

3. Duración y evaluación de la sequía relativa

Para realizar la presente investigación, los datos de precipitación proporcionados por la Comisión Nacional del Agua, Delegación Morelos, fueron analizados y cuantificados para 50 estaciones termopluviométricas distribuidas en el estado y que han funcionado por lo menos en periodos mayores de cinco años.

La evaluación de la sequía se hizo año por año, aplicando la formulación propuesta por Mosiño y García (1966): Cálculo del polígono funicular (según el caso y la duración de la sequía):

$$A_{1,2,3} = (1/2) Y_1 - Y_2 + (1/2) Y_3 \text{ (sequía de 2 meses)}$$

$$A_{1,2,3,4} = Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4 \text{ (sequía de 3 meses)}$$

$$A_{1,2,3,4,5} = (3/2) Y_1 - Y_2 - Y_3 - Y_4 + (3/2) Y_5 \text{ (sequía de 4 meses)}$$

$$A_{1,2,3,4,5,6} = 2Y_1 - Y_2 - Y_3 - Y_4 - Y_5 + 2Y_6 \text{ (sequía de 5 meses)}$$

En donde las Y s son las precipitaciones medias mensuales de la temporada afectada por la sequía.

$$\text{Sequía relativa \%} = \frac{\text{Area del polígono} \times 100}{\text{Precip may} - \text{oct}}$$

$$\text{Promedio de sequía relativa} = \frac{\text{Sequía relativa de cada año}}{\text{Número de años}}$$

Con los valores obtenidos de esta manera, se construyó mediante isolíneas el mapa de vulnerabilidad a la sequía intraestival o relativa para el estado.

4. Resultados

Distribución

En un estudio general para el país (Reyna, 1970) se había detectado que en Morelos, la sequía sólo estaba presente en la porción central abarcando la entidad de este a oeste, en localidades como Coatlán del Río, Alpuyeca, Anenecuilco y Temoac, entre otras. Sin embargo, en una investigación específica para la entidad, Beltrán (1990) concluye que la sequía se extiende en todo el estado, así que los 4961 km² que lo forman pueden verse afectados por este fenómeno.

Duración

Esta en promedio, es de dos a tres meses, eventualmente en algunos sitios puede ser hasta de cuatro meses, como es el caso de Cuautla y Hueyapan, donde en algunos años en particular, la sequía abarcó tan largo periodo. Agosto es frecuentemente el mes más seco, seguido por julio y excepcionalmente por junio.

Intensidad

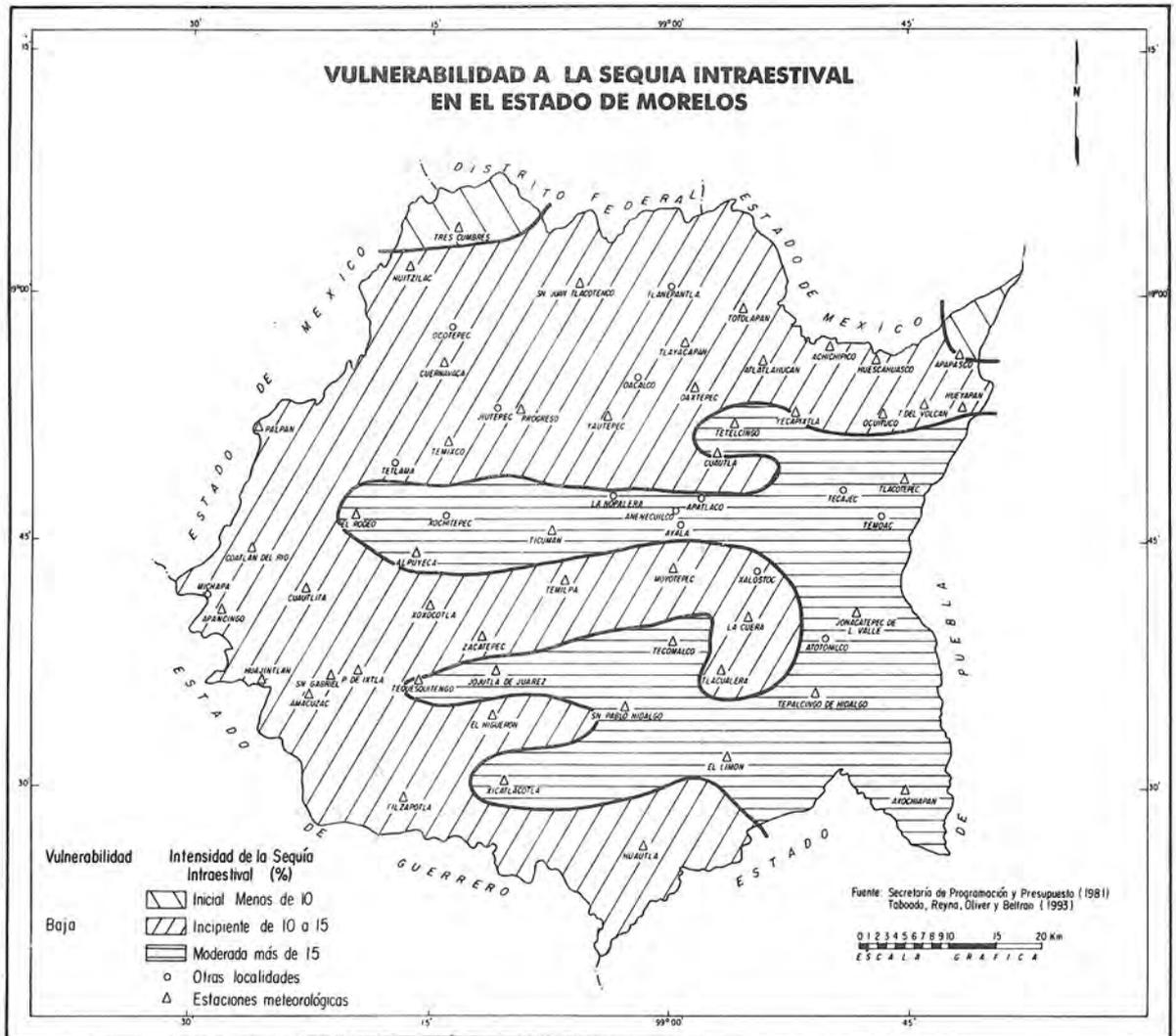
En la primera evaluación que se hizo de este fenómeno (1970), la intensidad del mismo era menor del 10%. En una segunda evaluación (1990) y analizando la información de 34 estaciones termopluviométricas durante el periodo 1930-1985, se encontraron regiones con intensidades desde 5 hasta 15%. Y finalmente en este estudio más detallado (de 50 estaciones) y para el periodo 1930-1991, se reafirma que toda la entidad sufre de esta sequía en medio del verano, llegando a ser ésta mayor de 15%.

5. Vulnerabilidad a la sequía intraestival

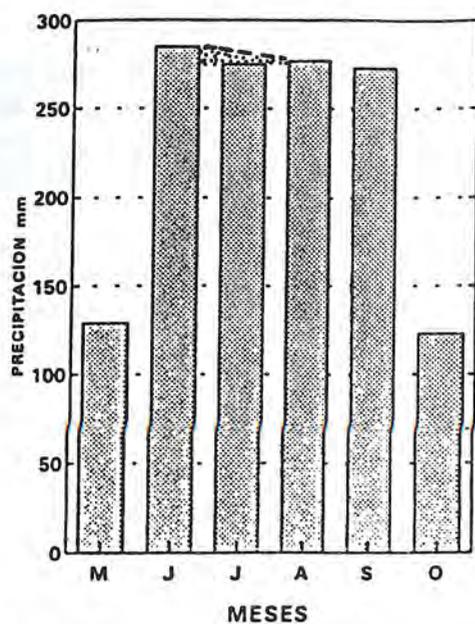
Al relacionar las intensidades con la vulnerabilidad a la sequía intraestival o relativa (Mapa correspondiente), entendiendo por vulnerabilidad la fragilidad o el daño que pueda ocasionar este fenómeno y de acuerdo con el criterio nacional de que la vulnerabilidad es:

Baja cuando la intensidad de la sequía es de 0-20%

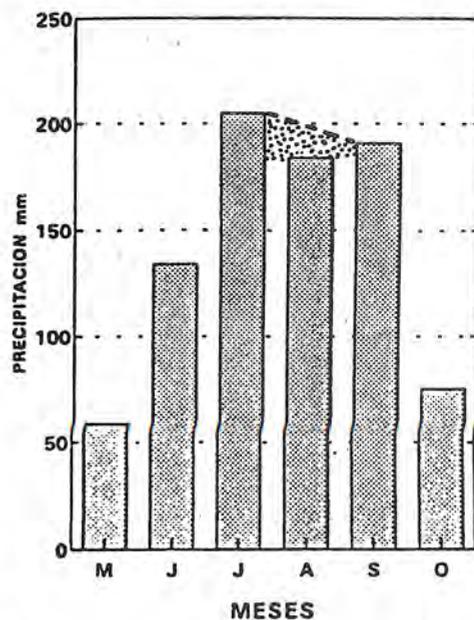
Media cuando los niveles son de 20-40% y



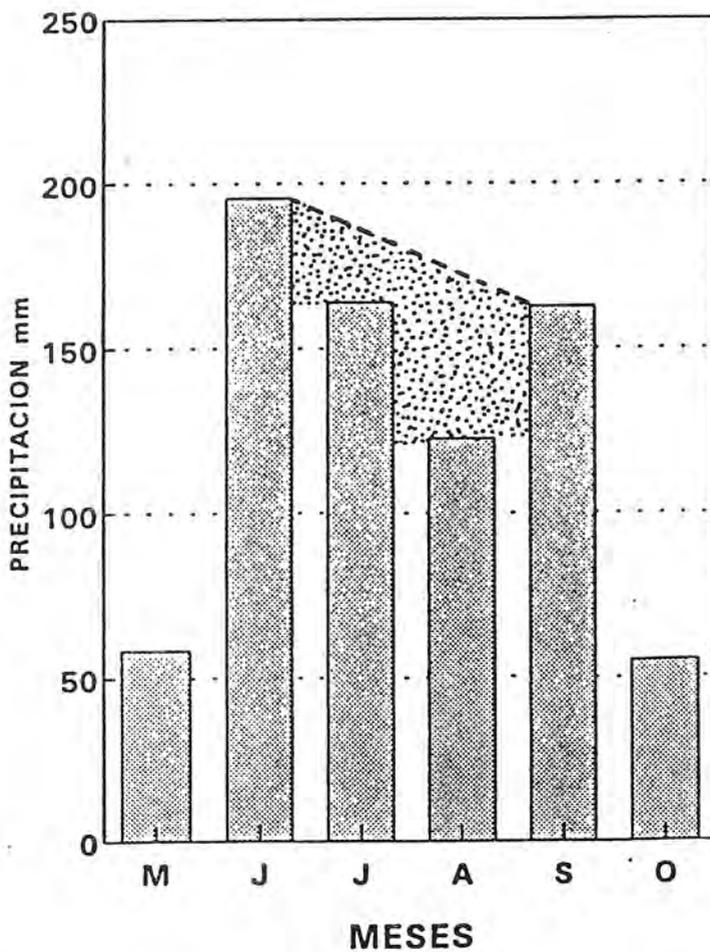
Intensidad de la sequía intraestival (%)



BAJA INICIAL: APAPASCO (Gráfica 1)



BAJA INCIPIENTE: TLAYACAPAN (Gráfica 2)



BAJA MODERADA: ALPUYECÁ (Gráfica 3)

Alta cuando éstos son mayores de 40%.

En Morelos la vulnerabilidad detectada es baja; sin embargo, dentro de ésta, la vulnerabilidad actual apenas es inicial en dos pequeñas áreas ubicadas en el noreste y noroeste quedando en ellas Tres Cumbres y Apapasco (Gráfica 1), sitios que si bien reciben precipitaciones superiores a 1200 mm no por ello dejan de registrar pequeños descensos en la precipitación veraniega que alcanzan valores de 0-10% de intensidad.

Tiene vulnerabilidad incipiente (10 a 15% de sequía) el norte, centro y sureste de Morelos, donde se localiza Tlayacapan (Gráfica 2), Cuernavaca, Yautepec, Coatlán del Río, Amacuzac, Huajintlán y Huautla, entre otras. Aproximadamente el 65% de la superficie de la entidad se caracteriza por presentar estas condiciones.

El área con vulnerabilidad baja moderada (más del 15% de intensidad de la sequía) se identifica en la región oriente, donde a pesar de recibir precipitaciones entre 800 y 1000 mm anuales éstos no tienen una distribución homogénea, sino que en el verano se reciben las lluvias de manera bimodal, padeciendo por ello una canícula más acentuada. Prácticamente el 30% de la entidad, por ejemplo Alpuyecá (Gráfica 3), Cuautla, Jojutla y Axcochiapan sufren estas condiciones de sequía.

6. Conclusiones

En la actualidad todo el estado de Morelos es aunque en baja categoría, vulnerable a la sequía intraestival o "canícula", ésta presumiblemente ha afectado de manera directa las actividades humanas, principalmente las agropecuarias.

Este fenómeno parece incrementarse, lo que provocaría una disminución en las superficies cultivables y un probable cambio en los patrones de cultivos. De tal manera que resulta importante estimar cuáles serán las áreas de temporal donde siga aumentando el riesgo de tener sequías más intensas en el medio verano.

Ante la presencia de un cambio climático global (incremento en el CO₂ y en la temperatura), el futuro de la agricultura probablemente se verá modificado, por ello se propone realizar un análisis histórico, presente, así como aplicar en algunos estudios de caso en Morelos, modelos específicos de simulación, que permitan diagnosticar el futuro de la interrelación sequía-agricultura.

REFERENCIAS

- Beltrán, B. M., 1990. Evaluación de la sequía intraestival en el Estado de Morelos. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México. 34 p.
- Flores, E. M., 1984. Efectos de la sequía intraestival en la producción de los cultivos de temporal en el Estado de Michoacán. Tesis Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras UNAM. México. 100 p.
- García, A. E., 1965. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. Boletín Inst. Geografía UNAM. Vol I, México. p. 185.
- García, E., R. Vidal, L. M. Tamayo, T. Reyna, R. Sánchez, M. Soto y E. Soto, 1974. Precipitación y probabilidad de lluvia en los Estados de Guerrero, Distrito Federal y Morelos. Secretaría de la Presidencia. CETENAL. Instituto de Geografía, UNAM México. I-VII. Mapas y Gráficas.
- Jáuregui, O. E., 1975. Los sistemas de tiempo en el Golfo de México y su vecindad. Boletín Inst. Geografía UNAM. Vol. VI. México. p 7-36.
- Jáuregui, O. E. y C. Soto M., 1975. La vertiente del Golfo de México. Algunos aspectos fisiográficos y climáticos. Boletín Inst. Geografía UNAM. Vol. VI. México. 37-46 p.
- Mosiño, P. y E. García, 1966. Evaluación de la Sequía Intraestival en la República Mexicana.

- Unión Geográfica Internacional. Conf. Reg. Lat. Amer. Tomo III. p. 500-515
- Mosiño, P. y T. Reyna T., 1989. La interrupción del Alisio, por recurva de los ciclones tropicales en el Golfo de México, causa parcial de la sequía intraestival. En: Memorias de la Segunda Reunión Nacional de Agroclimatología UACH. Departamento de Irrigación. México. p. 315-323.
- Page, J. L., 1930. Climate of Mexico. En: *Monthly Weather Review*. Supp. No. 23 U.S. Dept. of Agr. Washington 25 p.
- Reyna, T. T., 1970. Relaciones entre la sequía intraestival y algunos cultivos de México. Serie Cuadernos. Instituto de Geografía UNAM. México. 65 p.
- Reyna, T. T. y G. Villegas, 1978. Sequía Intraestival y consecuencias agrícolas en Coahuila. En: Memoria Congreso Nacional de Geografía Aplicada. Soc. Mex. de Geografía y Estadística. Saltillo, Coah. México. p. 235-240.
- Reyna, T. T., M. Flores y A. Rebollo P., 1989. Mes de máxima sequía intraestival o de sequía relativa. Escala 1:8000000. Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía. UNAM.
- Taboada, S. M., T. Reyna T., R. Oliver G. y M. Beltrán B., 1993. Evaluación de la Sequía Intraestival en el Estado de Morelos. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Dirección General de Investigación y Posgrado. Cuernavaca, Morelos. México. 78 p.
- Wallen, C. C., 1955. Some characteristics of precipitation in Mexico. En: *Geografiska Annaler* p. 1-85.

Modelos para la evaluación de los ecosistemas forestales ante un cambio climático

LOURDES VILLERS RUIZ e IRMA TREJO VAZQUEZ

Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, CU, 04510, México, D. F., México

RESUMEN

En el presente artículo se hace un análisis para la aplicación en México, de dos modelos para la evaluación de ecosistemas forestales ante un cambio climático global, estos son: el modelo de zonas de vida de Holdrige y el modelo forestal gap. El primero relaciona patrones climáticos con la distribución espacial de la vegetación, según la tipología de Holdrige. El segundo evalúa cambios en composición de especies, según un modelo sobre el establecimiento y crecimiento óptimo de árboles individuales. Debido a la poca aplicación que tiene la clasificación de Holdrige en México y la escasez de datos para el segundo modelo, se propone trabajar con la clasificación de Holdrige modificada y validada con los trabajos climáticos y de vegetación que existen para México, con la posibilidad de implementar esta información con la aplicación del modelo gap para áreas y especies muy particulares.

ABSTRACT

This paper shows the analysis to implement two models for evaluating forest ecosystems in Mexico, related to the global climate change. This are: the Holdrige life zone classification model and the forest gap model. The first one relates the current spatial distribution of vegetation to features of climate patterns. The second one evaluates the changes in species composition according to the optimal establishment and growth of individual trees. Because the few application in Mexico of the Holdrige classification and the meanness of data for the second model, the aims of this work is to propose the application the Holdrige model modiflicated with climatic and vegetation works for Mexico, and integrate this information with the gap model to species and specific areas.

Introducción

El incremento del CO₂ en la atmósfera, como generador de un calentamiento global, ha llamado la atención durante los últimos años, no sólo de los científicos, sino de todos los sectores de la sociedad, debido a las implicaciones que un cambio climático tendría tanto sobre el medio ambiente, como en la economía, salud y bienestar de la humanidad.

El analizar los alcances que una transformación de este tipo tendría sobre diferentes sectores, ha llevado a los países a proponer mecanismos para evaluar e identificar los posibles efectos de un calentamiento global y, en caso de que esto sucediera, proponer alternativas tecnológicas y políticas, que amortigüen dichos cambios, que podrían tener efectos drásticos para el planeta. Se piensa que en este siglo, el incremento de los llamados gases de invernadero, se ha dañado fundamentalmente por las actividades humanas como "quemado" de combustibles fósiles, la intensa actividad industrial, la deforestación y los cambios en el uso del suelo, entre otros.

Los cambios climáticos han sido parte de la historia del planeta, y estos cambios, han conformado los patrones de distribución de las formaciones vegetales, que actualmente conocemos. Algunos eventos como las glaciaciones han sido determinantes en la conformación de dichos patrones. Evidencias de este tipo se pueden ejemplificar al observar algunos mapas de migración de especies arbóreas en Norteamérica, obtenidos a través de isolíneas de incremento en lluvia de polen fósil (Davis. *et al.*, 1985).

Es necesario mencionar que tiempos largos y estables, permiten a las especies adaptarse al ambiente y ocupar espacios disponibles, lo que implica procesos evolutivos y ecológicos complejos. Factores abióticos, tales como los elementos del clima, juegan un importante papel en la ecología de las comunidades, puesto que delimitan de alguna manera la composición de las especies que podrían ocupar un área o hábitat específico (Dunson y Travis, 1991). Aún cuando para algunos autores las interacciones bióticas son fundamentales dentro de los procesos de colonización, se ha señalado que, independientemente de estas interacciones, los organismos tienen que responder a

las condiciones que les impone el ambiente y es sobre esta premisa, que se fundan los estudios sobre las afectaciones que pueden tener los seres vivos ante un cambio climático.

Por otro lado, aún cuando no se conocen las posibilidades de adaptación que tendrían las especies vegetales ante un calentamiento global de la atmósfera, en un lapso de tiempo relativamente corto, sería interesante considerar los efectos que existirían sobre la composición, tamaño y localización de los ecosistemas forestales.

Aunado a los efectos que podría provocar un cambio climático, los ecosistemas se han visto gravemente afectados por la intervención humana, principalmente los forestales tropicales. En este sentido, la evaluación del grado de deterioro, así como la tasa de deforestación, son de suma importancia, y, se tienen que contabilizar dentro de un escenario futuro de cambio climático, ya que este factor ha puesto en riesgo la sobrevivencia y conservación de los ecosistemas.

Antecedentes en México de estudios relacionados con cambio climático

En México estos estudios tienen sus antecedentes en la Reunión Continental Sobre Cambio Climático Global, celebrada en la Ciudad de México los días 10 y 11 de octubre de 1991, donde se expusieron diversos trabajos relacionados con el cambio global, desde aspectos atmosféricos, hasta aspectos humanos y políticos. Una segunda aportación, más breve de este tema se expuso en la Reunión Anual del Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA), UNAM celebrada del 21 al 24 de Octubre de 1992.

En estos foros se ha generado información relacionada con el Cambio Climático Global, referente principalmente hacia el papel que juegan los ecosistemas como fuentes de emisión o secuestro de carbono, para entender la dinámica de los llamados gases de invernadero, (Bellón, M., *et al.* 1993, Dirzo, R., 1992, Masera, O., *et al.* 1992, y Segura, G., 1992). También se han señalado algunas consideraciones sobre el impacto del cambio global en la agricultura y en ecosistemas forestales (Liverman D., 1992 y Menchaca *et al.*, 1992).

Por lo anterior se ha planteado la necesidad de llevar a cabo una evaluación con el fin de identificar las áreas forestales más vulnerables ante un cambio climático (CC), para lo cual se ha propuesto la aplicación de modelos atmosféricos que simulen dicho cambio, así como conocer cuales serían las variaciones que se darían en cuanto a precipitación y temperatura si existiera un doblamiento de CO₂ en la atmósfera y esas variaciones climáticas asociarlas a los patrones de distribución de la vegetación que consideren estos parámetros, así como a la dinámica de población en donde igualmente los parámetros del medio físico del ambiente sean considerados, generando un modelo futuro de cambio en los ecosistemas forestales.

Modelos de cambio climático global en relación a ecosistemas forestales

Hasta hace algunos años los estudios de modelamiento atmosférico (estos a su vez relacionados con cambio climático), se encontraban totalmente desvinculados de los estudios y modelos de dinámica forestal. Algunos trabajos plantean la relación de los ciclos de carbón y nitrógeno con la presencia de los bosques boreales de América del Norte (Bonan, 1990).

Los trabajos de Shugart (1984), que inicialmente se refieren a dinámica forestal, actualmente se han aplicado para modelar las respuestas potenciales de la vegetación al cambio climático global (Smith *et al.*, 1992a).

Resultados de modelos de simulación señalan, que los ecosistemas forestales de latitudes altas serían más sensibles a los cambios en temperatura, en particular los bosques boreales serían los más afectados, en cambio los ecosistemas tropicales, serían más sensibles a los cambios en precipitación (Emanuel *et al.*, en Bolin *et al.*, 1986). Estos modelos han sido diseñados para diferentes escalas, que van desde la puntual hasta la continental y global. Los requerimientos en información para cada uno de ellos depende precisamente del detalle que se alcanza.

Estos modelos permiten evaluar los impactos potenciales, del cambio climático sobre los ecosistemas forestales, lo cual puede hacerse bajo distintos escenarios, proporcionados por los resultados obtenidos al implementar los diferentes Modelos de Circulación General (GCM's), que varían en la predicción de aumento en temperatura con un doblamiento de la concentración de CO₂ en la atmósfera, de 2°C a 5°C (Liverman, 1993).

Para la realización del proyecto Country Study, propuesto por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), la EPA (Environmental Protection Agency) ha sugerido la implementación de dos tipos de análisis en particular para los ecosistemas forestales: el Modelo de Zonas de Vida de Holdridge y el Modelo Forestal Gap.

Modelo de Zonas de Vida de Holdrige.

Las zonas de vida propuesta por Holdridge (1967), relaciona los patrones climáticos con la distribución espacial de la vegetación. De acuerdo a las condiciones de biotemperatura, precipitación y evapotranspiración, se definieron 37 zonas de vida a nivel planetario.

Básicamente dos variables climáticas, la biotemperatura y la precipitación anual, son las determinantes en la clasificación de las zonas, que son especificadas por una serie de hexágonos con un sistema de coordenadas triangular. Donde dos lados del triángulo equilátero señalan, el promedio de precipitación anual expresada en milímetros y el índice de evapotranspiración potencial se señala en el tercer lado (ver Fig.1).

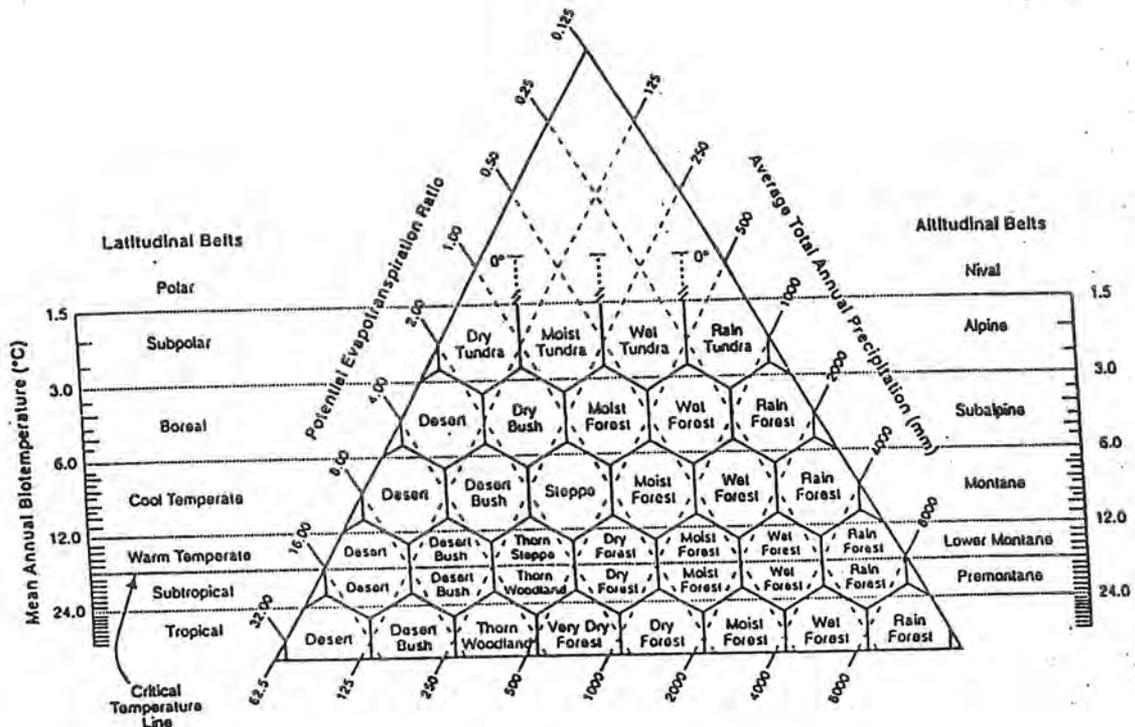


Fig. 1. MODELO DE CLASIFICACION DE ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE (HOLDRIDGE 1967).

El modelo de Holdridge relaciona la distribución espacial de la vegetación al sistema climático. Este modelo es recomendable para examinar patrones de vegetación y su relación con el clima a nivel mundial, pudiendo asociar la influencia del cambio climático a la aptitud de una región a soportar diferentes tipos de vegetación. Sin embargo, este punto de vista no es dirigido a los procesos de la vegetación, y no puede ser usado para predecir la dinámica temporal de la composición de especies y productividad; que serían elementos importantes en la evaluación de impacto potencial del cambio climático en los recursos forestales y su conservación.

Implementación del modelo

El modelo de Holdridge requiere sólo datos de precipitación y biotemperatura disponible, para una malla base de latitud y longitud. Los resultados son una representación de la distribución de la vegetación, basada solamente en parámetros climáticos. El mapa obtenido de las zonas de vida de Holdridge, puede compararse con mapas existentes de vegetación para la región, incorporando otras características del medio ambiente, que pueden influenciar los patrones de la cubierta vegetal, modificando las dos variables climáticas (biotemperatura y precipitación anual) adoptadas. Es claro que factores como topografía (altitud, pendiente y orientación de ladera) y suelo pueden modificar las condiciones de humedad y temperatura.

El modelo de Holdridge tiene una resolución espacial de 0.5×0.5 grados (para México representaría una malla de 760 puntos). Sin embargo, hay que considerar que la escala apropiada para mapeo de vegetación y evaluación de impacto depende del tamaño de la región, de la diversidad en la composición de la vegetación, de la disponibilidad de datos climáticos (número y periodos homogéneos de estaciones meteorológicas), de la relación con la topografía, entre otros aspectos.

Productos esperados

Con la aplicación del modelo de Holdridge, se obtendrán las probables áreas más vulnerables al Cambio Climático Global (CCG), al detectar las zonas de cambio, mediante la comparación de los mapas generados con los datos climáticos actuales, con aquellos modificados de acuerdo a los escenarios planteados (por ejemplo aumento de 2°C). Se mostrarán las zonas de vida potenciales para ambos casos, como puede observarse en los trabajos realizados a nivel mundial por Manabe *et al.* en 1980 y Bolin en 1986.

Además se podría pensar en una validación de estos resultados, si los comparamos con los patrones de vegetación que se utilizan más comúnmente para México, como son los trabajos realizados por Miranda y Hernández X. (1967) o más recientemente los trabajos realizados por Rzedowski (1978). Esta propuesta se plantea basada en gran medida debido a observaciones realizadas por García en 1972, en el sentido de que no existe una coincidencia de las formas de vida de Holdridge con el sistema de clasificación empleado por los primeros autores.

Modelo Forestal Gap

El modelo evalúa cambios en composición de especies y productividad de sitios forestales específicos. Este modelo simula el establecimiento, crecimiento y mortalidad de árboles individuales de un sitio (1 ha) para un periodo de tiempo anual. Es posible incorporar en el modelo prácticas de manejo forestal.

El potencial de crecimiento de cada árbol, es estimado por las curvas de crecimiento óptimo de especies. Estas curvas de crecimiento se han derivado de datos de campo o estimaciones de datos silvícolas de tallas máximas de árboles y longevidad.

Este modelo supone que el establecimiento y crecimiento óptimo de un árbol individual, es modificado por las condiciones ambientales del lugar (por ejemplo, temperatura y disponibilidad de humedad, nutrientes, luz, etc.). Las respuestas de las especies a factores ambientales, está de-

finido a través de procedimientos que relaciona la distribución de las especies, con patrones climáticos regionales o a través de datos silvícolas. En muchos casos las especies se categorizan en grupos, según la respuesta a un solo factor ambiental, por ejemplo, la respuesta al crecimiento con respecto a disponibilidad de luz.

Implementación del Modelo

La aplicación del modelo gap depende de la disponibilidad de sitios, con datos muy precisos, sobre las especies y sus condicionantes ambientales. Se requieren datos de crecimiento, mortalidad y reclutamiento de las especies componentes del sitio a analizar. Así como información sobre tolerancias y requerimientos de esas mismas especies y parámetros físicos del lugar, por esta razón se sugiere trabajar con especies comercializables, ya que sobre ellas se cuenta con mayor control tanto de los parámetros ambientales como mediciones de sus características fisiológicas.

El modelo puede simular el crecimiento forestal de un suelo desnudo o puede ser inicializado para un bosque determinado, definiendo el número, especies y tamaño de árboles a simular. La validación del modelo para una región se hace comparando los patrones simulados de la composición del bosque y estructura, con alguna descripción de los datos de campo de una área no usada para el modelo.

Productos esperados

Con el modelo gap, se reconocerían las respuestas de las especies ante el cambio climático y la dinámica que podrían seguir las comunidades que presenten estas especies. Los puntos donde aplicar este modelo serían las áreas más vulnerables detectadas por medio del modelo de Holdridge, o en sitios ya reconocidos y estudiados, como pueden ser las áreas naturales protegidas, reservas, estaciones de biología, etc. El mayor problema para este caso es la disponibilidad de datos para la simulación, así como su aplicación a ecosistemas complejos como pueden ser las selvas tropicales.

Problemas detectados en la aplicación de los modelos planteados

México es un país con gran heterogeneidad en varios aspectos, desde su topografía, su variación climática, geológica. Esta heterogeneidad causa problemas al tratar de describir la composición de los diferentes tipos de vegetación y sobre este esquema aplicar los modelos de simulación de cambio climático, algunos de estos problemas se relacionan con la escala, es decir, el grado de detalle que se piensa trabajar.

Para el caso de la aplicación del modelo de Holdridge, como ya se mencionó antes, se requiere de información climática. Uno asume primeramente que estos datos están disponibles para un número de estaciones en las regiones de interés y para un periodo uniforme de años. Al analizar la información disponible, se observa que las estaciones climatológicas que cumplen estos requisitos, no son las suficientes para representar la heterogeneidad ni climática, ni florística del país, sobre todo si se trabaja a escalas grandes, para México éstas podrían ser: 1:500,000, 1:250,000, y aún a 1:1,000,000.

Si se observa un mapa a estas escalas que señale las estaciones climatológicas con datos para el periodo 1951-80, se puede notar que prácticamente existen zonas sin información, fundamentalmente en las sierras como la Sierra Madre Occidental, donde se encuentran áreas con bosques templados o en las zonas áridas, donde existe un gran número de endemismos. Por otro lado existe una concentración de estaciones con datos para este periodo en la porción central de la república donde el monitoreo podría ser más preciso, sin embargo, aquí las grandes áreas forestales se encuentran muy reducidas debido a la presencia de los asentamientos humanos.

Por otro lado, la distribución de grandes tipos de vegetación se puede relacionar o comparar

con la variabilidad climática, pero cuando se consideran otros factores como la variación topográfica, o geológica, no siempre la relación es directa. Para el caso de México, algunos autores ya han mencionado que las zonas de vida de Holdridge implementadas en el país, no coinciden con la realidad, tal es el caso de García (1971) y Masera *et al.* (1992). Finalmente, la resolución del modelo de Holdrige con malla de 0.50×0.50 , no es lo suficientemente fina para representar al heterogeneidad en la distribución de la vegetación a gran escala.

Con respecto a estudios de dinámica y demografía de especies, para la aplicación del modelo gap, se requiere de datos de variables como requerimiento de luz, de nutrientes, humedad del suelo, etc., y para un número amplio de especies y un número representativo de sitios; la información en este sentido para México no es muy amplia, algunos estudios se han realizado en estaciones biológicas, sobre todo en lo concerniente a dinámica en selvas se tienen los trabajos de Martínez-Ramos *et al.*, 1988 y 1989 de manera que para algunos sitios es posible tener datos acerca de la estructura de la vegetación y en algunos casos de dinámica y demografía de especies. Se conoce igualmente que existen resultados de trabajos realizados en estaciones experimentales dependientes de secretarías de estado.

Por lo antes expuesto, es necesario, para la aplicación del modelo gap, hacer una recopilación detallada de la información disponible de los diferentes estudios particulares que se realizan y que pueden reportar el tipo de datos que se requieren. Cabe mencionar que incluso el inventario florístico del país no se ha completado y probablemente habrá especies que nunca formen parte de estos listados, ya que desaparecerán antes de conocer su existencia.

Finalmente la aplicación de los resultados de los modelos de cambio climático a los modelos Holdrige y gap estándares esto es, sin cambio climático, presenta también algunos problemas que es necesario considerar.

Los modelos de circulación climática general están orientados a escalas globales. Estos modelos usan ecuaciones que predicen valores de promedios globales o valores como cantidades de temperatura superficial. Estos son principalmente promedios de valores latitudinales. Los GCM's fueron creados para simular la circulación atmosférica a escala planetaria. 4 Los GCM's con una rejilla típica del orden de 500 por 500 km, son diseñados para simular procesos físicos con ciertos parámetros atmosféricos y según cierta demanda de capacidad computacional. Los modelos de ecosistemas han sido diseñados para simular procesos biológicos con ciertas demandas de datos del medio físico. Esto resulta importante señalar dado que ciertos parámetros relacionados para los modelos forestales no han sido contemplados por los GCM's (o no con la suficiente resolución) y viceversa.

El pensar en aplicar estos modelos a condiciones de cambio climático con el fin de entender el impacto en varios ecosistemas es una tarea difícil ya que hay que resolver los problemas de escalas en los diferentes modelos y los problemas de cantidad y disponibilidad de los datos.

Por otro lado también es conveniente señalar que los ecosistemas naturales pueden en un momento dado no presentar la fragilidad que podrían mostrar los sistemas agrícolas (Menchaca *et al.*, 1992) puesto que estos últimos debido a que son sistemas artificiales (establecidos y manipulados por el hombre) son más sensibles a perturbaciones climáticas que lo que podrían ser los ecosistemas naturales. Al mismo tiempo se puede pensar que para algunos modelos agrícolas ya se cuentan con mediciones y calibraciones de las plantas en diferentes condiciones de cultivo, diferentes estaciones de crecimiento, etc, información que como ya se mencionó es escasa para ecosistemas forestales.

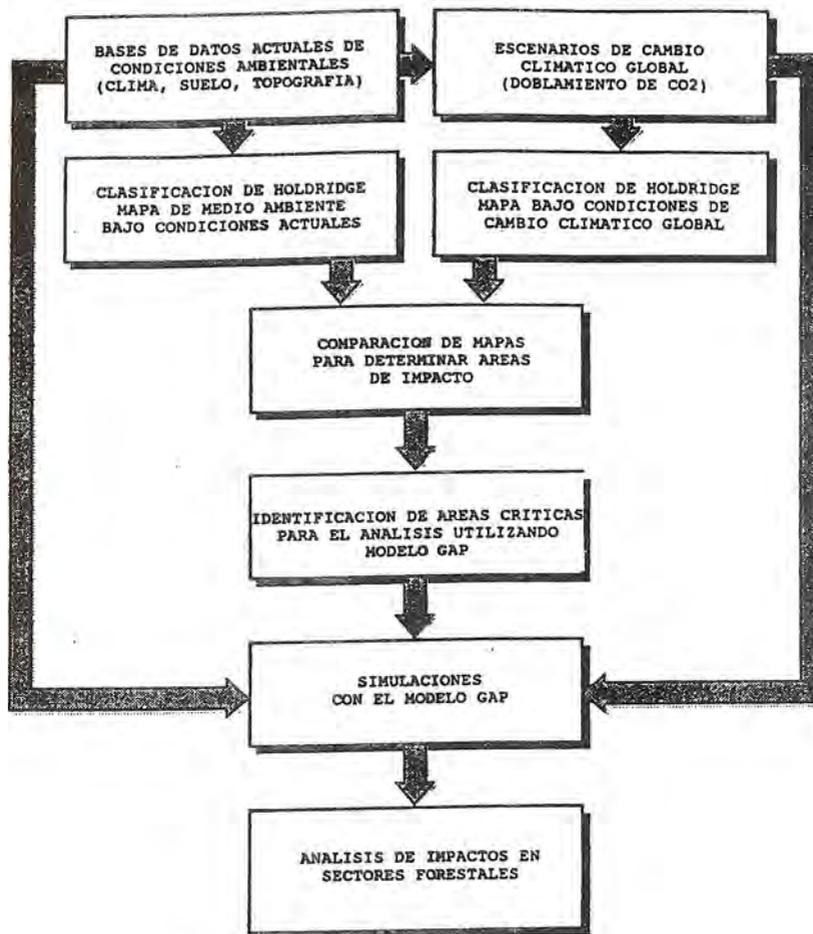


Fig. 2 Diagrama de integración de modelos.

Propuesta de aplicación e integración de los modelos

Los resultados de la aplicación de los modelos forestales y de cambio climático en el proyecto Estudio de País, propuesto por el IPCC, se requieren con la suficiente generalización para poder comparar con otras regiones del planeta. Para el tipo de información con la que se cuenta tanto de datos climáticos, como de tipos de vegetación para México, se propone trabajar a una escala pequeña, esto es 1:4,000,000 y con 360 estaciones que se encuentren homogéneamente repartidas en la república, tratando de que sean representativas de los diferentes climas y tipos de vegetación de México, para esto se consultará las cartas climática y de vegetación de INEGI 1:1,000,000. El periodo seleccionado será, de ser posible 1951-80, dado que según estudios realizados por la EPA estos años son los que presentaron menor variabilidad a escala planetaria.

Se utilizará para una primera aproximación la tipología de Holdrige ya que es la que servirá de comparación de este mismo estudio en otros países. En una segunda etapa se pretenderá hacer el modelamiento con la tipología de vegetación mexicana, con el fin de tener una correspondencia en cuanto a caracterización de la vegetación con los estudios que se realizan en nuestro país. Finalmente y de ser posible con estos resultados se identificarán áreas de mayor cambio y se utilizará el modelo gap en estos sectores.

BIBLIOGRAFIA

- Bellón, M. R., O. Mesera y G. Segura, 1993. Response Options for Sequestering Carbon in Mexico's Forests. Centro de Ecología-UNAM. México. 27 p.
- Bolin, B., Bo. R. Döös, J. Jager y R. A. Warrick, (eds.), 1986 The Greenhouse effect climatic change and ecosystems. John Wiley and Sons. Great Britain.
- Davis, M. B., 1989. Lags in Vegetation Response to Greenhouse Warming. In: *Climatic Change*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 15: 75-82.
- Davis, M. B y D. B. Botkin, 1985 Sensitivity of cool-temperate forest and their fossil pollen record to rapid temperature change. *Quaternary Research*, 23(3), 327-340.
- Dirzo, R., 1992. Deforestación y Diversidad Biológica. En: Memorias. Reunión Anual del Programa Universitario de Medio Ambiente, UNAM. (Octubre)
- Dunson, W. A. y J. Travis, 1991 The role of abiotic factors in community organization. *Am. Nat.* 138: 1067-1091.
- García, E., 1972 Correlación entre vegetación y clima según dos sistemas climáticos. En: Segunda mesa redonda sobre recursos naturales. Comisión de Geografía. Instituto Panamericano de Geografía Publ. No. 329 pp. 103-128. Río de Janeiro.
- Gay, C., 1992. Modelos de clima y el cambio GLOBAL. En: Memorias. Reunión anual del Programa Universitario de Medio Ambiente, UNAM. (Octubre)
- Holdrige, L. R., 1967. Life zone Ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica 206 pp.
- Liverman, D., 1992. Posibles impactos de los cambios climáticos en México. En: Memorias. Reunión anual del Programa Universitario de Medio Ambiente, UNAM. (Octubre)
- Liverman, D., 1993. Global Change and Mexico. *Earth and Mineral Sciences*, 60(4), 71-76.
- Manabe, S. y R. J. Stouffer, 1980 Sensitivity of a global climate model to an increase of CO₂ concentration in the atmosphere. *J. Geophys. Res.*, 85, 5529-5554.
- Martínez-Ramos, M., E. Alvares-Buylla y J. Sarukhan, 1989. Tree demography and gap dynamics in a tropical rain forest. *Ecology*, 70, 555-558.
- Martínez-Ramos, M., E. Alvarez-Buylla, J. Sarukhan, y D. Piñero, 1988. Treefall age determination and gap dynamics in a tropical forest. *Journal of Ecology*, 76, 700-716.
- Masera, O. R., M. J. Ordoñez y R. Dirzo, 1992. Carbon Emissions from Deforestation in Mexico: Current Situation and Long-term Scenarios, in W. Makundi and J. Sathaye (series eds.). Carbon Emissions and Sequestration in Forests: Case Studies from Seven Developing Countries, Vol.IV: México. Report No.LBL-32759, Energy and Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory-US. Environmental Protection Agency (EPA) (Sept.).
- Menchaca, L. y R. Byrne, 1992. El impacto potencial de un calentamiento global sobre los ecosistemas terrestres de México. En: *Ciencia*. Número Especial. 43. pp. 145-150.
- Miranda, F. y E. Hernández X., 1963 Los Tipos de Vegetación de México y su Clasificación. *Bol. Soc. Bot. Mex.*, 28, 29-179.
- Rzedowski, J., 1978 Vegetación de México. Ed. Limusa México.
- Segura, G., 1992. Deforestación y cambio climático. En: Memorias. Reunión anual del Programa Universitario de Medio Ambiente, UNAM. (Octubre)
- Shugart, H. H., 1984. A Theory of Forest Dynamics. The Ecological Implications of Forest Succession Models. Springer-Verlag. New York. pp.49-111.
- Smith, T. M., H.H. Shugart, G.B. Bonan Y J.B. Smith, 1992a, Modeling the Potential Response of Vegetation to Global Climate Change, *Advances in Ecological Research* 22, 13-113.

Repercusiones del ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México: un enfoque geográfico de los problemas del cambio global

MARIO ARTURO ORTIZ-PEREZ

Instituto de Geografía, UNAM, Circuito Exterior, CU, 04510, México, D. F., México

RESUMEN

Se exponen las evidencias de los efectos del ascenso del nivel del mar, como producto de la subsidencia de cuencas marginales. A partir de este impacto inicial, se plantea una serie de modificaciones asociadas a varios sistemas de retroalimentación como un modelo del escenario básico. A través de la regionalización geomorfológica de las costas, se identifican las áreas más vulnerables.

ABSTRACT

This paper shows evidences of sea level rise effects as result of marginal basins subsidence. A series of linked modifications associated with feedback systems as basic stage model is proposed. The most vulnerable areas are identified based on the geomorphological regionalization of the shores.

Introducción

En varias porciones del litoral del Golfo de México se están gestando cambios geomorfológicos muy rápidos, particularmente en aquellas costas constituidas de playas bajas arenosas, comprendidas en las llanuras costeras y/o deltaicas.

Las márgenes costeras muestran modificaciones importantes debido a la erosión marina a nivel de playas, bocas, barras y en las orillas de las llanuras costeras y/o deltaicas. Estos efectos o cambios se traducen entre otros, en un retroceso acelerado de la línea de costa tierra adentro, con la consecuente pérdida de tierras.

Las relaciones de causa y efecto de los fenómenos que desencadenan esta situación no son bien conocidos. Sin embargo, se puede mencionar que es común observar rupturas de equilibrio en el balance de la distribución de energía y materia de los geosistemas fluvio-marinos, con una rápida transformación de los procesos de la biosfera como resultado del impacto de las actividades del hombre.

El arreglo estructural de la organización espacial de los sistemas naturales es modificado al cambiar el uso del suelo, debido a la presión que ejerce el crecimiento poblacional acelerado y a la expansión económica.

En el contexto natural, los efectos de la sociedad y la economía, originan cambios en las fuerzas motrices que impulsan sesgos en los gradientes del funcionamiento natural, acarreando fluctuaciones pronunciadas, con la consiguiente reestructuración de los ciclos o ritmos de los procesos de intercambio en los sistemas naturales (hidrológico, biogeoquímicos, biológicos, climáticos, geomórficos).

La presión ejercida sobre los paisajes naturales se lleva a cabo a través del proceso de la asimilación económica del territorio mediante las diferentes modalidades de usos de suelo:

1. sin uso aparente, vírgenes o heredados de la historia natural,
2. modificados por uso agrícola de subsistencia,
3. transformado a paisaje rural con modificaciones de los ciclos hidrológicos y biológicos por agricultura comercial o pesca intensiva (acuacultura),
4. creación de paisajes antropogénicos, mediante la modificación de la geomorfología, el clima y ciclos biogeoquímicos por uso urbano-industrial y desechos por contaminación; en donde la transformación de los paisajes originales o heredados es casi total.

El impacto de las actividades humanas que interrumpen o refuerzan las fluctuaciones naturales de los geosistemas son complejas, se resumen para el caso de este análisis a las siguientes:

Las obras de ingeniería hidráulica; represas y canales de derivación para riego, las obras de contención para el control de avenidas y desvíos han modificado y controlado los escurrimientos de las corrientes fluviales más importantes que reconocen al Golfo de México mismas que son el sustento del recurso hídrico a las amplias llanuras deltaicas.

Al quedar controlado el escurrimiento con las obras hidráulicas, se retienen los sedimentos río arriba en las represas, dejando de acumular en la cuenca sedimentaria de la planicie deltaica. De esta manera, el escaso aporte de sedimentos no contrarrestan el proceso de hundimiento natural que tiene lugar en toda cuenca sedimentaria de subsidencia, Figura 1.

El peso y compactación de toda la columna sedimentaria de cientos y aún miles de metros que ha sido acumulada a lo largo del tiempo geológico prosigue con su descenso, fenómeno que a su vez es incrementado por la estructura disyuntiva del subsuelo por medio de la actividad de fallas normales de crecimiento. En otras palabras, la velocidad de descenso es mucho mayor que la velocidad de colmatación de sedimentos, al quedar una parte importante de estos azolves, retenidos en las presas y/o simplemente porque el espesor de la columna de sedimentos alcanzó un valor o umbral tal, a partir del cual inició una subsidencia más rápida.

El papel de las presas en esta problemática interviene como agente catalizador de las fluctuaciones naturales, al interrumpir o disminuir el flujo de energía cinética del escurrimiento y de la materia, es decir, del agua y de los sedimentos en el sistema deltaico, al crear un déficit de ellos en la costa. Por ello, en donde persistió el dominio del escurrimiento y la sedimentación continental, ahora con el cambio sólo ejerce la energía proveniente del oleaje, de las corrientes de deriva litoral, de las mareas de tormenta que someten a la franja litoral a través de la erosión que se manifiesta por el retroceso acelerado de la línea de costa. Psuty (1965, 1967), Zavala (1988), Ortiz, (1988, 1991, 1992, 1993).

Al problema en cuestión, se suman las obras de dragado o canalizaciones abriendo bocas en lagunas y rectificando los cursos fluvio-marinos (esteros) además de otras canalizaciones para el tendido de oleoductos de la empresa de Pemex, propiciando con ello, el aporte directo de aguas salobres y con esto una mayor influencia marina a través de la energía física derivada de las corrientes de la marea astronómica y de tormenta, al penetrar tierra adentro con mayor facilidad, transformando los ambientes lénticos a lóticos.

La subsidencia junto con las modificaciones del drenaje, tienen un comportamiento análogo a los efectos de un ascenso rápido del nivel del mar, sólo que con alcances territoriales de nivel regional. Hay que tomar en cuenta que los efectos son representativos de un problema a nivel mundial.

Naturaleza de los impactos

Los efectos derivados del fenómeno de cambios del nivel del mar se encadenan en un haz de relaciones de repercusión global ambiental. Independientemente de la pérdida de tierras por erosión de las playas y el consecuente retroceso de la línea de costa, se lleva a cabo la penetración de la cuña salina de marea tierra adentro, la que modifica condiciones de estuarinidad o físico-químicas del agua incrementando la salinidad del agua en los esteros, además de inducir el azolve se pierde energía física o movimiento transformándose a cuerpos de agua lénticos con la formación de tapones de lodo debido a la floculación de arcillas y el agregado de partículas finas al cargarse éstas electrostáticamente al entrar en contacto con las aguas saladas. Figura 1.

Los obstáculos así formados constituirán a la vez, barreras que impiden el libre flujo del escurrimiento contribuyendo además, a un drenaje deficiente que se traduce en un incremento de inundaciones. Figura 1.

La sedimentación tierra adentro, las inundaciones y la escasa pendiente contribuyen así mismo a una mayor inestabilidad hidrográfica de los cursos fluviales, las modificaciones de la trayectoria

fluvial inducen a renovadas inundaciones por las propias condiciones deficientes del drenaje. Figura 1

Por otra parte, al incrementarse la salinización de los suelos adyacentes, y con la posible contaminación de acuíferos someros, se repercute en un cambio de condiciones dirigidas en dirección de una aridez fisiológica, como parte del proceso de desertización el cual fue reconocido por el marchitamiento y muerte de la vegetación, acompañada de cambios en la estructura y composición de la vegetación, mediante el reemplazo de comunidades hidrófitas por la colonización de pastos halófitos y de manglar joven con distribución dispersa y poco densa, en detrimento de la capacidad agrológica de los suelos, Zavala (1988).

A los efectos directos, hay que agregar los indirectos o intangibles como son los factores limitantes para una diversidad biológica y la adaptación y establecimiento para una nueva biocenosis, procesos que en términos generales se traduce en un abatimiento y/o sustitución de la productividad natural de los ecosistemas y por consecuencia, en una disminución y perturbación de los recursos naturales básicos (agua-suelo-vegetación). Figura 1.

Como se ha mencionado, con la presión del crecimiento de la población y la economía, se ha transformado la función natural de las tierras bajas adyacentes a la costa, en los cuales, los recursos naturales están siendo degradados al ser perturbados por el uso inadecuado del suelo, concretamente por la deforestación al ser sustituidas las selvas, pantanos y manglares por tierras de ganadería extensiva, con la instauración de potreros a través de la sustitución del uso del suelo, mediante la quema normalmente incontrolada que se lleva a cabo en la época se secas para terminar por implantar los pastos inducidos.

La existencia de tales problemas se agrava si se yuxtapone con los efectos derivados del cambio global de clima. Situación que de manera invariable implica la proyección del efecto de invernadero o sea del calentamiento de la atmósfera debido a un incremento de las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2), metano, clorofluorocarbones y de otros disipados gases en la atmósfera, los cuales cuentan con la propiedad de absorber radiación infrarroja motivando la retención de calor en la atmósfera, de manera semejante al efecto de un invernadero. (PNUMA, 1989). Se calcula que el calor atrapado en la atmósfera elevaría la temperatura global entre 3 y 4 grados centígrados y con ello también se elevaría la temperatura del agua oceánica. El incremento de calor de ambos ámbitos, podría derretir y provocar un mayor desprendimiento y deriva de témpanos en el océano hasta latitudes medias, fenómeno que seguramente favorecerá a un cambio del nivel del mar.

Se calculan elevaciones cercanas a 30 cms según la Environmental Protection Agency y aún valores más altos para el primer cuarto de la próxima centuria; Titus (1988), sin llegar a tener un censo en la precisión del nivel estimado.

Sin embargo, el riesgo potencial de una elevación del nivel del mar y el avance de este, sobre la porción continental adyacente al mar, es y debe ser identificado y evaluado con el rigor que exige el riesgo de esta naturaleza.

La investigación de este riesgo en cuestión se justifica plenamente, pues a partir de los resultados que se obtengan, se podrá estar en posición de proponer soluciones a los problemas ya identificados y los que depara el futuro para el manejo de las tierras bajas de las zonas costeras sujetas al cambio global.

Regionalización costera

Considerando la proyección esperada de un ascenso del nivel del mar del orden de 30 a 40 cms para el próximo siglo Titus (op. cit. p. 8) y tomando en cuenta los variados efectos derivados del impacto ambiental del cambio global, es prioridad reconocer los elementos fisiográficos de la costa del Golfo de México, con el fin de identificar aquellas tierras bajas susceptibles o vulnerables al cambio global, para llegar a estar en condiciones de estimar la potencialidad de los efectos, según sus características geomorfológicas, hidrológicas y sus implicaciones ecológicas.

Actualmente se lleva a cabo la mudanza del agua oceánica sobre los humedales, marismas, llanuras deltaicas, cienágas, manglares y lagunas conectadas al mar y aún las aisladas por islas barrera, puesto que tienen comunicación por la capilaridad o intrusiones salinas Ortiz (op. cit. p. 3).

Debido a que la mayoría de las costas del Golfo y Mar Caribe son costas bajas arenosas con extensos humedales adyacentes éstas se disponen a menos de un metro sobre el nivel del mar, tal franja de distribución marginal sería directamente afectada por las variaciones de nivel y por tanto, representa la zona vulnerable a los efectos del ascenso del mar.

De acuerdo con el reconocimiento geomorfológico de carácter regional de las costas realizado por Ortiz y Espinosa (1991), se identifican ciertas zonas altamente vulnerables y otras susceptibles, pero en donde el impacto no tiene repercusiones de desastre. Figura 2

El interés de este reconocimiento estriba en el enfoque utilizado, pues se maneja una clasificación basada en el tipo de costa, por su origen y por las propiedades geológico-geomorfológicas, junto a lo cual, se expone el comportamiento de la línea de costa en función de la inestabilidad o variación de su trayectoria, esencialmente si migra hacia el mar o por el contrario si muestra avance hacia el continente, o es completamente estable.

El balance se establece de acuerdo a ciertas claves analíticas del relieve, en las que se considera una serie de relaciones morfogenéticas de tipo exógeno, clasificándolas de acuerdo a formas erosivas y acumulativas, entre las que se expresan morfológicamente por la disposición que guardan, la altura máxima o profundidad umbral que mantienen invariablemente ciertos rasgos del relieve, la pendiente límite de superficies erosivas o acumulativas, el arreglo de su estructura y distribución sobre las llanuras deltaicas y tierras bajas costeras.

Con estos elementos de análisis se fue zonificando para llegar a una regionalización general de escala muy amplia para toda la línea de costa del Golfo de México. Detectando cuando menos seis regiones críticas, de las cuales, cuatro de ellas se relacionan con las cuencas geológicas marginales de los grandes sistemas deltaicos del Río Bravo o Grande, Papaloapan, Coatzacoalcos y el Complejo deltaico del Grijalva-Mexcalapa-Usumacinta en todas hay claras evidencias de hundimiento de la costa por subsidencia de las cuencas. Las otras dos áreas se situán en la Península de Yucatán correspondiente a plataformas calcáreas con problemas estructurales de tectónica y de comportamiento geohidrológico.

Discusión de los resultados

Con objeto de dar claridad a los aportes de este ensayo, se han dividido convencionalmente los resultados, para su discusión final, en dos rubros.

En la primera parte se reúnen aquellos aportes que evidencian y dan prueba de los efectos del ascenso del nivel del mar sobre la porción continental, a la vez, se revela la inseparabilidad existente entre el fenómeno y su espacio de acción, es decir, indaga las relaciones de causa y efecto que ocurren a partir del impacto inicial, y cómo se desencadenan otras perturbaciones en un modelo hipotético de condiciones y modificaciones situadas en un arreglo de circuitos que se retroalimenta unos con otros y que se traducen como catalizadores del problema del avance del mar tierra adentro.

La última parte se refiere a la regionalización geomorfológica de las costas a partir de un novedoso sistema de clasificación que da la pauta para identificar a nivel de una regionalización muy amplia, las áreas costeras frágiles o más vulnerables a un avance del mar sobre el continente.

BIBLIOGRAFIA

- Ortiz P, M. A., 1988. Evidencias de cambios geomorfológicos del sistema litoral mediante el análisis de imágenes aéreas. Ecología y Conservación del Delta Usumacinta y Grijalva. INIREB-División Regional Tabasco y Gobierno del Estado de Tabasco.

- Ortiz P. M. A., 1992. Retroceso Reciente de la Línea de Costa del Frente Deltaico del Río San Pedro, Campeche-Tabasco. En *Investigaciones Geográficas*. Boletín del Instituto de Geografía, No. 25.
- Ortiz P, M. A., C. Valverde, N. Psuty, L. M. Mitre, 1991. The Impacts of Sea-Level and Economic Development on the Low-Lands of the Mexican Gulf Coast. International Sea-Level Rise Studies Project, Division of Coastal and Environmental Studies. Institute of Marine and Coastal Sciences.
- Ortiz P, M. A. y Espinosa R. L. M., 1991. Una clasificación geomorfológica de las costas de México. *Geografía y Desarrollo* Vol. 2, No. 6.
- Ortiz P. M. A. y Palacio P. J. L., 1993 Algunos efectos del cambio aparente del nivel del mar en la costa de Tabasco. En *Geo-UNAM*. Boletín Informativo del Area de Ciencias de la Tierra. Vol. 2, No. 4.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) 1989. El Estado del Medio Ambiente en el Mundo.
- Psuty, N., 1965. Beach-Ridge Development in Tabasco, *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 55 pp. 112-124.
- Psuty, N., 1967. The Geomorphology of Beach Ridges in Tabasco, México Coastal Studies Series No. 18, Louisiana State University Press. Baton Rouge.
- Titus J., 1988. Sea Level Rise and Wetland Loss: An Overview en Greenhouse Effect Sea Level Rise and Coastal Wetland. Environmental Protection Agency.
- West R, N, Psuty and B, Thom, 1969. The Tabasco Lowlands of Southeastern México, Louisiana State University Press. Coastal studies Series Number 27, Baton Rouge.
- Zavala C. J., 1988. Regionalización Natural de la Zona Petrolera de Tabasco: Casos de Estudios. INIREB-División Regional Tabasco y Gobierno del estado de Tabasco.

Cambio del nivel del mar: un problema de vulnerabilidad

ARTEMIO GALLEGOS GARCIA

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Circuito Exterior, CU, 04510, México, D. F., México

RESUMEN

La demostrada capacidad de nuestra sociedad agroindustrial actual para apoderar, transformar, y liberar energía tiene, entre otros preocupantes resultados, el de inyectar volúmenes crecientes de gases invernadero en la biosfera. Esto altera drásticamente las propiedades ópticas y térmicas de la atmósfera. Tal situación producirá, en el transcurso de las próximas décadas, un incremento en la temperatura media de la troposfera y un cambio en el nivel medio del mar. Descartada la posibilidad de un rápido deshielo de los casquetes polares y los grandes glaciares continentales, se describen y ponderan otros factores que pueden conducir a un cambio en el nivel medio relativo del mar. Se discuten también las consecuencias más notables y la posibilidad de una oportuna detección del cambio de nivel del mar. Usando como guía el concepto de vulnerabilidad, se propone la creación de un sistema de Observación de la Zona Costera para conocer y medir los cambios que ocurren en esta extensa e importante franja geográfica de nuestro país. Es necesario convocar a los sectores gubernamentales, privados y académicos involucrados en el uso, manejo y administración del medio ambiente costero y marino para que se comprometan decididamente en el establecimiento de tal sistema. Con él se podrán determinar zonas de riesgo y tomar acciones preventivas, correctivas o de rehabilitación, según sea el caso. Todo esto para proteger la vida de la población y su actividad socioeconómica, en un marco de armonía con los ecosistemas costeros y el medio ambiente.

ABSTRACT

Our agro-industrial society has a large capacity to acquire, transform and liberate energy. Among other concerns, it is injecting increasing volumes of greenhouse gases to the biosphere. Such gases change drastically the optical and thermal properties of the atmosphere and will induce, through the next decades, a measurable increase in the average global environmental temperature and a dreadful change in the mean level of the sea. A rapid melting of polar ice and the huge continental glaciers is not expected. Nevertheless, other factors, which are here described, might lead to an important change in mean sea level. We also discuss the most notable consequences and the possibility of an oportune detection of a mean sea level change. Under the conductor concept of vulnerability, we propose the creation of a Coastal Zone Observing System (CZOS). With such an instrument one could know, measure and understand those changes that occur in this extense and important geographic frontier that girdless our country. It is vital to convene federal, state and local governmental offices, private groups and academic institutions which are involved in the management, use and research of coastal and marine environments to make a decided commitment to establish such a system of observation. With a CZOS one can determine risk zones and take action to prevent, correct or rehabilitate accordingly. The final purpose is to protect human life and socio-economic activity, in harmony with the coastal and marine ecosystems.

1. Conceptos preliminares

¿Qué es el Nivel del Mar?

- Es la distancia vertical de la superficie del mar con respecto a un plano horizontal de referencia.

¿Qué características tiene?

- El nivel del mar se puede medir prácticamente en cualquier lugar de la costa o bien en el mar.
- Es un lugar geográfico específico, el nivel del mar es variable en virtud de las olas, la marea, el viento, las corrientes y la presión atmosférica, principalmente.

¿Cómo se determina el Nivel del Mar?

- Por su variabilidad es necesario promediar las mediciones. Por carecer de un nivel de referencia absoluto las mediciones son necesariamente relativas. Por ello se define el *Nivel Medio Relativo del Mar* (NMRM). Esta variable es el resultado de tratamientos estadísticos apropiados con las mediciones hechas en un lugar y define numéricamente

la posición vertical relativa entre la superficie del mar y la costa. Si el NMRM aumenta lo que ocurre es que el agua avanza sobre la costa. Si el NMRM disminuye ello significa que el agua retrocede respecto a la línea de costa.

2. Factores que determinan los cambios en el NMRM

- *Eustáticos*: los que fijan la cantidad de agua (masa) en el océano.
 - a. Balance global Deshielo - Congelamiento de casquetes polares y grandes glaciares.
 - b. Balance global Deshielo - Congelamiento de glaciares menores.
 - c. Balance global de Precipitación - Evaporación
- *Estéricos*: los que se refieren a cambios en el volumen del océano por efecto de variaciones de temperatura y la salinidad.
 - a. Cambios termoestéricos (temperatura).
 - b. Cambios haloestéricos (salinidad)
- *Geofísicos*: Los que establecen los movimientos de la corteza y la dinámica de la superficie continental.
 - a. Cambios en el Geoide. Reajustes en la posición del centro de masa de la Tierra. Movimientos en el manto superior. Modificación de cuencas oceánicas.
 - b. Tectónica de placas a escala continental. Movimiento relativo de las placas que constituyen la corteza terrestre.
 - c. Tectónica regional. Ajustes regionales de bloques y fragmentos menores de la corteza terrestre.
 - d. Movimiento de Sedimentos.
 - 1. Naturales: erosión, sedimentación, compactación...
 - 2. Antropogénicos: presas, extracción de fluidos (agua, petróleo, gas, ...), ...
- *Termodinámicos*: los que controlan la dinámica del sistema Océano-Atmósfera.
 - a. Temperatura ambiental, presión atmosférica, sistemas de vientos, corrientes, oleaje, mareas, ondas, ...

3. Consecuencias de un cambio en el NMRM

Los ecosistemas costeros que un cambio en el NMRM pone en riesgo son:

- las lagunas costeras,
- los humedales,
- los arrecifes coralinos,
- los manglares,
- los deltas de los ríos,
- los estuarios,
- las marismas,
- las playas,
- las llanuras costeras,
- los fondos con pastos marinos.

Los procesos que estimula un cambio en el NMRM

- Acrecencia y/o erosión de playas,

- inundación de las zona costera con agua de mar,
- contaminación de acuíferos con agua de mar,
- cambios en la producción primaria y secundaria de la zona costera.

Vulnerabilidad a cambios del NMRM en la región del Gran Caribe en el escenario de un aumento de 10 cm. para el año 2025 (UNEP, 1993).

Ecosistema	Nivel
Lagunas Costeras	Moderado
Humedales	Moderado
Arrecifes Coralinos	Bajo
Manglares	Moderado
Deltas	Alto
Estuarios	Moderado
Playas	Alto
Pastos Marinos	Moderado
Marismas	Moderado
Llanuras costeras	Bajo

Socio-economía	
=====	
Zona Costera	Bajo
Turismo	Alto
Asentamientos	Moderado
Salud Pública	Bajo
Tormentas Tropicales	Bajo
Migración humana	Bajo
=====	

UNEP, 1993: Climatic Change in the Intra-Americas Sea. Edited by Dr. George A. Maul. UNEP -IOC. Edward Arnold. Londres. 389 pp.

4. Ante la inminencia de un cambio en el NMRM:

¿Qué hacer?

- Conocer y medir los cambios que ocurren en la zona costera.
- Determinar el impacto ambiental y socio-económico en las diversas regiones de la zona costera.
- Tomar acciones de prevención, corrección y/o rehabilitación, según sea el caso, con el propósito de proteger la vida humana, defender la salud de la población y estimular el desarrollo socio-económico en armonía con el medio ambiente del litoral mexicano.

¿Cómo lograr tales metas?

- Apoyar, ampliar y modernizar las redes existentes nacionales de mareografía, meteorología, sismología y geodesia.
- Crear redes de muestreo sistemático de variables, parámetros o indicadores geológicos, químicos y biológicos relacionados con la calidad y la salud del ambiente de la zona costera.

- Apoyar, ampliar y modernizar los bancos de información (Sistemas de Información Geográfica - SIG's) que concentren la información de las redes del Sistema de Observación de la Zona Costera para su análisis oportuno y la publicación de Estudios de Caso. De aquí se derivan recomendaciones y acciones a realizar para la protección y el mejoramiento de los niveles de vida de la sociedad en su conjunto.
- Fortalecer el marco legal que sustente las recomendaciones y acciones a realizar para la protección y el mejoramiento de los niveles de vida de la sociedad en su conjunto.
- Propiciar y estimular la participación amplia de la población en las acciones de prevención, corrección y rehabilitación a favor del medio ambiente de la zona costera. Recurrir a los medios masivos de comunicación (TV, radio, sistema educativo, ...) para concientizar y sensibilizar de manera efectiva y contundente a todos los núcleos de la población con respecto a aquellas acciones de la sociedad que agreden y deterioran el medio ambiente.
- Invitar y coordinar a los gobiernos municipales y estatales, a las organizaciones altruistas y no-gubernamentales y a todos los ciudadanos dispuestos a comprometerse con los propósitos de este Sistema de Observación de la Zona Costera, creando oficinas que reciban y procesen, lo mismo que diseminen y distribuyan, toda la información referente a cualquier cambio en las condiciones de salud del ambiente de la zona costera.
- Organizar encuentros y reuniones de evaluación, metodología, seguimiento e información en general sobre desarrollo, logros, avance, productos y resultados del Sistema de Observación de la Zona Costera.
- Procurar el financiamiento nacional (gubernamental, privado y público) e internacional (UNESCO, BID, COI, UNEP, GEF) necesario para llevar a cabo los objetivos fundamentales del Sistema de Observación de la Zona Costera.

El cambio climático global y la vulnerabilidad de los asentamientos humanos

ADRIAN GUILLERMO AGUILAR

Instituto de Geografía, UNAM, Circuito Exterior, CU, 04510, México, D. F., México

RESUMEN

Debido al rápido crecimiento urbano que se presenta en México, y a la cada vez mayor concentración de población y de actividades económicas en las ciudades, estas últimas incrementan su nivel de vulnerabilidad a un cambio climático global. Este trabajo propone que esta vulnerabilidad puede ser analizada a través de seis aspectos fundamentales: (1) el rápido crecimiento de la población y su marcada tendencia a convertirse en urbana; (2) distribución y movilidad territorial de la población; (3) la localización de asentamientos humanos en zonas costeras; (4) altos niveles de pobreza; (5) el clima y la salud; (6) el abastecimiento de recursos como el agua y la energía hidroeléctrica.

ABSTRACT

With the rapid urban growth in Mexico, and due to the increasing concentration of population and economic activities in cities, the latter may be more vulnerable to a global climatic change. This paper proposes that vulnerability in human settlements can be analyzed through six main aspects: (1) population growth and its marked tendency to concentrate in cities; (2) regional distribution and mobility of population; (3) the location of cities in coastal areas; (4) poverty levels; (5) the effect of climate on human health; (6) the supply of resources such as water and hydroelectric energy.

1. Las actividades humanas y el cambio climático global

La actividad humana ha incrementado notablemente las concentraciones atmosféricas de gases que pueden modificar el clima y con ello aumentar la temperatura global del planeta. El calentamiento debido a la creciente concentración de estos gases se le llama el "efecto invernadero" (*greenhouse warming*).

Los principales gases que causan estos efectos son: vapor de agua; dióxido de carbono (CO_2); metano (CH_4); clorofluorocarbonos (CFC_5) y clorofluorocarbonos hidrogenados (CFCH_5); ozono (O_3); y óxido nitroso (N_2O). Las cantidades de gases que se liberan, y que contribuyen a este efecto, naturalmente varían según la actividad humana. Sin embargo, prácticamente toda acción humana contribuye a la atmósfera con alguna cantidad de estos gases o en su defecto tiende a eliminar alguna pequeña cantidad de ellos. Por ejemplo, la quema de madera para calefacción y preparación de alimentos libera CO_2 , pero los programas de reforestación pueden disminuir la concentración de este gas.

El proceso de urbanización y las actividades económicas asociadas a él, como la industria, la generación de electricidad y el transporte, generan en diferentes grados prácticamente todos los tipos de gases con efecto invernadero. Esta vinculación entre emisión de gases y actividad económica representa un dilema para el desarrollo económico de un país, puesto que, una reducción significativa en la liberación de estos gases puede tener consecuencias negativas para la competitividad de individuos, empresas, o el país en su conjunto. En otras palabras, el reducir los gases con efecto invernadero puede ser costoso para el equilibrio comercial y económico de una nación.

La dinámica económica de los centros urbanos está íntimamente vinculada a la concentración social. Es decir, el crecimiento de la población y su tendencia a concentrarse en ciudades, como sería el caso de México, es uno de los factores más importantes que afectan la tendencia de emisión de gases con efecto invernadero. A mayor concentración de población en los centros urbanos, mayor la demanda de alimentos, energía, vestido, transporte, vivienda, etc., y por lo tanto, mayor liberación de dichos gases.

De acuerdo a todo lo anterior, hay un crecimiento económico que tiende a elevar el ingreso per cápita de la población, la cual por otra parte, presenta una fuerte tendencia de concentración urbana. Ambos procesos causan una marcada generación de gases a la atmósfera. Aunque se logre disminuir el impacto de uno de los procesos, el económico o el social, el que no se vea afectado seguirá causando una fuerte demanda de bienes y con ello fuertes impactos ambientales.

En décadas recientes, México ha formulado políticas para reducir la tasa de crecimiento de población, que aparentemente han tenido un efecto satisfactorio. Este objetivo de reducir el crecimiento demográfico va muy de acuerdo con el de disminuir las emisiones de gases con efecto invernadero; pero no tiene mucha relación con la búsqueda de un rápido crecimiento del ingreso per capita, lo cual entra en conflicto con tales emisiones.

De esta manera, hay dilemas muy importantes en el control de la emisión de los gases señalados, y por lo mismo se necesitan nuevos enfoques en las estrategias de desarrollo y en los programas para mitigar el impacto ambiental. Parece necesario buscar elevar los niveles de vida sin caer en las tradicionales prácticas de deterioro del entorno.

2. El calentamiento global y la vulnerabilidad de los centros urbanos en México

El propósito de esta sección es presentar de una manera general los principales aspectos que se relacionan estrechamente al funcionamiento y localización de los asentamientos urbanos, sobre los cuales el calentamiento global tiene efectos potenciales. En muchos casos el impacto del cambio global, puede depender más de la vulnerabilidad de los sistemas sociales que se ven afectados, que de la propia magnitud física de los cambios ambientales.

El cambio climático tendrá impactos diferenciales en diferentes regiones, porque los diferentes grupos sociales y los lugares son más o menos vulnerables al cambio ambiental. Por ejemplo, condiciones más calientes y secas tendrán un efecto más severo en regiones donde exista población pobre que dependa de la agricultura de temporal o que presente un limitado acceso al recurso agua.

La vulnerabilidad se relaciona estrechamente al contexto social del cambio ambiental, y nos demuestra el valor de desagregar el análisis del cambio global por regiones y grupos sociales. Los estudios de vulnerabilidad nos pueden mostrar que ciertos grupos sociales y lugares se verán afectados más ampliamente y más rápidamente que otros (Liverman, 1992:74).

Para explicar una mayor o menor vulnerabilidad, es necesario referirse a las condiciones políticas, sociales y económicas de una sociedad. Ciertos rasgos inherentes a situaciones de desarrollo desigual de un país, como el flujo de recursos de una región a otra, expropiaciones de tierra, explotación de fuerza de trabajo, represión política, etc. Son procesos que contribuyen a que cierta población tenga peores condiciones de vida y a que ciertos lugares tengan un entorno más precario y frágil, y por tanto, que ambos sean ambientalmente más vulnerables.

En un paisaje natural tan heterogéneo como es el de México, la evaluación de la vulnerabilidad se vuelve una tarea muy difícil en términos regionales. En este sentido Liverman (1992:74) señala que los grupos de población más vulnerables, no necesariamente están en los lugares más vulnerables. Es decir, hay población que puede vivir en un medio productivo y ser vulnerable por su situación de pobreza y por carecer de una vivienda; por otra parte, una población puede ubicarse en un ambiente frágil y vivir relativamente bien si tiene dinero o tecnología que le permita adaptarse. Así, las condiciones son más críticas donde encontramos población empobrecida que vive en ambientes ecológicamente frágiles.

De acuerdo a esto último, dos preguntas surgen como importantes: ¿cuáles son los grupos o sectores sociales más vulnerables? y, ¿cuáles son las regiones y/o concentraciones urbanas más vulnerables al cambio climático?

A continuación se desarrollan brevemente aquellos aspectos a partir de los cuales se podría evaluar la vulnerabilidad de los asentamientos urbanos a partir de un cambio climático global.

Los aspectos que surgen como los más importantes, y que coinciden con los que reporta la literatura más frecuentemente son los siguientes: el crecimiento de la población y el proceso urbano; su distribución y su movilidad; la localización de los asentamientos en zonas costeras; niveles de pobreza, efectos del clima en la salud; y el abastecimiento de agua y de energía.

1. El crecimiento de la población y el proceso urbano

A pesar de que en las últimas décadas se hizo notorio un descenso en el ritmo de crecimiento de la población en México, se espera que ésta seguira creciendo, sino con un ritmo rápido, si de manera más moderada. Este aumento de población es muy importante porque afecta las tendencias en la emisión de gases con efecto invernadero. En la medida que aumenta la población, aumenta la demanda sobre los recursos para obtener alimentos, energía, vestido, vivienda, etc.

En el cuadro 1 se puede observar cómo la población total ha disminuído su tasa de crecimiento al pasar de 3.2 por ciento en el periodo 1950-1970, a 2.6 por ciento de 1970 a 1990. Sin embargo la población urbana presenta tasas de crecimiento mayores durante todo el periodo, por lo que, ha aumentado su porcentaje en el total nacional al pasar de 50 por ciento en 1970 a 61 por ciento en 1990.

CUADRO 1. MEXICO: CRECIMIENTO DE LA POBLACION URBANA Y RURAL, 1950-1990.

REGIONES	POBLACION % 1950	POBLACION % 1970	POBLACION % 1990	TASA DE CRECIMIENTO 1950-70	TASA DE CRECIMIENTO 1970-90
POBLACION TOTAL	100.0	100.0	100.0	3.2	2.6
POBLACION URBANA*	34.0	49.9	60.8	5.2	3.7
POBLACION RURAL	66.0	50.1	39.2	1.8	1.4

FUENTE: Elaboración propia con datos: Secretaría de Industria y Comercio, DGE, y Secretaría de Programación y Presupuesto, INEGI, VII, IX y XI Censos Generales de Población y Vivienda, 1950, 1970 y 1990, México.

*_/ Población en localidades mayores a 15,000 habitantes.

Junto al constante crecimiento de la población, también se observan cambios en su distribución. El proceso más importante es la tendencia de esta población a concentrarse en áreas urbanas. En términos generales la población urbana crece más rápido que la población total. Aunque hay que resaltar que, en la última década las ciudades de dimensiones medias crecieron más rápido que las grandes zonas metropolitanas, como la Ciudad de México.

En el cuadro 2 se aprecia las tasas de crecimiento para todas las ciudades del país agrupadas por rango tamaño. Se destaca que los crecimientos más altos no se ubican en las ciudades más grandes, sino en aquellas de 500 mil a menos de un millón de habitantes con una tasa mayor al 11 por ciento; y en las ciudades pequeñas (menos de 100 mil habitantes), con tasas de alrededor del 4 por ciento. Además hay que enfatizar que, el número de ciudades prácticamente se duplicó de 1970 a 1990.

Como es de esperar, las ciudades de mayor tamaño se asocian a una mayor cantidad de emisiones de gases, ya que la concentración industrial y la presencia de fuentes móviles es mucho más amplia en estos centros urbanos. Es decir, aquellas ciudades con fuertes crecimientos de población y de actividad industrial son particularmente importantes en este rubro. En este caso, la reciente política neoliberal de apertura comercial ha favorecido fuertes crecimientos sociales y económicos en la porción norte del país.

CUADRO 2. MEXICO: CRECIMIENTO Y DISTRIBUCION DE LA POBLACION URBANA SEGUN RANGO-TAMAÑO, 1970-1990.

RANGO-TAMAÑO	Número de Localidades		Población	Número de Localidades		Población	TASA DE CRECIMIENTO 1970-90	INCREMENTO PORCENTUAL 1970-90
		%	1970 %		%	1990 %		
POBLACION NACIONAL							2.6	68.5
POBLACION URBANA*	156	100.0	100.0	319	100.0	100.0	3.7	105.1
De 1,000,000 y más	4	2.6	53.2	5	1.6	48.6	3.2	87.3
De 500,000 a 999,999	1	0.6	3.0	10	3.1	13.3	11.6	798.3
De 250,000 a 499,999	10	6.4	13.4	18	5.6	12.9	3.4	96.8
De 100,000 a 249,999	23	14.7	14.4	23	7.2	8.1	0.7	15.1
De 50,000 a 99,999	18	11.5	5.5	39	12.2	5.7	3.9	113.1
De 15,000 a 49,999	100	64.1	10.4	224	70.2	11.4	4.1	124.7

FUENTE: Elaboración propia con datos de: Secretaría de Industria y Comercio, DGE, y Secretaría de Programación y Presupuesto, INEGI, IX y XI Censos Generales de Población y Vivienda, 1970 y 1990, Integración Territorial por Entidades Federativas, México, 1973 y 1991.

*_/ Población en localidades con más de 15,000 habitantes.

2. Distribución y movilidad territorial de la población

Las regiones que aumentan su participación total y urbana, incrementan la presión sobre los recursos naturales y aumentan sus niveles de consumo.

El cuadro 3 muestra el crecimiento de la población urbana y rural en las diferentes regiones del país. Ante todo se aprecia que en todas las regiones, la población siempre crece a tasas más altas que la población total o la rural. De hecho en varias regiones la proporción de población es ya muy alta, y además tiende a incrementarse. Tal es el caso de la región Centro o la Noreste donde la proporción de la población urbana es mayor al 70 por ciento.

En el caso de un cambio climático, la pregunta central parece ser ¿Tiene la población potencial para adaptarse a esos cambios?, o en su caso ¿Cuales serían los efectos?. Por una parte se puede argumentar que la respuesta de la población al cambio climático tiene límites; lo cual también dependerá de la velocidad del cambio climático. Es decir, la población necesita cierto lapso de

**CUADRO 3. MEXICO: CRECIMIENTO DE LA POBLACION URBA
POR REGIONES*, 1970-1990.**

	POBLACION TOTAL		TASA DE CRECIMIENTO 1970-1990
	1970 %	1990 %	
NACIONAL	100.0	100.0	2.6
URBANA**	49.9	60.8	3.7
RURAL	50.1	39.2	1.4
NOROESTE	100.0	100.0	2.9
URBANA	51.0	64.7	4.2
RURAL	49.0	35.3	1.3
NORTE	100.0	100.0	2.3
URBANA	54.8	70.6	3.6
RURAL	45.2	29.4	0.1
NORESTE	100.0	100.0	2.7
URBANA	71.5	83.5	3.5
RURAL	28.5	16.5	-0.1
CENTRO NORTE	100.0	100.0	2.7
URBANA	40.9	56.0	4.3
RURAL	59.1	44.0	1.2
OCCIDENTE	100.0	100.0	2.3
URBANA	41.6	57.1	3.9
RURAL	58.4	42.9	0.7
CENTRO	100.0	100.0	2.6
URBANA	69.1	74.0	3.0
RURAL	30.9	26.0	1.8
GOLFO	100.0	100.0	2.6
URBANA	31.6	41.4	4.0
RURAL	68.4	58.6	1.9
PACIFICO SUR	100.0	100.0	2.7
URBANA	13.7	25.9	6.0
RURAL	86.3	74.1	1.9
PENINSULA DE YUCATAN	100.0	100.0	4.0
URBANA	37.3	57.0	6.2
RURAL	62.7	43.0	2.0

FUENTE: Elaboración propia con datos de: Secretaría de Industria y Comercio, DGE y Secretaría de Programación y Presupuesto, INEGI, IX y XI Censos Generales de Población y Vivienda, 1970 y 1990, Integración Territorial por Entidades Federativas, México, 1973 y 1991.

*_/ Sistemas Urbanos Regionales (PNDU 1990-1994)

**_/ Población en localidades mayores a 15,000 habitantes.

tiempo para adaptarse *in situ* a las nuevas condiciones del clima, o de otra manera emigrar a otra región con otro clima.

Sin embargo, hay razones para ser optimistas en cuanto al potencial de adaptación. La capacidad de la población para adaptarse a nuevas situaciones ha sido evidentemente a través de los cambios sociales, económicos, políticos y tecnológicos de, por lo menos, lo que va del siglo. Si partimos del supuesto, de que existirá un proceso continuo de inversión, en infraestructura y tecnología, las actividades productivas y la población tendrán la capacidad de adaptarse durante las próximas décadas a las transformaciones climáticas. De hecho, la existencia de diferentes tipos de clima, donde actualmente la gente vive, indica que las sociedades pueden adaptarse a amplias variaciones climáticas.

Con relación a los movimientos migratorios, no es de esperar que se sucedan muchos movimientos de este tipo, debido al cambio climático; puesto que, el origen de estos desplazamientos se asocia sobretudo al deseo de la población de mejorar su condición socioeconómica.

Naturalmente que existen otros factores que pueden afectar este proceso de adaptabilidad, pero esto ya no tiene que ver directamente con el crecimiento o distribución de la población; tal sería el caso del abastecimiento de agua.

3. Asentamientos humanos en zonas costeras

Uno de los efectos secundarios del cambio climático global es el que afectaría a los asentamientos costeros si se altera el nivel del mar. En estos casos probablemente las áreas urbanas tendrán que seleccionar medidas de protección en sus emplazamientos, más que, buscar una nueva localización; entre estas medidas seguramente habrá que incluir nuevos códigos de construcción y planeación del uso del suelo. Una pregunta pertinente puede ser ¿cual será el costo de adaptar los actuales asentamientos costeros, a las nuevas condiciones, antes que pensar en su abandono?

Entre los principales impactos que tendría el aumento en el nivel del mar se pueden mencionar los siguientes. Ante todo, las inundaciones de algunas áreas cercanas a la costa, daño debido a tormentas, erosión de la línea de costa, presencia de elementos salinos en el agua dulce superficial y subterránea, efectos negativos en los cimientos de construcciones, corrosión de tuberías, etc. (ver NAS/NAE/IOM, 1992:609). Todos estos impactos pueden causar daños a propiedades inmuebles dependiendo de su cercanía o la pendiente respecto a la línea de costa.

Adicionalmente, algunas instalaciones características de estos asentamientos pueden disminuir su utilidad. Tal sería el caso de las instalaciones portuarias, puentes o áreas recreativas que fueron diseñadas y construídas de acuerdo a ciertas distancias del nivel del agua.

Considerando que las obras de adaptación y/o protección son la mejor opción en este caso, es de esperar que habrá costos muy importantes en este proceso. De acuerdo a los diferentes impactos será necesaria toda una infraestructura como rompeolas, sistema de diques, elevación de ciertas estructuras, otras estructuras de protección, mejoramiento en sistemas de drenaje y/o pavimentación, apuntalamiento de construcciones, etc.

La ventaja de este tipo de obras es que representan una salida menos costosa, y se pueden realizar en la medida en que se vayan necesitando, y según las circunstancias de cada caso específico.

En 1990, en México se tenía una población urbana de más de 2 millones de personas en la línea de costa de la vertiente del Pacífico; y poco más de un millón y medio de habitantes urbanos en la vertiente del Golfo de México.

4. Niveles de pobreza

Debido a la existencia de amplios grupos sociales con un ingreso per cápita muy bajo, que se ubican en niveles de pobreza y pobreza extrema, esta población tiene una capacidad muy

limitada para adaptarse al deterioro ambiental.

El aspecto más importante es que la proporción de población pobre se ha incrementado más en las zonas urbanas, particularmente desde la década de los setentas. A partir de 1977 la población pobre en el medio rural permaneció constante en términos absolutos, en tanto que la del medio urbano creció notablemente a consecuencia de la crisis.

En términos relativos, durante los años sesenta y setenta alrededor de la mitad de la población pobre se encontraba ubicada en el sector rural y la otra mitad en el urbano. Para la primera mitad de los ochenta la importancia de la pobreza urbana se incrementó en términos relativos, para representar el 60% del total de la población pobre del país (ver Hernández Laos, 1992:117-120).

Una situación de pobreza mezcla los efectos de, falta de disponibilidad de agua potable, deficientes condiciones sanitarias, hacinamiento en la vivienda, zonas de riesgo natural, etc. (ver Aguilar A. G. y Sánchez M. L., 1993). Por lo que, estos grupos sociales se vuelven altamente vulnerables a los cambios climáticos. El triple efecto de: una rápida urbanización, situaciones de pobreza, y cambio climático puede convertir el ambiente urbano para amplios grupos de población, en muy peligroso para la salud humana.

5. La salud y el clima

El interés en la relación clima-salud se ha incrementado notablemente en la última década, particularmente porque, varios impactos se prevén con el calentamiento global a partir de la acción humana.

Aunque el clima puede tener diversos efectos en varias enfermedades se considera que con un calentamiento generalizado de la atmósfera, los mayores impactos se manifestarán en dos aspectos: primero, un aumento en la mortalidad y en los niveles de desconfort debido a altas temperaturas; y segundo, un cambio en la distribución de los vectores de varias enfermedades infecciosas que se desplazarían a latitudes norte (Kalkstein, 1991:351).

En cuanto al primer punto, existen estudios para las principales ciudades de Estados Unidos que han intentado determinar si existiría diferencia en la respuesta interregional al calentamiento global. Entre las conclusiones de estos estudios se señala que, el clima sí tiene un impacto regional en la mortalidad particularmente en verano; el impacto del calor es más devastador en la mortalidad donde altas temperaturas ocurren irregularmente, o cuando se presentan muy al inicio de la temporada más caliente.

De esta manera, el nivel de confort de la población puede alterarse totalmente, y las posibilidades de aclimatación son muy reducidas. Aún cuando la población pueda desarrollar una adaptación a condiciones extremas de calor, es muy difícil prever que las condiciones físicas de la ciudad, para hacer frente al cambio climático, puedan modificarse. Tal sería el caso de viviendas con otras características físicas. Así, Kalkstein (1991:353) sostiene que en el mediano plazo la hipótesis más factible es la de una mayor mortandad inducida por cambios climáticos, de una población que sólo muestre cierto proceso parcial de aclimatación.

En el caso de México, hay estudios que reportan índices de desconfort durante los meses de verano y primavera que se extienden en las llanuras costeras y en la altiplanicie del norte, y que se pueden agravar con un cambio climático (ver Jáuregui, 1967).

Además, hay que enfatizar que con temperaturas más altas hay mayor probabilidad de episodios de contaminación atmosférica en niveles críticos.

En cuanto al segundo aspecto, el interés se centra en la dispersión potencial de ciertos vectores muy característicos de zonas tropicales (mosquitos y otros parásitos) que transmiten enfermedades infecciosas. Ejemplos de estas enfermedades pueden ser la malaria, mal del sueño, dengue, etc. Es decir, al alterarse las condiciones de temperatura y humedad ciertas enfermedades pueden desaparecer en regiones tropicales del sur, y desplazarse hacia regiones de latitud norte,

aumentando así su incidencia (ver NAS/NAE/IOM, 1992:618-619).

Este sería el caso de las zonas tropicales de países en vías de desarrollo, como México. Estas enfermedades pueden ampliar su área de influencia hacia regiones de bajo nivel de desarrollo socioeconómico donde existe una gran carencia de instalaciones sanitarias, lo cual dificultaría enormemente el combate de dichos males. En resumen, dos aspectos merecen mucha atención: primero, identificar causas específicas de mortalidad asociadas al clima, que permitan evaluar más detenidamente el papel de eventos climáticos extremos en la mortalidad; y segundo, una evaluación de enfermedades infecciosas específicas y sus agentes transmisores, que tengan el potencial de dispersarse si el clima se vuelve más caluroso.

6. El abastecimiento de recursos

En este caso nos referimos a dos recursos principales, el agua y la generación de energía hidroeléctrica. Ambos tienen que ver con la disponibilidad de cuerpos de agua.

Agua

Un cambio climático afecta las variaciones naturales, estacionales y anuales del recurso agua. Las actuales variaciones en el abastecimiento de este recurso muestran ya la necesidad de prepararse para las posibles consecuencias de un calentamiento global. La pregunta fundamental parece ser ¿tendrán en el futuro próximo las ciudades, un abastecimiento de agua, suficiente barato y confiable?

Un calentamiento global evidentemente disminuirá el gasto de las corrientes de los ríos y por lo tanto los niveles de almacenamiento de agua, que son fundamentales para el abastecimiento de áreas urbanas.

El impacto de un cambio climático dependerá del balance que se establezca entre abastecimiento y demanda de agua. Para ciertas regiones las preocupaciones empiezan cuando el uso y el consumo de agua tiende a ser mayor que la disponibilidad real de ella. Esta afirmación sugiere establecer un balance a nivel regional del consumo, almacenamiento, variabilidad del recurso, uso de agua subterránea y generación de energía hidroeléctrica, para conocer el grado de vulnerabilidad de cada región. Esto puede mostrar cuál es el balance entre abastecimiento y uso del agua para cada región, y como un cambio climático puede traer daños o beneficios a cada zona.

En el caso particular de las ciudades hay que enfatizar que los grupos sociales tienen un desigual acceso a este recurso, lo cual causa una amplia variación en la vulnerabilidad de cada lugar según la mayor o menor presencia de grupos pobres.

Es importante enfatizar que cualquier cambio climático se combinará con el impacto de otros factores, como es el buen o mal uso que se le da al recurso agua.

Generación de energía hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica que proviene de flujos naturales de agua se le considera una energía renovable, en comparación a la energía que se genera a partir de recursos que se agotan por no ser renovables como el petróleo o el carbón. Sin embargo, una serie de preguntas surgen con la demanda futura, ¿cuáles serían las necesidades regionales?, ¿en qué medida será posible aumentar la capacidad de generación de energía hidroeléctrica?

Con el crecimiento demográfico y el incremento de actividades económicas las demandas de energía se multiplicarán, el punto central es saber si un cambio climático, puede afectar y disminuir el almacenamiento de agua, y con ello reducir el potencial de generación de energía hidroeléctrica particularmente para los centros de población. Hay reportes que han señalado que,

al cambiar el clima y con ello la disponibilidad del recurso agua las instalaciones hidroeléctricas para generar energía se pueden volver obsoletas, además de que, la planeación del uso futuro de energía se convierte en un aspecto problemático (NAS/NAE/IOM, 1992:602). Sin embargo, esta afirmación se refiere a condiciones muy extremas, porque el proceso en sí de generación de energía hidroeléctrica, no consume propiamente agua, simplemente la usa para generar energía, y la libera posteriormente. Desde esta perspectiva, la sensibilidad que presenta el sistema de generación de energía hidroeléctrica frente al cambio climático es muy reducida.

3. Comentario final

Los asentamientos humanos y particularmente las ciudades representan los centros generadores de la riqueza del país, y en cierta medida son los motores del mejoramiento social. De aquí que sea de fundamental importancia sostener el desarrollo económico social en estas ciudades, como un objetivo nacional de política ambiental.

Los centros urbanos con mayor vulnerabilidad a un posible cambio climático global, son probablemente aquellos que actualmente ya presentan niveles críticos en aspectos como: rápido crecimiento de población, alta concentración de población pobre, fuerte expansión de la mancha urbana y consecuente deterioro ambiental etc. El aspecto fundamental es buscar indicadores que nos lleven a establecer una diferenciación por tipos y/o tamaños de ciudades, y por diversas regiones del país, tomando en cuenta la diversidad climática existente. Evidentemente, hay limitaciones para este análisis, debido a la disponibilidad de información de los seis aspectos propuestos, particularmente para centros urbanos de dimensiones medias y pequeñas.

Agradecimientos

El autor agradece la colaboración de la Lic. Leticia Mejía Guadarrama en la recopilación documental y el manejo estadístico.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, A. G. y Sánchez M. L., 1993. Vulnerabilidad y riesgo en la Ciudad de México, Ciudades, No. 17, Red Nacional de Investigación Urbana, Puebla, Pue. México, 31-39.
- Hernández Laos, E., 1992. Crecimiento económico y pobreza en México, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades, UNAM, México.
- Jáuregui, E. y C. Soto, 1967. "Wet-Bulb temperature and discomfort Index Areal Distribution in Mexico" in *Int. J. Biometeor.*, 11, núm. 1, 21-28.
- Kalkstein Laurence, S., 1991. "Global Warming and Human Health: What are the possibilities?" in Majumdar, Miller and Cahir (eds) *Air Pollution: Environmental Issues and Health Effects*. Pennsylvania Academy of Science. 350-360.
- Kalkstein Laurence, S. and E. Davis Robert, 1989. "Weather and Human Mortality: An Evaluation of Demographic and Interregional Responses in the United States" in *Annals of the Association of American Geographers*, Vol 79, núm. 1, 44-64.
- Liverman, D., 1992. "Global Change and Mexico" in *Earth and Mineral Sciences*, Vol. 60, Newsletter College of Earth and Mineral Sciences, Penn State University, USA, 71-76.
- NAS/NAE/IOM, 1992. Policy Implications of Greenhouse Warming. Mitigation, Adaptation and the Science Base. National Academy of Sciences, National Academy of Engineering and Institute of Medicine, Washington, D. C., 917 pp.
- Woodwell George, M., 1990. "The Effects of Global Warming" in Leggett J. (ed) *Global Warming*. The Greenpeace Report. Oxford University. pp. 116-132.

Cambios climáticos y sus posibles consecuencias en las ciudades de México

ROBERTO A. SANCHEZ

El Colegio de la Frontera Norte

El estudio de los aspectos sociales del proceso de cambios climáticos tiene particular importancia en el caso de sus posibles efectos en las ciudades, dada la rapidez con la que México se está transformando en una sociedad eminentemente urbana. Las ciudades son actualmente un aspecto central en la estructura económica de México y un fiel reflejo de las desigualdades sociales que enfrenta el país. La ausencia de esquemas de planeación a nivel nacional, estatal y local ha facilitado el crecimiento anárquico de los centros urbanos en detrimento de su función económica, de la calidad de su medio ambiente y del nivel de vida de sus habitantes. Las deficiencias urbanas inherentes al patrón de crecimiento de las ciudades mexicanas, al igual que en el resto de los países en desarrollo, son debidas al rápido crecimiento físico y de población en las ciudades, al desfasamiento de las políticas públicas para fomentar el crecimiento económico sin una inversión paralela en el sector social (vivienda, servicios públicos, protección ambiental), y una completa ausencia de planeación urbana. Esas mismas deficiencias incrementan también la vulnerabilidad de los centros urbanos a los cambios globales en el clima.

Este trabajo reflexiona sobre la vulnerabilidad de las zonas urbanas en México a los cambios climáticos y sobre algunos de sus principales efectos sociales, económicos y ambientales. El trabajo menciona brevemente la situación de las ciudades de la frontera norte de México como un caso de estudio.

La vulnerabilidad a cambios climáticos en México

Los aspectos de los cambios climáticos más susceptibles a impactar los asentamientos humanos son:

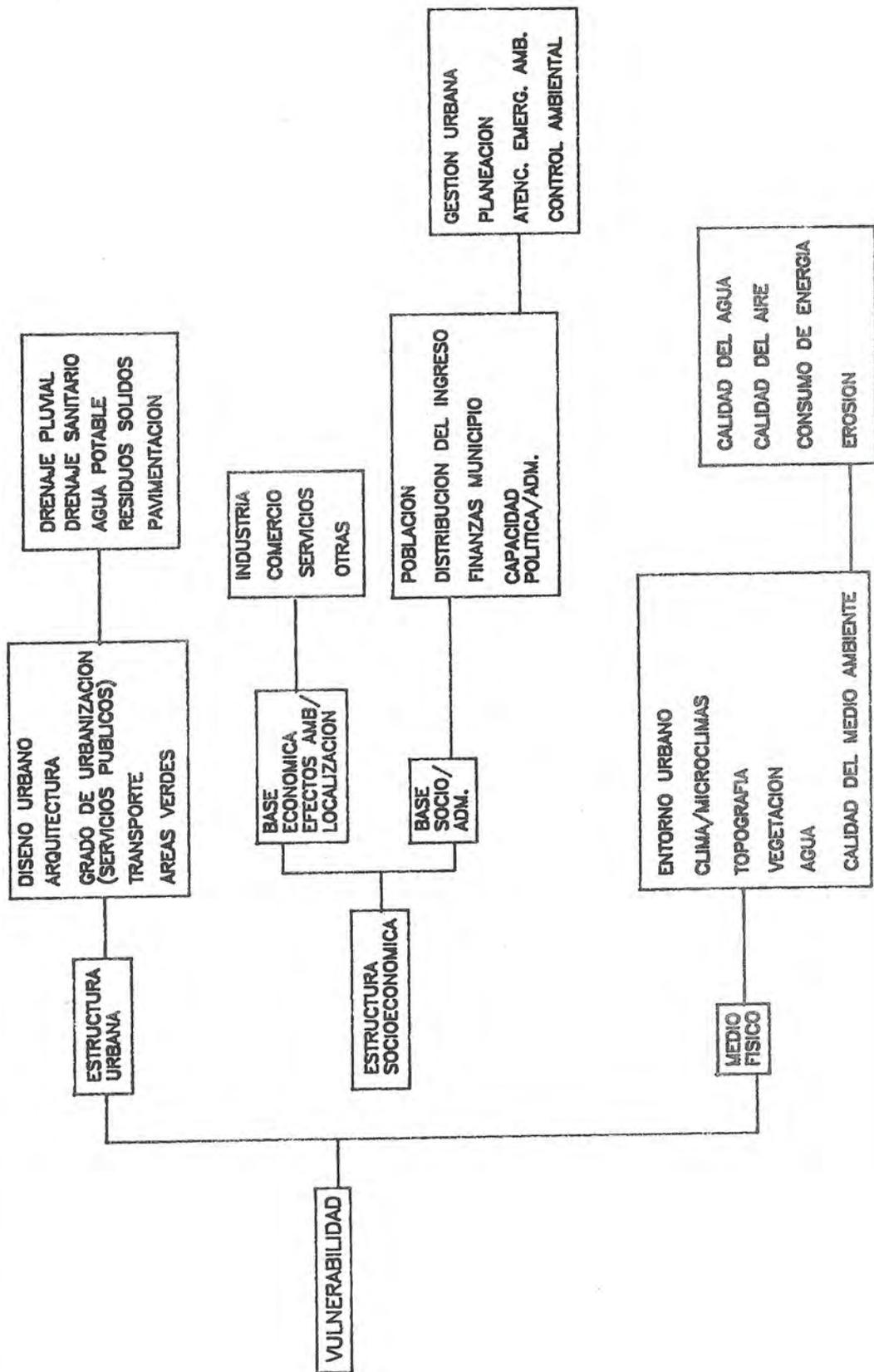
* Modificaciones en la temperatura. Por lo general se le da importancia al esperado incremento de la temperatura entre 2°C y 4°C dentro de un escenario de cambios globales en el clima. Pero existen otros factores poco considerados que vale la pena señalar, entre ellos la posible extensión de las estaciones con periodos fríos o calientes más largos que pueden llegar a afectar sustancialmente la actividad económica urbana, el consumo de energía y las condiciones de confort al interior de la ciudad.

* Cambios en la precipitación. Al igual que en el caso de la temperatura, al hablar de cambios climáticos la atención se ha centrado en posibles modificaciones en la precipitación promedio, particularmente en un posible decremento que podría llegar a afectar el abasto de agua a las ciudades. No obstante, existen otros parámetros poco considerados, pero igualmente importante, que deben ser considerados en la evaluación de posibles impactos de los cambios climáticos en las áreas urbanas. Las posibles modificaciones en la precipitación extrema es un aspecto relevante por sus consecuencias en los riesgos de inundaciones. En conjunto debe tomarse en cuenta también los cambios en las estaciones de lluvia y en la frecuencia de las precipitaciones, el promedio de los escurrimientos anuales que puede afectar de manera sustancial la recarga de los acuíferos, los escurrimientos extremos y estacionales y la frecuencia en la distribución de los escurrimientos. En algunas zonas será importante considerar también posibles incrementos en la acidez en la precipitación.

* En las zonas costeras es importante considerar además de las posibles modificaciones en el patrón de tormentas que afectan esas zonas, el posible incremento en el nivel del mar y sus efectos sobre el área urbana, así como su impacto en los niveles freáticos por incrementos en la

GRAFICA 1

UN ESQUEMA DE VULNERABILIDAD A CAMBIOS CLIMATICOS EN ZONAS URBANAS DE MEXICO



intrusión salina.

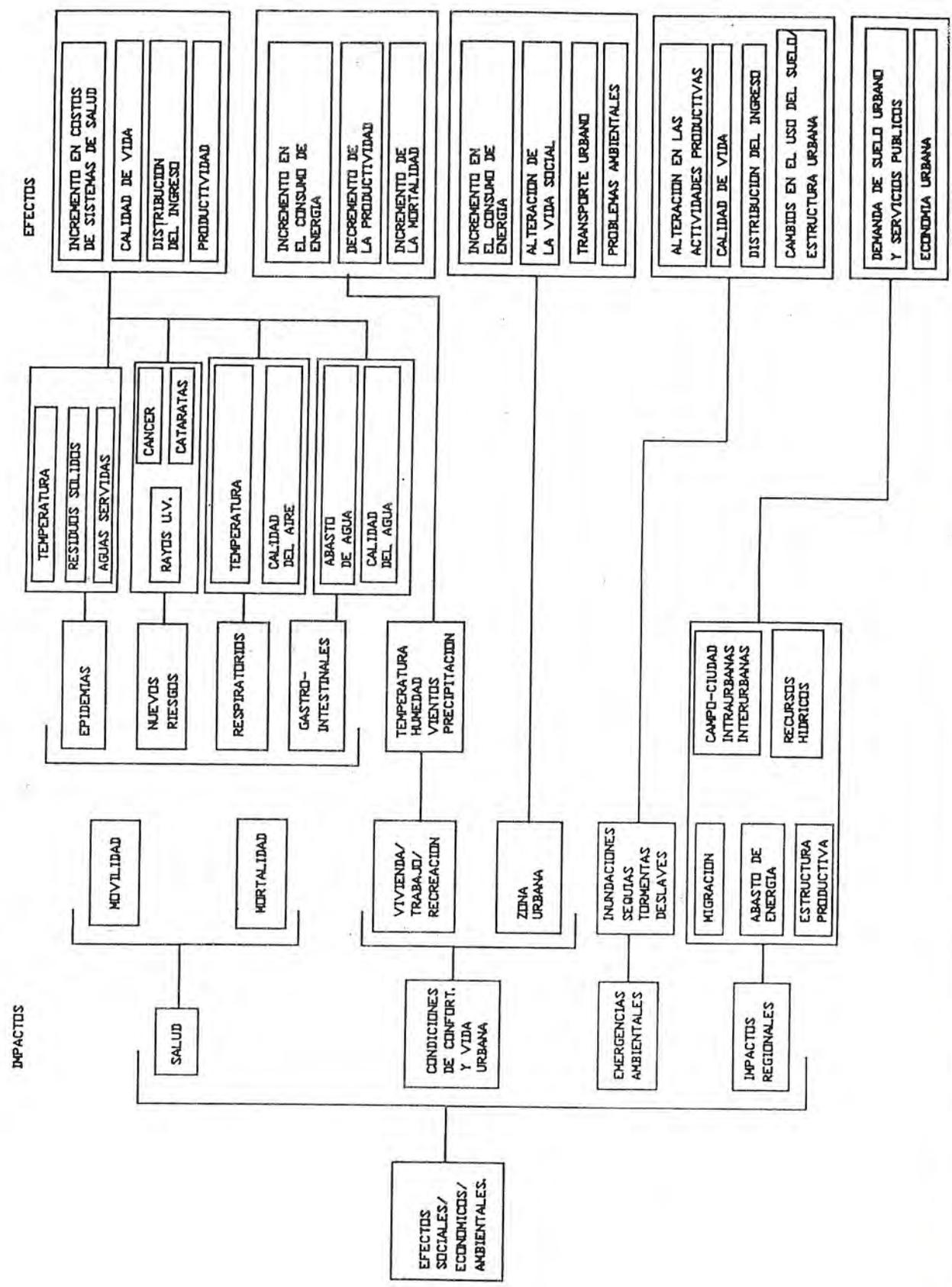
El estudio de la vulnerabilidad de los centros urbanos en México a los cambios climáticos debe tomar en cuenta las deficiencias de esos centros en su estructura urbana, las deficiencias en su estructura socioeconómica, y los aspectos de su medio físico. La gráfica 1 muestra un esquema tentativo para el estudio de este tema. En él se aprecian los tres aspectos básicos y sus subdivisiones subsecuentes. En los aspectos de estructura urbana es relevante considerar la adecuación de las construcciones y de la ciudad al medio físico donde se encuentran. Por ejemplo, en el trópico húmedo es recomendable que el diseño urbano y arquitectónico cuide la orientación y el trazo de las vialidades para facilitar la circulación del viento, mientras que en el trópico seco se recomienda lo contrario, evitar la circulación del viento. Desgraciadamente, la gran mayoría de las ciudades mexicanas crecieron al margen de este tipo de consideraciones. Estas deficiencias incrementan su vulnerabilidad a los efectos negativos de los cambios climáticos como podría ser un incremento en la temperatura promedio y en las temperaturas extremas.

Otro aspecto importante de la estructura urbana es la distribución de servicios públicos al interior de la ciudad: drenaje pluvial, drenaje sanitario, agua potable, residuos sólidos, pavimentación, etc. La desigual distribución de esos servicios al interior del área urbana incrementa también la vulnerabilidad a cambios globales. Por ejemplo, muchas ciudades mexicanas carecen de drenaje pluvial, o en el mejor de los casos la red de este servicio está incompleta y carece de un mantenimiento regular. Posibles incrementos en las precipitaciones extremas bajo un escenario de cambios climáticos podrían incrementar de manera sustancial las inundaciones al interior de las ciudades. Otro ejemplo es el de los residuos sólidos. Un deficiente servicio de recolección y confinamiento de residuos sólidos, que es un problema recurrente en las ciudades mexicanas, puede ser fuente de mayores riesgos en la salud pública ante los efectos de mayores temperaturas en la descomposición de ese tipo de residuos. La desigual, y con frecuencia también irregular, distribución de agua potable en las ciudades puede también tener importantes efectos negativos en la salud y calidad de vida de los habitantes urbanos en un escenario de cambios climáticos.

En cuanto a los aspectos de estructura socioeconómica relevantes a la vulnerabilidad de las ciudades a los cambios climáticos, se pueden considerar al menos dos aspectos. Por un lado, la base económica de la ciudad, tomando en cuenta la localización de las actividades económicas al interior del área urbana y sus efectos ambientales. Por otro lado, los aspectos sociales e institucionales más relevantes (población, distribución del ingreso, finanzas municipales, capacidad administrativa en cuanto a control de la calidad ambiental, planeación, atención a emergencias ambientales). La distribución de las actividades económicas, particularmente la industria pesada, incide en la generación de microclimas al interior de la ciudad y puede llegar a influir en la distribución de los posibles efectos negativos en un escenario de cambios climáticos. Los aspectos sociales como crecimiento de la población, distribución del ingreso, niveles de urbanización por grupos sociales, etc., son relevantes en dos sentidos: las desigualdades sociales al interior de la ciudad son un indicador importante del nivel de vulnerabilidad de la ciudad; esas mismas desigualdades matizan los posibles efectos negativos de los cambios climáticos. Los aspectos institucionales complementan la imagen de vulnerabilidad de cada ciudad ante los cambios climáticos y sobre su capacidad de respuesta ante esos cambios. Pocas ciudades en México cuentan actualmente con capacidad para planear su crecimiento urbano, responder a emergencias ambientales y controlar la calidad del medio ambiente. Incluso, muy pocos municipios cuentan con la capacidad financiera para realizar obra pública y dar un mantenimiento regular a sus servicios públicos. Estas deficiencias inciden de manera directa en la vulnerabilidad de las ciudades a cambios climáticos. Por ejemplo, arriba señalé que la ausencia de red pluvial puede incrementar el riesgo de inundaciones. La incapacidad para evitar el crecimiento urbano en zonas de alto riesgo a este problema, la imposibilidad de construir, ampliar o mejorar la red pluvial, y la inadecuada respuesta a este tipo de emergencia ambiental, agravará las consecuencias sociales, económicas y ambientales de los cambios climáticos.

Por último, algunos aspectos del medio físico pueden ser también relevantes en el estudio de la vulnerabilidad de las áreas urbanas a los cambios climáticos. Las condiciones del entorno urbano en cuanto a su clima, topografía, geología, vegetación, hidrología, etc., pueden ser factores

GRAFICA 2. ESQUEMA DE POSIBLES EFECTOS SOCIALES-ECONOMICOS-AMBIENTALES DE CAMBIOS CLIMATICOS EN ZONAS URBANAS DE MEXICO



significativos en el impacto de los cambios climáticos en la ciudad. Por ejemplo, la vulnerabilidad de sus fuentes de abasto de agua, o la creación de microclimas aprovechando la vegetación y los cuerpos de agua en el entorno urbano. En el estudio de los aspectos del medio físico considero recomendable incluir aspectos generales de la calidad ambiental (calidad del aire, del agua, consumo de energía, residuos sólidos y residuos peligrosos, consumo de energía, erosión, etc.). Problemas como la calidad del aire en el Distrito Federal, Guadalajara, Tijuana, pueden agudizarse en un escenario de cambio global. Por ejemplo, los resultados de algunos estudios en Estados Unidos han encontrado que un incremento en la temperatura podría a su vez aumentar las concentraciones de ozono en la atmósfera de las ciudades. En términos generales, se puede asegurar que si la calidad del medio ambiente en la ciudad es deficiente, esos problemas tenderán a agudizar sus consecuencias negativas en un escenario de cambios climáticos.

La gráfica 2 muestra un esquema sobre algunos de los posibles efectos sociales, económicos y ambientales de los cambios climáticos en zonas urbanas de México. El esquema distingue en primera instancia los posibles impactos de los cambios climáticos en la salud (morbilidad y mortalidad), las condiciones de confort al interior de los espacios construidos (vivienda, trabajo, recreación) y en el espacio urbano, el surgimiento de emergencias ambientales (inundaciones, sequías, deslaves, tormentas), e impactos regionales en la estructura productiva y el abasto de agua y energía y los patrones de migración campo-ciudad, intraurbanas e interurbanas.

La gráfica 2 muestra además los posibles efectos derivados de esos impactos. Por ejemplo, un incremento de la temperatura promedio y de las temperaturas extremas puede incrementar la incidencia de enfermedades vectoriales (dengue, malaria, etc.) en zonas donde antes éstas no eran frecuentes. Deficiencias en el manejo de residuos sólidos o de las aguas servidas, combinado con temperaturas más altas, puede también ocasionar un mayor número de epidemias. Existe también la posibilidad de que en un futuro surgan nuevos riesgos en la salud (cáncer en la piel, cataratas en los ojos) derivados de fenómenos globales (rayos ultra-violeta). Como se menciona arriba, problemas de calidad del aire o del agua pueden agudizarse en un escenario de cambios climáticos ocasionando un mayor número de enfermedades respiratorias o gastrointestinales. En conjunto, estos impactos sobre la morbilidad y mortalidad podrían tener efectos negativos sobre los costos de los sistemas de salud, la distribución del ingreso en detrimento de los grupos más desfavorecidos y la productividad de la mano de obra.

Los efectos negativos de posibles decrementos en las condiciones de confort y vida urbana pueden traducirse en mayores consumos de energía, agravamiento de los problemas ambientales, decremento de la productividad y alteraciones de la vida social en la ciudad.

El conjunto de los posibles efectos sociales, económicos y ambientales de los cambios climáticos en las áreas urbanas en México pueden agudizar los problemas inherentes al subdesarrollo y el crecimiento anárquico de las ciudades mexicanas mencionados arriba, y sus posibilidades de desarrollo.

El caso de la frontera norte de México

En el estudio del caso de la frontera norte me interesa centrar la atención en el problema del agua, por tratarse de un recurso escaso y compartido por México y Estados Unidos. Pero también por ser el agua un recurso fundamental para el crecimiento futuro de las ciudades en esa zona en donde se concentra la mayoría de la población. Mi interés particular por el caso del agua se debe a que ningún otro recurso evidencia de manera tan clara la vulnerabilidad de la región a cambios climáticos, y los desequilibrios sociales y económicos que esos cambios pueden introducir.

Los pocos recursos de agua en la zona son compartidos por México y Estados Unidos. Prácticamente la totalidad de las ciudades en la frontera común entre esos dos países dependen de esos recursos para su abasto de agua. La distribución de los recursos superficiales, el río Bravo y el río Colorado, están regulados por el Tratado Binacional de 1944. Pero los recursos de agua subterráneos son explotados unilateralmente sin ninguna previsión para su recarga y manejo racional. Otra importante característica de esos recursos es el desigual consumo en cada lado

de la frontera. El consumo promedio entre pares de ciudades fronterizas compartiendo el mismo recurso es tres o cuatro veces superior en Estados Unidos que en México. Esa diferencia se incrementa sustancialmente (entre 10 y 15 veces) al tomar en cuenta el consumo entre grupos sociales en los dos lados de la frontera.

Estudios recientes sobre la distribución del agua en algunas ciudades fronterizas muestran una sobrestimación cercana al 20 por ciento en la población con servicio de agua municipal en las estadísticas oficiales.¹ La distribución de agua y su consumo per cápita muestra enormes disparidades al interior de cada ciudad no reflejadas por las estadísticas oficiales (los servicios municipales o estatales de agua potable y alcantarillado y el Censo de Población y Vivienda). La esperada disminución de agua para el consumo urbano contrasta con el esperado incremento de población urbana por crecimiento natural y migración. Un número significativo de las ciudades fronterizas dependen de las fuentes de agua compartidas con los vecinos del norte.

El acceso a los escasos recursos de agua disponibles en el suroeste de Estados Unidos y el noroeste de México se ha tornado un problema crítico para el crecimiento económico regional y el bienestar social de sus habitantes. A pesar de que esta región se distingue por la importancia de su sistema productivo,² en particular aquellos sectores con alto consumo de agua (la agricultura y la industria), existe una intensa lucha entre diversos tipos de usuarios para mejorar su acceso actual y futuro de agua. Estos conflictos son particularmente fuertes en la cuenca del río Colorado, compartido por siete estados en Estados Unidos, y México como el último usuario al final de la cuenca. Pero están también presentes en California con conflictos entre usuarios al norte y al sur del estado, y conflictos entre usuarios en las áreas agrícolas y las urbanas (industria, comercio y servicios y sus millones de habitantes).

El panorama arriba descrito podría agravarse aún más bajo un esquema de modificaciones globales en el clima. Un estudio reciente de la Agencia Estadounidense de Protección al Medio Ambiente (EPA) sobre los efectos potenciales de los cambios globales del clima en Estados Unidos señala la vulnerabilidad de varias cuencas hidrológicas en ese país a esos cambios. Tres de las cuatro cuencas con mayor vulnerabilidad a los cambios climáticos se encuentran en la frontera con México: el Río Colorado y el río Bravo y California. Este estudio señala la posible disminución de agua en esas cuencas, y anticipa un aumento de temperatura de 2°C y una pérdida de 10 por ciento en la precipitación³ en el suroeste de Estados Unidos y el noroeste de México bajo un escenario de efecto de invernadero al duplicarse las concentraciones de CO₂ en la atmósfera. En este escenario, el flujo del agua en el Colorado podría decrecer hasta un 40 por ciento y hasta un 76 por ciento en el río Bravo. El estudio prevee para California una disminución de agua en el proyecto de agua estatal (State Water Project) entre 7 y 16 por ciento. California es particularmente vulnerable a sequías y alteraciones en los patrones de escurrimientos causados por cambios en el clima.⁴

¹ Para el caso de Nogales, Sonora y Tijuana, B. C., véase respectivamente: Sánchez, R. y Lara F., "Estudio sobre el manejo de agua en Nogales. En busca de un enfoque integral" en Haydea Izazola y Susana Lerner, Comp. *Población y Ambiente*, Sociedad Mexicana de Demografía, El Colegio de México y The Population, Council, 1993; Sánchez, R. "Water conflicts between Mexico and the United States. Towards a transboundary water market", ponencia presentada en Third Conference on Environmental Security, Population/Environment Equation. Implications for Future Security, 31 mayo-4 junio, 1994.

² La agricultura en California es la más importante y diversificada en términos del valor de su producción en Estados Unidos (\$17,000 millones de dólares en 1991). De igual forma se distingue el Valle agrícola de Mexicali al otro lado de la frontera. El corredor industrial de Los Angeles a San Diego en el suroeste de California se distingue por su producción y el desarrollo de sectores de alta tecnología (aeronáutica, biotecnología, electrónica). El crecimiento industrial en Baja California ha prácticamente duplicado el número de plantas en el estado en los últimos 10 años, integrándose al corredor industrial en el sur de California.

³ Smith, Joel y Dennis A. Tirpak, editores *The Potential Effect of Global Climate Change on the United States*, Hemisphere Publishing Corporation, 1990.

⁴ El mismo estudio, con base en los modelos de circulación general, estima que los escurrimientos totales de las montañas alrededor del Valle Central aumentarán ligeramente. Sin embargo, los escurrimientos al final de la primavera y durante el verano (la temporada seca en la región) podrían ser mucho menores que ahora por las altas temperaturas.

Las predicciones sobre la disminución del volumen de agua disponible en California contrastan con las de población. En ese estado se espera un incremento de hasta un 45 por ciento en la población de ese estado entre 1980 y 2010 (de 24 a 35 millones de personas, la mayor parte de ellas concentradas en el suroeste del estado). Esto representa una mayor presión sobre los recursos hídricos, la lucha por su apropiación entre diversos usuarios y su mayor costo, impulsando a diversos sectores económicos a relocalizarse en zonas con menores costos en el abasto de agua y con mejores posibilidades de abasto (México).

Un problema adicional para California y el resto de las cuencas hidrológicas en la frontera norte es la probable pérdida en la calidad del agua. Al reducirse los escurrimientos en el verano, podría incrementarse la concentración de agroquímicos en los escurrimientos agrícolas en los cuerpos de agua,⁵ así como las concentraciones de otros contaminantes domésticos e industriales. Esto reduciría aún más el volumen de agua disponible en el futuro.

Otros estudios presentan escenarios similares a los arriba mencionados sobre los posibles efectos regionales de los cambios climáticos globales en esta zona.⁶

En el noroeste de México podrían esperarse efectos similares. En su estudio sobre los efectos regionales de los cambios climáticos globales, Diana Liverman incorpora los resultados de cinco modelos de circulación global: Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Model (GFDL), Goddard Institute for Space Study Model (GISS), National Center for Atmospheric Research Model (NCAR), Oregon State University Model (OSU), United Kingdom Meteorological Office Model (UKMO). Ante las discrepancias en los resultados regionales de los modelos, Liverman incorpora un análisis de sensibilidad para la definición de sus escenarios.⁷ Sus resultados muestran un posible incremento en las temperaturas extremas y algunas variaciones estacionales en la precipitación en el noroeste de México,⁸ una posible reducción en la humedad del suelo y un incremento en la evaporación (aún en los casos donde se preve un incremento en la precipitación). Los resultados de Liverman son consistentes con los mencionados arriba para la misma región en el otro lado de la frontera, por lo que podrían esperarse efectos similares (una mayor presión sobre los recursos de agua disponibles, una disminución de su calidad, un mayor costo y una polarización en su consumo con importantes efectos sociales).

Evidencias de algunos de los efectos que este tipo de escenarios podría tener se presentaron durante el reciente periodo de 6 años de sequía continua en California. Durante ese periodo, capital agrícola de California⁹ empezó a relocalizarse hacia Baja California (en Mexicali y en Ensenada) bajo el nombre de agromaquiladora.¹⁰ La importancia de los cultivos con alto consumo de agua y un alto valor de mercado entre la agromaquila, hace suponer que uno de los factores importantes que llevaron a la relocalización de ese capital es la intención de garantizar su acceso al agua en México.¹¹ La entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio puede ampliar

⁵ Ibidem

⁶ Gleick, Peter, "Vulnerabilities of United States Water Systems to Climate Change" en: John Topping, Jr., editor *Coping With Climate Change*, Proceeding of the Second North American Conference On Preparing For Climate Change: A Cooperative Approach, Washington, D. C., The Climate Institute, 1989; Hansen, J. et al., "Regional Greenhouse Climate Effect" en: Joel Smith y Dennis A. Tripak, editores, *The potential Effect of Global Climate Change on the United States*, op.cit: IPCC, "First Assessment Report" en: *International Environmental Affairs*, op.cit; Knox, B. Joseph and Robert W. Buddemeier, "Impact of Climate Change on California Water Resources" en: John Topping, Jr., editor. *Coping With Climate Change*, Proceeding of the Second North American Conference On Preparing For Climate Change: A Cooperative Approach, op. cit.

⁷ Liverman, Diana, "The Regional Impact of Global Warming in Mexico: Uncertainty, Vulnerability and Response", ponencia presentada en la conferencia 1991 Woodland Conference, Woodlands, Texas, marzo de 1991.

⁸ Aunque algunos de los modelos señalan una probable mayor lluvia en el invierno en esta zona, en general los cinco modelos coinciden en señalar una pérdida de precipitación.

⁹ Para 1991, las pérdidas en la agricultura se estimaron en 1,000 millones de dólares, dejándose de cultivar cerca de 600,000 acres por falta de agua. Las principales impusieron medidas obligatorias y voluntarias para reducir su consumo de agua entre 15 y 30 por ciento.

¹⁰ Bustamante, Jorge, "Subsidio claro como el agua" *Excelsior* (6 de agosto de 1990).

la relocalización de sectores de alto consumo de agua (agricultura, algunas ramas industriales, generación de electricidad) hacia México, no sólo para reducir el costo de su mano de obra, sino también para garantizar su acceso al agua. La discusión de los aspectos ambientales del TLC redujo las referencias de los recursos naturales a los hidrocarburos, dejando de lado las consideraciones sobre los posibles efectos en otros importantes recursos naturales en México: (agua, forestales, minería, patrimonio biogenético, pesca, etc.). Incluso el texto final de los acuerdos suplementarios excluye del ámbito de su competencia al manejo de los recursos naturales. No obstante, el Tratado de Libre Comercio, en conjunto con las recientes modificaciones a la Ley Federal de Aguas y otros cambios estructurales sobre el papel del Estado en México, favorecen la participación de grupos de capital de Estados Unidos y Canadá en la administración, distribución y aprovechamiento de recursos de agua en México. Ese esquema podría tener efectos de corto y mediano plazo en la región que comprende el suroeste de Estados Unidos y el noroeste de México. Administrar los recursos de agua bajo un esquema de mercado dentro del contexto del TLC puede tener importantes efectos sociales, económicos y ambientales para México al romperse el débil equilibrio que se mantiene en nuestro país entre la función social y la función económica implícitas en el manejo de este recurso.¹²

Los aspectos arriba mencionados enfatizan la vulnerabilidad de las ciudades en la frontera norte de México a cambios climáticos. Todas ellas enfrentan actualmente fuertes problemas ambientales y urbanos que limitan las posibilidades de lograr un crecimiento futuro más equilibrado y equitativo. Es recomendable que los esfuerzos actuales para orientar ese crecimiento tomen en cuenta los posibles impactos de los cambios climáticos en el crecimiento de esas ciudades. Incorporar acciones útiles a reducir la vulnerabilidad de las ciudades en los esquemas de planeación urbana pueden reducir significativamente varios de los posibles efectos negativos mencionados arriba. De lo contrario, el costo social, económico y ambiental del proceso de cambio global pueden ser demasiado alto para la sociedad mexicana.

¹¹ En Mexicali se regó cerca de 4,000 hectáreas de espárragos de capital estadounidense en 1990 (Ibidem).

¹² Dada la importancia del agua como recurso vital para el crecimiento económico y la reproducción social, es en el manejo de este recurso natural en donde se cumple claramente con las funciones de legitimación y acumulación del sistema productivo. El balance entre estas dos funciones se expresa de manera diferencial entre las sociedades industrializadas y las sociedades en desarrollo. Los rezagos sociales en México inciden en que ese balance sea precario como lo manifiestan las enormes discrepancias en la distribución y consumo de agua entre grupos sociales en las ciudades y en las áreas rurales. Este es un aspecto que incide de manera importante en el manejo de agua en México, uno de los grandes problemas nacionales en ese país.

Marco de referencia sobre la vulnerabilidad de los sistemas energéticos y la industria ante el cambio global

El caso de México

MARIA TERESA SANCHEZ SALAZAR

Instituto de Geografía, UNAM, Circuito Exterior, CU, 04510, México, D. F., México

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo presentar los elementos teóricos fundamentales en que se basará la investigación sobre la vulnerabilidad de los sistemas energéticos y la industria ante el cambio global para el caso de México, dentro del marco del Proyecto "Estudio del País". La literatura sobre el tema considera que la generación de energía y la industria son dos sistemas poco vulnerables ante el cambio climático global. Sin embargo, en los países de economía en vías de desarrollo, como lo es México, este fenómeno no ha sido estudiado. El análisis de las características sectoriales y regionales de la industria y de los sistemas energéticos permitirá dar un diagnóstico que refleje las diversas modalidades que tal fenómeno presenta en nuestro país.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to present the fundamental theoretical ideas supporting the research on vulnerability of energy systems and industry to the global climatic change for Mexico. The scientific literature focusing on developed countries reveals that energy generation and industry present little vulnerability to the global climatic change. However, in underdeveloped countries such as Mexico, this aspect has not been studied. An analysis of the sectorial and regional features on industry and energy systems will allow to establish a more realistic diagnosis of the modalities that this phenomenon presents in the case of Mexico.

1. Objetivos

Los objetivos que se pretenden alcanzar en el análisis de la vulnerabilidad de los sistemas energéticos y la industria ante el cambio global, para el caso mexicano, son los siguientes:

1. Determinar los factores que inciden en la vulnerabilidad de los sistemas energéticos y la industria en el contexto del cambio climático global, en términos generales, y definir las particularidades y diferencias regionales que se presentan en nuestro país.
2. Realizar un diagnóstico general de los sistemas energéticos y la industria en México, desde la perspectiva de su estructura sectorial y territorial, así como de la dinámica de ambos, tomando en consideración dos aspectos: sus demandas de agua y energía.
3. Precisar los mecanismos y las posibilidades de adaptación de los sistemas energéticos y la industria al cambio climático global, en términos generales y a nivel regional.

2. Introducción

Existen pocos trabajos que analicen la actividad industrial y los sistemas de producción de energía en términos de su vulnerabilidad ante el cambio climático global (Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming *et al.*, 1992; Lindh, G. 1992; Georgas, D. y Perissoratis, C. 1992). Al hablar de los impactos del cambio climático en la economía, siempre se tiende a enfocar la atención sobre actividades como la agricultura, la explotación forestal, el empleo del agua, e incluso la actividad pesquera, más que sobre la industria, no obstante que en los países desarrollados, e incluso en México, la participación de la industria en el Producto Interno Bruto (PIB) es fundamental.

Por otra parte, también hay que partir del hecho de que existe una relación biunívoca de la industria y los sistemas energéticos con el cambio global: la quema de combustibles fósiles tanto en la industria como en las centrales termoeléctricas, es el factor que más contribuye a la

acumulación de gases de invernadero en la atmósfera y, por ende, al cambio climático global; al mismo tiempo, dicho cambio climático repercute, en mayor o menor medida, en el funcionamiento de ambos sistemas. Como consecuencia de ello, las medidas de adaptación y mitigación que se implementen tendrán repercusiones en ambas direcciones.

En comparación con otras actividades económicas, la industria y la generación de energía se consideran como de baja sensibilidad ante el cambio climático global, en virtud de que se trata de actividades en las cuales el horizonte de planeación de las inversiones y de la vida útil de las instalaciones es más corto que los ritmos del cambio climático global. Esto significa que las empresas industriales tienden a renovar la infraestructura de sus instalaciones a una velocidad mayor que el proyectado cambio global (Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming *et al*, 1992). La afirmación anterior, desde el punto de vista teórico puede ser válida, pero un análisis detallado de los efectos directos e indirectos del cambio climático en el marco regional, y en el contexto de una economía en vías de desarrollo como la nuestra, que además se ha incorporado recientemente al Tratado de Libre Comercio, con todas las implicaciones económicas que ello conlleva para las empresas, daría luces sobre los diversos matices que lleva implícitos dicha aseveración.

3. Factores que influyen en la vulnerabilidad de la industria y los sistemas energéticos.

En términos generales, la vulnerabilidad de ambos sistemas deriva de tres factores:

- a) De la necesidad de tener acceso al abastecimiento de determinados volúmenes de agua en forma regular.
- b) De las variaciones en la demanda energética requerida para llevar a cabo ciertos procesos industriales, como aquellos vinculados al calentamiento o enfriamiento (incremento en el empleo de aire acondicionado).
- c) De una ubicación geográfica "desventajosa".

En cuanto al primer factor, como repetidamente se ha mencionado en la literatura, el cambio climático global afectará, en primer término, el comportamiento estacional y anual de los recursos hidrológicos por las alteraciones que se producirán en la precipitación, evaporación y escurrimientos. En las zonas de clima seco, que constituyen la mayor parte de la superficie del país, el aumento en la evaporación provocará una mayor presión sobre el recurso agua, en virtud del incremento de la demanda por encima de las posibilidades de abastecimiento.

En el caso de las centrales generadoras de energía eléctrica, la demanda de agua depende de la naturaleza y de las características de sus instalaciones. Las centrales hidroeléctricas, en las que el agua constituye la fuerza motriz para generar electricidad, tienen un consumo más alto que las centrales termoeléctricas, en las cuales se emplea el agua, ya sea en forma de vapor obtenido mediante calentamiento a partir de combustibles fósiles (carbón o derivados del petróleo) o de reacciones nucleares, o bien en forma líquida en los procesos de enfriamiento de los reactores en las centrales nucleoelectricas. Una particularidad del agua empleada en la generación de energía eléctrica es que este uso no excluye la posibilidad de que ésta pueda ser destinada paralelamente a otras actividades. En ambos tipos de centrales, las alteraciones en la precipitación inducidas por el cambio climático global provocarían variaciones en el costo del agua, lo que repercutiría en los costos de generación de la electricidad. Asimismo, estos procesos también tendrían implicaciones en los costos de producción de los combustibles fósiles.

En México, el 30% de la capacidad instalada para generar electricidad corresponde a centrales hidroeléctricas, y el 70% restante a termoeléctricas, y de estas últimas, las dos terceras partes trabajan a base de vapor de agua (CFE, 1993b). De la electricidad generada, el 18.5% corresponde a hidroelectricidad y el 81.5% restante a termoelectricidad. Asimismo, en las zonas áridas predominan las centrales termoeléctricas por encima de las hidroeléctricas, en virtud de las limitaciones que estas áreas tienen en cuanto a su potencial de recursos hidrológicos (Sánchez-Salazar,

1991a). Ello tiene implicaciones importantes ante una situación de calentamiento atmosférico, por las restricciones inherentes a su abastecimiento.

Por otra parte, la dinámica de crecimiento en la capacidad instalada de centrales termoeléctricas en México en los últimos quince años, fue consecuencia del "boom petrolero" del decenio de los setenta, de ahí que la ubicación de las centrales construidas a partir de dicho período ha obedecido a una lógica no sólo de cercanía a los centros de consumo (zonas urbano-industriales), sino también a la de los centros del abastecimiento del combustible necesario para su operación. En este sentido, existen varias centrales termoeléctricas ubicadas en los litorales del Pacífico y del Golfo de México, a las que se abastece de combustóleo a través de movimientos marítimos de cabotaje, desde los puertos de Coatzacoalcos y Salina Cruz, principalmente (Sánchez-Salazar, M.T. 1991a y 1991b). Por tanto, si se considera que un efecto importante del cambio climático global será la variación en el nivel del mar, entonces existe la posibilidad de que las centrales termoeléctricas que se localizan junto a la costa pudieran verse afectadas por dicho fenómeno.

Entre las medidas de adaptación o mitigación que tendrían que adoptarse para contrarrestar los efectos del cambio climático global, para el caso de los sistemas energéticos, estarían las siguientes:

- a) Mejorar las tasas de eficiencia de las centrales generadoras, medida que constituiría una solución tecnológica y de eficiencia del proceso.
- b) Incrementar el empleo de sistemas de ciclo combinado, es decir, aquellos que, además de emplear carbón o derivados del petróleo, utilizan gas natural. Esta transformación también conllevaría un mejoramiento de la eficiencia. No obstante, no hay que olvidar que México es autosuficiente en la producción de crudo, pero no en la de gas natural, el cual tiene que ser importado en un alto porcentaje para las necesidades internas, de manera que la reconversión en los sistemas de generación de electricidad implicaría un incremento en el monto de las inversiones para la compra de gas natural a los Estados Unidos (Sánchez-Salazar, M.T. 1991b).
- c) Reemplazar las centrales termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles, por otras que empleen energías alternativas.
- d) Implementar sistemas cerrados de enfriamiento de agua en las centrales termoeléctricas que operan en zonas áridas, por la escasez de agua que existe en ellas.

Por lo que se refiere a la industria, en virtud del papel cada vez más importante de esta actividad en la conformación del PIB, en un principio se pensó que el cambio climático global podría afectar seriamente las economías de los países. En México, en 1992 el PIB estaba integrado de la siguiente manera:

Actividades primarias:	8%
Industria:	33%
Actividades terciarias:	59%

Por lo que se refiere a la industria, sólo cuatro sectores conformaban el 77% del PIB manufacturero: la industria alimenticia, de bebidas y tabaco; la de productos metálicos, maquinaria y equipo; la química, de refinación del petróleo y petroquímica; y la textil, de la confección y del cuero (26%, 23%, 18% y 10% del PIB industrial, respectivamente; NAFINSA, 1993). Asimismo, la industria consume aproximadamente el 38% del total de la energía demandada (CFE, 1993a y 1994).

Sin embargo, una idea generalizada es que la industria es un sector económico poco sensible al cambio climático global. Se afirma que si dicho cambio se produce en forma lenta y gradual, las adaptaciones de la industria a él, a través de reconversiones, reemplazo o, inclusive, cambios de ubicación, no necesariamente son más notorias que las tendencias ordinarias a la obsolescencia, la transformación o la migración.

La vulnerabilidad de la industria ante el cambio global se manifiesta en los siguientes aspectos:

- a) En los costos globales de la energía, los cuales sufrirían un incremento, siendo las más afectadas aquellas industrias que tienen un alto consumo de energía, como por ejemplo, la minero-metalúrgica, la petroquímica, la siderúrgica).
- b) En las variaciones en el volumen de energía consumida, en particular, en aquellas industrias que, como parte de sus operaciones, incluyen procesos de calentamiento o de enfriamiento. En el primer caso, el cambio global implicaría un ahorro de combustibles y de electricidad; en el segundo, dicho cambio se traduciría en un incremento en la demanda energética, tal como sucedería a industrias que manejan productos perecederos que requieren el empleo de cámaras de refrigeración o congelación.
- c) En los costos del agua, cuyas variaciones dependerían de la ubicación espacial de las instalaciones industriales.
- d) En ciertos casos particulares, tales como las industrias dependientes de los productos forestales y agrícolas, los cuales también se verían afectados en sí mismos por el cambio global; como ejemplos estarían las industrias maderera, del papel, alimenticia y textil, entre otras.
- e) En las industrias de ubicación geográfica costera, debido a las variaciones en el nivel del mar. En estas circunstancias se verían afectados los puertos industriales y pesqueros, tales como Lázaro Cárdenas, Mich., Salina Cruz, Oax., Tampico-Ciudad Madero, en los límites entre Veracruz y Tamaulipas, Altamira, Tamps., Coatzacoalcos, Ver. etc., en donde se han instalado, empacadoras de productos pesqueros, industrias siderúrgicas, de refinación y petroquímica, química, metal-mecánica, terminales de almacenamiento y distribución de productos petroleros, así como también infraestructura de vías de comunicación y transporte, y ductos de distintos tipos (Coll-Hurtado, A. y Morales, J. 1991; Morales, J. 1991). En este sentido, cabe mencionar las plataformas petroleras que existen en la Sonda de Campeche y las costas de Veracruz, que también se verían afectadas por el ascenso del nivel del mar.

Las medidas de adaptación y mitigación ante el cambio global, para el caso de la industria, tendrían que comprender los aspectos siguientes:

- a) Implementación de mecanismos para reducir el consumo de energía y agua, tales como un aumento en el empleo de sistemas de reciclaje.
- b) Incremento de proyectos de cogeneración, a fin de producir calor y electricidad de manera simultánea.
- c) Mejoramiento de la eficiencia en el uso de la electricidad, a través de la modificación de los procesos industriales y del empleo de una tecnología más eficiente y menos intensiva en la utilización de la energía.
- d) Flexibilidad tecnológica.

Todas estas medidas llevan implícitas inversiones de capital, las cuales se verán limitadas en mayor o menor medida, por la capacidad de inversión de las empresas, y por las políticas gubernamentales enfocadas a incentivar la reconversión.

En el caso de México, la estructura de las empresas industriales constituye una seria limitante a estos procesos, pues el 77% y el 13% de los establecimientos corresponde a microindustrias y pequeñas industrias respectivamente, en tanto que el 10% restante corresponde a medianos y grandes establecimientos (INEGI, 1991). Asimismo, diferencias regionales en la estructura empresarial de la industria corresponderá también a diferencias en los mecanismos y niveles de adaptación de esta actividad ante el cambio global.

A lo anteriormente señalado, habría que sumarle además el proceso de adaptación de las empresas a las transformaciones que a nivel mundial están ocurriendo en los procesos económicos, como son la globalización económica y, para el caso de México, el Tratado de Libre Comercio, con carácter prioritario para el Estado.

La evidencia indica que el sector industrial se puede adaptar al cambio climático global haciendo modificaciones más bien modestas a los planes de inversión que las empresas realizarían en ausencia de dicho cambio, pero ello habría que analizarlo para cada uno de los sectores industriales y a nivel de estudios regionales.

4. Conclusiones

Una idea generalizada es la que considera que, de todos los sectores económicos, la industria y la generación de energía serían los menos afectados por el cambio climático global, en virtud de su capacidad natural para adaptarse a los cambios a una velocidad mayor al ritmo en que estos ocurren. Sin embargo, y en virtud de la oportunidad que se presenta a través del Proyecto del "Estudio de País", de hacer un diagnóstico para el caso específico de México, el desarrollo del trabajo permitirá precisar los diferentes matices que existen en los casos de los sistemas energéticos y de la industria, tanto a nivel sectorial, como en el marco regional, en el contexto de una economía en vías de desarrollo como es la mexicana.

Agradecimientos

Se agradece la valiosa colaboración de la pasante en Geografía, Maribel Martínez Galicia por el apoyo brindado en la recopilación de información estadística y bibliográfica para el desarrollo de la presente investigación.

BIBLIOGRAFIA

- CFE, 1993a. Estadísticas del Sector Eléctrico Nacional 1993. CFE. México.
- CFE, 1993b. Informe de operación 1992. CFE. México.
- CFE, Subdirección de Programación. 1994. Desarrollo del mercado eléctrico. 1989-2003. CFE. México.
- Coll-Hurtado, A. y J. Morales, 1991. Hoja VI.9.1. "Estructura industrial". Esc. 1:4 millones Atlas Nacional de México. Sección Economía. Vol. III. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Georgas, D. y C. Perissoratis, 1992. "Implications of Future Climatic Changes on the Inner Thermaikos Gulf". *Climatic Change and the Mediterranean*. Ed. L. Jeftic and others. pp. 495-534.
- INEGI, 1991. Censos Económicos 1989. INEGI. Aguascalientes, Ags.
- Lindh, G., 1992. "Hydrological and Water Resources Impact of Climate Change". *Climatic Change and The Mediterranean*. Ed. L. Jeftic and others. pp. 58-93.
- Morales, J., 1991. Hoja VI. 9.2. "Industria básica". Varias escalas. Atlas Nacional de México. Sección Economía. Vol. III. Instituto de Geografía. UNAM. México.
- NAFINSA, 1993. La economía mexicana en cifras. 1992. NAFINSA. México.
- Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming *et al.*, 1992. Policy Implications of Greenhouse Warming. Mitigation, Adaptation and the Science Base. National Academy Press. Washington, D. C.
- Sánchez-Salazar, M. T., 1991a. Hojas VI.6.1 y VI.6.2. "Infraestructura eléctrica" y "Energía eléctrica". Esc. 1:4 millones. Atlas Nacional de México. Sección Economía. Vol. III. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Sánchez-Salazar, M. T., 1991b. Hojas VI.7.1 y VI.7.2. "Infraestructura petrolera" y "Producción y distribución de petróleo y sus derivados". Esc. 1:4 millones. Atlas Nacional de México. Sección Economía. Vol. III. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Evaluación de la vulnerabilidad de los sectores socioeconómicos y ambientales ante los impactos del cambio climático: integración de resultados para el estudio de país en un contexto SIG

JORGE LOPEZ-BLANCO

Instituto de Geografía, UNAM, Circuito Exterior, CU, 04510, México, D. F., México

RESUMEN

Con base en la integración de la información resultante de la evaluación de impactos para cada sector socioeconómico y ambiental, se está realizando un mapa de vulnerabilidad relativa ante el cambio climático global en México. El proceso se inicia con la transferencia de información gráfica y tabular generada por los especialistas de dichos sectores, para ser conjugada dentro de un sistema de información geográfica (SIG). A partir de la aplicación de operadores booleanos se realizará un análisis simultáneo de los siete mapas de impacto por sector, para delimitar las áreas con mayor vulnerabilidad. El mapa final se realizará a escala 1:4,000,000, en él se establecerán las clases de vulnerabilidad por unidad de mapeo.

ABSTRACT

The impact caused by the global change upon the socioeconomic and environmental sectors is evaluated in order to prepare a relative vulnerability map to face future scenarios in Mexico. Both graphic and tabular information obtained by specialists from these sectors will be integrated in a GIS context. Through boolean operators a simultaneous analysis will be carried out considering seven different impact sectoral maps, to finally obtain a graded classification of vulnerability. A map, scale 1:4 000 000, showing at least three different degrees of vulnerability will be obtained.

1. Introducción

Los climas que se presentan en el mundo son resultado de un régimen dinámico que está sujeto a variaciones de origen natural, a diversas escalas temporales, así como a alteraciones causadas por las actividades humanas. El problema de predecir cambios climáticos futuros, inducidos por las actividades antropogénicas, no puede estar separado de los que se puedan reconocer, entender y predecir como variaciones de origen natural (WMO, 1990:5). Las fluctuaciones del clima a partir de procesos naturales se conoce como variabilidad natural del clima. El cambio climático al que se hace referencia en este trabajo es el que se considera que puede ocurrir en el próximo siglo como resultado de las actividades humanas (Houghton *et al.*, 1991)

Uno de los resultados directos de tales actividades, el cual se ha demostrado en los estudios reportados desde hace algunos años, es el conocido como calentamiento global. Este proceso tiene origen en el efecto invernadero producido por el aumento en las concentraciones en la atmósfera, de los gases emitidos a causa de la deforestación, ganadería, consumo de combustibles fósiles, uso de sprays, etc. Algunos de estos gases son: dióxido de carbono (CO₂), metano, clorofluorocarbonos, óxidos de nitrógeno, ozono, así como las partículas de aerosoles (WMO, 1990:5). Estos gases tienen la capacidad de atrapar la radiación del infrarrojo térmico, emitida hacia el espacio por la superficie de la Tierra, provocando así un consecuente calentamiento de la capa inferior de la atmósfera y de la superficie mencionada.

Los estudios sobre los impactos de este calentamiento (cambio climático) a nivel de sectores socioeconómicos y ambientales, en los diversos países, están siendo organizados por los integrantes del Grupo de Trabajo II (Evaluación de impactos) del Intergovernmental Panel on Climate Change. Este panel fue establecido en 1988 a partir de los esfuerzos de la Organización Meteorológica Mundial y del Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas. El objetivo que se marcó el grupo de trabajo mencionado, fue el de evaluar los impactos del cambio climático en los sectores socioeconómico y ambiental (McG. Tegart *et al.*, 1990:xv). Dicho objetivo se refiere a los aspectos que tienen que ser considerados dentro de la parte correspondiente

**Definición de Alcances
y Conceptos**

Elección de Escenarios:
•Socioeconómicos
•Ambientales
•Climáticos

Selección y Aplicación del Método de Evaluación de Impactos

SECTORES: Socioeconómicos y Ambientales

Agricultura/ Sequía	Deserti- ficación	Ecosist. Forestales	Asentam. Humanos	Recursos Hídricos	Costas	Industrial/ Energía	Otros
------------------------	----------------------	------------------------	---------------------	----------------------	--------	------------------------	-------

Integración de Resultados de Impactos por Sector

**Establecimiento de Programas y
Estrategias de Adaptación**

Preparación del Informe Final

Figura 1 Proceso de evaluación de la vulnerabilidad ante los impactos del cambio climático y establecimiento de medidas de adaptación (Modificado de USCSMT, 1994:2-5).

a la vulnerabilidad en los estudios de país.

Las asistencias técnica y financiera para las evaluaciones que se están realizando en los países en desarrollo, están siendo proporcionadas por el Gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica, a través del U.S. Country Studies Program (CSP). Con este programa se han establecido como primordiales los siguientes aspectos que tienen que ser considerados en los estudios de país: a) Inventario de fuentes y emisiones de gases invernadero, b) Evaluación de las vulnerabilidades ante los impactos del cambio climático y una valoración de las propuestas de adaptación ante estos impactos potenciales, y c) Evaluación de las opciones para reducir las emisiones netas de gases invernadero (USCSMT, 1994:1-1).

Para la organización de tales estudios, el programa mencionado ha formado un equipo de manejo de los estudios de país (Country Studies Management Team, CSMT) compuesto por personal de las siguientes dependencias de los Estados Unidos: Agencia de Protección Ambiental (EPA), Departamento de Energía (DOE), Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), Agencia de Desarrollo Internacional (USAID) y por el Departamento de Estado.

En este trabajo se harán algunas consideraciones generales acerca de la evaluación de la vulnerabilidad a nivel estudio de país y posteriormente una descripción de las características generales de un SIG, finalmente se mencionan una serie de actividades y propuestas para la realización de la integración de los resultados de los impactos por sectores en el estudio de vulnerabilidad mencionado. La pregunta que se está tratando de resolver para completar el estudio de vulnerabilidad es: ¿Cuáles son las áreas del país, que presentarán, en el próximo siglo, alta vulnerabilidad a los impactos causados por el cambio climático, en los siete sectores socioeconómicos y ambientales considerados en el estudio?

En relación al enfoque que se le ha dado a este trabajo con respecto al análisis e integración de la información en un SIG, se justifica de acuerdo a lo que se ha demostrado en muy diversas ocasiones, por lo reportado a nivel mundial en la literatura especializada, que es la tecnología más eficiente para realizar las funciones mencionadas. Además que dentro de la guía para la realización de la integración de resultados de impactos por sectores se recomienda el empleo de un SIG (USCSMT, 1994:5-16/63).

1.1 Vulnerabilidad por sectores

Un estudio de vulnerabilidad por sectores ante los impactos ocasionados por el cambio climático global, dentro de los estudios de país, es una evaluación que se realiza para definir cómo los cambios en el clima pueden afectar, directa o indirectamente, algunos sectores de la economía, elementos y relaciones del medio ambiente natural y la salud y bienestar de la población de un país. Consiste en delimitar la extensión e intensidad o severidad de los efectos potenciales del cambio climático por sector individual, o bien de manera conjunta o integrado (USCSMT, 1994:2-1).

El proceso para realizar la evaluación de la vulnerabilidad ante los impactos, se muestra en la Figura 1. En ella se ha resaltado la parte del proceso que corresponde a este trabajo. La información inicial para la integración tendrá que ser a partir de los resultados gráficos y de bases de datos tabulares de información que califique, en términos de vulnerabilidad relativa, a las unidades de mapeo (cuencas hidrográficas, franjas litorales, tipos de vegetación, unidades ambientales, municipios, etc.), que se hayan empleado para cada uno de los sectores socioeconómicos y ambientales señalados.

2. Sistemas de Información Geográfica

El término y concepto Sistema de Información Geográfica, se refiere frecuentemente a la tecnología computacional orientada hacia asuntos geográficos, también se le llama así a los conceptos y estructuras lógicas de manejo de entidades espaciales (programas) usados en diferentes áreas de

aplicación, y más recientemente, a un cuerpo organizado de conocimientos sistemáticos sobre las diversas formas de guardar, integrar y analizar la información acerca de entidades geográficas.

Este conjunto de conocimientos ha permitido la conformación de una nueva disciplina, cuyo fin es el establecimiento de formas de aplicación del análisis espacial y de los medios tecnológicos e informáticos para llegar a ello. Dicha disciplina ha generado un amplio interés en todo el mundo (Maguire *et al.*, 1991:9, Vol.1).

En un sentido muy general un SIG puede ser definido como una serie de elementos lógicos y físicos que permiten el manejo de bases de datos, las cuales son principalmente de naturaleza espacial o que pueden ser indexados u organizados a partir de un listado de referencia para ser manejados espacialmente (Albert, 1988:1021). Esta serie de elementos permite establecer un conjunto de procedimientos que operan sobre los datos, para estructurar la entrada de preguntas o consultas y la salida de respuestas acerca de las entidades espaciales consideradas.

Desde otro punto de vista, un SIG puede ser considerado como un sistema computacional diseñado para la entrada, almacenamiento, representación, manipulación y análisis de grandes volúmenes de datos referenciados espacialmente Burrough (1989:6-7) establece que los SIG son un conjunto de herramientas que se emplean con el fin de coleccionar, almacenar, seleccionar, transformar y desplegar datos espaciales del mundo real, para propósitos particulares. De acuerdo a esto y según dicho autor, tales datos describen entidades espaciales en términos de:

- Su posición con respecto a un sistema de coordenadas convencional y conocido,
- Sus atributos que no están relacionados con la posición (color, frecuencia, costo, etc.) y...
- Sus interrelaciones espaciales con otros objetos (propiedades topológicas) las cuales describen sus posiciones relativas, conexiones y trayectos.

Una definición más amplia establecida por Aronof (1989:1), es la que describe a los SIG como sistemas computacionales establecidos para la captura, almacenamiento y análisis de objetos y fenómenos, en los cuales la localización geográfica es una característica fundamental y crítica, dentro de dicho análisis. La utilidad de un SIG es más clara conforme las bases de datos se hacen más extensas. Es decir, cuando se manejan y analizan muchos datos que están referenciados geográficamente y donde inciden gran cantidad de factores, el manejo eficiente de esa información no es posible de forma manual, debido a que sería demasiado costoso y ocuparía gran cantidad de tiempo (Aronoff, 1989)

3. Elementos que conforman un SIG.

Los principales componentes de un SIG se pueden agrupar en tres conjuntos de elementos básicos:

3.1 Elementos físico-electrónicos para el manejo de la información (*hardware*)

- La unidad central de procesamiento permite el control y manejo de la información. Normalmente se encuentran integradas a ella, las unidades para el manejo de discos (duro, flexibles y ópticos).
- Dispositivos para la interacción del usuario con la computadora (terminal, teclado y monitor), los cuales permiten el control del procesador y de los periféricos.
- Digitizadores y otros dispositivos de entrada de datos gráficos (digitizador óptico o scanner), que permite la conversión de datos de mapas y/o imágenes a formato digital para ser integrados al sistema.
- Graficador o plotter, o cualquier otro tipo de dispositivo de impresión de salidas de tipo gráfico (impresora, cinta de video, film-writer, etc.).
- Manejadores de cintas magnéticas, cuya función es la de guardar grandes volúmenes de

información para su protección o respaldo y para su transferencia a otros sistemas.

3.2 Elementos lógicos para el manejo de la información (conjunto de programas o software).

Los programas individuales, los cuales comúnmente conforman una estructura más compleja llamada Sistema de Información, realizan, cuando el usuario así lo requiere, una serie de rutinas a partir de las cuales se presentan al final de dicha secuencia de funciones empleadas, una serie de resultados de los procesos de manejo de información y cálculos.

Estos programas tienen una estructura tal, que esos resultados se integran y utilizan directamente en otros programas del mismo sistema, sin que el usuario lo note, de tal manera que al final de una secuencia de peticiones que hace un usuario al sistema se ha pasado, regresado y llamado algunos resultados parciales de diferentes programas, los cuales integran estructuras cada vez más complejas dentro de dicho sistema.

Finalmente, cada uno de estos programas individuales lo que permite realizar es una secuencia de órdenes estructuradas lógicamente que facilitan la solución parcial o general de consultas o preguntas (queries) aplicadas a dicho sistema de información. Existen cinco aspectos que se relacionan con las funciones técnicas que realizan los programas que componen un SIG, estas son:

- Introducción, transformación y verificación de los datos. Esto se refiere a todos los puntos relacionados con la captura y transformación, en formato digital, de los datos básicos obtenidos desde diferentes fuentes: mapas, imágenes de satélite, videoimágenes, fotografías aéreas, observaciones de campo, resultados de análisis de laboratorio, etc.
- Almacenamiento y manejo de la base de datos. Se relaciona a cómo el sistema estructura y organiza la información de los elementos considerados en el análisis, es decir, se toman en cuenta sus características de posición, conectividad y atributos (propiedades topológicas).
- Procesamiento y análisis de la información. Aquí se concentran las funciones principales que puede desempeñar un SIG en relación a la respuesta de preguntas requeridas por el usuario. Aquí es donde se marca más claramente la diferencia entre un SIG y un sistema de diseño cartográfico asistido por computadora (CAD/CAM, ver Burrough, 1989:81). Un SIG proporciona una serie de funciones de análisis de los aspectos espaciales y topológicos de la información geográfica, sus atributos no-espaciales y la combinación de ambos. Cambios de escalas y proyecciones cartográficas, rotaciones y translaciones, despliegues tridimensionales, cálculos de áreas, operaciones con lógica Booleana, clasificaciones, sobreposiciones y cruzamientos, análisis matemático y geoestadístico, interpolaciones, etc. son sólo algunos de los procesos que se pueden realizar con tales funciones.
- Salida y representación de los resultados. Se relaciona con las diversas formas en que pueden ser representados y obtenidos los resultados del análisis (mapas, tablas, gráficas e imágenes). Desde despliegues en pantalla, impresiones en papel y película, hasta archivos en formato digital, son las formas comunes de presentación. Un SIG debe tener la posibilidad de realizar estas funciones adecuadamente y con un tiempo de respuesta aceptable.
- Rutinas de interacción con el usuario. Las maneras en cómo el usuario puede comunicarse con el sistema es un punto esencial para la aceptación y uso de un SIG (Burrough, 1989:81). El desarrollo de sistemas amigables es cada vez más frecuente, esto ha permitido que los usuarios realicen sus análisis, sin que se requiera la presencia de un especialista en computación como intermediario. En general, los SIG instalados en computadoras personales, que funcionan con base en menús y/o ventanas permiten su aprendizaje y entrenamiento de una manera más sencilla y rápida, lo cual repercute en la difusión y aprovechamiento de esa tecnología.

3.3 Aspectos de organización de la institución y de los usuarios

Es importante mencionar que los aspectos técnicos considerados en los puntos 3.1 y 3.2 de los párrafos anteriores, lo único que aseguran es el procesamiento efectivo de la información, pero no permiten por sí mismos confirmar que el análisis y la interpretación de los resultados ha sido el adecuado. Un aspecto fundamental es tomar en cuenta el contexto de la organización donde se usa un SIG. Esto tiene relación con los objetivos de las instituciones, requerimientos y necesidades de planeación y manejo, entrenamiento del personal, características del equipo y sistema utilizado, etc.

De esto se puede concluir, que no es suficiente comprar una computadora e instalar un conjunto de programas de análisis de información geográfica y esperar resultados exitosos e inmediatos, sino que se necesita, sobre todo, preguntarse si se requiere de la instalación de esa tecnología. Si la respuesta es afirmativa, entonces deberán hacerse modificaciones de la estructura general de los procesos de trabajo y aprobar las inversiones necesarias para dar entrenamiento al personal técnico y al conjunto de directivos (Burrough, 1989:10).

4. Principales campos de aplicación de los SIG

Los campos y las maneras de realizar aplicaciones con los SIG son casi ilimitados. Los límites más comunes son los que dan la amplitud y profundidad de los conocimientos, la experiencia (o la falta de ella), el ingenio, la imaginación y la creatividad del grupo de usuarios que trata de aplicar dicha tecnología. Dentro de la gran cantidad de aplicaciones que se han hecho con los SIG, Aronoff (1989:2) menciona como los más relevantes a:

-La búsqueda de la coincidencia de factores que intervienen en la presencia de un fenómeno (modelamiento, definición del patrón del fenómeno y creación de escenarios), tales como: la delimitación de áreas con la presencia combinada de cierta clase de suelo, con cierto tipo de pendiente y una cantidad de lluvia determinada; o bien, la delimitación de las áreas que tienen el mismo intervalo altitudinal, tipo de vegetación y litología, etc.

-La actualización de la información geográfica ya producida, sea temática y/o básica. Esto se ha aplicado en los casos en que existen cambios en los elementos del paisaje, ej.: crecimiento de áreas urbanas, cambios en los usos del suelo, construcción de obras de infraestructura, etc.

Tabla 1 Las tres grandes categorías de campos de aplicación de los SIG.

1. Aplicaciones en planeación y ordenamiento territorial:

- Propuestas de aprovechamiento de los Recursos Naturales
- Desarrollo Urbano
- Políticas públicas, toma de decisiones, planeación integrada

2. Aplicaciones en estudios ambientales:

- Bases de datos nacionales, continentales y mundiales de variables ambientales (PNUMA, CORINE, etc.)
- Bases de datos específicas: suelos, erosión, vegetación, cuencas, etc.
- Integración y análisis de variables en estudios específicos

3. Aplicaciones en estudios económicos y sociales:

- Tenencia de la tierra, catastro rural y urbano
- Censos económicos y de población, actividades electorales
- Dotación y prestación de servicios urbanos
- Análisis de mercados

RASADA EN LA ESTRUCTURA TEMATICA DE MAGUIRE *et al.*, 1991, Vol.2

-Actividades de monitoreo o seguimiento, mantenimiento y planeación de los servicios en las ciudades, o bien para la definición de áreas en las cuales se tienen que realizar medidas de control, para contrarrestar o disminuir los efectos negativos del uso de los recursos, etc.

En la Tabla 1 se han colocado las tres grandes categorías de los principales campos de aplicación de los SIG, clasificándolos de acuerdo a los tres principales aspectos que han desarrollado para su organización, conocimiento y manejo de sus recursos las sociedades humanas: Planeación, Medio Ambiente y Economía/Sociedad. En Maguire *et al.* (1991, Vol.2) se ha hecho una recopilación amplia de las aplicaciones a nivel mundial de los SIG en los campos o disciplinas más importantes, considerándolos por países y también por materia. Los aspectos o temas que se han incluido dentro de cada una de las categorías de aplicaciones son sólo algunos tópicos dentro de los muchos que podrían haberse incluido en cada caso.

5. Niveles de complejidad de análisis/consultas realizados con un SIG

Se mencionó antes acerca de las consultas que realiza el usuario en el SIG y con las cuales, a partir de los resultados que obtiene del procesamiento, le permiten interpretarlos y establecer conclusiones. Para ello se emplean ciertas funciones del SIG en la realización de tales análisis. Se habla entonces de los niveles de complejidad de análisis que pueden ser realizados con esa tecnología. En la Tabla 2 se presentan los diversos niveles básicos de complejidad para el manejo y análisis de la información al aplicar un SIG. Nótese que los niveles son cada vez más complejos conforme crece el número que los identifica.

Tabla 2 Niveles de complejidad de análisis y clases de *consultas* con un SIG.

Nivel	Consulta
1. Localización	¿Qué está en...?
2. Condición	¿Dónde está?
3. Tendencias	¿Cómo ha cambiado?
4. Rutas	¿Cuál es el mejor camino y/o sitio?
5. Patrón	¿Cuál es el patrón del fenómeno?
6. Modelamiento	¿Qué va a pasar si...?

MODIFICADO DE RHIND (1990), PRESENTADO EN LÓPEZ-BLANCO (1994:9).

El primer nivel se refiere al principio fundamental de la Geografía, la Localización, es el más simple y con él se responde una pregunta específica ¿Qué está en...?, es decir qué clases de objetos están en el sitio que se está analizando, ej.: ¿Cuáles son los tipos de vegetación registrados para el municipio X?. El nivel dos lo que permite contestar es, justamente el sentido opuesto del tipo de análisis anterior, esto es, a partir del conocimiento de las características que describen a las entidades, se puede entonces preguntar ¿Dónde está o están los sitios u objetos con tales características? es decir, se establece la condición de mostrar los sitios que se caracterizan por una propiedad definida, ej.: ¿Cuáles son las áreas dentro del municipio X cuyo tipo de vegetación es matorral?.

El nivel tres se refiere al análisis de la información a partir de un seguimiento en el tiempo, es decir se considera el ¿Cómo han cambiado las entidades en un lapso definido? Para ello es necesario tener una resolución de la información temporal al mayor detalle, para así establecer una tendencia mínima de la dinámica del fenómeno estudiado.

Al nivel cuatro le corresponden la aplicación de una serie de funciones que están relacionadas sobre todo con el análisis de redes. En este caso el tipo de pregunta a responder es ¿Cuál es el mejor camino a seguir dentro de una red definida (ríos, gasoductos, calles, canales de

riego, carreteras, etc.)?. Entendiendo como mejor camino el que cumpla más ampliamente lo establecido en los requerimientos, ej.: ¿Cuál es el sitio más adecuado para construir un hospital al cual se pueda llegar desde cualquier punto de la Ciudad X de la manera más rápida posible?

El nivel cinco permite establecer, en términos de análisis espacial, cuáles son los elementos, distribución y las funciones que se presentan continuamente al analizar un fenómeno determinado, y a partir de esto definir un modelo que explique los procesos involucrados. Un ejemplo de consulta en este nivel podría ser: ¿Existe un patrón de distribución en las áreas erosionadas detectadas en el municipio X?

El nivel seis es el que presenta la mayor complejidad en el análisis, no solamente se considera un tipo de pregunta o bien una sola clase de consulta, en este caso se trata de conjugar una serie de funciones que permitan diferentes tipos de análisis para llegar a resolver el objetivo de realizar modelamiento.

A partir de la aplicación de modelos se obtienen las respuestas a un fenómeno determinado, al definir en función de las tendencias de las variables importantes, las respuestas a las preguntas del ¿Qué va a pasar si...?. También se refiere al tratar de dar respuestas al fenómeno estudiado en base a la posibilidad de crear escenarios geográficos. Este procedimiento consiste en generar mapas o imágenes instantáneas de las condiciones que se presentarán a partir de la aplicación de un modelo, o de la determinación de las tasas de cambio (tendencias de variación en el espacio/tiempo) de las variables que intervienen en un fenómeno. Esto tiene como objetivo principal el realizar pronósticos geográficos, los cuales resultan ser la información fundamental para la planificación.

6. Actividades a realizar para la integración de los resultados

Las actividades que se vienen realizando para completar el objetivo de integración de resultados al evaluar la vulnerabilidad ante los impactos en los sectores mencionados, son las siguientes:

- Creación de un mapa base con información general a nivel país, en el SIG.
- Conversión de formatos y transferencia de información de partida de los sectores hacia el SIG.
- Digitización de los mapas resultantes del análisis por sector.
- Análisis integrado para definir las áreas con coincidencia de grados altos de vulnerabilidad relativa.
- Resultados de la integración: bases de datos tabulares y gráficos
- Preparación del mapa, tablas y gráficas, finales
- Salida impresa del mapa de vulnerabilidad del país a escala 1:4,000,000.

7. Consideraciones finales y conclusiones

Una vez que se ha realizado la evaluación de los impactos biofísicos y socioeconómicos en cada uno de los sectores, se ha recomendado que se haga una integración de los resultados obtenidos, para simplificar su apreciación con fines de establecer estrategias de mitigación de impactos. El proceso de integración corresponde a una de las fases más importantes y difíciles de la evaluación de la vulnerabilidad de un país ante el cambio climático. En este proceso de integración de los resultados se debe tener siempre en mente hacia qué sector va ir dirigida la información resultante. Es decir, los tomadores de decisiones necesitan un documento preciso, claro y considerado en términos de la extensión del país.

A partir del análisis de la información de diferentes orígenes y de los resultados obtenidos de evaluar los impactos en los sectores, se ha propuesto para la representación final de los grados de vulnerabilidad, a nivel país, la proyección cartográfica Cónica Conforme de Lambert, con

paralelos base a los 17°30' y 29°30', y con una longitud oeste de origen a los 101° y a una escala final de 1:4,000,000.

Se ha propuesto en principio emplear como unidad espacial básica los límites municipales para caracterizar en superficie, la vulnerabilidad del territorio, con la ya sabida dificultad que presenta el tener unidades de carácter administrativo, con dimensiones heterogéneas. Otra propuesta para el uso de unidad de mapeo, son las unidades de regionalización ecológica establecidas por SEDUE (1988).

Para algunos de los sectores dentro del estudio de vulnerabilidad posiblemente sea necesario trabajar a diferentes niveles de detalle, particularmente para el área de impactos en asentamientos humanos y en costas (ascenso del nivel del mar). En estos dos casos se tendrán que hacer consideraciones especiales con respecto al nivel de detalle a la escala de representación de los resultados. En algunos casos la expresión espacial de la vulnerabilidad estará representada por líneas o puntos a la escala de representación del mapa (ciudades, franja litoral, corredores, etc.), en estos casos se simbolizarán también las unidades de mapeo, y se aclarará convenientemente en la base de datos tabular.

El concepto de vulnerabilidad relativa que se propone usar, se refiere a una calificación de las unidades de mapeo, en función de la cobertura en porcentaje del área de dicha unidad, con respecto a una gradación cualitativa del impacto potencial ante el cambio climático, ej. alta, media, baja. Esta consideración sobre la extensión tendrá que ser definida por los especialistas de cada sector. De igual manera se propone considerar en el mapa final que se tome en cuenta la intensidad de la vulnerabilidad relativa.

Se recomienda agregar en el reporte final del estudio de vulnerabilidad, las propuestas de los especialistas para cada sector, en el sentido de la posible efectividad de las medidas de adaptación a los impactos. También se recomienda agregar en el documento, algunas de las consideraciones sobre las incertidumbres inherentes a los métodos, calidad y resolución de la información, de las metodologías empleadas en cada uno de los sectores de impacto considerados. Además se debe aclarar que al realizar la integración de los resultados los valores de las incertidumbres individuales por sector son mayores.

En la guía de referencia para realizar el estudio de vulnerabilidad (USCSMT, 1994:6-1), se plantea la integración de resultados del análisis sectorial, considerando alguno de los tres métodos siguientes:

- Expresión de los impactos de cada sector en términos de costos económicos. Este procedimiento analítico es aplicado en muchos estudios para tomar decisiones en planeación, siempre y cuando los datos de valoración existan para todos los elementos del análisis. Debido a que se usa sólo una unidad para medir el costo económico, es posible hacer comparaciones entre los diversos sectores involucrados. El problema de esta técnica es que existen muchos elementos del ambiente para los cuales es muy difícil estimar un costo de su sensibilidad ante los impactos.
- Expresión de los impactos de cada sector utilizando diferentes unidades de medida. Por ejemplo, los impactos en bosques, pastizales, litorales afectados, pueden ser expresados en términos de área afectada. En otros casos podría ser expresado en términos de cantidad de población, tipos de hábitats, ecosistemas, volumen no disponible de los recursos (agua, energéticos, etc.).
- Expresión de los impactos de cada sector utilizando términos cualitativos. Por ejemplo los impactos pueden ser caracterizados como extensivos, moderados o mínimos. La vulnerabilidad relativa medida con base en grados, debe considerar la extensión en superficie del impacto y su intensidad.

Considerar una recomendación por parte de la EPA, dirigida a los especialistas dentro del área de vulnerabilidad: Tener en cuenta siempre, que el resultado principal del análisis es un documento que va dirigido a los tomadores de decisiones. La información debe ser concisa y clara, en relación a la extensión-distribución de la vulnerabilidad del país ante el cambio climático, y sobre todo que explique la efectividad de las técnicas alternativas de adaptación.

La tecnología de los SIG forma parte de un conjunto de herramientas útiles, cuando se aplican

adecuadamente, en relación a los procesos de análisis espacial de objetos y fenómenos de diversa índole. La utilidad de un SIG se hace más importante conforme el volumen de datos y variables a considerar es más amplio. De acuerdo a lo expresado en este trabajo, la herramienta más útil para realizar estudios de vulnerabilidad en general, y de integración de resultados en particular, en el contexto del cambio climático a nivel país, es la tecnología de los SIG.

REFERENCIAS

- Albert, T. M., 1988. Knowledge-Based Geographic Information Systems (KBGIS): New Analytic and Data Management Tools. *Mathematical Geology*, 20, No. 8, pp. 1021-1035.
- Aronoff, S., 1989. *Geographic Information Systems: A Management Approach*. WDL Publications, Canada.
- Burrough, P., 1989. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Clarendon Press, Oxford, 194 pp.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins and J. J. Ephraums, Eds., 1991. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 365 pp.
- López-Blanco, J., 1994. *Evaluaciones geomorfológicas y de recursos naturales aplicando un sistema de información geográfica (ILWIS)*, Tesis Doctorado en Geografía, FFyL, UNAM, 222 pp, México.
- Maguire, D. J., M. F. Goodchild and D. W. Rhind, Eds., 1991. *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, Volume 1: Principles (649 pp.) and Volume 2: Applications (447 pp.), Longman, U.K.
- McG. Tegart, W. J., G. W. Sheldon and D. C. Griffiths, Eds. 1990. *Climate Change: The IPCC Impacts Assessment*, Intergovernmental Panel on Climate Change (Working Group II), Australian Government Publishing Service, Canberra, 7-33 pp.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE, 1988) *Manual de Ordenamiento Ecológico del Territorio*. Subsecretaría de Ecología, Dirección General de Normatividad y Regulación Ecológica, México, 356 pp.
- USCSMT, 1994. *Guidance for Vulnerability and Adaptation Assessments*, U. S. Country Studies Management Team and Argonne National Laboratory, Preliminary Draft, Washington, D. C., January.
- World Meteorological Organization (WMO, 1990) *Global Climate Change, A Scientific Review presented by The World Climate Research Programme*, WMO and International Council of Scientific Unions, New York, 35 pp.

**México ante el cambio
climático (Memorias)**
se terminó de imprimir
en mayo de 1995
en los talleres de
impretei
Almería 17, Col. Postal
C.P. 03410, México, D.F.
Se imprimieron 200 ejemplares
más sobrantes para reposición.