01131
26

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN PAÍSES DESARROLLADOS Y EN DESARROLLO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA GEOFÍSICA

PRESENTA:

TAIR DOLORES TERÁN GUERRERO

DIRECTOR DE TESIS:
DR. CARLOS GAY GARCIA

CIUDAD UNIVERSITARIA 2003

PAGINACION DISCONTINUA

Abre tu puerta y oye:

Alguien tiende los brazos y te llama.

Es el mundo que pide su rescate...

Canción del tentador

Al Pueblo de México por defender y sostener la educación para todos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme las condiciones y facilidades para desarrollarme integra y totalmente.

Al Dr. Carlos Gay García por dirigir este proyecto que es la llave para continuar con estudios comprometidos con mi país y con la UNAM.

A mis padres, por aportar su confianza y esfuerzo, y darme la oportunidad de llegar a la finalización de mi carrera universitaria.

A mis hermanos por apoyarme en éste arduo camino y sostener la alegría en casa.

A Miguel Ángel por tu asesoría y por mantener la cordura y la calma durante este largo trayecto.

Madre, esta tesis es tuya no te la puedo dedicar porque te pertenece. Es el resultado de todo lo que me has enseñado y la dedicación que has tenido para todos los proyectos que has realizado lo que me impulsó a ser mejor mexicana y universitaria.

Padre, me diste toda la libertad y las condiciones para realizarme, pero sobre todo tu amor y ejemplo son los que me hicieron no perder el coraje y no aterrarme ante lo incierto del camino.

Anuar, Anizul y Daniela los amo con todo mi corazón. Esta tesis es el producto del gran esfuerzo que hicimos todos, sobre todo ustedes que nunca dejaron de creer en mi. Este proyecto es mi contribución a no perder la esperanza de un mundo mejor para todos.

Miguel Ángel, hemos compartido extraordinarias experiencias, la más importante es la confianza, esta tesis es el lucero que me ayudaste a encontrar para continuar con nuestros sueños.

Tabla de contenido

Índice de tablas

Índice de ilustraciones

Siglas

ADPEI Alianza de Pequeños Estados Insulares
AIM Modelo Integrado Asiático del Pacífico del Instituto Nacional de Estudios Ambientales de Japón.
AMMA Acuerdo multilateral sobre el medio ambiente
AOD Asistencia Oficial para el Desarrollo
Ar Argón
ASF Modelo del Marco de Estabilización
BASILEA Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación
°C grados centígrados
C Emisiones de CO_2 por unidad energética
CCD Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación
CDB Convenio sobre la Diversidad Biológica
CDS Comisión sobre el Desarrollo Sostenible
CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CFC Clorofluorocarbono
CH_4 Metano
CLRTAP Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia
CMCC Conferencia Mundial sobre el Cambio Climático
Cmsnm centímetros sobre el nivel del mar
CNUMAD Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo
CO_2 Dióxido de carbono
COP Contaminantes orgánicos persistentes
COV Compuestos orgánicos volátiles
CTBT Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares
E energía consumida
ENSO, ENOS Oscilación Meridional de El Niño
ETO Energy Technology Optimization
FMAM Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GAHMB Grupo Ad-Hoc sobre el Mandato de Berlín
GEI, GHG Gases de efecto invernadero
GPS Global Warming Potentials o PCG por sus siglas en español
GRI Global Reporting Initiative
GtC Gigatoneladas de Carbón
He Helio
HFC Hidrofluorocarbonos
IAI Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático
IEA International Energy Agency
IMAGE Modelo Integrado para Evaluar el Efecto Invernadero
IPCC Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos
ISO Organización Internacional de Normalización
MAGICC Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change

MARIA Aproximación Multiregional para Asignación y Recursos Industriales
MESSAGE Modelo para Suministro Energético Alternativo y sus Impactos Ambientales Generales
MiniCAM Minimodelo para Evaluación
N_2O Óxido nitroso
NCAR Centro Nacional de Investigación Atmosférica de Estados Unidos
Ne Neón
NL Netherlands
NO Óxido de nitrógeno
NO_2 Dióxido de nitrógeno
NO_x Óxidos nítricos
O_3 Ozono
OCDE Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos
OIT Organización Internacional del Trabajo
OMM Organización Meteorológica Mundial
OMS Organización Mundial de la Salud
ONG Organización No Gubernamental
PD Países Desarrollados
PFC Perfluorocarbonos
PIB Producto interno bruto
PMC Programa Mundial sobre el Clima
PNUD Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
POB Población
Ppmmv Partes por mil millones de volumen (10^9)
Ppmv Partes por millón de volumen (10^6)
Pptv Partes por trillón de Volumen (10^{12})
PUE-UNAM Programa Universitario de Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México
S Stabilization
SAO Sustancia agotadora del ozono
SF_6 Hexafluoruro de azufre
SIDS Pequeños Estados Insulares en Desarrollo
SO_2 Dióxido de azufre
SPM Partículas en suspensión
SRES Special Report on Emission Scenarios
UNCLOS Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar
UNCTAD Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo
UNFCCC Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre los Cambios Climáticos
WBCSD Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible
WCED Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo
Wm Watt metro
WRE Wigley, Richels y Edmonds

00. Resumen

El estudio del cambio climático y las consecuencias en los sistemas humanos y naturales ha recobrado importancia en la última década, debido a la aceleración de éste y los desastres naturales causados.

Se sabe que éste cambio climático se ha dado en las diferentes eras de nuestro planeta, pero también ya se demostró que éste cambio ha aumentado a gran velocidad desde la primera revolución industrial hasta nuestros tiempos.

Se hace un recorrido por las emisiones y concentraciones de los gases efecto invernadero (gei) y de los aerosoles.
Con estos datos analizamos los efectos del cambio climático como son la elevación de la temperatura, la elevación del nivel de los océanos, los cambios en la precipitación, las sequías e inundaciones.

Reconociendo que los cambios del clima de la Tierra y sus efectos adversos son una preocupación común de toda la humanidad; los impactos que se generan en los sistemas humanos y naturales serán de gran relevancia para la planeación y creación de políticas ambientales en los países más afectados. La gente que más va a sufrir las consecuencias de la alteración del clima es la que menos ha contribuido a provocarla por eso es que se requiere reducir el impacto del cambio climático. La única vía para mitigar los impactos del cambio climático es disminuir las emisiones de CO_2 hasta niveles que retrasen estos impactos de modo que las poblaciones y los ecosistemas tengan tiempo suficiente para adaptarse. La única vía para mitigar los impactos del cambio climático es disminuir las emisiones de CO_2 hasta niveles que retrasen estos impactos de modo que las poblaciones y los ecosistemas tengan tiempo suficiente para adaptarse.

Se incluye un estudio de los diferentes escenarios mundiales propuestos hasta la fecha de realización de éste trabajo

Se utilizan los acuerdos a los que se llegó en el "Protocolo de Kyoto" y la propuesta de los Países Bajos (NL-1%) para la mitigación de los gei en los países de la OCDE.

Hay un problema de tiempo: cuanto más se tarde en iniciar la reducción de emisiones, mayores tendrán que ser éstas para contrarrestar el avance en el calentamiento del planeta. La realidad es que incluso los niveles de reducción del Protocolo de Kioto, que son realmente escasos para lo que requiere la situación, resultan excesivos para la voluntad de luchar contra el cambio climático que muestran los gobiernos de países desarrollados.

En esta tesis también se aplica la identidad de Kaya a los países de la OCDE y se comparan los esfuerzos de países desarrollados y de los países en desarrollo para reducir las emisiones de CO_2.

En la segunda etapa de investigación se identifican las tasas anuales de disminución de CO_2 de países desarrollados y de los países en desarrollo, tomando en cuenta que, tanto históricamente como en la actualidad, la mayor parte de las emisiones de gei del mundo, han tenido su origen en los países desarrollados, y que la proporción del total de emisiones originada en esos países aumentará para permitirles satisfacer sus necesidades sociales y de desarrollo.

Para éste objetivo, se modelan índices de reducción anual de CO_2 para países desarrollados y países en desarrollo para contextualizar el sacrificio de unos y otros.

La ingeniería geofísica en un esfuerzo conjunto con otras disciplinas del conocimiento, abre paso a un análisis integral de las condiciones, las posibilidades y las propuestas para la mitigación del cambio climático y de esta forma reducir la vulnerabilidad a los desastres naturales.

Introducción

Ambiente y Sociedad

El cambio climático global se ha convertido en un tema de gran actualidad e importancia en el ámbito mundial, por sus implicaciones en el orden energético, socioeconómico, ambiental y político. Si bien el medio ambiente ha sido siempre esencial para la vida, las preocupaciones acerca del equilibrio entre la vida humana y el medio ambiente alcanzaron dimensiones internacionales apenas en la década de 1950. Durante los años siguientes, se comenzaron los estudios y análisis del cambio climático para revelar la incertidumbre del futuro del planeta.

0.1 Decenio de los setenta

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, que tuvo lugar en Estocolmo, Suecia en junio de 1972, fue el evento que convirtió al medio ambiente en un tema de relevancia en el ámbito internacional.

La Conferencia de Estocolmo emitió una Declaración de 26 Principios y un plan de acción con 109 recomendaciones. Se fijaron algunas metas específicas: una moratoria de diez años a la caza comercial de ballenas, la prevención de descargas deliberadas de petróleo en el mar a partir de 1975, y un informe sobre los usos de la energía para 1975. La Declaración de Estocolmo sobre el Medio Humano y sus Principios formaron el primer cuerpo de una «legislación» para cuestiones internacionales relativas al medio ambiente

La conferencia también definió al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) como «la conciencia ambiental del sistema de las Naciones Unidas».

Acuerdos multilaterales sobre el medio ambiente

La conservación de la fauna y flora silvestres es un ámbito en el que tanto gobiernos como otras partes interesadas lograron triunfos importantes durante los años setenta.

Esto fue el resultado de una combinación de acciones jurídicas en el ámbito mundial que fueron (y todavía son) reforzadas en el ámbito nacional. Los Acuerdos Multilaterales sobre el Medio Ambiente constituyeron la base de sustentación de algunos de estos logros:

- La Convención sobre los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas, 1971,
- La Convención para la protección del patrimonio mundial cultural y natural, 1972;
- La Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres, 1973, y
- La Convención sobre la conservación de las especies migratorias de animales silvestres, 1979.

Un mayor progreso se concretó en 1974, cuando se celebró en Cocoyoc, México, un simposio de expertos. Dicho simposio, organizado por el PNUMA y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), identificó los factores económicos y sociales que conducen al deterioro del medio ambiente.

La Declaración de Cocoyoc influyó en el cambio de actitud de los principales pensadores ambientales: «El impacto destructor combinado de aquella mayoría de seres humanos pobres que luchan por subsistir, y de aquella minoría rica que consume la mayor parte de los recursos del globo, está socavando los medios que permitirían a todos los pueblos sobrevivir y florecer».

En cuanto al cambio climático, la preocupación creciente acerca del calentamiento mundial originó la primera Conferencia Mundial sobre el Clima, que tuvo lugar en Ginebra en febrero de 1979.

Esta conferencia concluyó que las emisiones de dióxido de carbono antropógeno pueden tener un efecto a largo plazo sobre el clima. Al año siguiente se estableció el Programa Mundial sobre el Clima (PMC), proporcionando el marco de referencia para la cooperación internacional en investigación y la plataforma para identificar las cuestiones climáticas más importantes de los años ochenta y noventa, entre las que cabe mencionar el agotamiento del ozono y el calentamiento mundial.

0.2 Decenio de los ochentas

Nuevos problemas y nuevos accidentes

Las primeras mediciones del agujero de la capa de ozono, efectuadas en 1985 por un grupo de investigadores ingleses, tomaron al mundo científico y a los políticos por sorpresa. El informe *Global 2000* (Perspectiva ambiental en el horizonte 2000) reconoció por primera vez que la extinción de las especies amenazaba la diversidad biológica como componente esencial de los ecosistemas de la Tierra. Conforme se hacía más clara la interdependencia entre el medio ambiente y el desarrollo, la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó la Carta Mundial de la Naturaleza, orientando la atención al valor intrínseco de las especies y los ecosistemas.

Acuerdos multilaterales sobre el medio ambiente

Algunos de los principales Acuerdos Multilaterales sobre el Medio Ambiente (AMMA) del decenio de los años ochenta son:

- La Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS)
- El Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, de 1987 (que implementó el Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono, de 1985) y
- El Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación (Convenio de Basilea), de 1989.

En 1983 se estableció la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (WCED), también conocida como la Comisión Brundtland, para sostener reuniones alrededor del mundo y producir un informe formal de sus hallazgos.

La Comisión emitió un informe después de tres años de encuentros sobre temas de desarrollo y medio ambiente con líderes gubernamentales y el público de todo el mundo.

Nuestro Futuro Común, el informe final de la Comisión, definió el desarrollo sostenible como «el desarrollo que satisface las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas», con lo que introdujo el término en el vocabulario ambiental.

La Comisión destacó los problemas ambientales que eran novedosos en ese entonces, como el calentamiento mundial y el agotamiento de la capa de ozono. Manifestó también su preocupación de que el ritmo de los cambios estaba superando la capacidad de las disciplinas científicas y la capacidad actual de evaluación y asesoramiento.

El establecimiento en 1987 por parte de la OCDE (Organización de Cooperación y Desarrollo Económico) de un grupo consultivo sobre el desarrollo, encargado de establecer los lineamientos para la integración de medio ambiente y desarrollo en los programas de asistencia al desarrollo.

La conclusión exitosa del Protocolo de Montreal en 1987 se consideró como un modelo prometedor de cooperación entre el Norte y el Sur, gobiernos y empresarios para atender las cuestiones ambientales globales. Sin embargo, tratar el agotamiento del ozono era más directo que ocuparse de otros temas ambientales que ingresaron a la agenda pública en el decenio de los años ochenta, principalmente el cambio climático.

Conforme se hacía más claro que un mayor número de actores necesitaría enfrentarse a las nuevas dimensiones ambientales que iban adquiriendo las distintas actividades, aumentó el interés académico en el tema. El medio ambiente y el desarrollo se volvieron materias legítimas de estudio en un mayor número de disciplinas sociales y naturales, pero también se crearon nuevas disciplinas para atender las áreas intersectoriales. Se empezaron a establecer materias como economía ambiental, ingeniería ambiental y otras que anteriormente estaban al margen. Lo mismo ocurrió con campos legítimos de estudio, que desarrollaron sus propias teorías e hicieron valiosos aportes en contextos del mundo real.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos

En 1989 se estableció el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos (IPCC) con tres equipos de trabajo enfocados a la evaluación científica del cambio climático, sus efectos ambientales y socioeconómicos, y estrategias de respuesta, prediciendo la amplia gama de retos a los que la humanidad se enfrentaría en la última década del milenio.

El establecimiento del IPCC por el PNUMA y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), ayudó a desarrollar un amplio consenso sobre la ciencia, los impactos sociales y las mejores respuestas al calentamiento de la Tierra inducido por los humanos. El IPCC hizo una gran contribución para que el público comprendiera los peligros del calentamiento mundial.

0.3 Decenio de los noventa

La implementación del desarrollo sostenible

Los años noventa se caracterizaron por la búsqueda de un mayor entendimiento del concepto y la importancia del desarrollo sostenible, que se complementó con las tendencias cada vez más veloces hacia la globalización, sobre todo en lo referente al comercio y la tecnología.

Creció la convicción de que había un número en aumento de problemas mundiales relativos al medio ambiente que necesitaban soluciones internacionales.

El perfil de las cuestiones ambientales iba en aumento en el Sur, donde nuevas organizaciones comenzaron a exigir diagnósticos y soluciones para los países en desarrollo. En Hungría se estableció el Centro Regional Ambiental para Europa Central y Oriental para atender los problemas ambientales en la Europa Central post-soviética. La década empezó mal desde la perspectiva del medio ambiente, con la pérdida de miles de vidas en la Guerra del Golfo Pérsico en 1991 y el corte parcial de suministro eléctrico en la zona, cuando millones de barriles de petróleo fueron incendiados intencionalmente. Esta fue una catástrofe ambiental enorme para Asia Occidental.

Para 1997, cerca del final del siglo XX, unos 800 millones de personas (casi el 14 % de la población mundial) no sólo pasaban hambre, sino que tampoco sabían leer ni escribir, habilidades esenciales para el desarrollo sostenible.

En los países de la antigua Unión Soviética, la recesión económica ayudó a reducir la emisión de desechos y el consumo de energía. Todavía no se sabe si estos efectos serán temporales o no. A escala institucional, las ideas que tomaron forma durante la década de los 80's, como la participación de un gran número de partes interesadas y la creciente responsabilidad en materias sociales y del medio ambiente, adquirieron un mayor perfil debido a varios acontecimientos internacionales.

El primero fue una conferencia ministerial sobre el medio ambiente que tuvo lugar en Bergen, Noruega, en mayo de 1990, donde tales ideas fueron aprobadas formalmente por primera vez.

Esta conferencia se convocó como preparación para la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) o Cumbre para la Tierra, que tuvo lugar en junio de 1992 en Río de Janeiro, Brasil.

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

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

El cumplimiento de los compromisos se ha dado a través de los resultados del *Estudio de País de México sobre Cambio Climático (1997)*, que comprende el inventario de emisiones antropogénicas por fuentes y sumideros, de gases de efecto invernadero; escenarios de emisiones futuras; escenarios climáticos; y estudios relativos a la vulnerabilidad potencial del país al cambio en el clima sobre la agricultura, los bosques, la hidrología, las zonas costeras, la desertificación y la sequía, los sentamientos humanos y el sector energía e industria.

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

La Cumbre para la Tierra

Un número sin precedentes de representantes de Estados, de la sociedad civil y del sector económico participaron en la CNUMAD, contándose con 176 gobiernos (UN 1993), más de 100 Jefes de Estado en comparación con dos que asistieron a la Conferencia de Estocolmo en 1972.

La Cumbre produjo por lo menos siete logros trascendentes:

- La Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, con 27 principios;
- El *Programa 21*, un plan de acción para llevar el desarrollo y el medio ambiente al siglo XXI;
- Dos importantes convenios internacionales —el Convenio marco de las Naciones Unidas sobre los cambios climáticos (UNFCCC) y el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB);
- La Comisión sobre el Desarrollo Sostenible (CDS);
- El acuerdo para negociar un convenio mundial de desertificación (CCD); y
- La declaración de Principios para el Manejo Sostenible de los Bosques.

Los Principios de Río reafirmaron los temas que se habían articulado en Estocolmo veinte años antes, colocando al ser humano en el centro de las preocupaciones acerca del desarrollo sostenible y afirmando que los seres humanos «tienen derecho a una vida sana y productiva en armonía con la naturaleza».

La Cumbre para la Tierra proporcionó un foro para tratar cuestiones tanto del medio ambiente como del desarrollo, y para hacer notar las diferentes perspectivas entre el Norte y el Sur.

Programa 21

El Programa 21 establece una base sólida para la promoción del desarrollo sostenible en materia de progreso social, económico y ambiental. Sus recomendaciones se dividen en cuatro áreas principales:

- Cuestiones sociales y económicas, tales como la cooperación internacional para acelerar el desarrollo sostenible, combatir la pobreza, cambiar las pautas de consumo, las dinámicas demográficas y su sostenibilidad, y promover y proteger la salud humana.
- La conservación y el manejo de los recursos para el desarrollo, tales como la protección de la atmósfera, el combate a la deforestación, la desertificación y la sequía fomentando una agricultura sostenible y el desarrollo rural, la conservación de la diversidad biológica, la protección de los recursos de agua dulce y de los océanos, y el manejo seguro de los químicos tóxicos y los desechos peligrosos.
- El fortalecimiento del papel de grupos decisivos, tales como las mujeres, los niños y jóvenes, los pueblos indígenas y sus comunidades, las ONG's, las autoridades locales y sus iniciativas en apoyo al Programa 21, los trabajadores y sus sindicatos, los empresarios e industriales, las comunidades científica y tecnológica, y los agricultores.
- Medios para implementar el Programa, entre los que cabe citar recursos y mecanismos financieros, transferencia de tecnología segura para el medio ambiente, fomento de la educación, de la concientización pública y la capacitación, arreglos institucionales internacionales, instrumentos y mecanismos jurídicos internacionales e información para la toma de decisiones

La Secretaría de la Cumbre para la Tierra estimó el costo de la ejecución del *Programa 21* en los países en desarrollo en alrededor de 625 mil millones de dólares al año. Estos países aportarían el 80% de ese total, es decir, 500 mil millones de dólares, y se esperaba que los países desarrollados aportaran el 20% restante, equivalente a 125 mil millones de dólares anuales, como parte de su anterior compromiso de Asistencia Oficial para el Desarrollo (AOD) por un monto equivalente al 0,7% de su producto interno bruto (PIB). Aunque la CNUMAD se preocupaba por los enfoques mundiales, un resultado importante fue la adopción de muchos *Programas 21* regionales y nacionales para el desarrollo sostenible.

Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM)

El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) se creó en 1991 como una asociación experimental entre el PNUMA, el PNUD y el Banco Mundial para generar beneficios ecológicos a partir del desarrollo local y regional al proporcionar subvenciones y préstamos con bajos intereses a países en desarrollo y a economías en transición.

Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre los Cambios Climáticos

La capacidad del IPCC de ofrecer pruebas de que los cambios climáticos significaban una amenaza real, motivó a los gobiernos reunidos en la Cumbre a firmar el Convenio marco sobre los cambios climáticos (UNFCCC). Éste se volvió la pieza central de la Cumbre y entró en vigor en 1994. En diciembre de 2001 tenía 186 Partes.

Las metas principales del UNFCCC son estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero a niveles que eviten una interferencia antropógena peligrosa en el clima mundial. El principio de «responsabilidad común pero diferenciada» que se adoptó en este Convenio ha servido de guía para la adopción de una estructura regulatoria. Este principio reflejó la realidad de que la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero procede de países industrializados.

El Protocolo de Kioto, que estableció metas reales para la reducción de emisiones, se abrió para la firma en 1997.

El Protocolo entrará en vigor noventa días después de la fecha en que no menos de 55 Partes del Convenio hayan depositado sus respectivos instrumentos de ratificación, aceptación, aprobación o adhesión.
Para diciembre de 2001, 84 Partes habían firmado, y 46 habían adherido o ratificado el Protocolo (UNFCCC 2001). Una excepción notable fue la de Estados Unidos, que a principios de 2001 anunció su decisión de no ratificarlo.

El Convenio sobre la Diversidad Biológica

El CDB entró en vigor en 1993. Fue el primer acuerdo mundial acerca de la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica y sirve como base fundamental de referencia para la acción nacional. El Convenio establece tres metas principales: la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de todos sus componentes y el reparto justo y equitativo de los beneficios del uso de los recursos genéticos. Se tratan muchas cuestiones relativas a la diversidad biológica, como la preservación del hábitat, los derechos de propiedad intelectual, la seguridad de la biotecnología y los derechos de propiedad de los pueblos indígenas.
Un acuerdo complementario al Convenio, el Protocolo de Cartagena sobre la Seguridad de la Biotecnología, se adoptó en enero de 2000 para atender los riesgos potenciales presentados por el comercio transfronterizo y las liberaciones accidentales de organismos vivientes genéticamente modificados. La adopción de dicho Protocolo es un gran logro para los países en desarrollo que lo solicitaron. Para diciembre de 2001, 103 países habían firmado el Protocolo y 9 lo habían ratificado. El CDB también influyó en la activación de una legislación para regular los recursos genéticos en las naciones del Pacto Andino (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela). Esta legislación entró en vigor en julio de 1996.

Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación

Respalda y utiliza un acercamiento «de abajo hacia arriba» para la cooperación internacional en materia de medio ambiente. Según la CCD, las actividades relacionadas con el control y alivio de la desertificación y sus efectos se relacionan estrechamente con las necesidades y la participación de los usuarios locales de las tierras y de las organizaciones no gubernamentales.
Utiliza anexos regionales detallados, en ocasiones más detallados que el cuerpo del tratado mismo, que atienden las particularidades del problema de la desertificación en regiones específicas como África, América Latina, el Caribe y el norte del Mediterráneo.
El compromiso sustantivo y central de la CCD es la obligación de desarrollar «programas nacionales de acción» en unión con las partes interesadas locales. Estos programas definen las tareas que las partes deben emprender a fin de implementar la CCD.

La Comisión sobre el Desarrollo Sostenible

El establecimiento de la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible en diciembre de 1992 fue un resultado directo de la Cumbre de Río.
Su primer encuentro tuvo lugar en junio de 1993. A grandes rasgos, el papel de la Comisión es:

- Examinar el progreso en los niveles internacional, regional y nacional de la implementación de las recomendaciones y compromisos contenidos en los documentos finales de la CNUMAD, Programa 21, la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo y la Declaración de principios sobre los bosques;
- Elaborar orientaciones y opciones de políticas para actividades futuras, como seguimiento a la CNUMAD y para lograr un desarrollo sostenible, y
- Promover el diálogo y crear asociaciones a los fines del desarrollo sostenible con los gobiernos, la comunidad internacional y los principales grupos identificados en el Programa 21 como actores clave fuera de los gobiernos centrales que juegan un importante papel en la transición hacia el desarrollo sostenible.

Río + 5

Cinco años después de la CNUMAD, la comunidad internacional convocó en Nueva York a una cumbre de evaluación, que se conoce como Río + 5, donde se expresó preocupación sobre la lenta implementación del *Programa 21*.

Otras conferencias internacionales de importancia

Los principios de desarrollo sostenible se reafirmaron a través de la década de los noventa en muchas conferencias internacionales, tales como:

- La Conferencia Mundial de los Derechos Humanos, Viena, 1993;
- La Conferencia Internacional sobre la Población y el Desarrollo, El Cairo, 1994;
- La Conferencia Mundial sobre Desarrollo Sostenible de los Pequeños Estados Isleños en Desarrollo, Bridgetown, Barbados, 1994;
- La Cuarta Conferencia Mundial sobre la Mujer en Beijing, 1995;
- La Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Asentamientos Humanos (Habitat II), Estambul, 1996; y
- La Cumbre Mundial de la Alimentación, Roma, 1996.

Participación de las partes interesadas en el desarrollo sostenible

Gran parte de esta actividad internacional se reflejó en intentos del sector privado para mejorar su desempeño ambiental. Esta acción fue motivada por la creación en 1995 del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), que ha hecho mucho para alentar a la industria a mejorar sus ganancias disminuyendo el desperdicio de recursos y de energía y reduciendo las emisiones.

En 1996, la Organización Internacional de Normalización creó una norma voluntaria para calificar los sistemas de gestión ambiental en la industria, el ISO 14 000.

Los informes ambientales de las empresas se hicieron más frecuentes durante el decenio de los noventa y se creó la *Global Reporting Initiative* (GRI) para establecer un marco de referencia común para la información voluntaria sobre el desempeño ambiental, económico y social de una organización (GRI 2001).

La sociedad civil también se mantuvo activa, sobre todo en su intento para crear la Carta de la Tierra que articula «principios éticos fundamentales para un modo de vida sostenible». Cientos de grupos y miles de individuos se han involucrado. La Carta, que originalmente debía de haberse adoptado durante la Cumbre para la Tierra, se refinó en un proceso encabezado por el Consejo de la Tierra y la Cruz Verde Internacional.

Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares

Un importante hito en materia de cooperación internacional con repercusiones para el medio ambiente tuvo lugar en 1996, cuando la Asamblea General de las Naciones Unidas en Nueva York adoptó el Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (CTBT). El CTBT, que prohíbe todas las explosiones de ensayos nucleares, en todo tipo de medio ambiente, se abrió para la firma el 24 de septiembre de 1996 en Nueva York, cuando fue firmado por 71 Estados, incluso los cinco países poseedores de armas nucleares. Para agosto de 2001, lo habían firmado 161 Estados y 79 lo habían ratificado.

Cooperación multilateral técnica y financiera de México

Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático (IAI)

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

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

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

Agenda científica de IAI

Temas:

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

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

- En 1994, se realizó el Taller sobre el estudio de impacto del cambio climático en la biodiversidad, en la ciudad de Guadalajara, Jalisco.
- En 1995, se acordó que se establecería en México un centro de investigación sobre cambio global.
- El 20 de julio de 1995, el Instituto Nacional de Ecología de la SEMARNAP, firmó el acuerdo para la realización del proyecto titulado: "Actividades de cooperación regional en apoyo a la investigación sobre cambio climático en los países del IAI". Como una contribución al establecimiento de los centros de investigación sobre cambio global contemplados en el "Acuerdo para el Establecimiento del Instituto Interamericano de Investigación sobre Cambio Global (IAI)".

Este proyecto tiene por objeto mejorar la capacidad de los países participantes de realizar investigaciones sobre cambio global y de utilizar los datos, resultados científicos y otros productos de tales investigaciones en el tratamiento de las cuestiones de política sobre estos temas.

Dentro de este proyecto, el INE propuso al Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM como el centro de investigación del IAI en México.

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

• Además de lo anterior, el IAI ha brindado apoyo financiero, equipo y paquetes de cómputo, al Centro de Ciencias de la Atmósfera con el fin de iniciar actividades científicas relacionadas con el cambio climático en los países participantes.

• El IAI ha realizado dos cursos regionales en Costa Rica y Brasil (1995 y 1996) en las que México participó, y un curso en cada país miembro (1996) para entrenamiento del sistema de información geográfica SPRING desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil (INPE por sus siglas en portugués) y donado a los países miembros del IAI.

También el IAI otorgó becas para pasantía de entrenamiento para el SPRING con duración de dos meses en Brasil (1997), de las cuales México ha obtenido dos.

• Se realizó en México un curso regional de entrenamiento del sistema METVIEW utilizado para el manejo de datos meteorológicos (1997), organizado por el IAI.

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

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

0.4 Año 2000 en adelante

Se estableció el *Global Compact* (Pacto Mundial) que busca fomentar la cooperación entre el sector privado y tres organizaciones de las Naciones Unidas: el PNUMA, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos.

En diciembre de 2000 los representantes de 122 gobiernos se reunieron en Johannesburgo, Sudáfrica, y terminaron el texto de un tratado jurídicamente vinculante para implementar la acción internacional contra ciertos contaminantes orgánicos persistentes (COP). El Convenio de Estocolmo sobre los contaminantes orgánicos persistentes, que se firmó en mayo de 2001 y contaba con 111 signatarios y 2 Partes para diciembre de 2001, establece medidas de control para 12 productos químicos.

Desde la Conferencia de Estocolmo, la industria química mundial ha crecido casi nueve veces y se espera que continúe haciéndolo a un ritmo anual de alrededor del 3% durante las próximas tres décadas, con un aumento considerable en su comercio.

La Cumbre del Milenio

Mientras que el reconocimiento de la importancia de los asuntos ambientales en esta cumbre fue esperanzador, el informe sobre el progreso real no lo fue. La comunidad internacional no estaba otorgando a las generaciones futuras la libertad para sostener sus vidas en este planeta y se ha estado saqueando el patrimonio futuro de nuestros hijos para mantener prácticas actuales que no son sostenibles desde un punto de vista ambiental.

A principios de 2001, el IPCC anunció que se estaban reforzando las pruebas de los cambios climáticos antropógenos, que el calentamiento estaba ocurriendo más rápido y que las consecuencias aparentaban ser más severas que lo que se había predicho originalmente. El grupo de expertos predijo que las temperaturas promedio se incrementarían entre 1,4° C y 5,8° C a lo largo del siglo XXI.

Los costos del calentamiento mundial

Según cálculos detallados en un informe de los servicios financieros del PNUMA, las posibles consecuencias financieras de las predicciones del IPCC son:

- Las pérdidas debidas a ciclones tropicales más frecuentes, la pérdida de tierras como resultado del aumento del nivel del mar, y los daños a los recursos pesqueros, a la agricultura y al suministro de agua podrían ascender a más de 300 000 millones de dólares al año.
- Algunas de las mayores pérdidas en el ámbito mundial estarían en el campo de la energía. La industria del agua en el mundo se enfrentará a un costo extra anual de 47 000 millones de dólares para el año 2050.

La agricultura y la industria forestal podrían perder hasta 42 000 millones de dólares en el mundo como resultado de las sequías, inundaciones e incendios si los niveles de dióxido de carbono llegaran a duplicar sus concentraciones preindustriales.

- Las estrategias para defender a las viviendas, fábricas y plantas de energía de las inundaciones causadas por el aumento del nivel del mar y las tormentas podrían tener un costo de hasta mil millones de dólares al año.
- La pérdida acumulada de ecosistemas, como los manglares, arrecifes de coral y lagunas costeras, podría ascender a más de 70 000 millones de dólares en el año 2050.

Se sabe que éste cambio climático se ha dado en las diferentes eras de nuestro planeta, pero también ya se demostró que éste cambio ha aumentado a gran velocidad desde la primera revolución industrial hasta nuestros tiempos.

Dentro de los esfuerzos dirigidos a mitigar las emisiones de gases efecto invernadero (gei) en el futuro y estabilizar su concentración en la atmósfera, se encuentra este trabajo, el cual busca contribuir en la búsqueda de opciones para alcanzar dichos objetivos. Particularmente este estudio tiene como objetivo principal desarrollar escenarios de estabilización en la concentración atmosférica de CO_2 proveniente de la quema de combustibles fósiles para países desarrollados, y comparar estos resultados con estudios previos para emisiones de países en desarrollo y escenarios globales.

El CO_2 es producido en un 80% por la quema de hidrocarburos, de aquí la necesidad de generar escenarios de estabilización y enfocar el análisis hacia la disminución de emisiones de CO_2 proveniente de este tipo de energéticos, a través de métodos que incluyan la interacción de medidas en el ámbito energético y otros como población y economía.

Para lograr el objetivo anterior fue necesario incluir indicadores básicos: económicos, sociales y energéticos, los cuales influyen en el comportamiento de las emisiones regionales de gei, con la finalidad de incorporar otras perspectivas de análisis en la discusión en torno al tema.

El estudio realizado para esta tesis esta dividido en cuatro capítulos, el capítulo I hace un recorrido por las emisiones y concentraciones de los gei y de los aerosoles. Con estos datos se analizan los efectos del cambio climático como son la elevación de la temperatura, la elevación del nivel de los océanos, los cambios en la precipitación, las sequías e inundaciones.

El capítulo II es un panorama general de los sistemas humanos y naturales, y la afectación de estos por el cambio climático.

Los impactos que se generan en los sistemas humanos y naturales serán de gran relevancia para la planeación y creación de políticas ambientales en los países más afectados.

Se incluye un estudio de los diferentes escenarios mundiales propuestos hasta la fecha de realización de éste trabajo.

En el capítulo III, se utilizarán los acuerdos a los que se llegó en el "Protocolo de Kyoto" para la mitigación de los gei en los países Anexo I y los países No Anexo I.

Se utiliza la Identidad de Kaya como herramienta metodológica para la construcción de escenarios entre los años 2000 y 2100. Una vez desarrollados los escenarios se utiliza el programa MAGICC versión 2.32 (Model for the Assesment of Greenhouse-gas Induced Climate Change) para el cálculo de las concentraciones atmosféricas de gei y los impactos climáticos futuros asociados a estos escenarios en el período de estudio. Se comparan los esfuerzos de Anexo I con los esfuerzos de países No Anexo I, utilizando los mismos parámetros para la reducción de gei y aerosoles.

En la segunda etapa de investigación se identifican los costos generales de mitigación de países desarrollados y de los países en desarrollo, tomando en cuenta que, tanto históricamente como en la actualidad, la mayor parte de las emisiones de gei del mundo, han tenido su origen en los países desarrollados, que las emisiones per capita en los países en desarrollo son todavía relativamente reducidas y que la proporción del total de emisiones originada en esos países aumentará para permitirles satisfacer sus necesidades sociales y de desarrollo.

El capítulo IV se centra en las conclusiones respecto a los escenarios y costos de mitigación establecidos para los países de la OCDE. Las recomendaciones se basan en los resultados obtenidos en el capítulo anterior.
Cabe aclarar que los escenarios, perfiles y alteraciones climáticas obtenidos han sido el resultado de la combinación de factores que influencian únicamente a la generación de emisiones. Las incertidumbres en torno a las respuestas climáticas asociadas afectan por igual a todos los grupos de datos, ya que se utilizó el mismo programa y el mismo grupo de valores y parámetros en la simulación climática.

1. Cambio Climático

En años recientes ha crecido la preocupación acerca de los cambios que se están produciendo en el sistema climático como consecuencia de la degradación del medio ambiente terrestre, en este contexto, se ha enfocado la atención a los llamados gases efecto invernadero.

La comprensión del funcionamiento de los procesos y elementos que influyen en el sistema climático reviste gran importancia. Debemos saber cuáles de las alteraciones climáticas que se observan o que se esperan en un futuro, son fruto de un cambio natural del planeta y cuáles en realidad son debidas a factores humanos; de igual forma, si la magnitud de la interferencia humana en los procesos naturales es tal que sea inminente un cambio en las actividades antropogénicas que estén afectando la capacidad natural del planeta para mantener un equilibrio dinámico.

Existe consenso casi unánime en que las actividades humanas son las que tienen mayor influencia en el cambio climático global; de manera importante aquellas que contribuyen a la generación de gei, por la función que estos desempeñan en el balance energético de la Tierra al reforzar el calentamiento terrestre.

Lo anterior indica que se deben tomar acciones inmediatas para reducir las emisiones de gei hasta lograr estabilizar sus concentraciones, sin embargo las decisiones que se tomen estarán marcadas por el riesgo y la incertidumbre en el futuro, ya que de agravarse el fenómeno del cambio climático, millones de personas se verán amenazadas por alteraciones profundas de su entorno, sociedades y ecosistemas tendrán que adaptarse a nuevos patrones climáticos en un tiempo que probablemente no será suficiente. Ante la perspectiva de que todos los rincones de la Tierra se verán afectados en mayor o menor grado y en que todas las economías se verán involucradas habrá muchas y variadas decisiones que afrontar.

Estas decisiones deberán ser formadas bajo diferentes condiciones de desarrollo económico, social, político e incluso diferencias geográficas. Es un hecho que los países en desarrollo estarán menos preparados para afrontar los efectos del cambio climático global ya que contarán con menos recursos respecto a los países desarrollados.
Estas diferencias entre países desarrollados y en desarrollo se harán más patentes a la hora de suscribir compromisos para implementar medidas necesarias para mitigarlo, de frente a un problema global en el cual todos nos veremos afectados y en el cual todos debemos participar en su solución.

1.1 Clima

El IPCC (1997) define al clima como "el promedio del estado del tiempo", o más rigurosamente como una descripción estadística del tiempo de valores medios y de variabilidad de la temperatura, precipitación, viento, etc., durante períodos de varios decenios. Dichas cantidades son casi siempre variables de superficie.
A su vez, en el Tratado del Cambio Climático, se entiende por "sistema climático" la totalidad de la atmósfera, la hidrósfera, la biósfera y la geósfera, y sus interacciones que se integran en tres subsistemas
a) La dinámica y física atmosférica
b) La dinámica oceánica
c) La química troposférica
Los ciclos biogeoquímicos que se encargan del funcionamiento de los elementos químicos en la naturaleza integran, igualmente, tres subsistemas:
a) La biogeoquímica marina,
b) los ecosistemas terrestres y
c) la química troposférica
Todos los procesos interactúan entre sí, de tal manera que la alteración de un solo factor puede afectar a la totalidad de ello, afectando al clima global.

1.2 El sistema climático

Este sistema interrelaciona la atmósfera, los océanos, la corteza terrestre, la criósfera y los seres vivos. La importancia de los tres subsistemas que conforman el sistema climático se ilustra como sigue:
a) La **dinámica atmosférica** desempeña un papel esencial en la determinación de las temperaturas de la superficie terrestre, en la formación y funcionamiento de las nubes, de la lluvia y de los vientos. La atmósfera es el motor del sistema climático; como lo muestra la Tabla 1.I está constituida básicamente por nitrógeno y oxígeno, 78 y 21% en volumen respectivamente. A los gases restantes que constituyen menos del 1% se les conoce como "gases traza", entre los cuales se encuentran los gei naturales: CO_2, metano (CH_4), ozono (O_3), gases nitrogenados (N_2O y NO_x) y gases nobles (He, Ne y Ar). El contenido de agua varía en porcentajes comprendidos entre 0 y 4 en volumen cerca de la superficie, dependiendo de la región y las condiciones geográficas.
b) **Dinámica oceánica**. El océano es el principal regulador del clima, debido a su inercia térmica capaz de resistirse a los cambios de temperatura. La superficie del mar tarda meses o incluso más tiempo en responder a los cambios de calor de la atmósfera.

Tabla 1.I Composición promedio de la atmósfera: a una altitud de 25km

Gas	Fórmula química	Porcentaje en volumen
Nitrógeno	N_2	78.08
Oxígeno	O_2	20.95
Agua	H_2O	0 a 4
Argón	Ar	0.93
Dióxido de Carbono	CO_2	0.0360
Neón	Ne	0.0018
Helio	He	0.0005
Metano	CH_4	0.00017
Hidrógeno	H_2	0.00005
Óxido nitroso	N_2O	0.00003
Ozono	O_3	0.000004

La atmósfera está constituida básicamente por nitrógeno y oxígeno, 78 y 21% en volumen respectivamente. A los gases restantes que constituyen menos del 1% se les conoce como "gases traza". El contenido de agua varía en porcentajes comprendidos entre 0 y 4 en volumen cerca de la superficie. Fuente. Atmospheric Gases (1999)

c) La **energía** y la **humedad terrestre.** Gracias a la energía que la Tierra recibe del sol y a la presencia de agua en el planeta son posibles todos los procesos que mantienen la vida. El agua y el aire funcionan como una gigantesca máquina de calor, transportan energía y tienden a igualar las temperaturas a lo largo y ancho del mundo.

Ciclos biogeoquímicos

Los ciclos biogeoquímicos regulan los elementos químicos esenciales para la vida a través de la geósfera y la biósfera, estos ciclos incluyen procesos físicos, químicos y biológicos. Son ciclos naturales que transforman cada año una parte de la materia total de la Tierra, lo que supone un reciclaje anual de millones de toneladas de materia.

Entre estos se encuentran el ciclo de la energía y los ciclos de los compuestos químicos. Los principales elementos químicos presentes en la atmósfera son: carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, fósforo y azufre, combinados de distintos modos y en interacción con otros elementos. Una sola de estas sustancias puede convertirse en el factor limitador del desarrollo de un ecosistema, todos y cada uno de ellos siguen un patrón de reciclaje a escala planetaria.

Para los propósitos de este estudio los ciclos que resultan particularmente importantes son el ciclo de la energía y el ciclo del carbono, el primero por ser la fuente energética del planeta y el segundo porque a través de él se regula permanentemente la concentración de CO_2 en la atmósfera, gas que es el principal responsable del efecto invernadero y en consecuencia del calentamiento global.

Ciclo de la energía

La base de este ciclo es el sol, factor externo al sistema terrestre y fuerza guiadora que mueve los grandes ciclos planetarios geofísicos y biogeoquímicos que sustentan la vida en el planeta, entre ellos el ciclo del carbono y el sistema climático.

Sin la energía provista por el sol, los océanos se congelarían y la temperatura sobre la superficie del planeta podría caer cerca de cero grados Kelvin.
Anualmente el planeta recibe la energía equivalente a 500 billones de barriles de petróleo. De esta energía, un 50% es interceptada por la nubes las cuales reemiten un 25%, retienen 2% y el 23% restante llega a la superficie terrestre. Del otro 50%, el 21% atraviesa directamente la atmósfera llegando a la Tierra. Un 17% del total es absorbida por los gases atmosféricos, en especial por el O_3, el vapor de agua y el CO_2, otro 12% es reflejada por la atmósfera, una parte hacia el espacio y otra hacia la corteza terrestre y el 2% restante es reflejada por la corteza hacia el espacio.
Por tanto, solo el 47% de la energía solar que baña a la Tierra, llega a su superficie ya sea a los continentes o a los océanos, en donde es empleada para la evaporación (40%), un pequeño porcentaje para la fotosíntesis (0.1%) y el resto es absorbido por la corteza terrestre en donde se transforma en calor.

Ciclo del carbono

Este ciclo gira especialmente alrededor del dióxido de carbono, ya que este constituye la especie química predominante en la atmósfera entre las que contienen carbono.
El ciclo del carbono es el responsable de la cantidad de CO_2 contenido en la atmósfera, ya que es el mecanismo que equilibra las cantidades de carbono presentes en los diferentes reservorios o almacenes de carbón en el planeta. Como consecuencia se establece todo un balance de carbono a través de procesos fijadores/ almacenadores de carbono y otros que a su vez lo emiten.
a) El **almacenamiento del carbono** se da básicamente por la fotosíntesis, que es el principal sistema de fijación de carbono por los seres vivos. La fotosíntesis transforma el dióxido de carbono y el agua en hidratos de carbono, formando tejidos y desprendiendo oxígeno gracias a la energía de la luz solar. Este fenómeno lo protagonizan tanto las plantas de la corteza terrestre como el fitoplancton y otros organismos vegetales de los océanos. Otro proceso fijador de carbono, es el consumo de dióxido de carbono por parte de carbonatos disueltos, como por ejemplo la calcita para formar el carbonato de calcio; aun cuando es mínima la cantidad de CO_2 que se fija en este proceso, los depósitos de rocas sedimentarias ubicados en el fondo de los océanos, son los que almacenan la mayor cantidad de carbono en el ámbito global.

Tabla 1.II. Almacenes mundiales de carbono

Reservorio	Porcentaje de peso
Atmósfera	1.59
Bosques	1.30
Suelos	3.36
Superficie oceánica	2.17
Fondo del océano	80.96
Combustibles fósiles	
Carbón	8.49
Petróleo	1.06
Gas natural	1.06
Total combustibles fósiles	10.62

El almacenamiento del carbono se da básicamente por la fotosíntesis, que es el principal sistema de fijación de carbono por los seres vivos. Este fenómeno lo protagonizan tanto las plantas de la corteza terrestre como el fitoplancton y otros organismos vegetales de los océanos.
Fuente. Adaptado de Kasting (1999)

b) Las **emisiones de carbono** principalmente en forma de CO_2 son debidas a diferentes procesos:

i. Respiración de plantas y animales terrestres, de los suelos (de los seres vivos que habitan en ellos: bacterias y protozoarios) y de los mares (plancton, vegetales y microorganismos),

ii. Erupciones volcánicas,

iii. Actividades humanas principalmente las basadas en la combustión de combustibles fósiles o de biomasa;

iv. La descomposición y sedimentación de organismos vivos,

v. En menor grado la oxidación de carbono elemental y compuestos impregnados en las rocas y

vi. El metano y el monóxido de carbono también forman dióxido de carbono al reaccionar con los radicales hidroxilos en la troposfera.

El ciclo del carbono se divide en:

a) **Ciclo exógeno**: el cual ocurre en la superficie de la tierra y se encarga de regular la transferencia de carbono entre la biósfera, atmósfera, océano y litósfera. En este ciclo se encuentran el ciclo del carbono biológico tanto terrestre como marino, que es un ciclo a corto plazo con tiempos de residencia no superiores a cientos de años y gobierna el intercambio de carbono entre la atmósfera, biósfera y océano. Y un ciclo a largo plazo el cual controla el intercambio de carbono mediante el enterramiento de las rocas sedimentarias en un proceso que tarda millones de años.

b) **Ciclo endógeno**, opera en el interior de la tierra e involucra el magma, rocas ígneas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas. Se da principalmente por el movimiento continuo en las capas internas de la tierra, este ciclo entierra compuestos de carbono que después de millones de años en el interior de la tierra y luego de muchas reacciones químicas son expulsados por las erupciones volcánicas generalmente en forma de CO_2.

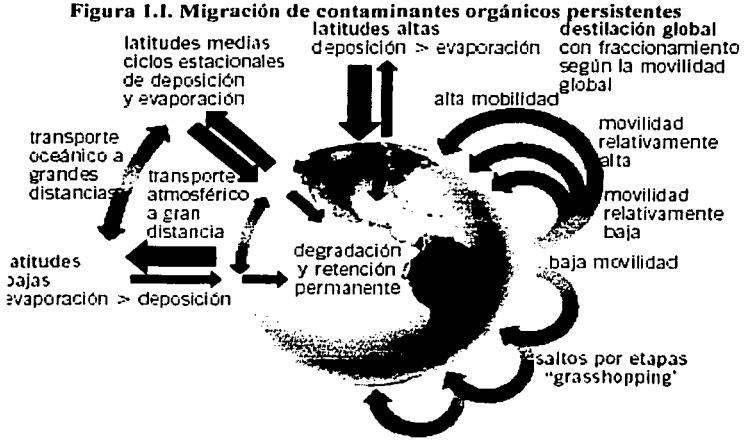
1.3 Cambio climático global

El sistema climático en forma natural está en continua evolución y cambio desde hace miles de millones de años, como resultado de las interacciones entre la radiación solar y los diferentes componentes de la geósfera y de la biósfera. Sin embargo, actualmente parece ser que las actividades humanas están alterando el ritmo natural de cambio en el sistema climático, principalmente por las emisiones de gases efecto invernadero que están acelerando e incrementando su efecto natural dentro del ciclo energético planetario causando un cambio climático global.

Por ejemplo el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes, adoptado en mayo de 2001, establece una serie de medidas de control que cubren la manipulación de plaguicidas, sustancias químicas industriales y subproductos involuntarios. Las disposiciones de control exigen la eliminación de la producción y uso de COP (Contaminantes Orgánicos Persistentes) producidos intencionalmente, y la eliminación, donde sea posible, de los COP producidos involuntariamente. La migración de estos contaminantes se ilustra en la Figura 1.I

A este efecto conviene recordar que los efectos del cambio climático sobre el medio ambiente se presentan a diferentes escalas: local (10km), regional (100km), continental (2000 a 3000km) y global (todo el planeta).

Figura 1.I. Migración de contaminantes orgánicos persistentes



Contaminantes orgánicos que se extienden mediante diferentes mecanismos a diferentes latitudes.
Fuente: GEO3, Perspectivas del medio ambiente mundial 2002

Los principales procesos asociados con el cambio climático global en el medio ambiente son la intensificación del efecto invernadero, la disminución de la capa de ozono de la estratósfera, la lluvia ácida y la pérdida de biodiversidad. Sin embargo hay muchos fenómenos de gran alcance cuyo comportamiento frente al cambio climático es incierto, por ejemplo, el deshielo del océano ártico y su influencia sobre las corrientes marinas, la pesquería, el aumento del nivel del mar o el probable desplazamiento de enfermedades tropicales hacia otras zonas de la tierra.

El cambio climático global en el medio ambiente tiene su origen en causas naturales y en causas humanas y se define como "aquellas alteraciones en los sistemas naturales, físicos o biológicos, cuyos impactos no son y no pueden ser localizados, sino que afectan al conjunto de la Tierra".

En este sentido el IPCC refiere que el cambio climático se debe a dos tipos de causas:

a) Actividades humanas y

b) Causas naturales

Para la Convención Marco sobre Cambio Climático el término "cambio climático" se entiende como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

El cambio climático por causas naturales puede deberse a tres tipos de procesos:

a) **Procesos internos** de la Tierra como redistribución de placas tectónicas, erupciones volcánicas, fuerzas radiativas internas (composición atmosférica, nubosidad, etc.);

b) **Procesos externos** a la Tierra como la variación en los parámetros orbitales alrededor del sol, el cambio de la actividad solar, efectos astronómicos y

c) **Eventos catastróficos** como el impacto de grandes meteoros.

Las actividades humanas causantes de un impacto directo en el cambio climático global, incluyen la quema de combustibles fósiles y biomasa, la producción y emisión de halocarbonos[1], los procesos del cambio del uso del suelo y algunas prácticas agrarias como el cultivo del arroz, la expansión de la actividad ganadera y el uso de abonos industriales nitrogenados.

1.4 Gases de efecto invernadero y cambio climático

El conocimiento científico del «efecto invernadero» natural remonta a más de un siglo (Arrhenius 1896): la Tierra mantiene su temperatura en equilibrio mediante una delicada relación entre la energía solar entrante (radiación de onda corta) que absorbe y la energía infrarroja saliente (radiación de onda larga) que emite, parte de la cual escapa al espacio.

Los gases de efecto invernadero (vapor de agua, dióxido de carbono, metano y otros) dejan pasar la radiación solar a través de la atmósfera de la Tierra casi sin obstáculo, pero absorben la radiación infrarroja de la superficie de la Tierra e irradian parte de la misma nuevamente hacia la Tierra. Ese efecto de invernadero natural mantiene la temperatura de la superficie de la Tierra aproximadamente 33 grados centígrados más caliente de lo que sería sin él, es decir, la mantiene lo suficientemente caliente como para sustentar la vida.

La concentración de CO_2 en la atmósfera, uno de los principales gases de efecto invernadero, aumentó de manera significativa desde la revolución industrial. Esto contribuyó a un efecto invernadero intensificado conocido como «calentamiento de la Tierra»

La concentración de CO_2 en la atmósfera es actualmente de aproximadamente 370 partes por millón (ppm), lo que representa un aumento de más del 30% desde 1750.

[1] Compuestos químicos que poseen en su estructura cloro, bromo o fluor y carbono. Muchos de estos compuestos contienen también hidrógeno. Algunos tipos específicos de halocarbonos son: CFC (Clorofluorocarbonos) que contienen sólo Cl, F y C; CFC (hidroclorofluorocarbonos) que contienen también hidrógeno; HFC (hidrofluorocarbono) que contienen C, F y/ o Cl y Br.

El aumento se debe en gran medida a las emisiones antropógenas de CO_2 provenientes de la quema de combustibles fósiles y, en menor medida, al cambio en el uso de suelo, la producción de cemento y la combustión de biomasa (Tabla 1.III). Aunque el CO_2 cuenta por más del 60% del efecto invernadero adicional acumulado desde la industrialización, las concentraciones de otros gases de efecto invernadero, como el metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), halocarbonos y halones, también han aumentado.

Tabla 1.III. Causas humanas directas de alteraciones climáticas: resumen de efectos y procesos.

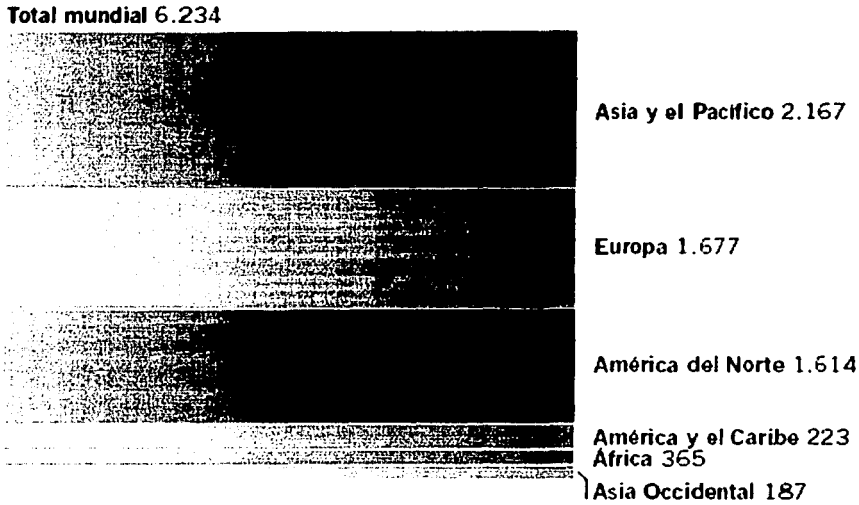
Causa	Proceso	Efecto
Consumo de combustibles fósiles	Emisiones de CO_2, metano, y óxidos de nitrógeno. Emisiones de óxidos de azufre y de nitrógeno	Efecto invernadero Lluvia ácida
Producción y emisión de halocarbonos	Absorción rayos infrarrojos, aún más que el CO_2. Suministran los catalíticos necesarios para el ozono estratosférico.	Efecto invernadero Disminución de la capa de ozono
Consumo de combustibles de biomasa	Emisiones de CO_2, metano, N_2O. Emisiones ácidos sulfúricos y nítrico. Cambios climáticos regionales y locales. Especialmente: trópicos, con ecosistemas frágiles de alta diversidad.	Efecto invernadero Lluvia ácida Altera propiedades de la corteza terrestre Pérdida de la biodiversidad
Cambio de uso de suelo	Emisiones de CO_2, metano, N_2O. Cambios en ecosistemas claves para el clima. Transformación del suelo, disminución de fauna y flora. Eliminación de hábitats donde viven las especies.	Efecto invernadero Cambio climático Cambios de los ciclos biogeoquímicos Pérdida de biodiversidad
Otros:		
a) Producción de arroz	Emisiones de metano por descomposición anaeróbica de residuos.	Efecto invernadero
b) Aumento del ganado	Emisiones de metano por procesos de digestión del ganado.	Efecto invernadero
c) Aumento de fertilizantes nitrogenados.	Emisión de óxido de nitrógeno por acción microbiana en los suelos.	Efecto invernadero
d) Vertederos	Emisiones de metano	Efecto invernadero

La concentración de CO_2 en la atmósfera es actualmente de aproximadamente 370ppm, lo que representa un aumento de más del 30 por ciento desde 1750. El aumento se debe en gran medida a las emisiones antropógenas de CO_2 provenientes de la quema de combustibles fósiles y, en menor medida, al cambio en el uso de la tierra, la producción de cemento y la combustión de biomasa.
Fuente: Adaptado de Ludevil, 1988 e IPCC, 1992

Éstos, en comparación con el CO_2, el CH_4 y el N_2O, han contribuido aproximadamente un 20% y un 6-7% respectivamente al aumento del efecto invernadero. Los halocarbonos han contribuido con aproximadamente un 14%. Muchas de estas sustancias químicas están reglamentadas por el Protocolo de Montreal, pero aquellas cuyo potencial de agotamiento del ozono es insignificante no están controladas por dicho Protocolo. Aunque representan

menos del 1% del efecto invernadero adicional acumulado desde la industrialización, las concentraciones de estas sustancias en la atmósfera están aumentado.
Las emisiones de gases de efecto invernadero se distribuyen de manera desigual entre los países y regiones. Los países industrializados son, en general, responsables de la mayor parte de las emisiones pasadas y presentes.
Los países de la OCDE produjeron más de la mitad de las emisiones de CO_2 en 1998, con un promedio de emisión per cápita aproximadamente tres veces mayor que el promedio mundial. Pero la proporción de las emisiones de los países de la OCDE en el total mundial de emisiones de CO_2 ha disminuido en un 11 por ciento desde 1973.
Al evaluar los posibles efectos del aumento de concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero, el IPCC concluyó en 2001 que «hay nuevas y más sólidas evidencias de que la mayor parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años es atribuible a las actividades humanas». El calentamiento global ascendió cerca de 0,6 ±0.2° C durante el siglo XX; los años noventa han sido «muy posiblemente» el decenio más cálido y 1998, el año más caliente en los registros oficiales, que se mantienen desde 1861. Gran parte del aumento del nivel del mar durante los últimos cien años (aproximadamente 10 a 20 cm) ha estado probablemente relacionado con el aumento simultáneo de la temperatura global.
El principal gei es el vapor de agua, responsable del 80% del efecto invernadero, del resto (CO_2, CH_4, N_2O y O_3 estratosférico) al que se le presta mayor atención es al dióxido de carbono ya que es el que tiene y según las proyecciones, el que tendrá una mayor contribución al calentamiento del planeta. En segundo lugar se encuentran los halocarbonos.
La larga vida de las moléculas de estos gases en la atmósfera, del orden de un mes hasta 550 años dependiendo del gas, hace que su concentración aumente a niveles más altos que los que tienen los procesos naturales, que pueden eliminarlos a escalas temporales menores que las del tiempo geológico.

Figura 1.II. Emisiones de dióxido de carbono por región, 1998
(millones de toneladas de carbono por año)

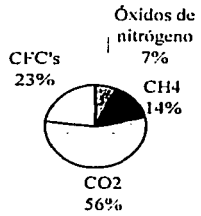


Las emisiones antropógenas de gas de efecto invernadero se distribuyen de manera irregular entre las distintas regiones – la mayoría de las emisiones provienen de las regiones industrializadas. Las cifras incluyen emisiones por quema de combustible, la combustión en antorcha y la producción de cemento.
Fuente: GEO3, Perspectivas del medio ambiente mundial 2002

Las emisiones de gases efecto invernadero y los aerosoles causados por la actividad humana (Figura 1.II), alteran la atmósfera de cierta forma, que se espera, afecte el clima.
Los cambios ocurridos en el clima, son resultado de una variabilidad interna del sistema climático y los factores externos (natural y antropogénico). La influencia de los factores externos en el clima puede ser comparada usando los conceptos de forzamiento radiativo[2].
Un forzamiento radiativo positivo como la producida por el incremento en las concentraciones de gei, tiende a calentar la superficie. Un forzamiento radiativo negativo puede surgir de un incremento de algunos tipos de aerosoles (partículas aéreas microscópicas) que tienden a enfriar la superficie. Factores naturales como los mecanismos naturales o la actividad volcánica, pueden causar, también forzamiento radiativo.
La caracterización de estos agentes que fuerzan el clima y sus cambios en el tiempo, requieren entender los cambios climáticos pasados en el contexto de las variaciones naturales y proyectar estos hacia delante.
Los siguientes gei (Figura 1.III) más importantes incluyendo los que son influenciados por las actividades humanas, tienen las características correspondientes:

[2] Forzamiento radiativo es una medida de un factor de influencia en la alteración del balance de energía que entra y la que sale en el sistema atmósfera-Tierra, y es un índice de gran importancia en factores como el de los mecanismos del cambio climático. Este se expresa en Wm^{-2}

Figura 1.III. Contribución porcentual de los gei de origen antropogénico



El principal gei es el vapor de agua, responsable del 80% del efecto invernadero, del resto (CO_2, CH_4, N_2O y O_3 estratosférico) al que se le presta mayor atención es al dióxido de carbono ya que es el que tiene y según las proyecciones, el que tendrá una mayor contribución al calentamiento del planeta. En segundo lugar se encuentran los halocarbonos.
Fuente: Saravia, 2001

- ***CO_2, dióxido de carbono***
  - Componente natural de la atmósfera terrestre.
  - Proviene de la descomposición de la vegetación, erupciones volcánicas, respiración de animales, quema de combustibles fósiles y deforestación.
  - Las actividades humanas emiten cerca de 6000 millones de toneladas por año, de las cuales cerca del 50% contribuyen al incremento de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera.
  - Tiempo de residencia en la atmósfera entre 50 y 100 años.
  - Gas más importante del efecto invernadero.
  - Tasa de acumulación anual: 0.5%
- ***CO, monóxido de carbono***[3]
  - Componente natural de la atmósfera terrestre.
  - Proviene de la combustión incompleta de combustibles fósiles y de la quema de biomasa.
  - Las actividades humanas emiten cerca de 700 millones de toneladas al año, las emisiones naturales son de 1300 toneladas al año.
  - El tiempo promedio de residencia en la atmósfera es de meses.
  - Principal contaminante del aire de las ciudades.
- ***SO_2, dióxido de azufre***[4]
  - Componente natural de la atmósfera terrestre.
  - El total de emisiones humanas inducidas son de 150- 200 millones de toneladas por año, las naturales son de 50 a 70 millones de toneladas por año.
  - En aire contaminado puede constituir hasta 0.05 partes por millón en volumen.
  - Contribuye a la deposición y a la lluvia ácida.

[3] Es un gas efecto invernadero indirecto, es decir que contribuye a la formación atmosférica de ozono.
[4] Es un gas efecto invernadero indirecto, contribuye a la formación de ozono atmosférico.

- Proviene de la combustión de combustibles fósiles, fundición de metales y por la descomposición natural de materia orgánica.
- Tiempo de residencia en la atmósfera es de días a semanas.
- Puede contribuir al enfriamiento del planeta.

- ***CH_4, metano***
  - Componente natural de la atmósfera terrestre.
  - Generado en pantanos, en cultivos de arroz, por procesos digestivos del ganado, rellenos sanitarios, y refinación de combustibles.
  - Las contribuciones humanas ascienden de 300- 400 millones de toneladas por año, emisiones naturales a la atmósfera son de 100- 200 millones de toneladas al año.
  - Tiempo de residencia es de 10 años.
  - Importante en el efecto invernadero.
  - Potente gei, molécula por molécula es casi veinte veces más potente que el CO_2.
  - Tasa anual de acumulación atmosférica de 0.015 ppmv[5] (0.9%)
  - Las emisiones de monóxido de carbono (CO) se ha identificado como una causa del incremento de la concentración de CH4.
- ***NO_X- óxido nítrico y NO_2- dióxido de nitrógeno[6]***
  - Componentes naturales de la atmósfera terrestre.
  - Importantes en la formación de lluvia ácida y del smog fotoquímico (reduce el ozono estratosférico).
  - Provienen de la quema de biomasa y combustibles fósiles.
  - Se emiten de 30 a 50 millones de toneladas por año de actividades humanas y por causas naturales de 10 a 20 millones de toneladas al año.
  - Tiempo de residencia en la atmósfera es de días.
- ***N_2O, óxido nitroso***
  - Componente natural de la atmósfera terrestre.
  - Importante en el efecto invernadero.
  - Las emisiones humanas son alrededor de 6 millones de toneladas por año (cerca de la tercera parte) y 19 millones de toneladas por año de emisiones naturales.
  - Tiempo de residencia en la atmósfera de alrededor de 150 a 170 años.
  - Proviene de fertilizantes basados en nitrógeno (naturales o manufacturados), tierras de cultivo, alimento para ganado vacuno, industria química, deforestación y quema de biomasa.
  - Tasa anual de acumulación atmosférica actual, de 0.8 ppmmv[7] (0.25%).
- ***CF_XCL_X, clorofluorocarbonos***
  - Gases creados artificialmente.
  - Acrecientan el efecto invernadero terrestre y contribuyen al agotamiento de la capa de ozono en la estratósfera.
  - Potente gas efecto invernadero.

[5] ppmv: partes por millón en volumen (10^6), unidad de concentración.
[6] No es gas efecto invernadero.
[7] ppmv: partes por mil millones (10^9)

- Tiempo de residencia de 60 a 130 años dependiendo del gas, según el IPCC (1990) para el refrigerante CFC-11 es de 65 años y para el CFC- 12 de 130 años.
- Proviene de aerosoles es spray, refrigerantes y producción de espumas.
- Tasa anual de acumulación atmosférica actual de 4%, lo que corresponde a 9.5 pptv[8] para el CFC-11 y a 17.5 pptv para el CFC-12

- ***O_3, ozono***
  - En forma natural se encuentra en la estratósfera y actualmente está presente como contaminante en regiones industriales.
  - El ozono superficial es generado como subproducto artificial del smog fotoquímico y es dañino para la salud humana.
  - El ozono estratosférico es producido naturalmente y ayuda a proteger la vida de los efectos nocivos de la radiación solar ultravioleta.
  - En las últimas décadas los niveles de ozono estratosférico han declinado globalmente, especialmente en la Antártida.
  - Científicos han determinado que las moléculas cloradas provenientes de la descomposición de clorofluorocarbonos son las principales responsables de la destrucción de ozono en la estratósfera.

De los gases listados, aquellos que causan el efecto invernadero lo hacen a través de su capacidad para absorber radiación infrarroja y de esta forma perturban el balance energético terrestre. El potencial de calentamiento global de cada gas (GWP's[9]) se utiliza para describir la posible influencia de los gei en el clima global futuro por el mecanismo de forzamiento radiativo tomando como referencia al CO_2 (Tabla 1.IV). Este mecanismo es controlado por varios parámetros como la cantidad de gas emitido, sus propiedades de absorción de energía infrarroja y el tiempo de residencia de cada gas en la atmósfera.

Tabla 1.IV. Potencial de calentamiento global de algunos gei

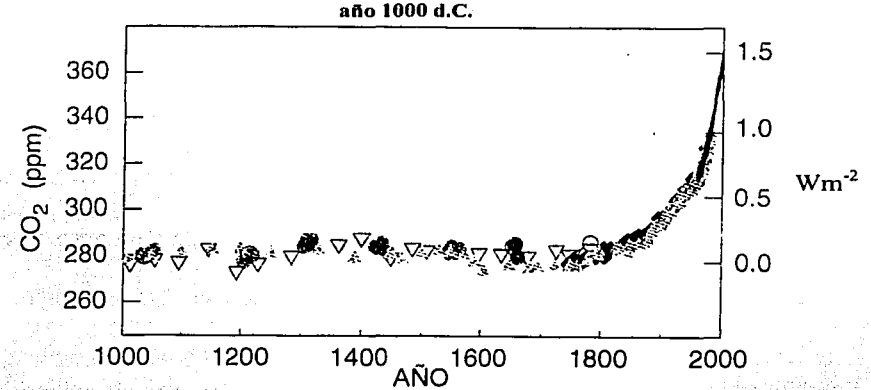
Compuesto	Tiempo de vida estimado (años)	GWP's para diferentes horizontes de tiempo		
		20 años	100 años	500 años
CO_2	**	1	1	1
CH^1_4	10.5	35	11	4
CFC-11	55	4500	3400	1400
CFC-12	116	7100	7100	4100
CFC-115	550	5500	7000	8500
HCFC-22	15.8	4200	1600	540
CFC-123	1.7	330	90	30

El potencial de calentamiento global de cada gas (GWP's) se utiliza para describir la posible influencia de los gei en el clima global futuro por el mecanismo de forzamiento radiativo tomando como referencia al CO_2
Notas: [1]Los valores de GWP incluyen los efectos radiativos directos y los debidos a la formación de CO_2 pero excluye cualquier efecto resultante del ozono o agua estratosféricos por la descomposición del metano en la atmósfera.
Fuente: AFEAS y PAFT Member Companies (1992 citado en Pickering, 1994); IPCC (1992).

[8] pptv: Partes por trillón en volumen (10^{12})
[9] GWPs: Global Warming Potencials, o PCG por sus siglas en español

Emisiones de dióxido de carbono

Figura 1.IV. Historia de las concentraciones de CO_2 y forzamiento radiativo en la atmósfera desde el año 1000 d.C.



Fuente: IPCC, Third Assessment Report, 2001

La concentración de CO_2 presente no había sido excedida en los pasados 420,000 años y seguramente tampoco en los pasados 20 millones de años (Figura 1.IV).

Su concentración en la atmósfera fue alrededor de 275 ppmv antes de la expansión de actividades agrícolas y la revolución industrial durante el siglo XIX. En 1900 esta concentración fue de unas 295 ppmv, y ha pasado de 315 ppmv a 350 ppmv desde 1958. Estas concentraciones de CO_2 se han incrementado en 31% desde 1750.

Se puede afirmar con certeza que este aumento se ha debido a la producción y consumo de combustibles fósiles y al cambio de uso de suelo. En 1992 se sobrepaso el nivel de 350 ppm.

Las emisiones de dióxido de carbono procedentes de la deforestación y de los cambios del uso del suelo no bastarían, hoy en día, para producir cambios climáticos significativos. Son las emisiones provenientes de la combustión y la transformación del petróleo, el carbón y el gas natural, con grandes reservas aun sin consumir, las que pueden provocar cambios climáticos notables.

Estas emisiones aportan casi el 80% del total, mientras que el resto corresponde a la deforestación y al cambio de uso del suelo: los árboles que absorben este gas cuando están vivos, lo dejan de absorber al cortarlos y lo desprenden cuando se queman o se descomponen.

Las consecuencias de la duplicación en los niveles actuales de CO_2 en la atmósfera incluyen además del ya famoso calentamiento global de la superficie, otros cambios como

1. el aumento global en el promedio del nivel del mar,
2. la reducción del hielo marítimo y
3. el aumento en el promedio global de precipitación.

Estos y otros cambios climáticos que pueden ser posibles a partir de la duplicación de CO_2 atmosférico son:

- ***El promedio global de la temperatura de la superficie se incrementó durante el siglo XX cerca de 0.6° C***

i. El promedio global de la temperatura de la superficie (el promedio de la temperatura del aire, cerca de la superficie, por encima de la tierra y la temperatura de la superficie del mar) se han incrementado desde 1861. Durante el siglo XX el incremento ha sido de 0.6 ± 0.2°C. Este valor ha cambiado de acuerdo a los ajustes y métodos de procesamiento de datos que se utilizan en este tipo de estudios. Pero lo que queda claro es que hubo dos períodos de la elevación de la temperatura durante el siglo XX, 1910 a 1945 y 1976 a 2000.

ii. En promedio, entre 1950 y 1993 las temperaturas mínimas nocturnas diarias en la superficie de la tierra se incrementaron 0.2°C por década. Esto es el doble de proporción del incremento en las temperaturas máximas diarias diurnas (0.1°C por década).

iii. El incremento en la temperatura del mar ha aumentado casi la mitad de lo que aumentó en la superficie terrestre.

iv. Las temperaturas se han incrementado durante las pasadas cuatro décadas, a lo menos, en los primeros ocho kilómetros de la atmósfera. Los primeros ocho kilómetros y la superficie terrestre están influenciados por diferentes factores como son: el agotamiento de ozono en la estratosfera, los aerosoles atmosféricos, y el fenómeno el Niño. Esto es físicamente plausible si observamos un período corto de tiempo (por ejemplo 20 años) podría haber diferencia en la tendencia de temperaturas.

- ***La cubierta de nieve y las extensiones de hielo han decrecido.***

i. Ha habido una retirada muy extensa de las montañas de glaciares en regiones no polares durante el siglo XX. Durante la primavera y verano en el hemisferio norte, el mar congelado ha decrecido entre un 10 y 15% desde los 1950's. Esto sugiere que ha habido un declinamiento de 40% en el espesor del mar congelado del Ártico durante el verano avanzado y el inicio del otoño en las décadas recientes y una baja declinación en el espesor del mar congelado durante el invierno.

- ***El promedio global del nivel del mar ha aumentado.***

i. La dimensión de la marea muestra que el promedio global aumentó entre 0.1 y 0.2 metros durante el siglo XX.

- ***La precipitación se ha incrementado en 0.5 hasta 1% por década en el siglo XX.***

i. En latitudes medias y altas de los continentes del hemisferio norte, y la lluvia se ha incrementado de 0.2 a 0.3% por década en las tierras tropicales (10° N a 10° S). El incremento en los trópicos no es muy evidente en las últimas décadas. La lluvia en esta zona ha disminuido en el hemisferio norte en la zona subtropical (10° N a 30° N) durante el siglo XX cerca de 0.3% por década.

En contraste con el hemisferio norte, los cambios no han sido comparablemente sistemáticos a lo ancho del hemisferio sur. No existen suficientes datos para establecer alguna tendencia de precipitación sobre los océanos.

ii. En las latitudes medias y altas del hemisferio norte en la última mitad del siglo XX ha habido un aumento de 2 a 4% de eventos de precipitación fuerte. Este incremento en eventos fuertes de precipitación proviene de diversas causas, por ejemplo, cambios en la humedad atmosférica, tormentas eléctricas y tormentas a gran escala.

iii. Se incrementó en 2% la capa de nubes en las latitudes medianas y altas del hemisferio norte durante el s. XX. En lagunas áreas, la tendencia se observa como un decremento en el promedio de temperaturas diurnas.

- ***Episodios calurosos de El Niño***

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

"El Niño" se identifica por la extensión de las aguas normalmente calientes del oeste tropical del Océano Pacífico hacia el este del Pacífico, la costa oeste de Sudamérica. La introducción de aguas anormalmente calientes en esta área inhibe el ascenso a la superficie de aguas frías y ricas en nutrientes, y altera la distribución de la precipitación en la cuenca del Pacífico. Paralelamente, los vientos alisios del sureste y los vientos del este del Pacífico se debilitan significativamente y se invierten.

Estos vientos son afectados por la "Oscilación del Sur", una fluctuación de la presión atmosférica de gran escala entre el este y el oeste del Pacífico. A pesar de que el fenómeno de "El Niño-Oscilación del Sur (ENSO)" se localiza en el Pacífico tropical, se le asocia con anomalías climáticas tales como sequías e inundaciones que se presentan lejos de esta región. Las manifestaciones e impactos de un ENSO en una región particular dependen de factores tanto físicos como regionales y de la estructura socioeconómica de la zona afectada. El enfriamiento anormal de las aguas del este tropical del Océano Pacífico es conocido como "La Niña" y tiene también como consecuencia fluctuaciones climáticas a través de gran parte del mundo. En general, las señales de "La Niña" sobre una región en especial son opuestas a las de El Niño (por ejemplo, aumentos de precipitación contra reducciones de la misma).

ii. El Niño ha sido más frecuente, persistente e intenso desde mediados de los 70's comparados con los 100 años previos.

- ***Sequías y humedades severas***

i. Durante el siglo XX (1900 a 1995), hubo incrementos relativamente pequeños de sequía y humedad severa en el ámbito global en la Tierra, estos cambios están dominados por una variabilidad climática inter-década y multi-década, así como los cambios por el fenómeno de "El Niño" que aumenta la ocurrencia de eventos calurosos.

ii. En algunas regiones, como partes de Asia y África, se ha observado que la frecuencia e intensidad de las sequías han aumentado en las últimas décadas.

- ***Algunos aspectos importantes del clima no han cambiado.***

i. En las últimas décadas, pequeñas regiones del globo no han tenido cambios en la temperatura, sobre todo en regiones de los océanos del hemisferio Sur y en partes de la Antártica.

ii. Aparentemente no hay una tendencia importante en la cubierta de hielo de la Antártica desde 1978, año en que se inician las mediciones por satélite.

iii. Los cambios globales en la intensidad y frecuencia de las tormentas en las áreas tropicales y extra-tropicales están dominados por una variación inter-década y multi-década, con lo que no hay evidencia de alguna tendencia durante el siglo XX.

iv. Los cambios no sistemáticos en la frecuencia de los tornados, días de tormenta o eventos de granizo, evidentemente, limitan su análisis.

- ***Agotamiento del ozono estratosférico***

La protección de la capa de ozono de la Tierra se ha presentado como uno de los mayores desafíos de los últimos treinta años, y es un problema que se extiende al medio ambiente, el comercio internacional y el desarrollo sostenible. La disminución de la capa de ozono amenaza la salud humana favoreciendo enfermedades como el cáncer de la piel, cataratas en los ojos y deficiencias inmunitarias, afecta a la flora y a la fauna, e influye también en el sistema climático del planeta.

El agotamiento del ozono es causado por varias sustancias químicas conocidas como sustancias agotadoras de ozono (SAO), las más notorias de las cuales son los clorofluorocarbonos (CFC), En la Figura 1.V se ilustra la producción mundial de los principales clorofluorocarbonos. En 1974 se hicieron públicos los resultados de estudios científicos que relacionaban el agotamiento del ozono estratosférico con la liberación en la estratósfera de iones de cloruro provenientes de CFC. Las SAO se utilizan en refrigeradores, acondicionadores de aire, atomizadores de aerosoles, espumas aislantes y de muebles, equipos de lucha contra incendios. A medida que la demanda por dichos productos fue creciendo, también lo hizo la producción de SAO, la cual alcanzó su punto más alto a fines de los años 1980.

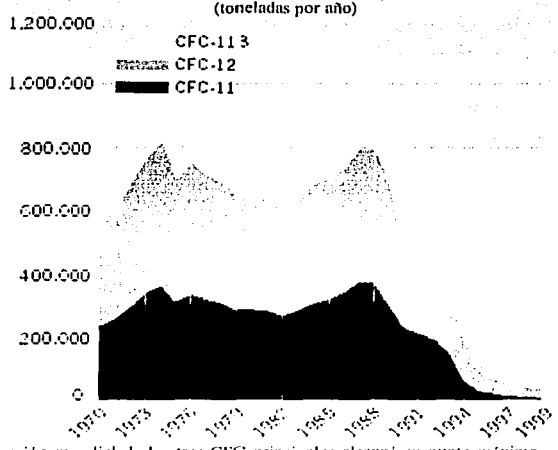
El agotamiento de la capa de ozono de la Tierra ha alcanzado ahora niveles récord, especialmente en la región Antártica, y más recientemente también en el Ártico.

En septiembre de 2000 el agujero de ozono en la Antártida cubría más de 28 millones de kilómetros cuadrados.

Pero, gracias a los esfuerzos continuos de la comunidad internacional, el consumo mundial de SAO ha disminuido notablemente y se predice que la capa de ozono comenzará a recuperarse en uno o dos decenios y que retornará a los niveles anteriores a 1980 para mediados del siglo XXI, si todos los países se adhieren a las medidas de control futuras del Protocolo de Montreal.

La cooperación internacional ha sido la clave para proteger la capa de ozono estratosférico.

Figura 1.V. Producción mundial de los principales clorofluorocarbonos
(toneladas por año)



La producción mundial de los tres CFC principales alcanzó su punto máximo alrededor de 1988 y desde entonces ha descendido hasta niveles muy bajos.

Fuente: GEO3, Perspectivas del medio ambiente mundial 2002

i. El agotamiento observado en el ozono de la estratósfera (O_3) desde 1979 a 2000 se debe al forzamiento radiativo negativo (-0.15 Wm^{-2}). Asumiendo un acuerdo total de la regulación de los halocarbonos libres, la fuerza positiva de los halocarbonos deberá ser reducida, así como la magnitud de la fuerza negativa del agotamiento del ozono de la estratósfera, también de la recuperación de la capa de ozono en el siglo XXI.

ii. El monto total de O_3 en la troposfera está estimado en un incremento del 36% desde 1756, debido primordialmente a emisiones antropogénicas de gases que contienen O_3. Esto responde al forzamiento radiativo positivo de 0.35 Wm^{-2}. La fuerza de O_3 varía considerablemente por región y responde más rápido al cambio en las emisiones que los gei de larga vida, como el CO_2.

2. Impacto en los Sistemas Humanos y Naturales

2.1 Sistemas humanos

Población

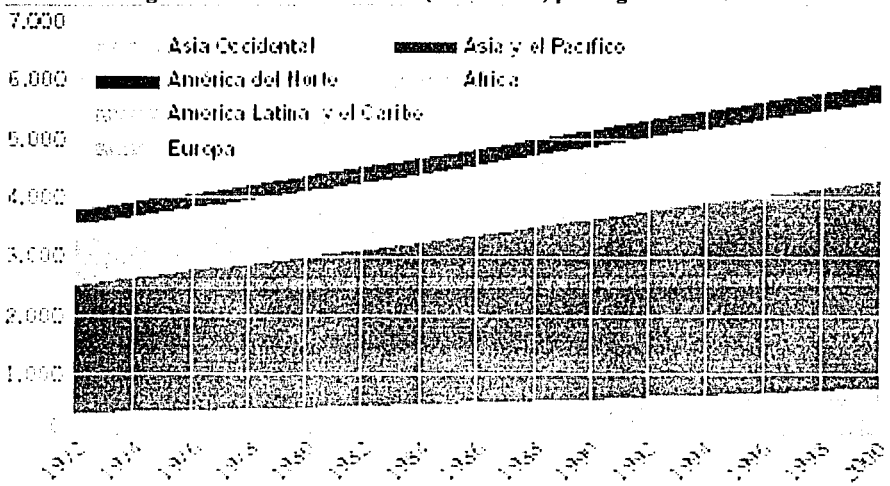
La población mundial ha crecido de unos 3.850 millones en 1972 a 6.100 millones a mediados de 2000, y actualmente crece a un ritmo de 77 millones de personas al año. La mayor parte del crecimiento está concentrado en las regiones en desarrollo, y casi dos terceras partes en Asia y el Pacífico (Figura 2.1). Seis países fueron responsables del 50% del crecimiento anual: India (1%), China (2%), Pakistán (5%), Nigeria y Bangladesh (4% cada uno) e Indonesia (3%).

Se anticipa que la población de las regiones industrializadas, actualmente de 1.200 millones, cambie poco en los próximos 50 años mientras que en las regiones en desarrollo se proyecta que aumente de 4.900 millones en 2000 a 8.100 millones en 2050.

Esta diferencia se debe principalmente a las tasas de fecundidad. Los países menos desarrollados registraron una fecundidad de 3,1 niños por mujer en el periodo entre 1995 y 2000, mientras que los países desarrollados registraron una fecundidad de 1,57 por mujer en el mismo periodo, muy por debajo del nivel de reemplazo que es de 2,1 niños por mujer.

Entre 1995 y 2000, la esperanza de vida en las regiones industrializadas se estimaba en 75 años, comparada con 63 años en las regiones en desarrollo. A medida que la fecundidad continúa reduciéndose y la esperanza de vida aumentando, la población del mundo envejecerá más rápidamente en los próximos 50 años que durante el medio siglo pasado.

Figura 2.I. Población mundial (en millones) por región 1972-2000



La población mundial actualmente está creciendo a un ritmo de 77 millones al año, con dos tercios del crecimiento en Asia y el Pacífico.

Fuente: GEO3, Perspectivas del medio ambiente mundial 2002

Los movimientos poblacionales han sido importantes durante los últimos 30 años debido a la rápida urbanización, la migración internacional y el movimiento de refugiados y personas desplazadas. El total de personas que vive fuera de sus propios países aumentó de 84 millones en 1975 a un número estimado en 150 millones de personas a fines del siglo XX.

Economía

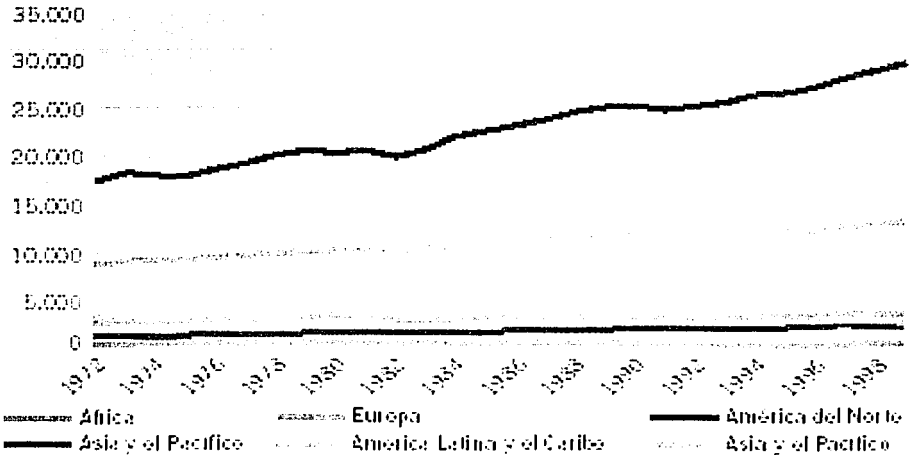
La economía mundial, en términos agregados, ha crecido considerablemente durante las tres décadas pasadas a pesar de registrar fluctuaciones significativas. El producto interno bruto (PIB) del mundo aumentó a más del doble, al pasar de aproximadamente 14,3 billones de dólares en 1970 a unos 29 billones 995 mil millones de dólares en 1999.

El producto interno bruto (PIB) de la economía del mundo creció un 3,1% al año entre 1980 y 1990, y en un 2,5% anualmente entre 1990 y 1998, con una tasa de crecimiento anual per cápita de 1,4 y 1,1% respectivamente.

Sin embargo, se han verificado variaciones regionales significativas durante ese periodo, con tasas de crecimiento mucho más altas en Asia y el Pacífico, región que contiene más de la mitad de la población mundial.

El PIB per cápita (en dólares constantes de 1995) casi se duplicó en el Pacífico Noroccidental y Asia Oriental durante 1972-99, con un crecimiento anual promedio de 2,4%; en contraste, tal indicador disminuyó en África subsahariana.

Figura 2.II. Producto interno bruto per capita (dólares de 1995/ año), 1972- 1999



A pesar del crecimiento económico mundial, la brecha entre ricos y pobres ha aumentado al ampliarse las diferencias entre países desarrollados y en desarrollo; con excepción de Europa y América del Norte, los ingresos per cápita han aumentado sólo marginalmente.

Fuente: GEO3, Perspectivas del medio ambiente mundial 2002

Los ingresos per cápita han crecido tan sólo marginalmente en la mayoría de las regiones, con la excepción de Europa y América del Norte (Figura 2.II). Actualmente, 3.500 millones de personas en países de bajos ingresos ganan menos del 20% de los ingresos mundiales mientras que 1.000 millones de personas que viven en los países desarrollados ganan el 60%. La relación entre los ingresos obtenidos por los países con el 20% de la población más rica y los ingresos de los países con el 20% de los más pobres del mundo, también se ha agrandado, al pasar de 30 a 1 en 1960, a 60 a 1 en 1990 y a 74 a 1 en 1997. Tanto el crecimiento en el uso de energía como en el transporte son indicadores de desarrollo económico, y ambos tienen serios efectos sobre el medio ambiente (Figura 2.III). El uso de transporte automotor privado se ha convertido en un estilo de vida firmemente arraigado entre aquellos que cuentan con los medios necesarios.

Figura 2.III. Consumo per cápita de energía (equivalente a toneladas de petróleo/ año)

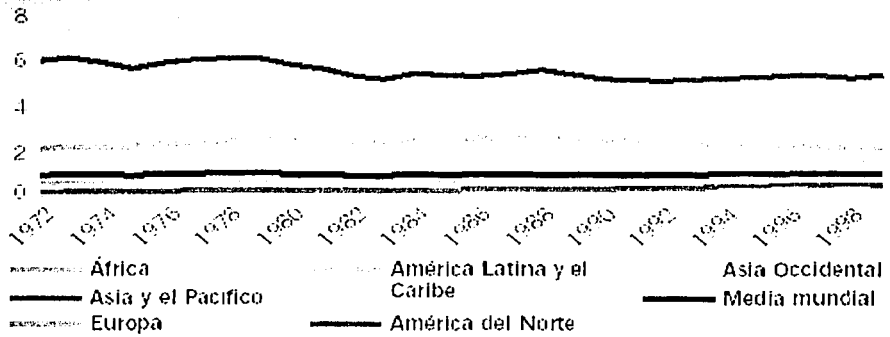
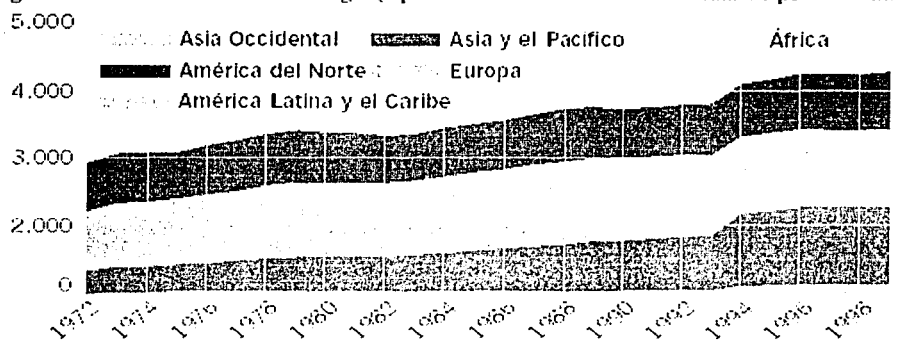


Figura 2.IV. Consumo total de energía (equivalente en millones de toneladas de petróleo/ año)



A escala mundial, el consumo per cápita ha variado relativamente poco durante los últimos 30 años a pesar de que el consumo total creció en un 70 por ciento aproximadamente durante el periodo 1972-99. En el ámbito regional, el consumo per cápita se redujo en América del Norte, el mayor consumidor, y creció considerablemente en Asia Occidental. La reducción en el consumo de energía de combustibles fósiles en regiones de consumo alto, y el logro de un consumo per cápita más equilibrado dentro y entre los países son imperativos ambientales para el siglo XXI.

Fuente: GEO3, Perspectivas del medio ambiente mundial 2002

Desde los años setenta, aproximadamente 16 millones de vehículos se han sumado anualmente a las carreteras del mundo y los automóviles de pasajeros participan con el 15% del consumo mundial de energía. Las desigualdades de ingreso se reflejan también en la disparidad de consumo material. Se estima que el 20% de la población mundial más rica es responsable del 86% del total de gastos de consumo privados, consume el 58% de la energía mundial, 45% de toda la carne y el pescado, 84% del papel y posee 87% de los automóviles y de 74% de los teléfonos (Figura 2.IV). En contraste, el 20% de los más pobres del mundo consumen el 5%, o menos, de cada uno de esos bienes y servicios. En el conjunto de los países en desarrollo el sector informal proporciona el 37% de los empleos, y en África llega al 45%.

La pobreza, el desempleo y niveles de vida en declinación surgieron también como problemas importantes para los países en transición en los años noventa.

Ciencia y tecnología

La tecnología de información y comunicaciones está avanzando rápidamente, creando enormes oportunidades para el desarrollo humano al hacer más fácil que las personas tengan acceso a la información disponible en lugares remotos de manera rápida y económica.

Sin embargo, la difusión poco pareja de tal tecnología significa que el acceso al desarrollo de las tecnologías afines pueda ser provechoso solamente para una minoría. En la actualidad, los usuarios de Internet son predominantemente urbanos y el 79% de éstos vive en los países de la OCDE, los cuales cuentan con tan sólo el 14% de la población mundial. Sin embargo, aún en los países en desarrollo el crecimiento de usuarios de Internet ha sido significativo: Por ejemplo, en China se pasó de 3,9 millones a 33 millones entre 1998 y 2002.

Además, las nuevas tecnologías están ayudando a la población a entender mejor el medio ambiente. En julio de 1972, el gobierno de Estados Unidos lanzó el primer satélite LANDSAT. Para 2002, el programa LANDSAT ya contaba con 30 años de registros, lo que constituye la colección continua más larga de datos sobre las superficies continentales de la Tierra. Esto ha brindado una nueva dimensión al seguimiento y evaluación del medio ambiente permitiendo controlar los cambios y las tendencias y mejorar la capacidad de alerta temprana.

No obstante, para algunos países en desarrollo, la tecnología puede ser una fuente de excepción en lugar de una herramienta para el progreso. «La tecnología se genera como resultado de las presiones del mercado, y no de las necesidades de los sectores pobres, que tienen muy poco poder adquisitivo. Consecuentemente, las investigaciones ignoran las oportunidades de desarrollar tecnologías para las poblaciones pobres».

Gestión de gobierno

La creciente integración de las finanzas, economías, culturas, tecnologías y gestión de gobierno mediante la globalización está causando efectos profundos, tanto positivos como negativos, sobre todos los aspectos de la vida de los individuos y del medio ambiente. Con las fuerzas del mercado que comienzan a dominar las esferas sociales, políticas, así como las económicas, surge el peligro de que el poder y la riqueza se concentren en una minoría mientras que la mayoría quede cada vez más marginada y dependiente.

Asentamientos humanos e infraestructura

Las zonas urbanas ocupan sólo el 1% de la superficie terrestre del planeta. Sin embargo, la expansión urbana, que abarca el terreno necesario para la industria, el transporte y las actividades de recreación en todas las regiones, aumenta la presión sobre los recursos de tierras. La degradación de tierras, la desecación de los ríos y la contaminación del suelo por la lluvia ácida y los desechos industriales, son algunas de las cuestiones ambientales asociadas con la urbanización y la industrialización.

Los desechos generados por las ciudades son una gran fuente de degradación. Se calcula que se han degradado aproximadamente 1,95 millones de hectáreas de tierra por causa de la industria y la urbanización.

Una de las razones fue que algunos países desarrollados exportaron residuos tóxicos y desechos peligrosos a regiones en desarrollo.

La urbanización generó también la agricultura urbana, apenas reconocida internacionalmente en el decenio de los setenta, pero que se ha estado expandiendo mundialmente durante los últimos 15- 20 años, más rápidamente que las poblaciones urbanas y, en muchos países, a un ritmo más acelerado que sus economías. La agricultura urbana se realiza en tierras tanto públicas como privadas, ya sea en forma legal o ilegal. Más de 800 millones de residentes urbanos participaron en la agricultura urbana en 1993.
Los impactos de la agricultura urbana incluyen la contaminación del aire, el agua y el suelo principalmente a causa del uso indebido de productos químicos. Los defensores de la agricultura urbana alegan que, además de suministrar alimentos, la actividad puede contribuir a mejorar el medio ambiente por medio del reciclaje de materia orgánica. Se pueden convertir los desechos sólidos en composta para fertilizar los suelos.

2.2 Sistemas naturales

Bosques

Desde hace tiempo se reconoce la naturaleza única de los ecosistemas forestales. Estos ecosistemas desempeñan múltiples funciones a escala mundial al igual que local: como proveedores de servicios ambientales a la naturaleza en general y a los seres humanos en particular, y como fuentes de productos valiosos desde el punto de vista económico.
La deforestación que ha tenido lugar durante los últimos 30 años no es sino la continuación de un proceso que tiene una larga historia. Cuando se realizó la Conferencia de Estocolmo, ya una gran parte de la cubierta forestal de la Tierra había sido talada. Históricamente, la pérdida de bosques está relacionada estrechamente con la expansión demográfica y la conversión de las tierras forestales a otros usos. Entre las principales causas de degradación forestal de origen humano cabe mencionar la extracción excesiva de maderas industriales, leña y otros productos forestales, y el pastoreo excesivo. Entre las causas subyacentes hay que mencionar la pobreza, el crecimiento demográfico, los mercados y el comercio de productos forestales, y las políticas macroeconómicas.
Los bosques son también susceptibles de padecer bajo los efectos de factores naturales como las plagas de insectos, las enfermedades, los incendios y los fenómenos climáticos extremos.
La *Evaluación de los recursos de los bosques tropicales*, realizada en *1980* por la FAO y el PNUMA fue la primera evaluación general de los bosques tropicales. El ritmo de deforestación se calculó en 11,3 millones de hectáreas por año, lo cual justificó los temores de la Conferencia de Estocolmo sobre el ritmo alarmante de pérdida mundial de bosques. Desde entonces, aunque el área forestada en los países desarrollados se ha estabilizado y está aumentando ligeramente en general, la deforestación ha continuado en los países en desarrollo.
La *Evaluación Mundial de los Recursos Forestales 2000*, realizada por la FAO utilizando por primera vez una definición común de bosques como áreas de por lo menos 0,5 ha con una cubierta de copas de más del 10%, concluyó que:

- El área total cubierta por bosques es de aproximadamente 3 866 millones de hectáreas, casi un tercio de la superficie terrestre del mundo, de las cuales el 95% son bosques naturales y el 5% son plantaciones forestales; el 17% se encuentra en África, el 19% en Asia y el Pacífico, el 27% en Europa, el 12% en América del Norte y el 25% en América Latina y

el Caribe. Aproximadamente el 47% de los bosques del mundo son tropicales, el 9% subtropicales, el 11% templados y el 33% boreales.

- La pérdida neta de área forestal en el mundo durante los años noventa fue de aproximadamente 9,4 millones de hectáreas (el equivalente del 0,2% del total de los bosques). Esto fue el efecto combinado de un ritmo de deforestación de 14,6 millones de hectáreas por año y un ritmo de crecimiento forestal de 5,2 millones de hectáreas por año. La deforestación en los bosques tropicales alcanza casi el 1% anual.
- El área cubierta por plantaciones forestales creció a un promedio de 3,1 millones de hectáreas por año durante los años noventa. La mitad de este crecimiento fue resultado de la forestación de tierras que previamente estaban bajo un uso no forestal, mientras que la otra mitad fue resultado de la conversión de bosques naturales.
- Se siguen convirtiendo las zonas de bosques naturales de todo el mundo a otros usos de la tierra a un ritmo muy acelerado. Durante los años 90's la pérdida total de bosques naturales (deforestación más conversión de bosques naturales en plantaciones forestales) fue de 16,1 millones de hectáreas por año, de las cuales 15,2 millones se perdieron en los trópicos.
- Casi el 70% de las áreas deforestadas durante los años noventa se convirtieron en tierras agrícolas, bajo un régimen más bien permanente que transitorio.

En América Latina la conversión fue de gran escala, mientras que en África predominaron las empresas agrícolas de pequeña escala. En Asia los cambios se distribuyeron de manera más igualitaria entre la agricultura permanente de gran o pequeña escala y zonas dedicadas a la agricultura migratoria.

En un estudio reciente, fundado en datos globales amplios y coherentes obtenidos por medio de satélites, se calculó que la extensión de los bosques naturales densos que quedaban en 1995 (con una cubierta de copas de más del 40%) era de 2.870 millones de hectáreas, equivalente a casi el 21,4% de la superficie de tierras del planeta. Aproximadamente el 81% de estos bosques estaban concentrados en tan sólo 15 países. Por orden decreciente del área forestada, dichos países son la Federación de Rusia, Canadá, Brasil, Estados Unidos, República Democrática del Congo, China, Indonesia, México, Perú, Colombia, Bolivia, Venezuela, India, Australia y Papua Nueva Guinea.

Los tres primeros países poseen cerca del 49% de los bosques densos aún existentes. Más de la cuarta parte de los bosques densos están situados en zonas montañosas.

Diversidad biológica

La diversidad biológica se define como la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte. La noción incluye diversidad dentro de una especie (diversidad genética), entre especies y entre ecosistemas.

Los ecosistemas de bosques tropicales son los hábitat más ricos en especies. Aunque cubren menos del 10% de la superficie de la Tierra, contienen tal vez el 90% de las especies del planeta. Los arrecifes de coral y los páramos mediterráneos son también ricos en especies. Hasta la fecha, los taxonomistas han dado nombre a aproximadamente 1,75 millón de especies. Se ha calculado recientemente que el número total de especies asciende a 14

millones, aunque esto es todavía altamente incierto, debido a la falta de información sobre especies de insectos, nematodos, bacterias y hongos.
Los organismos vivos prestan una gran variedad de servicios ambientales, tales como la regulación de la composición gaseosa de la atmósfera, la protección de las zonas costeras, la regulación del ciclo hidrológico y del clima, la generación y conservación de suelos fértiles, la dispersión y degradación de deshechos, la polinización de muchos cultivos y la absorción de contaminantes. Se ha calculado recientemente que el valor económico total de los servicios de 17 ecosistemas oscila entre los 16 y 54 billones de dólares por año.
Para cuidados de salud, cerca del 75% de la población del mundo depende de medicinas tradicionales que se derivan directamente de fuentes naturales.
La diversidad biológica asegura también recursos genéticos para la alimentación y la agricultura y constituye por consiguiente la base biológica de la seguridad alimentaria del mundo y el soporte del sustento humano.
Varias especies relacionadas con plantas silvestres son de gran importancia para la economía, tanto en el ámbito nacional como internacional. Por ejemplo, ciertas variedades de cebada provenientes de Etiopía dieron protección contra patógenos virales a los cultivos de cebada de California, cuyo valor asciende a 160 millones de dólares anuales.
La resistencia genética a enfermedades obtenida a partir de variedades silvestres de trigo en Turquía ha sido valuada en 50 millones de dólares anuales.

Disminución y pérdida de especies

La diversidad biológica mundial está cambiando a un ritmo sin precedentes. Los motores más importantes de este cambio son la conversión del uso de las tierras, los cambios del clima, la contaminación, la explotación no sostenible de recursos naturales y la introducción de especies foráneas.
La importancia relativa de estos motores varía según los ecosistemas. Por ejemplo, la conversión del uso de las tierras es más intensiva en los bosques tropicales y menos intensiva en las zonas templadas, boreales o árticas; la deposición de nitrógeno atmosférico es mayor en las zonas templadas del norte cercanas a ciudades; la introducción de especies foráneas está en relación con las pautas de actividad humana: las zonas más alejadas de actividades humanas reciben generalmente menos especies foráneas.
Las causas fundamentales de la pérdida de diversidad biológica son el crecimiento de la población humana, las pautas de consumo no sostenibles, el aumento de la producción de desechos y contaminantes, el desarrollo urbano, los conflictos internacionales, y las desigualdades constantes en la distribución de la riqueza y los recursos.
Durante los tres últimos decenios, la disminución y la extinción de especies se han afirmado como problemas ambientales de la mayor importancia. El índice actual de extinción es varias veces superior al que le sirve de antecedente, es decir al que prevaleció durante largos periodos geológicos. Los cálculos basados en restos fósiles sugieren que el índice de extinción de mamíferos y aves precedente era de una especie perdida cada 500-1.000 años.
Los análisis sugieren que en los próximos 100 años el índice de extinción de los grupos de vertebrados podría ascender al 15-20%.
Las consecuencias de la disminución o pérdida de especies sobre la prestación de servicios ambientales son difíciles de evaluar porque la relación entre la diversidad de las especies y

la función de un ecosistema no ha sido todavía establecida con claridad. Se sabe que ciertas especies cumplen una función más significativa que otras; a ellas se las ha denominado especies «clave», pues la pérdida de cualquiera de ellas tiene un efecto particularmente perjudicial. La reducción del número de especies afecta la prestación de todos los servicios de un ecosistema porque la captación de recursos (de energía, agua y nutrientes) es mayor en los sistemas más diversificados. Algunos ecosistemas, como los de las zonas áridas y árticas, parecen ser particularmente vulnerables a las intervenciones humanas.

En estos sistemas, relativamente pocos organismos comparten funciones ecológicas comunes.

La diversidad de especies puede tener también una función amortiguadora contra los efectos de la actividad humana sobre los ecosistemas.

Se han establecido varios acuerdos internacionales que tratan de manera específica de la conservación de especies amenazadas.

Cambios climáticos y calentamiento de la Tierra

Durante los años 1990 los cambios climáticos aparecieron como una de las amenazas potenciales más serias a la diversidad biológica. Algunos ecosistemas podrían desaparecer, mientras que otros podrían experimentar cambios profundos en la composición de sus especies. La desertificación podría aumentar en algunas zonas y algunas especies podrían hacerse también más vulnerables a la extinción.

No está claro cuál es el efecto que los cambios climáticos han tenido sobre la diversidad biológica hasta la fecha.

Deposición de nitrógeno

La deposición de nitrógeno se ha transformado en una de las causas principales de pérdida de diversidad biológica.

La deposición ha aumentado considerablemente en los últimos decenios, principalmente como resultado del aumento del uso de fertilizantes y de la quema de combustibles fósiles. El aumento de nitrógeno en el suelo y en el agua puede llevar a la pérdida de especies y a cambios en la composición de especies en comunidades de plantas. Los ecosistemas acuáticos son los más vulnerables; la deposición de nitrógeno puede causar eutrofización, que es actualmente una de las amenazas más serias a los medios acuáticos, particularmente las aguas interiores donde se crían muchas de las especies comerciales de peces y mariscos. La deposición de nitrógeno también ha sido asociada con el aumento reciente de proliferación tóxica de algas.

Derrames de petróleo

Los derrames de petróleo también han afectado gravemente la diversidad biológica durante los últimos decenios.

En 1998 solamente se derramaron 108.000 toneladas de petróleo en medios marinos e interiores del planeta como resultado de 215 incidentes.

Agua dulce

El volumen total de agua en la Tierra es de aproximadamente 1.400 millones de km3 de los cuales sólo el 2,5%, o alrededor de 35 millones de km3, corresponde al agua dulce. La mayor parte del agua dulce se presenta en forma de hielos perennes o nieves eternas,

ubicados en la región antártica y en Groenlandia, o en profundos acuíferos de aguas subterráneas. Las principales fuentes de agua para uso humano son los lagos, ríos, la humedad del suelo y cuencas de aguas subterráneas relativamente poco profundas.
La parte aprovechable proveniente de esas fuentes es aproximadamente de sólo 200.000 km3 de agua, es decir menos del 1% del total de agua dulce y sólo el 0,01% de toda el agua del planeta. La gran parte de esa agua disponible está ubicada lejos de las poblaciones humanas, lo que complica aún más las cuestiones relativas al aprovechamiento del agua.
La recarga de agua dulce depende de la evaporación proveniente de la superficie de los océanos. Cerca de 505.000 km3, equivalente a una capa de 1,4 metros de espesor, se evaporan de los océanos cada año. Otros 72.000 km3 se evaporan de la tierra. Alrededor del 80% del total de las precipitaciones, es decir, alrededor de 458.000 km3/año, cae en los océanos y los restantes 119.000 km3/año, sobre la tierra.

Escasez de agua

Cerca de una tercera parte de la población del planeta vive en países que sufren estrés hídrico entre moderado y alto, es decir donde el consumo de agua es superior al 10% de los recursos renovables de agua dulce.
Unos 80 países, que representan el 40% de la población mundial, sufrían una grave escasez de agua a mediados del decenio de los noventa y se calcula que en menos de 25 años dos terceras partes de la población mundial estarán viviendo en países con estrés hídrico.
Se prevé que para el año 2020, el aprovechamiento de agua aumentará en un 40% y que se necesitará un 17% adicional para la producción alimentaria a fin de satisfacer las necesidades de una población en crecimiento.
Los tres principales factores que causaron un aumento en la demanda de agua durante el siglo pasado fueron el crecimiento demográfico, el desarrollo industrial y la expansión del cultivo de regadío. A la agricultura se le adjudica la mayor parte de la extracción de agua dulce en las economías en desarrollo durante los últimos dos decenios. Los responsables de planificación siempre supusieron que se satisfaría una demanda en crecimiento dominando aún más el ciclo del agua mediante la construcción de más infraestructura. La construcción de diques en los ríos fue tradicionalmente una de las principales vías para garantizar recursos hídricos suficientes para el riego, la producción de energía hidroeléctrica y uso doméstico. La moderada o fuerte fragmentación de cerca del 60% de los 227 ríos más grandes del mundo por medio de diques, desvíos o canales, ha tenido repercusiones en los ecosistemas de agua dulce. La infraestructura mencionada ha proporcionado importantes beneficios tales como una mayor producción alimentaria y energía hidroeléctrica. Los costos han sido importantes también.
El énfasis puesto en el abastecimiento de agua, combinado con una débil aplicación de los reglamentos, limitó la eficacia de la ordenación de los recursos hídricos, especialmente en las regiones en desarrollo. Los responsables de la adopción de políticas ahora cambiaron las soluciones completamente centradas en el abastecimiento por la gestión de la demanda, recalcando la importancia de utilizar una combinación de medidas que garanticen suficiente abastecimiento de agua para diferentes sectores.
Entre las medidas se cuentan mejorar la eficacia en el aprovechamiento del agua, políticas de precios y el proceso de privatización. Asimismo, se concede nueva importancia a la

la función de un ecosistema no ha sido todavía establecida con claridad. Se sabe que ciertas especies cumplen una función más significativa que otras; a ellas se las ha denominado especies «clave», pues la pérdida de cualquiera de ellas tiene un efecto particularmente perjudicial. La reducción del número de especies afecta la prestación de todos los servicios de un ecosistema porque la captación de recursos (de energía, agua y nutrientes) es mayor en los sistemas más diversificados. Algunos ecosistemas, como los de las zonas áridas y árticas, parecen ser particularmente vulnerables a las intervenciones humanas.

En estos sistemas, relativamente pocos organismos comparten funciones ecológicas comunes.

La diversidad de especies puede tener también una función amortiguadora contra los efectos de la actividad humana sobre los ecosistemas.

Se han establecido varios acuerdos internacionales que tratan de manera específica de la conservación de especies amenazadas.

Cambios climáticos y calentamiento de la Tierra

Durante los años 1990 los cambios climáticos aparecieron como una de las amenazas potenciales más serias a la diversidad biológica. Algunos ecosistemas podrían desaparecer, mientras que otros podrían experimentar cambios profundos en la composición de sus especies. La desertificación podría aumentar en algunas zonas y algunas especies podrían hacerse también más vulnerables a la extinción.

No está claro cuál es el efecto que los cambios climáticos han tenido sobre la diversidad biológica hasta la fecha.

Deposición de nitrógeno

La deposición de nitrógeno se ha transformado en una de las causas principales de pérdida de diversidad biológica.

La deposición ha aumentado considerablemente en los últimos decenios, principalmente como resultado del aumento del uso de fertilizantes y de la quema de combustibles fósiles. El aumento de nitrógeno en el suelo y en el agua puede llevar a la pérdida de especies y a cambios en la composición de especies en comunidades de plantas. Los ecosistemas acuáticos son los más vulnerables; la deposición de nitrógeno puede causar eutrofización, que es actualmente una de las amenazas más serias a los medios acuáticos, particularmente las aguas interiores donde se crían muchas de las especies comerciales de peces y mariscos. La deposición de nitrógeno también ha sido asociada con el aumento reciente de proliferación tóxica de algas.

Derrames de petróleo

Los derrames de petróleo también han afectado gravemente la diversidad biológica durante los últimos decenios.

En 1998 solamente se derramaron 108.000 toneladas de petróleo en medios marinos e interiores del planeta como resultado de 215 incidentes.

Agua dulce

El volumen total de agua en la Tierra es de aproximadamente 1.400 millones de km3 de los cuales sólo el 2,5%, o alrededor de 35 millones de km3, corresponde al agua dulce. La mayor parte del agua dulce se presenta en forma de hielos perennes o nieves eternas,

ubicados en la región antártica y en Groenlandia, o en profundos acuíferos de aguas subterráneas. Las principales fuentes de agua para uso humano son los lagos, ríos, la humedad del suelo y cuencas de aguas subterráneas relativamente poco profundas.
La parte aprovechable proveniente de esas fuentes es aproximadamente de sólo 200.000 km3 de agua, es decir menos del 1% del total de agua dulce y sólo el 0,01% de toda el agua del planeta. La gran parte de esa agua disponible está ubicada lejos de las poblaciones humanas, lo que complica aún más las cuestiones relativas al aprovechamiento del agua.
La recarga de agua dulce depende de la evaporación proveniente de la superficie de los océanos. Cerca de 505.000 km3, equivalente a una capa de 1,4 metros de espesor, se evaporan de los océanos cada año. Otros 72.000 km3 se evaporan de la tierra. Alrededor del 80% del total de las precipitaciones, es decir, alrededor de 458.000 km3/año, cae en los océanos y los restantes 119.000 km3/año, sobre la tierra.

Escasez de agua

Cerca de una tercera parte de la población del planeta vive en países que sufren estrés hídrico entre moderado y alto, es decir donde el consumo de agua es superior al 10% de los recursos renovables de agua dulce.
Unos 80 países, que representan el 40% de la población mundial, sufrían una grave escasez de agua a mediados del decenio de los noventa y se calcula que en menos de 25 años dos terceras partes de la población mundial estarán viviendo en países con estrés hídrico.
Se prevé que para el año 2020, el aprovechamiento de agua aumentará en un 40% y que se necesitará un 17% adicional para la producción alimentaria a fin de satisfacer las necesidades de una población en crecimiento.
Los tres principales factores que causaron un aumento en la demanda de agua durante el siglo pasado fueron el crecimiento demográfico, el desarrollo industrial y la expansión del cultivo de regadío. A la agricultura se le adjudica la mayor parte de la extracción de agua dulce en las economías en desarrollo durante los últimos dos decenios. Los responsables de planificación siempre supusieron que se satisfaría una demanda en crecimiento dominando aún más el ciclo del agua mediante la construcción de más infraestructura. La construcción de diques en los ríos fue tradicionalmente una de las principales vías para garantizar recursos hídricos suficientes para el riego, la producción de energía hidroeléctrica y uso doméstico. La moderada o fuerte fragmentación de cerca del 60% de los 227 ríos más grandes del mundo por medio de diques, desvíos o canales, ha tenido repercusiones en los ecosistemas de agua dulce. La infraestructura mencionada ha proporcionado importantes beneficios tales como una mayor producción alimentaria y energía hidroeléctrica. Los costos han sido importantes también.
El énfasis puesto en el abastecimiento de agua, combinado con una débil aplicación de los reglamentos, limitó la eficacia de la ordenación de los recursos hídricos, especialmente en las regiones en desarrollo. Los responsables de la adopción de políticas ahora cambiaron las soluciones completamente centradas en el abastecimiento por la gestión de la demanda, recalcando la importancia de utilizar una combinación de medidas que garanticen suficiente abastecimiento de agua para diferentes sectores.
Entre las medidas se cuentan mejorar la eficacia en el aprovechamiento del agua, políticas de precios y el proceso de privatización. Asimismo, se concede nueva importancia a la

ordenación integrada de los recursos hídricos, que toma en cuenta a todas las diferentes partes interesadas en la planificación, desarrollo y ordenación de dichos recursos.

Cultivo de riego

La agricultura utiliza más del 70% del agua dulce que se obtiene de lagos, ríos y corrientes subterráneas.

La mayor parte se utiliza para el riego, posibilitando cerca del 40% de la producción alimentaria mundial. Durante los últimos 30 años, la superficie de tierras irrigadas aumentó de menos de 200 millones de hectáreas a más de 270 millones de hectáreas. En el mismo período, las extracciones de agua mundiales crecieron de cerca de 2.500 km3 a más de 3.500 km3. Una ordenación deficiente tuvo como consecuencia la salinización de cerca del 20% de las tierras irrigadas del planeta, con otro millón y medio de hectáreas afectadas por año, hecho que reduce considerablemente la producción de los cultivos.

Los países más gravemente afectados son los que se encuentran principalmente en regiones áridas y semiáridas.

Dentro de las medidas de intervención se incluyen programas nacionales de acción, examen y reforma de las políticas relativas al agua, promoción de una mayor eficiencia en el aprovechamiento del agua y transferencia de tecnología de riego. En el ámbito internacional, la FAO puso en marcha en 1993 un sistema de información mundial, AQUASTAT, que suministra datos sobre el aprovechamiento del agua en la agricultura.

Agua y saneamiento

Para muchas de las poblaciones más pobres del mundo, una de las mayores amenazas ambientales a la salud sigue siendo el empleo continuo de agua no tratada. Mientras que el porcentaje de personas a las que se les suministra agua mejorada aumentó de 79% (4,1 mil millones) en 1990 a 82% (4,9 mil millones) en 2000, 1.100 millones de personas todavía no cuentan con agua potable segura y 2.400 millones carecen de acceso a un mejor saneamiento.

Suministrar a los habitantes de las ciudades servicios de agua potable y saneamiento sigue siendo un desafío particular. Durante la primera mitad del decenio de los noventa, se suministró agua potable a unos 170 millones de habitantes de ciudades de países en desarrollo, y saneamiento adecuado a 70 millones; sin embargo, la repercusión fue limitada porque a fines de 1994, cerca de otros 300 millones de habitantes urbanos aún carecían del suministro de agua potable, mientras que a casi 600 millones les faltaba suficiente saneamiento.

No obstante, gran parte del éxito de muchos países en desarrollo se relaciona con las inversiones en el tratamiento de aguas residuales en los últimos 30 años, con las «que se ha frenado la disminución de la calidad del agua de superficie, e incluso mejorado».

Calidad del agua

Los problemas de calidad del agua pueden ser a menudo tan graves como aquellos relativos a la hidraulicidad, sólo que se les ha prestado menos atención, especialmente en las regiones en desarrollo. Entre las fuentes de contaminación pueden citarse las aguas residuales no tratadas, efluentes químicos, filtraciones y derrames de petróleo, vertimiento en minas y pozos abandonados, y productos químicos agrícolas provenientes de los campos de labranza que se escurren o se filtran en la tierra. Más de la mitad de los principales ríos del planeta están gravemente agotados y contaminados, por lo que degradan y contaminan los ecosistemas y amenazan la salud y el sustento de las personas que dependen de ellos.

En el decenio de los noventa, se realizaron numerosos y novedosos esfuerzos para controlar la calidad del agua y establecer mejores políticas y programas.

Por ejemplo, los programas de control de la calidad del agua se pusieron en práctica (con diferente grado de éxito) en muchas cuencas fluviales internacionales, entre ellas, las de los ríos Danubio, Rin, Mekong, de la Plata y Nilo. El Programa del Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente del PNUMA proporciona también datos e información relativos a la calidad del agua tanto para fines de evaluación como de gestión.

Aguas subterráneas

Cerca de 2.000 millones de personas, aproximadamente una tercera parte de la población mundial, dependen del aprovisionamiento de aguas subterráneas y extraen cerca del 20% del agua total del planeta (entre 600 y 700 km3) por año, del cual gran parte proviene de acuíferos superficiales. Muchos habitantes de zonas rurales dependen completamente de las aguas subterráneas.

Zonas marinas y costeras

Los avances de los últimos 30 años en materia de protección del medio marino y costero se han limitado por lo general a relativamente pocos países, en su mayoría desarrollados, y a relativamente pocos temas ambientales.

En su totalidad, la degradación del medio marino y costero no sólo continúa, sino que se ha intensificado.

Persisten las amenazas más serias para los océanos reconocidas en 1972, como la contaminación marina, la sobreexplotación de los recursos biológicos marinos y la pérdida de hábitat costeros, a pesar de las medidas nacionales e internacionales tomadas para resolverlas.

Sin embargo, se han dado cambios de perspectiva significativos y han surgido nuevas inquietudes.

La explotación de los recursos biológicos y la pérdida de hábitat son consideradas ahora como una amenaza tan grave para el océano como la contaminación marina.
La degradación marina y costera es producto de la creciente presión ejercida sobre los recursos naturales tanto terrestres como marinos y sobre el aprovechamiento de los océanos como depósito de desechos. El crecimiento demográfico y el incremento cada vez mayor de la urbanización, la industrialización y el turismo en zonas costeras son causas fundamentales de esta presión que va en aumento. En 1994, aproximadamente 37% de la población mundial vivía en un radio de 60km de la costa, más habitantes que los que poblaban la Tierra en 1950.

Contaminación marina

A escala mundial, las aguas residuales siguen siendo, por volumen, la principal fuente de contaminación del medio marino y costero; las descargas de aguas residuales costeras han aumentado de manera considerable en los tres últimos decenios. Por otra parte, en virtud de la elevada demanda de agua en las zonas urbanas, el suministro hidráulico tiende a rebasar la capacidad del sistema de alcantarillado, lo que incrementa el volumen de aguas residuales.
Los problemas de salud pública causados por la contaminación de las aguas costeras con agentes patógenos transportados por las aguas residuales eran bien conocidos durante el decenio de los setenta, y en muchos países desarrollados un mejor tratamiento de las aguas residuales y la reducción de la eliminación de contaminantes industriales y de algunos contaminantes domésticos en los sistemas municipales han mejorado de manera significativa la calidad del agua. En los países en desarrollo, sin embargo, no se ha avanzado al mismo ritmo en el suministro de servicios sanitarios básicos, en los sistemas de alcantarillado urbanos y en el tratamiento de aguas residuales. Los altos costos de capital, el ritmo acelerado de la urbanización y, en muchos casos, la limitada capacidad técnica, administrativa y financiera de planificación y gestión urbanas, así como la operación continuada de los sistemas de tratamiento de aguas residuales constituyen obstáculos para lograr un funcionamiento eficaz. Es urgente eliminar estos obstáculos y contar con enfoques alternativos.
Se ha comprobado recientemente que bañarse en aguas que cumplen de sobra con las normas microbiológicas sigue representando un riesgo significativo de contraer enfermedades gastrointestinales, y que la contaminación de los mares con aguas residuales es un problema de salud de proporciones mundiales.
Las descargas de aguas residuales con frecuencia son la fuente local dominante cercana a las zonas urbanas, pero el aporte mundial está dominado por escorrentías[10] agrícolas y por la deposición atmosférica. Los niveles de nitrógeno se exacerban por la pérdida generalizada de interceptores naturales como los humedales costeros, los arrecifes de coral y los bosques de mangles.

[10] Escorrentías, la diferencia entre la precipitación sobre la superficie terrestre y la evaporación de esa superficie

En la época en que se celebró la Conferencia de Estocolmo, la escorrentía de nutrientes de tierras agrícolas «no representaba todavía un problema mundial importante». La utilización de fertilizantes se ha estabilizado en el mundo desarrollado, pero está aumentando en los países en desarrollo, tendencia que es de esperarse que continúe.
Sin duda, la utilización de fertilizantes ha proliferado por la generalización de subsidios, lo que refleja la prioridad política atribuida al incremento de la producción de alimentos y a la reducción del costo de los mismos.
La aportación de contaminantes atmosféricos, derivada principalmente de las emisiones de vehículos y de la industria y, en algunas áreas, de la evaporación del estiércol y otros fertilizantes, dominan las aportaciones de nitrógeno antropogénico a algunas zonas costeras. Se espera que aumenten con el incremento de la industrialización y de la utilización de vehículos, en especial en regiones en desarrollo.
Asimismo, se incrementarán las aportaciones atmosféricas de nitrógeno en las aguas oceánicas pobres en nitrógeno, con efectos potenciales significativos en la producción primaria y el ciclo del carbono.
La eutrofización marina y costera producto de las elevadas aportaciones de nitrógeno se ha convertido en una tendencia preocupante no prevista tres decenios atrás.
En la época de la Conferencia de Estocolmo, la preocupación por la salud de los océanos se centraba en la contaminación por contaminantes orgánicos persistentes (en particular DDT y BPC), metales pesados y petróleo. Algunas respuestas han sido eficaces; por ejemplo, la introducción de gasolina sin plomo ayudó a reducir los niveles de plomo en las Bermudas; algunos reglamentos nacionales y acuerdos internacionales, como el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL), propiciaron la reducción de las descargas de petróleo derivadas de las operaciones de buques petroleros; y además, las poblaciones de aves acuáticas en América del Norte afectadas por el DDT se recuperaron al prohibirse la utilización de este producto químico en la región.

Alteraciones físicas

La Conferencia de Estocolmo e informes contemporáneos reconocieron la importancia de los estuarios y de otros hábitats costeros, pero la principal preocupación entonces residía en los efectos de la contaminación en ellos. La alteración y la destrucción física directa de los hábitats se consideran actualmente como la más importante de las amenazas al medio ambiente costero. El móvil de la alteración física es el desarrollo social y económico mal planificado y acelerado de las zonas costeras, que a la vez son el resultado de presiones cada vez mayores representadas por la población, la urbanización e industrialización, el transporte marítimo y el turismo.
La alteración del hábitat es resultado de actividades tales como el dragado de puertos, los vertederos, la eliminación costera de desechos sólidos, la construcción y las carreteras en las zonas costeras, la tala de bosques costeros, la explotación de recursos mineros en playas y arrecifes, y el apisonado de los mismos, los daños provocados por anclas y buceo relacionados con el turismo y las actividades recreativas, para mencionar sólo algunos ejemplos importantes. Eludir el valor económico de estos hábitats exacerba el problema. Los bosques de mangles, por ejemplo, se consideran generalmente como yermos listos para su «rescate», a pesar de un valor económico calculado en alrededor de 10 000 dólares/ha/año.

A escala mundial, alrededor de la mitad de los humedales y más de la mitad de los bosques de mangles se perdieron durante el siglo pasado, en gran medida por la alteración física. Aproximadamente 58% de los arrecifes de coral del mundo están amenazados principalmente por la destrucción física directa, entre otras causas también importantes.

2.3 Impacto del cambio climático y atmosférico mundial en los sistemas humanos y naturales

El rápido calentamiento de la Tierra causado por cambios atmosféricos inducidos por el hombre, calculado por el IPCC, podría tener efectos dramáticos en el océano al representar una amenaza para los valiosos ecosistemas costeros y los sectores económicos que dependen de ellos. Otras probables consecuencias son complejas y poco comprendidas. El calentamiento polar y el derretimiento de los casquetes glaciares podrían frenar la geoconvección mundial de la atmósfera y los océanos, al alterar potencialmente el flujo de las principales corrientes marinas. El calentamiento de las capas superficiales de los océanos y un incremento en el aporte de agua dulce podrían reducir la corriente ascendente de nutrientes en la que se sustenta mucha de la productividad del océano. Por otro lado, podría intensificarse la corriente ascendente altamente productiva del lado oriental de algunos océanos, según algunos pronósticos, de ocurrir un calentamiento relativamente mayor. El IPCC estima que aumentará la frecuencia e intensidad de las tormentas y otros fenómenos meteorológicos extremos, lo que aumentará las alteraciones naturales en los ecosistemas costeros y quizás reduzca su capacidad de recuperación.

Revisten un interés especial los posibles efectos del calentamiento de la Tierra en los arrecifes de coral.

Durante el intenso episodio de *El Niño* de 1997/1998, se registró un extenso descoloramiento del coral en los arrecifes coralinos de todo el mundo. Mientras que algunos arrecifes se recuperaron rápidamente, otros, en particular en el Océano Índico, Asia Sudoriental y el extremo occidental del Pacífico, sufrieron una mortalidad significativa, en algunos casos de más de 90%.

Algunos modelos predicen un cambio a largo plazo a mayores y más frecuentes episodios de *El Niño* o condiciones similares. En el año 2000, también se observó el descoloramiento masivo de los corales en diversas partes del mundo, lo que representa un posible indicio de que ese fenómeno se está volviendo más frecuente. Otra amenaza que se cierne sobre los arrecifes es el incremento en la concentración de CO_2 en el agua de mar, que vulnera la deposición de sus esqueletos calizos.

Las medidas de protección propuestas para resolver el aumento del nivel del mar causado por el cambio climático pasaron de construcciones sólidas como rompeolas a una combinación de medidas de protección suaves (como el aumento de las playas y la creación de zonas pantanosas), planes de adaptación (como nuevos códigos de construcción) y revocación de medidas, como el cese de nuevas construcciones costeras. Algunas de las propuestas para resolver el cambio climático mundial son en sí motivo de preocupación, en particular la de interrumpir la transferencia natural de CO_2 procedente de la atmósfera al océano, mediante la fertilización de extensas zonas de la superficie oceánica con nitrógeno o hierro para propiciar el crecimiento del fitoplancton, o la de inyectar CO_2 directamente en aguas profundas. Los efectos de estas medidas de gran escala no son predecibles, pero potencialmente pueden resultar enormes.

Los pequeños estados insulares en desarrollo (SIDS, según sus siglas en inglés) y las zonas costeras bajas son especialmente vulnerables a los efectos del aumento del nivel del mar y a condiciones climáticas más extremas.

Por otra parte, su naturaleza es completamente costera y, por lo tanto, son más dependientes de los recursos costeros y marinos. El reconocimiento de esta vulnerabilidad especial en la *Agenda 21* de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) llevó a la adopción en 1994 del Programa de Acción de Barbados para el Desarrollo Sostenible de los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo.

Urbanización

Cerca de la mitad de la población del mundo (47%) vive en zonas urbanas, cifra que, según se estima, crecerá un 2% anual en el periodo comprendido entre los años 2000 y 2015. La concentración de personas, sus pautas de consumo, sus tipos de desplazamientos y las actividades económicas urbanas, ejercen efectos de consideración en el medio ambiente en lo relativo al consumo de recursos y a la descarga de desechos. No obstante, son también las ciudades las que ofrecen la oportunidad de atender de manera sostenible el crecimiento de la población.

Los crecientes niveles de urbanización son consecuencia del incremento natural de la población urbana y de la migración de la población rural a las ciudades.

Durante los últimos cincuenta años, una gran proporción de la población rural se ha convertido en urbana, proceso de urbanización que continuará bien entrado el siglo XXI (como urbanización se entiende la concentración de las personas y actividades en áreas clasificadas como urbanas).

Entre los factores que propician esta situación se encuentran las oportunidades y servicios que ofrecen las zonas urbanas, en especial los empleos y la educación, en tanto que en algunas partes del mundo, principalmente en África, otras causas significativas son los conflictos, la degradación de la tierra y el agotamiento de los recursos naturales.

Las ciudades representan un papel importante, no sólo como proveedoras de empleo, albergue y servicios, sino también como centros de desarrollo cultural, educativo y tecnológico, como puertas de entrada hacia el resto del mundo, centros industriales para el procesamiento de productos agrícolas y de manufacturas, lugares en donde generar ingresos.

Hay un estrecho vínculo positivo entre los niveles de desarrollo humano y los niveles de urbanización de un país. Sin embargo, un rápido crecimiento urbano conlleva un desempleo creciente, degradación ambiental, falta de servicios urbanos, sobrecarga de la infraestructura existente y carencia de acceso a la tierra, recursos financieros y una vivienda adecuada. Por todo lo anterior, uno de los principales retos del futuro será el manejo de la sostenibilidad del medio ambiente urbano.

Los niveles de urbanización presentan una estrecha correlación con el ingreso nacional (los países más desarrollados ya están urbanizados en su mayor parte) y en casi todos los países las zonas urbanas representan una parte desproporcionada del Producto Interno Bruto (PIB). Desde la perspectiva mundial, las ciudades producen un promedio del 60% del PIB de un país. El rápido aumento de la población urbana en el mundo, acompañado del menor crecimiento de la población rural, ha conducido a una redistribución demográfica a gran escala durante los últimos 30 años. Para el año 2007 la mitad de la población mundial vivirá en zonas urbanas, proporción que se compara con poco más de la tercera parte en 1972; de este modo, el periodo de 1950 a 2050 presenciará un cambio en el 65% de su población,

que de rural pasará a ser urbana. Para el año 2002, el 70% de la población urbana del mundo estará viviendo en África, Asia o América Latina.

En la actualidad los cambios más radicales se presentan en los niveles de urbanización en los países menos desarrollados, que han aumentado de cerca del 27% en 1975 al 40% en el año 2000, incremento de más de 1 200 millones de personas. Además, todo indica que la tendencia continuará durante los siguientes 30 años, agregando 2.000 millones de personas a la población urbana de los países actualmente menos desarrollados.

Con estos promedios mundiales hay complejas diferencias regionales en el crecimiento y transformación urbanos. La evolución del porcentaje anual en la población urbana por región muestra una disminución general en el ritmo de urbanización en todas las regiones excepto en América del Norte.

Ha habido un radical aumento en el número y tamaño de las megalópolis (ciudades con más de 10 millones de habitantes) y de concentraciones urbanas en la segunda mitad del siglo XX, así como un cambio en la distribución geográfica de estas ciudades. En 1900 nueve de las diez ciudades más grandes se encontraban en América del Norte y Europa, en tanto que en la actualidad sólo tres se encuentran en el mundo desarrollado (Los Ángeles, Nueva York y Tokio). No obstante, la mayoría de la población urbana del mundo aún vive en ciudades pequeñas y medianas, las cuales ahora están experimentando un crecimiento más rápido que las grandes urbes en el mayor número de países.

Medio ambiente urbano

Las zonas urbanas no sólo tienen un impacto ambiental local, sino que también provocan enormes consecuencias de las llamadas «huellas ecológicas». Las ciudades ejercen una gran variedad de efectos en sus alrededores: conversión de la tierra agrícola o forestal para usos e infraestructura urbanas; rescate de humedales; explotación de canteras y excavaciones para la obtención de arena, grava y materiales de construcción en grandes cantidades; y en algunas regiones, actividades de deforestación para satisfacer la demanda de combustible. El uso de combustibles de biomasa también ocasiona contaminación atmosférica interior y exterior. Otros efectos pueden percibirse en lugares distantes, como es el caso de la contaminación de vías fluviales, lagos y aguas costeras por efluentes no tratados. La contaminación atmosférica de las ciudades tiene un impacto en la salud de sus residentes así como en la vegetación y suelos de lugares ubicados a una distancia considerable. El transporte urbano contribuye a la contaminación atmosférica y la gran concentración de automóviles y fábricas en las ciudades ocasiona la mayor parte de emisiones urbanas de gases de efecto invernadero en todo el mundo. Las ciudades a menudo se encuentran ubicadas en suelos agrícolas de elevada calidad. Si esta tierra se destina a usos urbanos, se agrega más presión a las zonas circunvecinas, que pueden ser menos adecuadas para la agricultura. La urbanización en zonas costeras con frecuencia ocasiona la destrucción de ecosistemas importantes y también puede alterar la hidrología de las costas y sus características naturales tales como manglares, arrecifes y playas que sirven como barreras contra la erosión y conforman importantes hábitat para algunas especies.

Las zonas residenciales de una densidad baja a media (con una expansión urbana) alrededor de los centros urbanos son un elemento común en el mundo desarrollado. La infraestructura bien desarrollada y el uso creciente del automóvil han facilitado esta tendencia. Este fenómeno en expansión tiene un efecto especialmente dañino para el medio ambiente derivado del aumento en el uso de transporte motorizado privado. Además, el desarrollo de baja densidad ocupa proporcionalmente áreas más extensas de tierra per cápita. El agua es un elemento básico en las zonas urbanas. La intensidad de la demanda en las ciudades puede exceder rápidamente el abastecimiento local. Normalmente el precio del agua es más bajo que el costo real que implica su obtención, tratamiento y distribución, en parte gracias a los subsidios gubernamentales. Como consecuencia, los hogares y las industrias muestran poco interés en conservarla.

La contaminación proveniente de escorrentías, aguas residuales y descargas industriales no tratadas ha afectado muchas masas de agua, por lo que se ha dejado a muchas ciudades sin un suministro seguro de agua.

Si bien ciertos problemas ambientales locales tienden a disminuir cuando aumentan los niveles de ingresos, otros tienden a empeorar.

Los más evidentes son los altos niveles en el uso de energía y los niveles crecientes en el consumo y en la producción de desechos. Los habitantes de las urbes utilizan en gran medida los combustibles fósiles y la electricidad y son las ciudades más ricas las que tienden a utilizar más energía y producir más desechos.

La recolección de desechos y los sistemas inadecuados de su manejo de son la causa de la grave contaminación urbana y los peligros para la salud, especialmente en ciudades de países en desarrollo. En la actualidad, ciudades de países industrializados están enfrentando también las consecuencias de técnicas de producción dañinas para el medio ambiente y un manejo inadecuado de desechos en el pasado. Esta negligencia ha ocasionado varias formas de contaminación y, en particular, la aparición de terrenos contaminados en antiguas zonas industriales actualmente abandonados, desocupados o parcialmente aprovechados, en donde el nuevo desarrollo se ve impedido por problemas ambientales y falta de información adecuada sobre el manejo de tierras contaminadas. Otro problema que se presenta en los países desarrollados es la falta de vertederos sanitarios para satisfacer la demanda creciente de lugares para eliminación de residuos sólidos.

Con el empeoramiento de las condiciones ambientales se pueden presentar efectos graves en la salud y bienestar humanos, especialmente para los sectores de la sociedad menos favorecidos. Los servicios sanitarios deficientes ocasionan riesgos ambientales y para la salud, en particular debido a la exposición directa a las heces fecales y a la contaminación el agua potable. La contaminación atmosférica y del agua ocasiona enfermedades respiratorias crónicas e infecciosas, enfermedades transmitidas por el agua, como la diarrea y las infecciones por parásitos intestinales, así como tasas de mortalidad mayores, particularmente entre niños, y muertes prematuras, en especial entre los sectores más pobres.

No obstante, la información epidemiológica y demográfica mundial sugiere que los índices de supervivencia son mejores en las ciudades que en las zonas rurales gracias a un mejor acceso a los servicios de salud. Los sectores urbanos más pobres están particularmente expuestos debido a su ubicación y a la limitación de sus recursos para la compra de agua potable, para acceder a atención médica o protegerse de inundaciones, como forma de contrarrestar tales problemas. Hay muchos otros efectos ambientales menos cuantificables aunque igualmente importantes, como ser la pérdida de áreas verdes en las zonas urbanas, la destrucción de ecosistemas locales característicos, la contaminación acústica, así como otros elementos desagradables para la vista y el olfato. Éstos constituyen no sólo una auténtica pérdida del bienestar, sino que pueden afectar el orgullo cívico y bajar la moral, lo que genera actitudes locales de indiferencia y cinismo, así como una imagen externa negativa.

La huella ambiental urbana relativamente desproporcionada es aceptable hasta cierto grado debido a que, en algunas cuestiones, el impacto ambiental per cápita de las ciudades es menor que el que generaría un número similar de personas en un ambiente rural. Las ciudades concentran poblaciones en un modo que reduce la presión a la tierra, generan economías de cierta escala y facilitan la proximidad de la infraestructura y los servicios. Por lo tanto, las zonas urbanas mantienen la promesa de un desarrollo sostenible gracias a su capacidad de albergar a un gran número de personas al tiempo que limitan sus efectos per cápita en el medio ambiente natural.

Los problemas ambientales surgen debido a la concentración de efectos negativos para el medio ambiente. La buena planeación urbana puede reducir estos efectos. Los asentamientos bien planeados y densamente poblados pueden reducir la necesidad de cambio en el uso de la tierra, ofrecer oportunidades de ahorro de energía y efectuar el reciclaje con una mayor eficiencia de costos. Si las ciudades están bajo una administración adecuada, con la suficiente atención puesta en el desarrollo social y el medio ambiente, se pueden evitar los problemas generados como consecuencia de una urbanización rápida, particularmente en las regiones en vías de desarrollo. Un primer paso para avanzar en esta dirección sería que los gobiernos de cada país incorporen expresamente un componente urbano en sus políticas tanto económica como de otra naturaleza.

El éxito en la ordenación del medio ambiente urbano implica el aumento de la eficiencia de los recursos, la reducción en la generación de desechos, el mejoramiento de la infraestructura urbana para suministro de agua, la gestión y conservación de los recursos hídricos en zonas urbanas mediante un mejor tratamiento de aguas residuales y una legislación acorde que establezca esquemas de reciclado, desarrollo de sistemas más efectivos para la recolección de desechos, una reglamentación estricta para el tratamiento de desechos peligrosos, recolección de desechos a cargo de sociedades de cooperación pública y privada, aplicación de tecnología energética, tanto en el ámbito industrial como en el doméstico, y restauración de terrenos industriales contaminados.

El suelo y el cambio climático

Las consecuencias del cambio climático mundial en la agricultura y los ecosistemas son altamente inciertas. Basados en modelos de simulación, los impactos más probables son efectos favorables generales para los márgenes más fríos de la zona templada, y consecuencias adversas para la zona semiárida subtropical.

Los cambios regionales en el clima ya han afectado a diferentes sistemas físicos y biológicos en muchas partes del mundo. Los periodos de crecimiento entre las latitudes medias y altas se han alargado. Se han observado cambios altitudinales y hacia los polos en la distribución geográfica de vegetales y animales. Los sistemas naturales bajo riesgo de ser afectados por el cambio climático incluyen los glaciares, atolones, ecosistemas polares y alpinos, humedales en las praderas y los pastizales autóctonos subsistentes. Entre los sistemas humanos vulnerables se encuentran la agricultura, principalmente la seguridad alimentaria, y la silvicultura.

Desde el decenio de los noventa, la cuestión del cambio climático dirigió la atención a la función de las tierras como el depósito terrestre del carbono. La degradación de tierras casi siempre implica la pérdida de materia orgánica presente en el suelo. Si esa tendencia pudiera contenerse o revertirse, sería muy posible secuestrar el carbono mediante la acumulación de los niveles de carbono almacenados en los suelos y en la cubierta vegetal.

Los bosques y los cambios climáticos

Los bosques a la vez influyen en los cambios climáticos y sufren su influencia, cumplen una función importante en el ciclo global del carbono, y su buena gestión o su destrucción pueden afectar de manera significativa el curso del calentamiento de la Tierra en el siglo XXI.

Los bosques contienen algo más de la mitad del carbono almacenado en la vegetación terrestre y en la materia orgánica del suelo. Los bosques boreales cuentan por el 26% del total de las reservas terrestres de carbono, mientras que los bosques tropicales y templados contienen el 20 y el 7% respectivamente. Aunque hay muchas incertidumbres con respecto a los cálculos de emisiones de carbono causadas por la deforestación, la remoción de la biomasa forestal contribuye de manera importante a las emisiones netas de dióxido de carbono a la atmósfera. Se calculó que durante los años ochenta y noventa se emitieron entre 1,6 y 1,7 gigatoneladas (109 toneladas) de carbono por año. Si se concretan los cambios climáticos que se han pronosticado, los efectos sobre los bosques variarán posiblemente según las regiones, serán profundos y de larga duración, y afectarán tanto la distribución como la composición de los bosques.

El Protocolo de Kyoto puede tener un gran efecto en el sector forestal. Las Partes del UNFCCC han logrado recientemente un acuerdo sobre las reglas y modalidades que se aplicarán para contabilizar el carbono secuestrado por los bosques. Esto puede abrir el camino para que los países desarrollados inviertan en proyectos de forestación y reforestación en los países en desarrollo a cambio de unidades de reducción de emisiones de carbono que obtendrían en conformidad con el Mecanismo de Desarrollo Limpio, reduciendo así el costo de implementación del mismo Protocolo.

Contaminación atmosférica y calidad del aire

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha dado una lista de seis contaminantes atmosféricos «clásicos»: CO; plomo; dióxido de nitrógeno (NO_2); partículas en suspensión (SPM), con inclusión de polvo, gases, neblinas y humos; SO_2; y ozono troposférico (O_3).

La quema de combustibles fósiles y de biomasa es la fuente más importante de contaminantes atmosféricos tales como el SO_2, el CO, ciertos óxidos nitrosos como el NO y el NO_2 (conocidos colectivamente como NO_x), las SPM, los compuestos orgánicos volátiles

(COV) y algunos metales pesados. Es también la principal fuente antropógena de dióxido de carbono (CO_2), que es uno de los gases de efecto invernadero más importantes. Entre 1973 y 1998, el suministro total de energía aumentó en un 57% la mayor parte de la cual provino del petróleo, el gas natural y el carbón, ya que la energía nuclear, hidroeléctrica o proveniente de otras fuentes renovables tuvo sólo un papel menor. Los combustibles utilizados varían de región a región; por ejemplo, el gas natural predomina en la Federación de Rusia, mientras que el carbón provee el 73% de la energía que se consume en China. La biomasa es una fuente importante de energía en el mundo en desarrollo y es también la fuente principal de contaminación del aire en locales cerrados en esos países.

Las deposiciones ácidas han sido una de las mayores preocupaciones ambientales durante los últimos decenios, especialmente en Europa y América del Norte, y más recientemente también en China. El daño considerable que causaban a los bosques en Europa se transformó en una cuestión de la más alta prioridad ambiental alrededor de 1980, mientras miles de lagos en Escandinavia perdieron poblaciones de peces debido a la acidificación que se produjo entre los años 1950 y 1980. En algunas partes de Europa las emisiones antropógenas de SO_2, que son causa de deposiciones ácidas, se han reducido en casi un 70% con respecto a sus niveles máximos; también se han registrado reducciones de aproximadamente el 40% en Estados Unidos. Esto ha dado como resultado una recuperación apreciable del equilibrio natural de ácido, al menos en Europa.

Por el contrario, el uso creciente del carbón y de otros combustibles de alto contenido de azufre ha causado un aumento de las emisiones de SO_2 en la región de Asia y el Pacífico, lo que constituye una seria amenaza ambiental.

Las emisiones de contaminantes atmosféricos han disminuido o se han estabilizado en la mayoría de los países industrializados, debido en gran parte a las políticas de reducción establecidas e implementadas desde los años setenta. Los gobiernos trataron inicialmente de aplicar instrumentos de control directo, pero éstos no siempre fueron eficaces en función de los costos.

La reglamentación ambiental más estricta de los países industriales ha llevado a la introducción de tecnologías más limpias y a mejoras tecnológicas, especialmente en los sectores de la generación de energía y del transporte.

En este último se ha logrado una reducción importante de las emisiones nocivas gracias a la mejora del ciclo de combustión de los motores, a la mayor eficiencia en la utilización del combustible, y a la introducción generalizada de convertidores catalíticos. Las emisiones de plomo provenientes de aditivos en la gasolina se han reducido hoy a cero en muchos países industrializados. En los países en desarrollo, sin embargo, las fuentes de las emisiones son más variadas e incluyen las altamente contaminantes centrales eléctricas, la industria pesada, los vehículos y la combustión doméstica de carbón, carbón de leña y biomasa. Aunque la emisión de contaminantes se puede reducir de manera importante a un costo menor, pocos son los países en desarrollo que han hecho inversiones en medidas de reducción de la contaminación, a pesar de que los beneficios que resultan de tales medidas para el medio ambiente y para la salud son evidentes.

Aunque ya se han logrado progresos mensurables en la reducción de emisiones industriales, al menos en los países desarrollados, el transporte se ha transformado en muchos países en

una de las mayores fuentes de contaminación atmosférica, especialmente de NO_x y de muchos otros compuestos de carbono.
La contaminación atmosférica urbana es uno de los problemas ambientales más importantes. Las concentraciones de SO_2 y de SPM han disminuido de manera substancial en la mayoría de las ciudades europeas y norteamericanas durante los últimos años. En cambio, la urbanización rápida ha provocado una creciente contaminación atmosférica en muchas ciudades de los países en desarrollo, en los que a menudo no se observan las directrices de la OMS en materia de calidad del aire, y donde predominan altos niveles de SPM en megalópolis como Beijing, Calcuta, Ciudad de México y Río de Janeiro.
Por último, otra cuestión que preocupa mundialmente es la de los contaminantes orgánicos persistentes (COP). Se sabe que estas sustancias se degradan lentamente y que pueden recorrer grandes distancias a través de la atmósfera. Se han encontrado altas concentraciones de algunos COP en regiones polares, lo cual puede tener consecuencias ambientales importantes en la región. Estos compuestos pueden también acumularse en los tejidos adiposos de los animales y comportan así un riesgo para la salud. El Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes, adoptado en mayo de 2001, establece una serie de medidas de control que cubren la manipulación de plaguicidas, sustancias químicas industriales y subproductos involuntarios.

2.4 Acuerdos sobre la disminución de emisiones de CO_2

En 1990, el Grupo de Trabajo III del IPCC, desarrolló cuatro escenarios[11] de emisiones futuras de gei. Un escenario es una descripción plausible de un posible futuro, basado en un conjunto coherente de supuestos sobre las relaciones clave y las fuerzas subyacentes (por ejemplo rapidez de cambio de la tecnología, precios, etc.) Los escenarios no son predicciones ni pronósticos.
Estos fueron utilizados por el Grupo de Trabajo I para producir estimaciones de la tasa y magnitud de cambio climático, representado por el promedio global de la temperatura mundial; de este conjunto de escenarios el más conocido es el llamado SA90[12], el cual fue la base para el desarrollo de seis escenarios alternativos[13].
Después de la publicación de esas primeras proyecciones, ha proliferado el número de propuestas para la reducción de emisiones de CO_2, conforme el objetivo de la CMCC el cual es: lograr la estabilización de las concentraciones de los gases efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático.
Este nivel debería alcanzarse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático. Este nivel debería alcanzarse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir el desarrollo económico en forma sostenible.

[11] Según el IPCC un escenario es una descripción plausible de un posible futuro, basado en un conjunto coherente de supuestos sobre las relaciones clave y las fuerzas subyacentes (por ejemplo rapidez de cambio de la tecnología, precios, etc.) Los escenarios no son predicciones ni pronósticos.
[12] SA90: Scenario A, en términos de recorrido de emisiones básicamente es el escenario posteriormente conocido como IS92a
[13] IS92a a la f

Dentro de este marco, el IPCC desarrolló recientemente otros escenarios conocidos como SRES[14] y post-SRES. A pesar de que algunos de estos escenarios logran la estabilización, aún siguen siendo estudios que muestran la factibilidad de mitigación y estabilización de CO_2 en la atmósfera. Solo proveen una base para sondear el ritmo de generación de emisiones necesaria para la estabilización de las concentraciones y de los posibles cambios globales climáticos en el futuro; de ninguna manera son acuerdos firmados por naciones o por regiones mundiales. Respecto a acuerdos mundiales de mitigación de CO_2, el único que está en negociación es el llamado Protocolo de Kyoto. Ampliamente discutido y actualmente sin firmar por algunos de los países participantes.

Protocolo de Kyoto

El protocolo de Kyoto acordado en 1997 para los países en el Anexo I[15] de la CMCC, que aún no ha sido firmado por todas las partes, estipuló un 5.2% en promedio de reducción en las emisiones de seis gei: HFC's[16].CO_2, CH_4, N_2O, PFC's y SF_6. Dicha reducción debía tener lugar en el período 2008- 2010, respecto a los niveles de 1990.

Los porcentajes particulares asignados en este protocolo incluyen objetivos de reducción, además de objetivos de limitación de emisiones para los siguientes países: Ucrania, Rusia y Nueva Zelanda, y otros en que se permite un aumento, tal es el caso de Australia con 8%; Islandia hasta con un 10% y Noruega con 1%. El compromiso cuantificado de limitación o reducción de las emisiones de gei se enunciar para cada país en la Tabla 2.I.

Escenarios y perfiles de emisión de CO_2, IPCC

El término escenario ya se definió anteriormente, la palabra *perfil* se utiliza para distinguir los recorridos hacia la estabilización en términos de concentraciones atmosféricas de gei, de aquellos recorridos de las emisiones a los que habitualmente se les llama "escenarios"

El Primer Informe de Evaluación del IPCC, emitido en 1990, además de alertar sobre el riesgo del cambio climático, hizo predicciones sobre la evolución del calentamiento en el futuro indicando la posibilidad de que la temperatura media del planeta aumentará 0.3°C por década durante el siglo XXI (con una incertidumbre de 0.2 a 0.5° por decenio). Las conclusiones empujaron la acción política a la plataforma internacional que se consolidó en la Cumbre de Río y más concreto en la CMCC.

Tras dos informes especiales en 1990 y 1994 con avances de investigación y desarrollos técnicos necesarios para la toma de decisiones políticas; en el segundo informe de evaluación del IPCC, los científicos tenían un objetivo muy ambicioso: intentar aclarar la influencia de las actividades humanas en el clima de la Tierra. En diciembre de 1995 el documento final estaba listo y manifestaba como una de sus principales conclusiones: el balance de evidencias sugiere que hay una influencia humana discernible en el clima global. Era la primera vez que esta organización de las Naciones Unidas admitía que el hombre está calentando la Tierra.

---

[14] Publicados en el reporte especial sobre escenarios de emisión (SRES por sus siglas en inglés: Special Report on Emission Scenarios)

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

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

[16] HFC's: Hidrofluorurocarbonos; PFC's: Perfluorocarbonos; SF_6: Hexafluoruro de azufre.

Tabla 2.I. Compromiso cuantificado de limitación o reducción de las emisiones bajo el Protocolo de Kyoto respecto a 1990, expresado como porcentaje

País	% de disminución
Alemania	8
Austria	8
Bélgica	8
Bulgaria	8
Canadá	6
Comunidad Europea	8
Croacia	5
Dinamarca	8
Eslovaquia	8
Eslovenia	8
España	8
Estados Unidos de América	7
Estonia	8
Finlandia	8
Francia	8
Grecia	8
Hungría	6
Irlanda	8
Italia	8
Japón	6
Letonia	8
Liechtenstein	8
Lituania	8
Luxemburgo	8
Mónaco	8
Países Bajos	8
Polonia	6
Portugal	8
Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	8
República Checa	8
Rumania	8
Suecia	8
Suiza	8

El protocolo de Kyoto estipuló un 5.2% de reducción en las emisiones de los gei: CO_2, CH_4, N_2O, HFC's, PFC's y SF_6 para los países en el Anexo I. Los porcentajes particulares asignados en este protocolo incluyen objetivos de reducción, además de objetivos de limitación de emisiones
Fuente: Adaptado de CMCC (1997)

Escenarios IS92

En ausencia de políticas sobre el clima diferentes a las adoptadas hasta ese momento y contemplando un horizonte de tiempo que abarcara el período 1990-2100, se basaron en diferentes comportamientos futuros del PIB, población, estructura de la oferta energética y la disponibilidad de energía nuclear y renovable, entre otros. Para la construcción de los escenarios IS92, el IPCC consideró:

1. Las enmiendas de Londres al protocolo de Montreal.
2. Las predicciones demográficas del Banco Mundial y de las Naciones Unidas.
3. El informe del subgrupo de energía e industria del IPCC 1990.

4. Los cambios políticos y económicos habidos en la antigua Unión Soviética, Europa Oriental y Oriente Medio.
5. Datos Actualizados sobre la deforestación tropical y sobre las fuentes y sumideros de gei.

Los seis escenarios IS92 indican que las emisiones de gei aumentarán velozmente en el transcurso del siglo en ausencia de medidas de control nuevas y explicitas. Sus principales características son:

1. IS92a e IS92b: Tanto el escenario (a) como el (b) estiman emisiones intermedias comparadas con los otros escenarios IS92. Para IS92b se utilizó información disponible hasta 1992 sobre los compromisos contraídos por algunos países OCDE para estabilizar sus emisiones de CO_2.
2. IS92c: Utiliza los valores más bajos de tasa de población y crecimiento económico, así como importantes limitaciones en el abastecimiento de combustibles fósiles. Es el escenario de más bajas emisiones y el único que presenta una tendencia decreciente de éstas.
3. IS92d: Basado en la misma tasa baja de crecimiento de población de IS92c, pero con un crecimiento económico mayor, reporta la segunda estimación más baja en los valores de emisión futuros.
4. IS92e: Supone un crecimiento intermedio de la población y altas tasas de crecimiento económico, con abundancia de combustibles de origen fósil. Proporciona las estimaciones más altas de emisiones futuras.
5. IS92f: Utiliza las estimaciones de población más altas de todos los IS92, con un crecimiento económico menor. Es el segundo escenario en cuanto a valores de emisión elevados.

Ninguno de los escenarios conduce a concentraciones estables de CO_2 atmosférico en 2100. Aunque IS92c arroja un crecimiento muy lento de la concentración de CO_2 a partir de 2050, en general los escenarios IS92a, b, f prevén una duplicación de los niveles de concentración preindustriales de CO_2 antes de 2070.

Dentro de cada uno de los seis escenarios se estiman emisiones para países desarrollados y en desarrollo. El IPCC reconoce a los países desarrollados como aquellos incluidos en el Anexo I de la CMCC. La característica principal de esos escenarios regionales es que las emisiones de países desarrollados son mucho más altas en las primeras décadas, sin embargo para el fin de siglo el comportamiento se invertirá y las emisiones de los países en desarrollo representarán el mayor porcentaje. Como ejemplo se observa en la siguiente figura el escenario IS92a para los países desarrollados (Anexo I) y países en desarrollo (No Anexo I[17]) en el que hay una clara tendencia creciente para ambos grupos de países. Partiendo de emisiones menores en 1990, los países en desarrollo muestran un incremento mayor. Alrededor del año 2040 los valores de emisiones se igualan.

[17] Países que ratificaron o accedieron a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo pero que no están incluidos en la CMCC

Otras propuestas para países Anexo I

El grupo de 42 países que integran la Alianza de Pequeños Estados Insulares (ADPEI[18]) en la CMCC, particularmente vulnerables al incremento del nivel de mar, mantiene una petición muy ambiciosa en cuanto a la reducción de CO_2 por parte de los países Anexo I (por lo menos en 20% desde 1990 hasta 2005). Esta y otras propuestas aplicables mas que todo a las emisiones de CO_2 fósil, son documentadas en el informe del Grupo Ad-hoc sobre el Mandato de Berlín (GAHMB) del 31 de enero de 1997. Otra propuesta que destaca es la elaborada por Dinamarca, la cual contempla reducciones del 20% en los niveles de 1990 para 2005 y en un 50% hasta 2030. En la Tabla 2.II aparecen las propuestas presentadas en ese informe junto con una reseña de sus principales objetivos de mitigación.

Tabla 2.II. Propuestas de limitación de emisiones para los países del Anexo I

Código	País (es) origen de la propuesta	Reducción de emisiones de CO_2
AOSIS	ADPEI	Al menos en un 20% hasta 2005.
AT/DE	Austria, Alemania	Un 10% hasta 2005 y un 15- 20% hasta 2010.
BE	Bélgica	De 10 a 20% hasta 2010.
DK	Dinamarca	20% a 2005 y 50% hasta 2030.
CH	Suiza	Además de CO_2 reducción de emisiones de N_2O y CH_4 en 10% para 2010.
UK	Reino Unido	De 5 a 10% para 2010
ZR	Zaire[19]	Retorno en 2000 a los niveles de emisión de gei de 1990; reducción de las emisiones en 10% hasta 2005, en 15% de aquí a 2010 y en un 20% hasta 2020.
NL	Países Bajos	1 a 2% anual compuesto en promedio a partir de 2000.
FR	Francia	Reducción por habitante en un 7 a 10% entre 2000 y 2010.Reducción de emisiones de gei por habitante hasta 1.6- 2.2 tC/ año de 1990 a 2100
EU	Unión Europea	Retorno al nivel de emisiones de gei de 1990 para el año 2000 (supuestamente también aplicable a las propuestas de países AT/DE, BE, DK, NL y FR

Propuestas presentadas en el informe Mandato de Berlín junto con una reseña de sus principales objetivos de mitigación
Nota: Todas las propuestas están referidas al nivel de 1990.
Fuente: IPCC 1997

Mientras tanto, en la cumbre de Kyoto el G77+ China[20] sostuvo que la obligatoriedad de reducir las emisiones se limitaba a los países desarrollados "*suya es la responsabilidad*", respondían. *El calentamiento se debe a la intensificación del efecto invernadero provocado por las emisiones históricas, es decir, las generadas por los países que se han industrializado en el último siglo y medio sin tener en cuenta la contaminación. Háganse ustedes cargo de la factura ahora y luego nosotros, que todavía tenemos que llevar adelante nuestra industrialización, asumiremos compromisos.*

[18] Según el código de la CMCC: AOSIS (por sus siglas en inglés)
[19] Actualmente República Democrática del Congo
[20] El G77 fue fundado en 1967 bajo los auspicios de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Comercio y Desarrollo (UNCTAD) y actúa en el ámbito de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático armonizando las posiciones de 132 países en desarrollo.

En abril de 1997, se documentó otra serie de propuestas, las cuales se encuentran básicamente dentro del rango de las descritas anteriormente. En la Tabla 2.III se presentan estas 16 propuestas, su origen y los países que serían el objeto de compromiso.

Tabla 2.III. Otras propuestas de limitación de emisiones

Propuesta	Partes que formulan la propuesta	Partes objeto de compromisos
1	Trinidad y Tobago, en nombre de la ADPEI	Anexo I
2	Australia	Anexo A[i]
3	Países Bajos, en nombre de la UE y de sus Estados miembros	Anexo X[ii]
4	Islandia y Noruega	Anexo I
5	Japón	Anexo I
6	Federación de Rusia	Anexo A más otros países desarrollados
7	Suiza	Anexo I
8	Nueva Zelanda	Anexo (*)[iii]
9	Perú	Anexo I
10	Estados Unidos de América	Anexo A[iv] y Anexo B[v]
11	República Democrática del Congo	Anexo I
12	República Unida de Tanzania, en nombre de G77+China	Anexo I
13	Filipinas	Anexo I
14	Un grupo de países asociados a la Unión Europea	Anexo XX[vi]
15	República Checa	Anexo X
16	Canadá	No especificado

En abril de 1997, en el documento técnico FCCC/AGBM, se documentó estas serie de propuestas de limitación de emisiones, su origen y los países que serían el objeto de compromiso.
Notas: [i] El Anexo A contiene una lista de las partes actualmente incluidas en el Anexo I de la CMMC, aunque está abierto a otras partes como por ejemplo, las que se incorporan a la OCDE. [ii] Se incluyen las partes del Anexo I mas Croacia, Eslovenia, Liechtenstein, México, República Checa, República de Corea y República eslovaca. [iii] Las partes del Anexo I más otras que pudieran asumir compromisos de limitación legales. [iv] Para los EEUU incluiría las partes del Anexo I más las que se sumen posteriormente. [v] Las partes no contenidas en el Anexo A, que deseen ser incluidas antes de ser adoptado el protocolo. [vi] Es una variante del Anexo X.
Fuente: IPCC (1997)

Escenarios SRES

En 1996, el IPCC inició un proceso para establecer un nuevo grupo de escenarios de referencia.

Estos nuevos escenarios son descritos en el Reporte Especial sobre Escenarios de Emisión (SRES) del IPCC están basados en una revisión exhaustiva de las fuerzas guiadoras y estimaciones de emisiones presentadas en la literatura, aproximaciones alternativas de modelación y un "proceso abierto" que solicitó amplia participación de organismos en el ámbito mundial y retroalimentación de información.

Los escenarios SRES cubren un amplio rango, pero no todos los posibles futuros, en particular no hay escenarios "desastrosos". Ninguno de los escenarios incluye nuevas y explicitas políticas climáticas La Tabla 2.IV ilustra cualitativamente sus recorridos.

Cuatro diferentes líneas base mundial son analizadas: A1 y A2 las cuales enfatizan desarrollo económico pero difieren respecto al grado de convergencia social y económica; y B1 y B2 que enfatizan el desarrollo sustentable pero de nuevo difieren en términos de grado de convergencia.
Tomando como base A1, A2, B1 y B2 se desarrollaron cuarenta escenarios:.

Tabla 2.IV. Direcciones cualitativas para los diferentes indicadores de los escenarios SRES

				Población	Economía	ambiente	Equidad	Tecnología	Globalización			
SRES	Línea A1	Familia A1	A1FI	↘	↗	↘	↗	↗	↗	OS	1	Número de escenarios
										HS	5	
			A1T	↘	↗	↗	↗	↗	↗	OS	1	
										HS	2	
			A1B	↘	↗	↗	↗	↗	↗	OS	2	
										HS	6	
	Línea A2	Familia A2	A2	↘	↗	↗	↗	↗	↗	OS	4	
										HS	2	
	Línea B1	Familia B1	B1	↗	↗	↘	↘	↗	↘	OS	2	
										HS	4	
	Línea B2	Familia B2	B2	↗	↗	↗	↗	↗	↘	OS	4	
										HS	4	

Comportamiento cualitativo de los escenarios SRES de acuerdo a factores socioeconómicos y científicos
Fuente: Special Report on Emissions Scenarios, 1999. IPCC; Mitigation, 2001

Dentro de cada familia y grupo de escenarios algunos comparten ciertas asunciones "armonizadas" en población, producto mundial bruto y energía final, estos están marcados como "HS". Los que exploran incertidumbres más allá de las fuerzas guiadoras consideradas son los llamados como "OS"
Todos los escenarios SRES consideran:

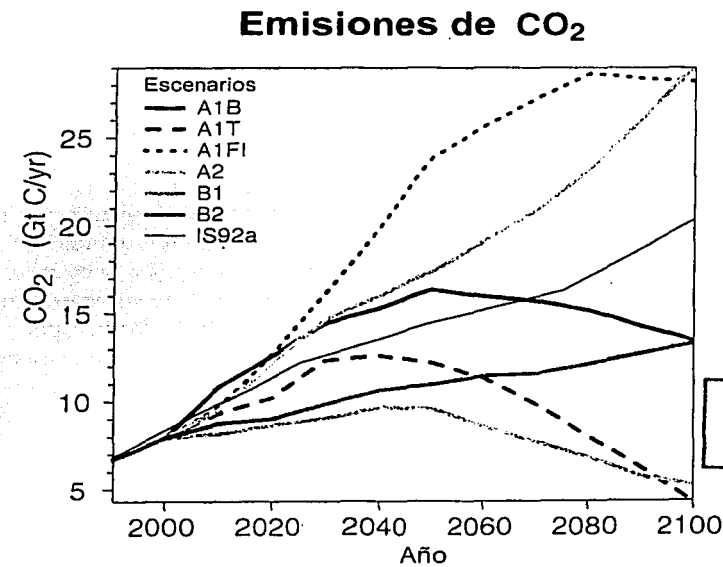
- Combinaciones alternativas de fuerzas guiadoras variables, las cuales pueden guiar a niveles y estructuras similares de uso de energía y patrones de uso del suelo.
- Posibilidades importantes para bifurcaciones posteriores en las tendencias de desarrollo futuro, dentro de una familia de escenarios.
- Los perfiles de emisión son dinámicos a través del rango de escenarios SRES. Ellos describen tendencias de cambio e indican posibles emisiones cruzadas entre escenarios diferentes.
- Describen un desarrollo potencial futuro, comprenden ambigüedades inherentes e incertidumbre.

Una y solo una vía posible de desarrollo simplemente no existe. Igualmente, para cada vía de desarrollo alternativo descrito por cualquier escenario, hay numerosas combinaciones de fuerzas guiadoras y valores numéricos que pueden ser consistentes con la descripción particular de un escenario. Las emisiones totales de CO_2 según los seis grupos de escenarios SRES aparecen en la Figura 2.V.

Para generar los 40 escenarios se utilizaron básicamente las siguientes herramientas:

- Modelo Integrado Asiático del Pacífico (AIM) del Instituto Nacional de Estudios Ambientales de Japón.
- Modelo del Marco de Estabilización (ASF) de ICF Consultores, Estados Unidos de América.
- Modelo Integrado para Evaluar el Efecto Invernadero (IMAGE) de RIVM, usado en conexión con el Buró Central de planeación, Modelo WorldScan, Netherlands.
- Aproximación Multiregional para Asignación y Recursos Industriales (MARIA) de la Universidad de Tokio, Japón.
- Modelo para suministro energético Alternativo y sus Impactos Ambientales Generales (MESSAGE) de IIASA en Austria; y
- Minimodelo para Evaluación Climática (MiniCAM) de PNNL en Estados Unidos de América.

Figura 2.V. Emisiones totales de CO_2 según los seis grupos de escenarios SRES



Emisiones anuales totales de CO_2 provenientes de todas las fuentes (energía, industria y cambio de uso de las tierras) entre 1990 y 2100 (GtC/año) para las familias y los seis grupos de escenarios. Los 40 escenarios SRES aparecen clasificados en función de las familias (A1, A2, B1 y B2) y de los seis grupos de escenarios: el A1FI, de utilización intensiva de combustibles de origen fósil (que incluye los escenarios de alto nivel de carbón y de alto nivel de petróleo y gas), el A1T, de combustibles predominantemente no de origen fósil, el A1B, equilibrado, de a); el A2 del b); el B1 del c), y el B2 del d). Fuente: Informe Especial del Grupo de Trabajo III del IPCC, 2001

Escenarios de mitigación globales post-SRES

Los modeladores participantes en el proceso SRES reconocieron la necesidad de analizar y comparar escenarios de mitigación usando como línea base los escenarios IPCC.
Esos escenarios llamados "escenarios de mitigación post-SRES" están siendo preparados por 9 equipos de modelad que se enuncian en la Tabla 2.V, dando como resultado todo un rango de escenarios de estabilización entre los modelos.

Tabla 2.V. Escenarios post-SRES cuantificados desarrollados

Modelo	Estabilización en ppmv			
Escenario base	A1B	A2	B1	B2
AIM	450, 550 y 650	550*	550*	550*
ASF		550 y 750		
MESSAGE-MACRO	450, 550 y 650**	550 y 750		550
IMAGE	550		450	
LNDE	550	550	550	550
MARIA	550		550	450, 550 y 650*
MiniCAM	550	550	550	550***
PETRO	450, 550, 650 y 750	450, 550, 650 y 750		
WorldScan	550			

Escenarios de mitigación post-SRES que están siendo preparados por 9 equipos de modelado, dando como resultado todo un rango de escenarios de estabilización entre los modelos.
Notas: * Fueron cuantificados casos especiales por sensibilidad de análisis. ** Tres líneas bases variables fueron usadas para cada estabilización. *** Una sola línea base variable fue utilizada.
Fuente. Morita, 1999. IPCC, 2001

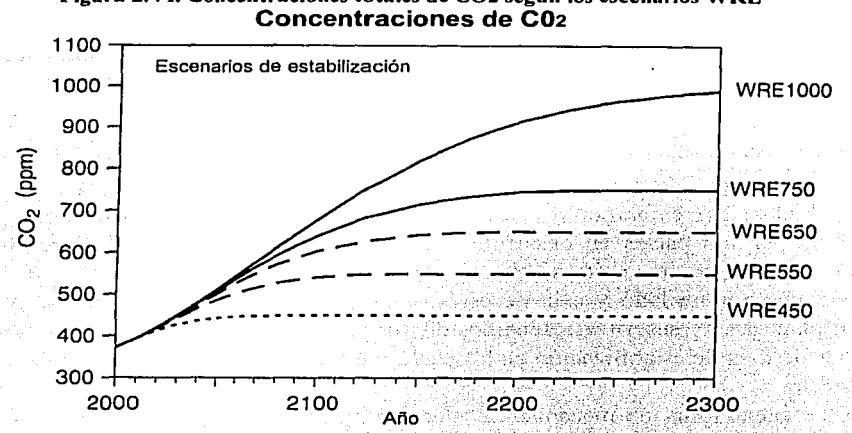
Estabilización de las concentraciones de CO_2

Para efecto de lograr la estabilización de CO_2 atmosférico y la estabilización de la temperatura, se desarrollaron perfiles de estabilización, según el IPCC (1997) son conjuntos de concentraciones lentamente cambiantes que representan posibles recorridos hacia la estabilización[21].
Un objetivo de concentración puede alcanzarse a lo largo de diferentes recorridos de emisión; las emisiones a corto plazo podrían compensarse con las emisiones a largo plazo. Para un nivel de estabilización dado, hay un "balance" de emisiones de carbono acumuladas permisibles la elección de un recorrido que conduzca a la estabilización podría consistir en asignar de la mejor manera posible (es decir, con la máxima eficacia económica y los mínimos efectos nocivos) ese balance de carbono a lo largo del tiempo.
Las diferencias en cuanto al recorrido de las emisiones para un mismo nivel de estabilización son importantes, ya que los costos difieren según el recorrido que se adopte. Unas emisiones iniciales más altas reducen las posibilidades de ajustarlas posteriormente.
El IPCC ha utilizado dos grupos de perfiles: los WRE[22] y S[23], un perfil para cada nivel de estabilización a 1000 ppmv. Los recorridos "S" divergen inmediatamente de IS92a, y los "WRE" coinciden inicialmente con IS92a por lo menos hasta el año 2000. Las concentraciones totales de CO_2 de los escenarios WRE se ilustran en la Figura 2.VI.

[21] La palabra *perfil* se utiliza para distinguir los recorridos hacia la estabilización en términos de concentraciones atmosféricas de gei, de aquellos recorridos de las emisiones a los que habitualmente se les llama "escenarios"
[22] Recorridos WRE definidos en Wigley, Richels y Edmons (1994)
[21] Recorrido "S" (stabilization) definidos en Enting et al (1994)

Los perfiles WRE implican unos niveles de emisión más altos a corto plazo que los perfiles S, pero la disminución es después más rápida, y los niveles de emisión son posteriormente más bajos.

Figura 2.VI. Concentraciones totales de CO2 según los escenarios WRE



Las emisiones para 2100 a escala mundial y como resultado de combustibles fósiles tendrían que ser de 5.8 GtC/año (WRE550) y continuar decreciendo para alcanzar la estabilidad atmosférica.
Fuente: Informe Especial del Grupo de Trabajo III del IPCC, 2001

En los diferentes casos de estabilización estudiados, las emisiones antropogénicas acumuladas entre 1991 y 2100 se situarían entre 630 y 1410 GtC para niveles de estabilización entre 450 y 1000 ppmv. A efectos comparativos, las correspondientes emisiones acumuladas para los escenarios IS92 del IPCC están comprendidas entre 770 y 2190 GtC y se ilustran en la Figura 2.VI.

Tabla 2.VI. Emisiones acumuladas de CO_2 de 1991 a 2100 en GtC

Objetivo de estabilización en ppmv	Perfiles de concentración		Escenarios IS92	
	"S"	"WRE"	A	770
450	630	650	D	980
550	870	990	B	1430
650	1030	1190	E	1500
750	1200	1300	F	1830
1000	--	1410	E	2190

El IPCC ha utilizado dos grupos de perfiles: los WRE y S. Las emisiones antropogénicas acumuladas entre 1991 y 2100 se situarían entre 630 y 1410 GtC para niveles de estabilización entre 450 y 1000 ppmv.
Fuente: IPCC, 1997

Para llegar a la estabilización y partiendo de los escenarios anteriores se observa que es necesario hacer un ajuste en las cantidades de emisiones contempladas, es imperioso hacer una ampliación en las cuotas de mitigación y buscar mecanismos para cumplirlas.

Según los perfiles de estabilización anterior, las emisiones para 2100 a escala mundial y como resultado de combustibles fósiles tendrían que ser de 5.8 GtC/año (WRE550) y 7.23 GtC/año (S550) y continuar decreciendo para alcanzar la estabilidad atmosférica, ya que bajo los patrones de emisión que consideran y aun cuando las concentraciones se estabilicen, el nivel del mar y el cambio de temperatura globales continuarán ascendiendo después del 2100.

Según la mejor opción de estos dos grupos (S y WRE) las menores influencias sobre el clima serían las dadas por el escenario S350, cabe recordar que estos escenarios, aunque han sido adoptados y documentados por el IPCC, de ninguna manera representan compromisos de reducción de emisiones, ni representan versiones certeras de la realidad, únicamente exploran posibles emisiones en diferentes y posibles mundos futuros.

Los responsables de las cantidades actuales de CO_2 en la atmósfera son los países desarrollados, sin embargo, se estima que la mayor cantidad de emisiones futuras será generada por los países en desarrollo debido a sus crecientes necesidades de desarrollo social, económico, energético, etc. Es precisamente debido al derecho de cubrir esas necesidades por un lado y a la necesidad de desacelerar el cambio climático global, que deben plantearse y suscribirse acuerdos de mitigación de emisiones de CO_2 encaminados a obtener perfiles de estabilización en los cuales se vean incluidos en forma justa los países en desarrollo.

Si no se encuentran los mecanismos adecuados para incluir a los países en desarrollo se podrá pensar que no habrá ni oportunidades ni posibilidades de lograr la estabilización climática para minimizar las influencias negativas sobre las actividades humanas que esto implica. Independientemente de si se trata de un país en desarrollo o de un país desarrollado, el daño esperado será sufrido por toda la humanidad.

3. Costos de Mitigación de Países Desarrollados y en Desarrollo

3.1 Metodología para la construcción de escenarios

Se presenta la forma en que se construyen los escenarios y perfiles mundiales de emisión de CO_2 por quema de combustibles fósiles para el período 2000-2100, enfocando el trabajo en la metodología empleada en la construcción de escenarios para países desarrollados. Básicamente dos herramientas son las utilizadas: La Identidad de Kaya y el programa MAGICC (Model for the Assessment Greenhouse-gas Induced Climate Change), la primera para la construcción de escenarios y la segunda para estimar tanto la concentración de CO_2 en la atmósfera como las alteraciones climáticas inherentes a cada escenario.

Se ha visto que los estudios realizados en la construcción de escenarios de emisiones futuros de gei se enfocan principalmente al volumen de CO_2 emitido (GtC ó ppmv), proyección de tendencias, necesidad de mitigación y estabilización para dos grandes clasificaciones mundiales: países en desarrollo y países desarrollados. Hasta hace unos años se reconocía a los países desarrollados como sinónimo de industrializados, es decir los pertenecientes a la OCDE, consecuentemente los no OCDE eran los países en vías de desarrollo.

La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) es una organización internacional intergubernamental que reúne a los países más industrializados de economía de mercado. En la OCDE, los representantes de los países miembros se reúnen para intercambiar información y armonizar políticas con el objetivo de maximizar su crecimiento económico y coadyuvar a su desarrollo y al de los países no miembros.

Entre los objetivos de la OCDE se encuentra fomentar las políticas tendientes a:

- Realizar la mayor expansión posible de la economía y el empleo y un progreso en el nivel de vida dentro de los países miembros, manteniendo la estabilidad financiera y contribuyendo así al desarrollo de la economía mundial.
- Contribuir a una sana expansión económica en los países miembros, así como no miembros, en vías de desarrollo económico.
- Contribuir a la expansión del comercio mundial sobre una base multilateral y no discriminatoria conforme a las obligaciones internacionales.

Los compromisos de los países miembros son:

- Promover la utilización eficiente de sus recursos económicos;
- En el terreno científico y técnico, promover el desarrollo de sus recursos, fomentar la investigación y favorecer la formación profesional;
- Perseguir políticas diseñadas para lograr el crecimiento económico y la estabilidad financiera interna y externa y para evitar que aparezcan situaciones que pudieran poner en peligro su economía o la de otros países;
- Continuar los esfuerzos por reducir o suprimir los obstáculos a los intercambios de bienes y de servicios y a los pagos corrientes y mantener y extender la liberalización de los movimientos de capital.

Actualmente, se hace referencia a la inclusión en un anexo que se hizo en la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMCC, 1994) de estos países OCDE y se les nombra Países Anexo I.
La mayoría de los estudios se enfocan en los compromisos de mitigación futuros en los países Anexo I. Sin embargo, las emisiones mundiales y particularmente en los países en vías de desarrollo siguen aumentando a ritmo acelerado, de manera que, para alcanzar límites o perfiles futuros que conlleven a la estabilización es necesario que disminuyan las emisiones en las naciones en vía de desarrollo con el fin de alcanzar el objetivo común: estabilizar concentraciones de CO_2 atmosférico en un nivel que no altere el sistema climático.
En este punto es interesante el hecho de que, si bien es cierto, los países desarrollados son los que tanto histórica como actualmente generan los mayores niveles de emisiones y los que están involucrados en el compromiso de disminuirlas, bajo el Protocolo de Kyoto la estabilización no se logrará si el esfuerzo no se ve integrado por todas las naciones del mundo, tanto las desarrolladas como las que están en vías de desarrollo.
Según las propuestas y perfiles existentes, la reducción de emisiones de gei a la atmósfera depende directamente de los países en desarrollo, ya que se estima sigan desarrollándose y quemando más combustible fósil a la atmósfera, lo que aumentará los niveles de CO_2, pero hasta el momento no son culpables de los niveles alcanzados en la actualidad y se encuentran limitados para el desarrollo futuro debido a los niveles alcanzados de gei.
Dado que no se cuenta, hasta el momento de hacer este trabajo, con información correspondiente a los sacrificios que deberían hacer los países desarrollados si se les aplicaran las restricciones de desarrollo futuro que se les aplica a los países en desarrollo, este trabajo centra su atención en los escenarios de disminución de emisiones de CO_2 para países desarrollados, generados con la Identidad de Kaya.
Y ya que uno de los imperativos de la OCDE es perseguir políticas diseñadas para lograr el crecimiento económico y la estabilidad financiera interna y externa y para evitar que aparezcan situaciones que pudieran poner en peligro la economía de los países miembros o la de otros países, este estudio basará su atención en este grupo de países para promover políticas de desarrollo sustentable de la economía.

Escenarios mundiales

Se generarán diferentes escenarios y sus correspondientes perfiles de emisiones mundiales, conducentes a la estabilización de la concentración de CO_2 atmosférico en niveles cercanos a las 550 ppmv de carbono en al año 2100. Este valor es, según el IPCC (2001), en un nivel adecuado por los efectos climáticos a que dará lugar, ya que retrasará en 100 años los efectos sobre el sistema climático y permitirá encontrar nuevas y mejores alternativas de mitigación de CO_2 y de adaptación al cambio global.
Además de cuotas de mitigación mundiales, se pretende estimar la magnitud cuantitativa de los compromisos de mitigación de países OCDE y No OCDE, basado en el esfuerzo de reducción de emisiones de CO_2 diferenciado que los países Anexo I y No Anexo I tendrían que afrontar en el futuro para llegar a los niveles de estabilización necesarios. El punto central es la construcción de escenarios para países OCDE y su contribución a la estabilidad, cuotas de reducción, discusión de equidad tanto por responsabilidad histórica de emisiones como por "derecho" de emisión actual y la responsabilidad socio-económica correspondiente a su estado de desarrollo regional.

Los escenarios mundiales se generarán como la suma de las emisiones de países OCDE y No OCDE en el período comprendido entre 2000-2100. Los escenarios para países OCDE son generados con la Identidad de Kaya, la reducción estimada en el Protocolo de Kyoto y la propuesta de Países Bajos de reducción de 1% anual en emisiones de CO_2 (NL- 1%); al igual que los No OCDE que serán tomados de estudios previos a este. Centrando el presente trabajo a los escenarios generados para países OCDE.

Escenarios anteriores propuestos para países desarrollados

- Protocolo de Kyoto. El protocolo establece que los países incluidos en el Anexo I de la CMCC deberán reducir sus emisiones de CO_2 en un porcentaje promedio de 5.2% con relación a sus niveles de 1990. La fecha de este objetivo de disminución se sitúa entre los años 2008-2012 como el valor promedio de emisiones en este período.
- Propuesta de Países Bajos (NL-1%). La propuesta de Países Bajos para países Anexo I contabiliza la menor tasa de decremento en las emisiones de CO_2, es decir, la tasa de 1% de disminución anual compuesto en el escenario.

Los datos para 1990 y 1995 serán los mismos utilizados para el escenario de Kyoto, manteniendo constantes las emisiones en el período 1995- 2000.

La disminución de las emisiones de CO_2 fósil se aplicará de 2000 en adelante siguiendo la expresión del interés compuesto:

$$CO_{2(emitidoañofinal)} = CO_{2(emitido2000)} \times (1-0.01)^{añofinal-2000}$$

Identidad de Kaya

La metodología utilizada para la generación de escenarios Anexo I, está basada en la Identidad de Kaya, la cual fue presentada por Y. Kaya en 1989 en el documento "Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios" en el marco del subgrupo de energía e industria del IPCC. Posteriormente ha sido utilizada por autores como Hoffert, et al (1997), Audus(1999), Rayola y Russell (1998), entre otros.

Según esta Identidad los factores que determinan las emisiones de dióxido de carbono hacia la atmósfera se pueden agrupar en cuatro tipos, los cuales se pueden manejar como componentes o índices clave:

a) Contenido de carbono en la energía consumida.
b) Intensidad energética de la actividad económica.
c) El producto interno bruto por habitante.
d) Población.

Cada uno de estos factores representa un aspecto de la realidad nacional en términos tecnológicos, económicos y sociales.

La cantidad de carbono existente en la oferta energética nacional es representativa del aspecto tecnológico, los índices de población (POB) y producción de riqueza interna por habitante (PIB/POB) son representativos del aspecto social; este último (PIB/POB) y el índice de energía consumida internamente para generar una unidad de producto interno bruto (E/PIB), son representativos de aspectos técnico-económicos. Al agrupar estos índices en una ecuación, relacionándolos entre sí para obtener las emisiones de CO_2 generadas por la quema de combustibles fósiles, se obtiene la siguiente relación que es la mencionada Identidad de Kaya:

$$CO_2 = \frac{C}{E} * \frac{E}{PIB} * \frac{PIB}{POB} * POB$$

Donde:
CO_2: CO_2 emitido por quema de combustibles fósiles
C: Emisiones de CO_2 por unidad energética
E: Energía consumida
PIB: Producto interno bruto
POB: Población

Esta relación es ampliamente utilizada con cantidades o valores puntuales, resultando las emisiones como producto de una multiplicación de índices tal y como se representa en la ecuación.
Esta Identidad puede utilizarse como una sumatoria de porcentajes de cambio de las variables o índices considerados, esto es aplicable para cambios pequeños a moderados en los componentes de la Identidad entre dos años dados; asimismo pueden utilizarse cambios anuales promedio dentro de un período, siempre que estos sean pequeños o moderados.
La suma de estos cambios en los componentes de la Identidad reporta una muy buena aproximación del cambio en las emisiones de dióxido de carbono fósil entre dos años escogidos. En este caso la Identidad adopta la siguiente forma:

$$\Delta CO_{2(f-i)} = \Delta\frac{C}{E_{(f-i)}} + \Delta\frac{E}{PIB_{(f-i)}} + \Delta\frac{PIB}{POB_{(f-i)}} + \Delta POB_{(f-i)}$$

En donde:
$\Delta CO_{2\,(f-i)}$: Cambio en las emisiones de CO_2 fósil.
$\Delta C/E_{\,(f-i)}$: Porcentaje de cambio en la intensidad de carbón.
$\Delta E/PIB_{\,(f-i)}$: Porcentaje de cambio en la intensidad energética de la economía.
$\Delta PIB/POB_{\,(f-i)}$: Porcentaje de cambio en el ingreso bruto per capita.
$\Delta POB_{\,(f-i)}$: Porcentaje de cambio de población.
(f - i): Indica el período dentro del cual puede ser el cambio. Puede ser entre dos años puntuales final (f) e inicial (i) o como el porcentaje anual promedio de todo el período.

La Identidad de Kaya por si sola, dice poco acerca de la naturaleza de políticas que podrían requerirse para alcanzar un determinado objetivo de mitigación, tampoco evalúa el costo económico de los bienes que son producidos y consumidos en una economía en particular, da una idea de los cambios en las emisiones de CO_2 como efecto de la variación en estos

cuatro índices, dos tecnológicos (C/E y E/PIB) y dos socioeconómicos, que no están relacionados directamente con la tecnología: PIB/POB y POB.

En este trabajo se busca cuantificar la aportación que cada uno de los índices hace a las emisiones de países OCDE, específicamente en qué forma se potencia la variación de las emisiones futuras a la atmósfera al variar la magnitud de cambio en uno de ellos. El porcentaje a utilizar es el porcentaje de cambio anual promedio para un período de diez años, el cual se disminuye en cada período.

Los cuatro índices con los que se trabajará son: C/E, E/PIB, PIB/POB y POB, disminuyendo su tasa de cambio en 10%, 25% y 50% para cada índice y escenario, a partir de las tasas de cambio base. Se hará esto con el fin de evaluar el impacto de la variación del índice específico sobre las emisiones de CO_2. Las tasas de cambio anuales expresadas como porcentajes que se utilizarán como base, son las pertenecientes a los países OCDE durante el período 1990-2001.

Los escenarios se generarán por períodos de diez años hasta cubrir todo el siglo. Comenzando por la década 1990-2001. En la tabla 3.I se presentan los valores para las tasas de cambio de los cuatro índices de Kaya en el período base de 1990-2001. Para fines comparativos se muestran las tasas de cambio de la OCDE, no OCDE y mundiales.

Tabla 3.I. Tasas de cambio anual promedio en las variables de la Identidad de Kaya, década 1990-2000

	POB	E/PIB	PIB/POB	C/E	CO_2
MUNDO	1.41	1.09	1.13	-0.29	3.33
OCDE	0.73	-0.75	1.66	-0.44	1.20
OCDE-AMERICA	1.15	-1.39	2.03	-0.09	1.70
OCDE-EUROPA	0.48	-1.16	1.54	-0.94	-0.09
OCDE-PACIFICO	0.54	1.03	1.35	-0.54	2.37
NO-OCDE	1.58	1.04	0.06	-0.55	2.13

Valores para las tasas de cambio de los cuatro índices de Kaya en el período base de 1990-2001. Para fines comparativos se muestran las tasas de cambio de la OCDE, no OCDE y mundiales.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la IEA (2002).

El CO_2 emitido por quema de combustibles fósiles aumentó a escala mundial en el período 1990-2000 a una tasa anual promedio de 3.33%, en términos generales a una tasa mayor en los países No OCDE debido más que todo al crecimiento del 1.58% anual en la población. Como se observa en la tabla I, dos de cuatro variables (PIB/POB y POB) mantuvieron tasas crecientes, y las tasas correspondientes a C/E y E/PIB disminuyeron aunque en un valor menor que los países OCDE, lo cual significa que en ambas regiones se dio un proceso de descarbonización de las fuentes energéticas fósiles, indicando una transición hacia combustibles menos contaminantes y un menor consumo energético para la generación de riqueza.

A partir de la tasa de cambio, se calcula la variación en las emisiones de CO_2 para cada una de las décadas comprendidas entre 2000-2100, cubriendo de esta forma los cien años de construcción del perfil.

Siguiendo la metodología descrita se desarrollan doce escenarios como resultado de la siguiente combinación: cuatro tasas correspondientes a cuatro índices variando una tasa a la vez, manteniendo las otras tres constantes y tres disminuciones aplicadas a cada una de las tasas de cambio: 10%, 25% y 50% anual promedio por década.

Para generar un escenario en particular se siguen los pasos:

1. Se selecciona un índice (por ejemplo POB) y un porcentaje de disminución en las tasas, por ejemplo 10%.
2. Partiendo de las tasas correspondientes a la década base (1990-2001), se proyecta el cambio en las emisiones de CO_2 para la primera década de construcción del escenario (2000-2010), utilizando las mismas tasas base. Esto significa que las emisiones para 2010 seguirán la misma tendencia de 1990-2001.
3. Para la siguiente década (2010-2020), las tasas correspondientes a C/E, E/PIB y PIB/POB se mantienen constantes, y la tasa POB sufre una disminución de 10%. Se calculan las emisiones de CO_2 fósil aplicando la Identidad de Kaya con tres tasas constantes (C/E, PIB/POB y E/PIB) y una disminuida (POB).
4. Para todas las otras décadas las tasas C/E, PIB/POB y E/PIB se mantienen constantes y se disminuye 10% en la tasa de POB por cada diez años. Procediendo a calcular la tasa en las emisiones de CO_2 fósil para cada década con la Identidad de Kaya.

Con este procedimiento se generan los otros dos escenarios para POB, considerando una disminución de 25% y 50% respectivamente en la tasa base. Asimismo se procede con los otros dos índices considerados.

Siguiendo la nomenclatura asignada en la tabla 3.II, los doce escenarios resultantes son P01, P025, P05, EP01, EP025, EP05, CE01, CE025, CE05, PP01, PP025 Y PP05, recordando que son escenarios regionales aplicados a países Anexo I.

Tabla 3.II. Nomenclatura para los doce escenarios Anexo I generados

Índices con tasas constantes		Escenarios generados según el porcentaje de disminución en la tasa		
Tasa constante	Tasa variable	10%	25%	50%
C/E, E/PIB, PIB/POB	POB	P01	P025	P05
C/E, POB, PIB/POB	E/PIB	EP01	EP025	EP05
E/PIB, POB, PIB/POB	C/E	CE01	CE025	CE05
POB, E/PIB, C/E	PIB/POB	PP01	PP025	PP05

Nomenclatura asignada a los doce escenarios resultantes de la metodología propuesta
Fuente: Construcción propia con base en la metodología propuesta.

Una vez calculadas las tasas de cambio en las diferentes décadas, estas son aplicadas a las emisiones del año base, en este caso 1990, generando los valores de las emisiones CO_2 hasta 2100.

Entre los escenarios provenientes de POB, C/E, PIB/POB y E/PIB, existe una única diferencia: la tasa del índice POB se disminuye hasta que se hace cero, es decir, hasta que la población se mantiene constante (no existe disminución de la población), por el contrario los otros índices se disminuyen hasta obtener tasas negativas.

Se muestran dos grandes divisiones de los escenarios generados; un grupo pertenece a los escenarios PP05, PP025, PP01, P05, P025 y P05 que tienen una tendencia regular creciente de las emisiones de CO_2 y el otro grupo contiene a los escenarios EP05, EP25, EP01, CE05, CE025 y CE01 que describen un recorrido decreciente de las emisiones de CO_2.

Mientras la Identidad de Kaya puede usarse para organizar la discusión de las fuerzas de tendencia primaria de emisiones de CO_2 y, por extensión, emisiones de otros gei, hay advertencias importantes. Lo más importante es que los cuatro términos de la Identidad no deben ser considerados como fuerzas de impulso por si mismos, ni independientes uno de otro.

El análisis global de la Identidad no es a menudo apropiado, debido a la gran heterogeneidad entre los índices con respecto a las emisiones de gei por países y por regiones mundiales. En el contexto de este estudio el análisis de los índices de la Identidad de Kaya se hará tomando en cuenta que no todos los países miembros de la OCDE son países desarrollados.

Buscar los mecanismos adecuados para establecer cuotas es complicado, ya que deben tenerse en cuenta factores sociales (POB, E/PIB; PIB/POB), económicos (PIB, PIB/POB), técnicos (disminución de CO_2/E; mediante la sustitución de combustibles fósiles por fuentes menos contaminantes, participación de energías renovables en la oferta energética, mejoras en la eficiencia de generación, distribución y uso de energía entre otras) así como grado de desarrollo particular, el cual influirá tanto en la tecnología utilizada para la conversión energética, como en los recursos que un país pueda disponer para comprometerse en una proyección futura de emisiones de CO_2.

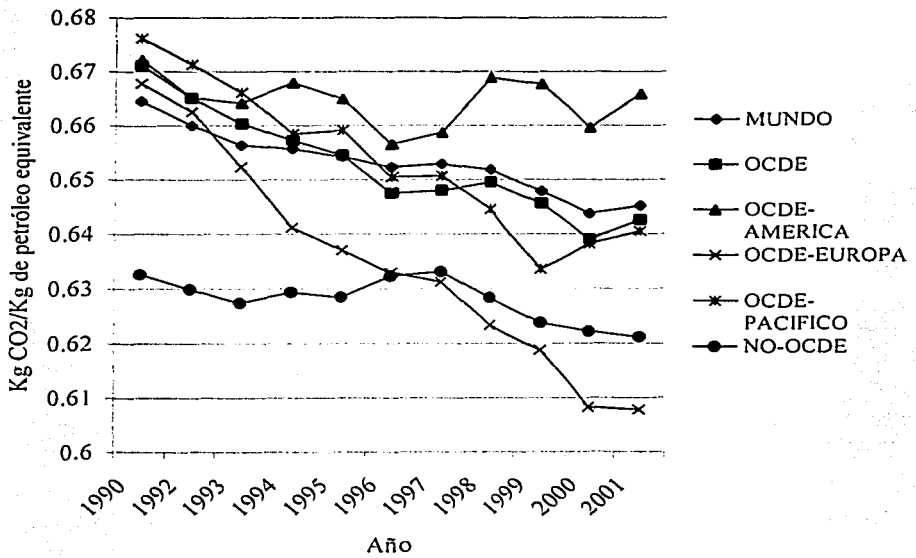
Como una medida que puede disminuir de CO_2 fósil, se consideran el ahorro y uso eficiente de la energía, enfocando hacia uso de mejores tecnologías, procesos más eficientes y combustibles menos contaminantes; así como a la participación cada vez mayor de fuentes energéticas renovables, sustituyendo paulatinamente las fuentes energéticas tradicionales. El interés por esto surge actualmente como resultado de presión ejercida por los daños al medio ambiente que estas causan, tradicionalmente las presiones se deben a la necesidad del ahorro de energía ya sea por escasez, precios y/ o disponibilidad de energéticos.

Comportamiento de los índices Kaya en el período 1990- 2000

a) **Intensidad de CO_2 (C/E)**

Este índice provee una idea de lo contaminante que es la estructura energética de determinado país, al contabilizar las emisiones que se generan en promedio por cada unidad energética consumida. Depende de la cantidad de energía fósil consumida así como la mezcla que se utilice para satisfacer la demanda de ésta.
En los países con altos porcentajes de carbono en la mezcla energética nacional este índice (C/E) será mayor que en aquellos en que se utilice un mayor porcentaje de un energético menos contaminante como el gas natural, ya que el carbón es el combustible fósil más sucio y a su vez el gas natural es el menos contamínate (Gráfica 3.I).

Gráfica 3.I. Intensidad de CO_2 por quema de combustible fósil

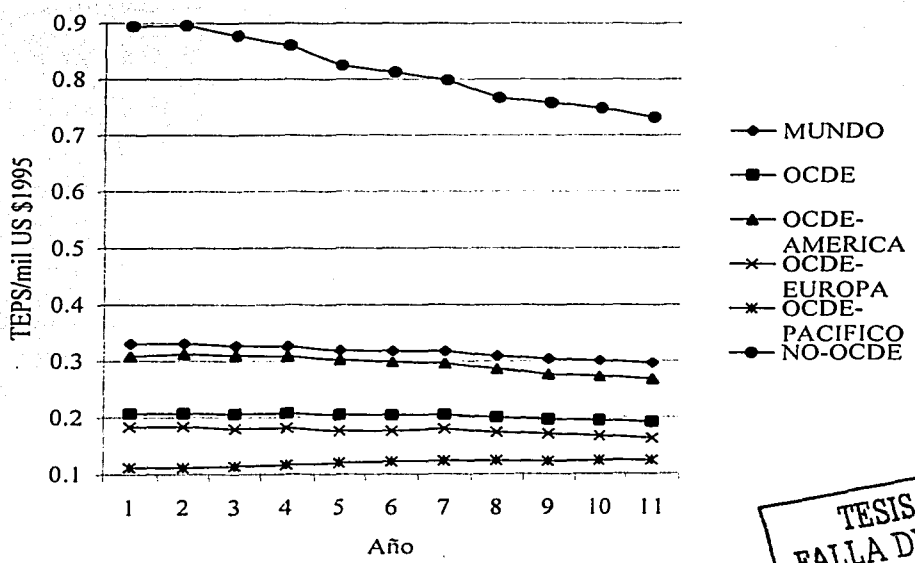


Fuente: Elaboración propia con datos de IEA, 2002

b) Intensidad Energética de la Economía (E/PIB)

El índice E/PIB es una medida de la producción económica de un país respecto a sus insumos energéticos, depende en gran medida de:
La eficiencia en la producción, distribución y uso de la energía, las medidas implementadas de ahorro y uso eficiente de la energía y de los procesos y equipos utilizados para tal fin.
Del tipo de industria que exista en el territorio nacional, sí puede tenerse un alto valor de E/PIB si existen industrias altamente intensivas como la siderurgia, o lo contrario si no existen industrias o existen pocas, que demanden cantidades excesivas de energía (Figura 3.II).
De la eficiencia energética del capital, tales como facilidades de generación eléctrica, equipos de uso final y vehículos. La eficiencia energética del capital se ve influenciada a su vez por los precios relativos de la energía y otros insumos de la economía, tales como el capital y la fuerza del trabajo (IEA, 2002).
En general, la implementación de procesos de producción más eficientes implica disminuciones en la intensidad energética de la economía.

Gráfica 3.II. Intensidad energética de la economía

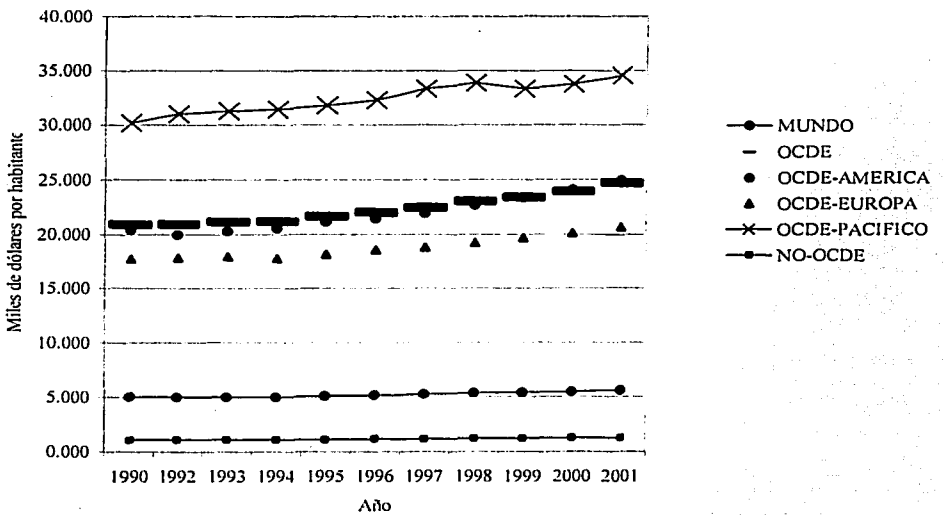


TEPS: Toneladas Equivalentes de Petróleo
Fuente: Elaboración propia con datos de IEA, 2002

c) Producto Interno Bruto por Habitante (PIB/POB)

Este índice mantuvo una tendencia de crecimiento casi regular, salvo los países miembros de la OCDE que tienen economías en transición (República Checa, República Eslovaca y Hungría) que sufrieron cambios dramáticos debido a la disociación de las repúblicas y la desaparición del protectorado de la Ex-URSS. Notándose un decremento a escala mundial en los años 1994 a 1995. Después de este año las economías de los países OCDE se estabilizan y mejoran (Gráfica 3.III).
Los demás países OCDE se encuentran arriba de la media mundial.

Gráfica 3.III. Producto interno bruto por habitante

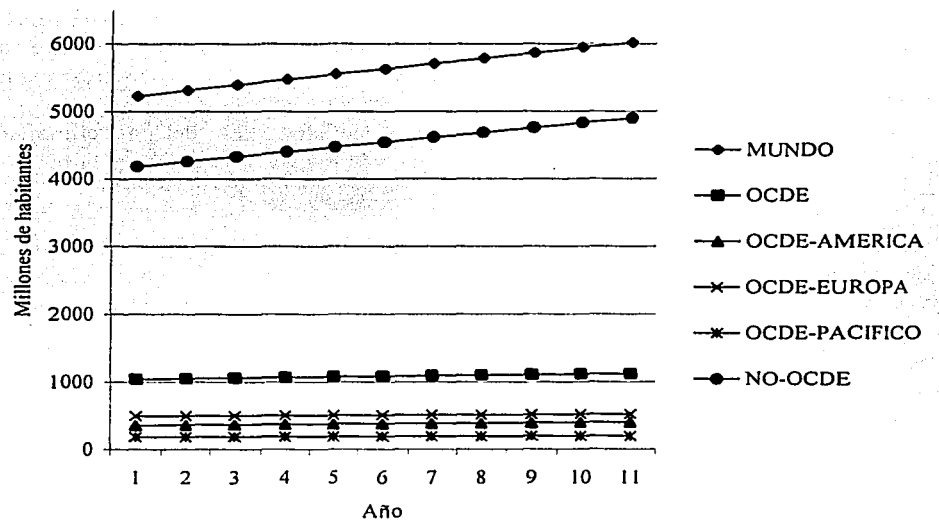


Fuente: Elaboración propia con datos de IEA, 2002

d) **Población.**

El calentamiento global es un tema colmado de incertidumbres, vinculado a cuestiones relativas a la población, entre ellas el consumo de combustibles, los cambios en el uso de suelo, los límites potenciales de suministro de alimentos y agua entre otros. Las emisiones de gei están directamente vinculadas a los incrementos de la población y al desarrollo, si el aumento de la población fuera más lento, sería menos difícil reducir las emisiones y se dispondría de mayores opciones para la adaptación al cambio climático (Gráfica 3.IV).
Históricamente la población mundial ha mantenido una tendencia creciente, aunque en algunos países más rápidamente que en otros. Las tasas de crecimiento de los países OCDE varían entre –0.3, para Hungría, República Checa con –0.08. Los países con mayor población son Estados Unidos y Japón; pero con tasas de crecimiento muy bajas: 0.9 y 0.2, respectivamente.

Gráfica 3.IV. Población de 1990-2001



Fuente: Elaboración propia con datos de IEA, 2002

3.2 Modelo para la evaluación del cambio climático inducido por gases efecto invernadero.

Después de construir los escenarios de emisiones de CO_2, el siguiente paso es calcular las concentraciones atmosféricas de este compuesto. Esto debe hacerse mediante un modelo que integre el ciclo del carbono, para representar las interrelaciones cuantitativas entre los diferentes compuestos químicos del carbono existentes en el planeta. Obteniendo como resultado la cantidad de CO_2 atmosférico a través del período de estudio de cien años, expresado como concentración en la atmósfera.

Para calcular las ppmv de carbono en la atmósfera es necesario contabilizar la totalidad de CO_2 emitido, no sólo las debidas a usos energéticos. Como se ha visto, con la metodología de Kaya se estimaron las emisiones de CO_2 fósil, las cuales representan el mayor porcentaje.

El programa que se utiliza es el llamado "Modelo para la evaluación del cambio climático inducido por gases efecto invernadero (MAGICC)", versión 2.4 desarrollado por T. M. L. Wigley en la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de West Anglia (Norwich, Reino Unido, 2000) y en el Centro Nacional para la Investigación Climática (NCAR, Estados Unidos). El cual, además de convertir GtC/año a ppmv de carbono, estima el cambio climático futuro esperado, proporcionando valores para los parámetros: cambio en el nivel promedio del mar y cambio en la temperatura promedio.

MAGICC es un programa que acopla los siguientes modelos: ciclo del gas, climático y procesos de deshielo; para determinar los cambios en la temperatura global y el nivel del mar como consecuencia de determinados escenarios especificados por el usuario.

Está diseñado para dos propósitos:

- Para comparar las implicaciones de un escenario de emisiones con determinadas políticas de control con un escenario de referencia, cuantificando el efecto de esas políticas relativas a un escenario de línea base que no considere políticas de control.
- Para determinar la sensibilidad de los resultados al cambiar los valores en los parámetros que utiliza el programa. Esto puede hacerse ejecutando MAGICC con los valores especificados y/o alternativamente modificar los valores para obtener dos resultados de un mismo escenario de emisiones.

MAGICC incluye los principales gei (excepto ozono troposférico), los efectos de las emisiones de SO2 derivadas de combustibles fósiles como sulfatos en aerosol y los efectos de forzamiento negativo que inducen los halocarbonos sobre el agujero de ozono.

Para ejecutar MAGICC se requieren once datos de entrada para las emisiones de gei: CO_2, CH_4, N_2O, CO, NOx, VOCs, CFC11, CFC12, HFC12, HFC22, HFC134a y SO_2; correspondientes al período 1990-2100 ambas fechas inclusive. Las emisiones de CO_2 están divididas en dos tipos: las emisiones de CO_2 fósil y las debidas a la deforestación. Posteriormente se seleccionan los valores deseados para los parámetros del ciclo gaseoso (donde va incluido el ciclo del carbono), climático y nivel del mar.

Como datos de salida, MAGICC proporciona las concentraciones de CO_2 durante el período 1990-2100, así como los valores de forzamiento radiativo para los gei y los cambios tanto en el nivel del mar como en la temperatura promedio para cada escenario especificado.

Al utilizar este programa para el modelado del ciclo del carbono y efectos climáticos, un mismo grupo de datos de emisiones futuras de gei pueden ofrecer como resultado una variedad de concentraciones futuras, ya que permite modificar valores de los parámetros utilizados en la modelación. Como la tasa de fertilización por aumento de CO_2, el almacenamiento térmico, etc.

Sin embargo, las diferencias que se obtengan en este trabajo en los doce escenarios generados dependen únicamente de las emisiones que muestra cada uno de ellos. Esto obedece a que los valores utilizados en los parámetros de cálculo inherentes a MAGICC son los mismos para todos los escenarios, dando una idea de los posibles "mundos futuros" que tendríamos únicamente debido a las variaciones de las tasas POB, C/E, PIB/POB y E/PIB que se consideran en este estudio.

Las líneas de concentración y los perfiles a estabilización por construir, serán una aproximación de los esfuerzos que los países desarrollados tendrán que hacer para desacelerar el cambio climático; mismos que dependerán por un lado de los compromisos a que accedan como países OCDE y por otro podrían conseguirse implantando medidas en sectores que no están relacionados directamente con tecnología.

Según los resultados a obtener con la disminución de las tasas de cambio en los índices Kaya, puede ser esta una medida efectiva para atacar el efecto invernadero acelerado que se está viviendo; siendo el punto de partida o la base para diseñar políticas en otros ámbitos que no sean estrictamente del orden energético, al intentar disminuciones poco a poco en las tasas de crecimiento de los sectores involucrados conducentes a disminuir la tasa de generación de CO_2 fósil.

Escenarios y perfiles futuros de emisión de dióxido de carbono

En esta sección se presentan los principales resultados obtenidos a partir de la metodología descrita en la sección anterior. Se incluyen escenarios, líneas de concentración de CO_2, perfiles de estabilización y estimación de las alteraciones promedio en el nivel del mar y la temperatura superficial. Es de hacer notar que no todos los escenarios conducen a la estabilización; de los doce escenarios para países OCDE, dos contribuyen a estabilizar las concentraciones OCDE a más tardar en el año 2100.

Estos dos escenarios se complementan con el esfuerzo de los países en desarrollo para estabilizar las concentraciones mundiales a mas tardar en el año 2100. Se presentan las líneas de concentración y los perfiles de estabilización de escenarios mundiales.

Asociados a cada línea de concentración se generan datos y gráficas que representan los parámetros climáticos derivados de cada escenario y finalmente se estiman cuotas de reducción de emisiones de CO_2 para los países OCDE.

Construcción de escenarios

El objetivo de este trabajo es elaborar perfiles en los cuales se alcance la estabilización de las emisiones de CO_2 en la atmósfera y que la distribución de responsabilidades y sacrificios sea con equidad para los países desarrollados y en desarrollo. Para lograr este propósito se construyen escenarios para países OCDE, esto es, se crean grupos de datos con la Identidad de Kaya, comparándose con los datos obtenidos del Protocolo de Kyoto y la propuesta NL-1%.

Se proponen perfiles de reducción para países en desarrollo que en conjunto con los perfiles de estabilización de países OCDE logren escenarios mundiales de estabilización.

El valor de estabilización de la concentración de CO_2 en el año 2100 que manejan la mayoría de autores y el cual el IPCC considera conveniente es alrededor de las 550 ppmv, aproximadamente el doble de la era preindustrial, este nivel es el que se considera como referencia en este trabajo.

Escenarios para países OCDE

Los resultados de las propuestas: Protocolo de Kyoto y NL-1% indican que la mitigación de emisiones en los países OCDE será bastante menor para el Protocolo de Kyoto en comparación con NL-1%. Sin embargo, bajo las cuotas contempladas en esas dos propuestas, la responsabilidad de la estabilización de emisiones de aquí a cien años recae directamente sobre los países en desarrollo.

Aplicando la metodología propuesta se estudiará si pudiese alcanzarse la estabilización a partir de un panorama para OCDE, utilizando la Identidad de Kaya, lo que mostrará la obligación de cada uno de estos grupos y el sacrificio impuesto para los países en desarrollo.

La propuesta vertida para la reducción de los gei para los países desarrollados significa una participación mayor en las reducciones de CO_2, a través de la disminución década tras década del presente siglo de la tasa de crecimiento de los índices Kaya.

Escenarios Kyoto

Tal como lo señala el Protocolo de Kyoto para los países desarrollados, se aplicó una disminución de CO_2 de un 5.2% en promedio, partiendo de los niveles de 1990. Las emisiones resultantes son las generadas en el año 2010.

Las emisiones de países OCDE extrapoladas de los datos de la IEA(2002) en 1990 son de 3.90 GtC/año, después de aplicar la disminución de 5.2% especificada en el Protocolo de Kyoto, se obtienen 3.89 GtC/año emitidas por los países desarrollados en el año 2010. Esta cantidad se mantiene constante hasta 2100 para construir los escenarios de mitigación y estabilización de dióxido de carbono mundiales. Las emisiones reportadas por la IEA (2002) para 1995 son iguales a 3.65 GtC/año, esto indica que para 2100 los países desarrollados disminuirán sus emisiones en sólo un 1% en total respecto a las emisiones de 1990.

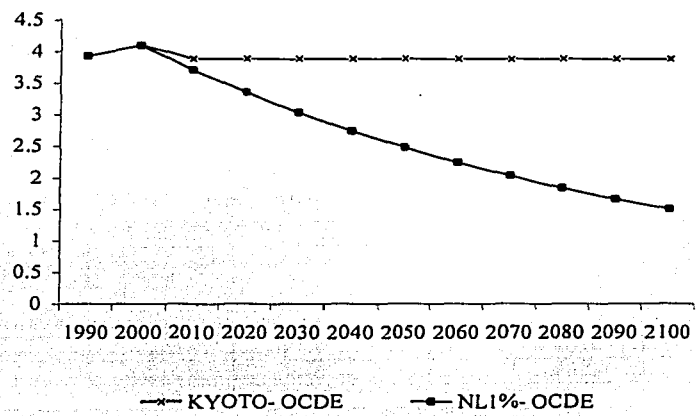
Escenarios NL-1%

Siguiendo la propuesta menos drástica de los países bajos, denominada NL-1%, se obtiene el resultado mostrado en la figura 3.V para países OCDE.

Para la elaboración de este escenario, se mantuvieron constantes las emisiones de 1990 hasta el año 2000 en un valor de 3.90 GtC/año. Aplicando a esta cantidad el 1% del interés compuesto decreciente anual hasta el año 2100 se obtiene una cantidad igual a 1.50 GtC/año emitidos para el fin del siglo.

Comparativamente, este escenario conlleva a un nivel de emisiones futuras menor que Kyoto. A partir del 2000 es evidente que las curvas de ambos escenarios se separan, disminuyendo más rápidamente la curva que representa al escenario NL-1%. El escenario Kyoto se mantiene constante en 3.89 GtC/año en el período 2010 hasta 2100, mientras que el escenario NL-1% continua descendiendo hasta 1.5 GtC/año en 2100. De esta forma las emisiones bajo Kyoto son 2.65 veces mayores que el escenario NL-1% para el final del período de estudio, es decir para 2100.

Gráfica 3.V. Emisiones de CO_2 para OCDE (1990-2100)



El escenario NL-1% conlleva a un nivel de emisiones futuras menor que Kyoto. A partir del 2000 es evidente que las curvas de ambos escenarios se separan, disminuyendo más rápidamente la curva que representa al escenario NL-1%.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IEA

Escenarios basados en la Identidad de Kaya

Siguiendo con la metodología desarrollada al inicio de este capítulo y aplicada a los países desarrollados, se obtienen doce escenarios de emisiones de CO_2 para este grupo de países, procedentes de las disminuciones en las tasas de POB, C/E, PIB/POB y E/PIB.

El cálculo se realiza disminuyendo 10, 25 y 50% la tasa anual promedio de un índice en períodos de diez años, manteniendo constantes los otros tres. Partiendo de las tasas

presentadas por los países OCDE en la década de 1990-2000 se llega a los valores de las tasas al final del siglo, según cada escenario desarrollado:

Tabla 3.III. Tasa anual promedio de índices de Kaya para los países OCDE en las décadas: base y última del período de construcción de escenarios.

Década	C/E	E/PIB	POB	PIB/POB	CO_2 emitido
1990-2000	-0.44	-0.75	0.73	1.66	1.20
2090-2100					
Aplicando el porcentaje de disminución en la tasa de población (POB)					
10%	-0.44	-0.75	**0.25**	1.66	0.73
25%	-0.44	-0.75	**0.04**	1.66	0.51
50%	-0.44	-0.75	**0.00**	1.66	0.47
Aplicando el porcentaje de disminución en la tasa de CO_2/Energía (C/E)					
10%	**-1.13**	-0.75	0.73	1.66	0.51
25%	**-4.00**	-0.75	0.73	1.66	0.00
50%	**-25.01**	-0.75	0.73	1.66	0.00
Aplicando el porcentaje de disminución en la tasa de Energía /PIB (E/PIB)					
10%	-0.44	**-1.96**	0.73	1.66	0.00
25%	-0.44	**-7.02**	0.73	1.66	0.00
50%	-0.44	**-43.5**	0.73	1.66	0.00
Aplicando el porcentaje de disminución en la tasa de Ingreso per capita (PIB/POB)					
10%	-0.44	-0.75	0.73	**0.58**	0.12
25%	-0.44	-0.75	0.73	**0.09**	0.00
50%	-0.44	-0.75	0.73	**0.00**	0.00

Partiendo de las tasas presentadas por los países OCDE en la década de 1990-2000 se llega a los valores de las tasas al final del siglo, según cada escenario desarrollado.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la IEA (2002).

Como medida comparativa se aplica la Identidad de Kaya con las reducciones 10, 25 y 50% a los países No-OCDE:

Tabla 3.IV. Tasa anual promedio de índices de Kaya para los países No-OCDE en las décadas: base y última del período de construcción de escenarios.

Década	C/E	E/PIB	POB	PIB/POB	CO_2 emitido
1990-2000	-0.68	1.04	1.58	0.06	2.00
2090-2100					
Aplicando el porcentaje de disminución en la tasa de población (POB)					
10%	-0.68	1.04	**0.55**	0.06	0.97
25%	-0.68	1.04	**0.09**	0.06	0.51
50%	-0.68	1.04	**0.002**	0.06	0.43
Aplicando el porcentaje de disminución en la tasa de CO_2/Energía (C/E)					
10%	**-1.76**	1.04	1.58	0.06	0.92
25%	**-6.31**	1.04	1.58	0.06	0.00
50%	**-39.051**	1.04	1.58	0.06	0.00
Aplicando el porcentaje de disminución en la tasa de Energía /PIB (E/PIB)					
10%	-0.68	**0.36**	1.58	0.06	1.33
25%	-0.68	**0.06**	1.58	0.06	1.02
50%	-0.68	**0.001**	1.58	0.06	0.96
Aplicando el porcentaje de disminución en la tasa de Ingreso per capita (PIB/POB)					
10%	-0.68	1.04	1.58	**0.02**	1.96
25%	-0.68	1.04	1.58	**0.003**	1.944
50%	-0.68	1.04	1.58	**0.00**	1.941

Partiendo de las tasas presentadas por los países No-OCDE en la década de 1990-2000 se llega a los valores de las tasas al final del siglo, según cada escenario desarrollado.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la IEA (2002).

Para los países OCDE los escenarios CE025, CE05, EP01, EP025, EP05, PP025 y PP05 llegan a emisiones nulas antes de terminar el período de estudio (2000- 2100); debido a esto se aplica tasa cero desde la década que alcanza emisiones nulas hasta el final del período.
Los países No-OCDE tienen los escenarios CE025 y CE05 que también llegan a emisiones nulas antes de terminar el período y también se paliza tasa cero hasta el final del período.
Cada caso se analiza a continuación:

Perfiles POB

a) Países OCDE

En la tabla 3.V se observan las tasas correspondientes a la década base 1990-2001 y a la última década 2090-2100. Los perfiles generados para POB muestran disminuciones a lo largo de todo el período, P01, P025 y P05 tienen recorridos equivalentes a lo largo del período aunque sus valores en la década 2100 tienen diferencias, presentan gran homogeneidad.

Tabla 3.V. Emisiones de CO_2 (GtC/ década) para los escenarios POB, período 2000-2100

	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
NO-OCDE_P05	2.00	1.21	0.82	0.62	0.52	0.47	0.45	0.44	0.43	0.43	0.43
NO-OCDE_P025	2.00	1.61	1.31	1.09	0.92	0.80	0.70	0.63	0.58	0.54	0.51
NO-OCDE_P01	2.00	1.84	1.70	1.57	1.46	1.36	1.26	1.18	1.10	1.04	0.97
P05	4.10	2.86	2.24	1.93	1.78	1.70	1.66	1.64	1.63	1.62	1.62
P025	4.10	3.48	3.01	2.67	2.40	2.21	2.06	1.95	1.87	1.81	1.76
P01	4.10	3.85	3.63	3.43	3.25	3.08	2.94	2.81	2.69	2.58	2.48

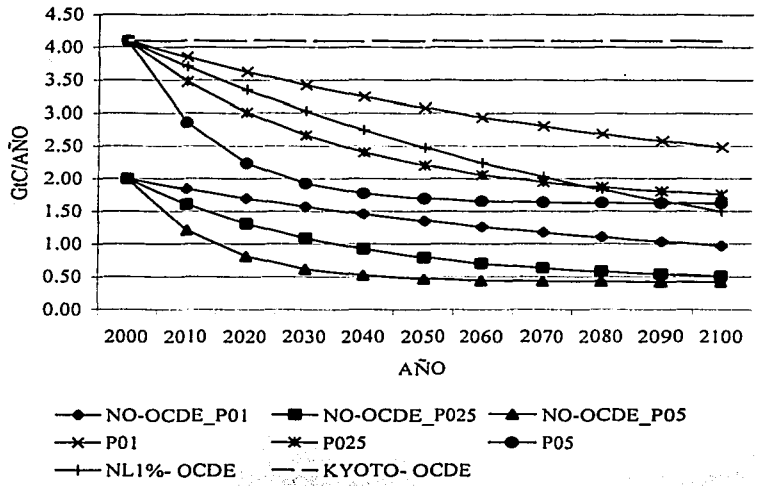
Los perfiles generados POB para países OCDE y No-OCDE muestran disminuciones a lo largo de todo el período y homogeneidad en sus recorridos.
Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología propuesta.

En la tabla 3.III los índices se mantienen positivos al aplicar las tasas de reducción por década hasta el final del período. Estos perfiles tienen un índice bajo de emisiones de CO_2: 0.73, 0.51 y 0.47 (2.48, 1.76 y 1.62 GtC/ década) respectivamente, menores que las emisiones bajo el protocolo de Kyoto (3.89 GtC/ década).
Los escenarios POB parten de 4.10 GtC/año para países OCDE y como resultado de disminuir las correspondientes tasas anuales de cambio del índice de Kaya respectivo durante cada década (tabla 3.V); las emisiones de los países OCDE alcanzan el mayor valor (2.48) en el año 2100, representando la disminución de más de la mitad de las emisiones para la misma década si OCDE respeta el protocolo de Kyoto y aumentando tres medios su valor si se apegan a la propuesta NL-1%. El perfil P025 es muy parecido al perfil NL-1%, dándonos una idea de la disminución del factor de crecimiento poblacional necesario en los países OCDE para llevar a cabo la propuesta de los países Bajos (NL-1%)

b) Países No-OCDE

En la tabla 3.IV se dan los valores de la década base 1990-2000 y última década 2090-2100 Alcanzando su mayor valor para la última década en el escenario P01 de 0.97; Su recorrido es homogéneo en todo el período para los tres escenarios.
El esfuerzo para los países No-OCDE es mucho mayor ya que sus valores durante todo el período de estudio están por debajo del los escenarios para países OCDE, aún para NL-1%.

Gráfica 3.VI. Comparación de los escenarios POB para países OCDE y No-OCDE, NL-1% y Kyoto (GtC/año)



Los escenarios parten de 4.09 GtC/año para OCDE y 2.01 GtC/año para No-OCDE en 2000. El esfuerzo para los países No-OCDE es mucho mayor ya que sus valores durante todo el período de estudio están por debajo del los escenarios para países OCDE, aún para NL-1%.

Fuente: Elaboración propia con datos de IEA, 2002

Perfiles C/E

a) Países OCDE

Los perfiles generados para C/E mantienen recorridos muy parecidos a E/PIB, muestran disminuciones a lo largo de todo el período. CE01 nunca llega a una tasa de crecimiento nula al final del período. CE025 cambia de signo en la década de 2060 con un valor de –0.086, en esta década los valores se convertirán a tasa cero de crecimiento ya que no tiene sentido hablar de tasas negativas de crecimiento. Esto es cuando los países OCDE dejaran de emitir CO_2, ya no puede hacer nada más. Para CE05 llega a tasa negativa en 2040, por la misma razón desde esta década se vuelve tasa cero hasta el final del período.

CE01 se acerca mucho al recorrido de NL-1%, caracterizando el esfuerzo para la disminución de la propuesta NL-1% en los países OCDE.

En la tabla 3.III puede apreciarse que los escenarios C/E parten de 4.10 GtC/año en 2000 y como resultado de disminuir las correspondientes tasas anuales de cambio del índice de Kaya respectivo durante cada década; las emisiones de OCDE alcanzan su mayor valor en 2100 para CE01 de 1.73 en el año 2100, representando el aumento de más del doble de las emisiones para la misma década si los PD respetan el protocolo de Kyoto y la disminución de casi un octavo de su valor si se apegan a la propuesta NL-1%.

b) Países No-OCDE

El recorrido de emisiones para CE025 y CE05 obedecen las mismas reglas que para países OCDE, solo que partiendo de emisiones menores. CE025 se convierte a tasa cero en 2060 y hasta el final del período. CE05 se convierte en tasa cero en 2040 y continuará así hasta 2100 (tabla 3.VI).

Los escenarios CE025 y CE05 para países OCDE y No-OCDE reclaman un sacrificio por igual. Solo CE01 para países No-OCDE reclama mayor reducción que a los países OCDE, que pueden alcanzar una mayor reducción siguiendo NL-1%.

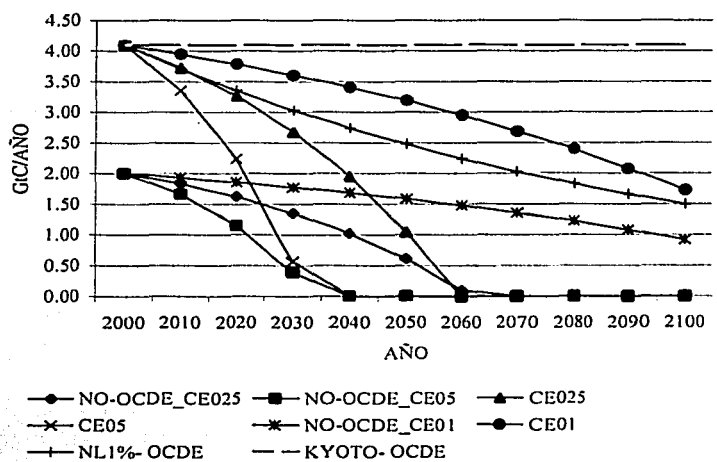
Los escenarios No-OCDE parten de 2.00 GtC/año en la década base y rápidamente decrecen alcanzando su mayor valor para CE01 con 0.92 GtC/año.

Tabla 3.VI. Emisiones de CO_2 (GtC/ década) para los escenarios C/E, período 2000-2100

	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
NO-OCDE_CE025	2.00	1.83	1.62	1.36	1.03	0.61	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
NO-OCDE_CE05	2.00	1.66	1.16	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE025	4.10	3.73	3.26	2.68	1.96	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CE05	4.10	3.36	2.24	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NO-OCDE_CE01	2.00	1.93	1.86	1.78	1.69	1.59	1.48	1.36	1.23	1.08	0.92
CE01	4.10	3.95	3.79	3.61	3.41	3.19	2.95	2.69	2.40	2.08	1.73

Los escenarios C/E generados para OCDE siguen recorridos diferentes entre sí. Los escenarios No-OCDE parten de 2.00 GtC/año en la década base y rápidamente decrecen alcanzando su mayor valor para CE01 con 0.92 GtC/año
Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología propuesta.

Gráfica 3.VII. Comparación de los escenarios C/E, NL-1% y Kyoto (GtC/año)



Los escenarios C/E parten de 4.10 GtC/año en 2000 y las emisiones alcanzan un valor máximo de 1.73 en el año 2100. Los escenarios No-OCDE parten de 2.00 GtC/año en la década base y rápidamente decrecen alcanzando su mayor valor para CE01 con 0.92 GtC/año

Fuente: Elaboración propia con datos de IEA, 2002

Perfiles E/PIB

a) Países OCDE

Los perfiles generados para E/PIB muestran disminuciones a lo largo de todo el período. EP01 disminuye a un ritmo menor hasta -0.005 GtC/año al llegar en el 2100 que se convierte en tasa cero en esa década.

Tabla 3.VII. Emisiones de CO_2 (GtC/ década) para los escenarios E/PIB, período 2000-2100

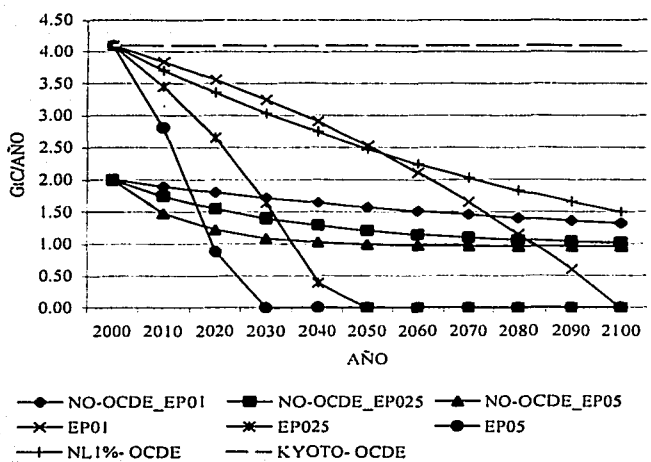
	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
NO-OCDE_EP01	2.00	1.90	1.80	1.72	1.64	1.58	1.52	1.46	1.41	1.37	1.33
NO-OCDE_EP025	2.00	1.74	1.55	1.40	1.29	1.21	1.15	1.10	1.07	1.04	1.02
NO-OCDE_EP05	2.00	1.48	1.22	1.09	1.03	1.00	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96
EP01	4.10	3.84	3.56	3.25	2.90	2.53	2.11	1.66	1.15	0.60	0.00
EP025	4.10	3.46	2.65	1.64	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EP05	4.10	2.81	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Los perfiles generados E/PIB para países OCDE y No-OCDE siguen recorridos diferentes entre sí. No alcanzan niveles de estabilización para 2100.

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología propuesta.

En la tabla 3.III se observan las tasas correspondientes a la década base 1990-2001 y a la última década 2090-2100. EP025 se mantiene positivo hasta la década 2050 que alcanza la tasa cero. EP05 cambia de signo en la década 2030 alcanzando un valor de –2.02 GtC/año que también se convierte a tasa cero para esa década. EP025 y EP05 son parecidos en cuanto a recorrido de emisiones de CO_2.

Gráfica 3.VIII. Comparación de los escenarios E/PIB, NL-1% y Kyoto (GtC/año)



Los escenarios E/PIB parten de 4.10 GtC/año en 2000 y alcanzan un máximo valor de –0.005 en el año 2100.

Fuente: Elaboración propia con datos de IEA, 2002

Dentro de estos perfiles se encuentra el escenario con mayor disminuciones: EP05 que alcanza la tasa cero en 2030. Siguiendo el Protocolo de Kyoto las emisiones aumentarían 97 veces mas que EP05, y 78 mayor si seguimos el escenario NL-1%.

b) Países No-OCDE

Los escenarios E/PIB para No-OCDE no llegan a la tasa cero en todo el período pero sus recorridos son homogéneos y regulares se pide un sacrificio distribuido en todo el período de igual forma y se acercan mucho al valor de NL-1% para países OCDE. El que más se acerca es EP01.

Perfiles PIB/POB

a) Países OCDE

En la gráfica 3.VIII puede apreciarse que los escenarios PIB/POB parten de 4.10 GtC/año en 2000 y como resultado de disminuir las correspondientes tasas anuales de cambio del índice de Kaya respectivo durante cada década muestran los recorridos intermedios entre todos los escenarios pidiendo el mayor sacrificio desde el principio del período.

Tabla 3.VIII. Emisiones de CO_2 (GtC/ década) para los escenarios PIB/POB, período 2000-2100

	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
NO-OCDE_PP01	2.00	2.00	1.99	1.99	1.98	1.98	1.97	1.97	1.97	1.96	1.96
NO-OCDE_PP025	2.00	1.99	1.98	1.97	1.96	1.96	1.95	1.95	1.95	1.95	1.94
NO-OCDE_PP05	2.00	1.97	1.96	1.95	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94
PP01	4.10	3.53	3.02	2.56	2.15	1.77	1.44	1.13	1.10	0.62	0.40
PP025	4.10	2.68	1.61	0.81	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PP05	4.10	1.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Los perfiles generados para PIB/POB de países OCDE siguen recorridos diferentes entre sí. Muestran los recorridos intermedios entre todos los escenarios pidiendo el mayor sacrificio desde el principio del período.
Los escenarios PIB/POB pata No-OCDE mantienes recorridos iguales para todo el período, lo que se debe al poco crecimiento per capita que existe en la región y por lo tanto su poca contribución dentro de la Identidad de Kaya.

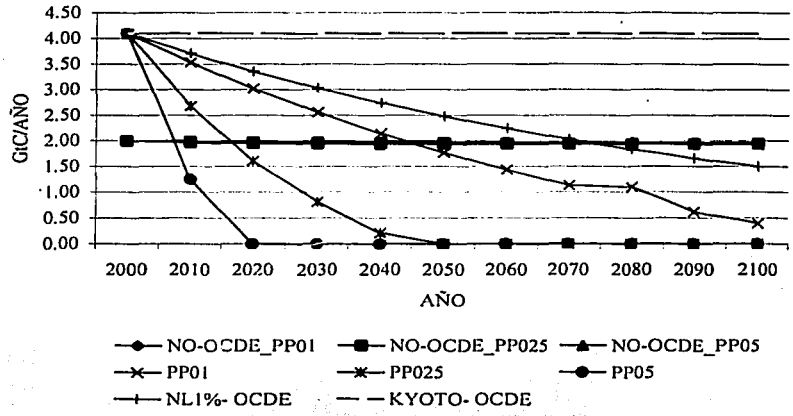
Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología propuesta.

Este índice exige un cambio drástico y los escenarios se mantienen regulares en todo el período.

PP025 encuentran la tasa cero durante el período de estudio en 2050. Pero PP05 llega aun antes a la tasa cero: en 2020. Reduce el ingreso per capita a menos de la mitad en la segunda década. El sacrificio a la economía de las personas es muy grande.

PP01 tiene un comportamiento lineal y tampoco encuentra la estabilización de las emisiones. Su valor es el único que no encuentra la tasa cero durante el período de estudio, este escenario es el que se acerca más a NL-1%.

Gráfica 3.IX. Comparación de los escenarios PIB/POB, NL-1% y Kyoto (GtC/año)



Los escenarios PIB/POB parten de 4.10 GtC/año en 2000 mostrando las mayores disminuciones desde 2020 para PP05 de 0.00 GtC/año. No-OCDE inicia con 2.00 GtC/año y las emisiones al final del período son mayores que NL-1% para países OCDE, pero se acercan mucho a este escenario con 0.94 GtC/año y recorrido homogéneos entre sí.

Fuente: Elaboración propia con datos de IEA, 2002

b) Países No-OCDE

Los escenarios PIB/POB pata No-OCDE mantienes recorridos iguales para todo el período, lo que se debe al poco crecimiento per capita que existe en la región y por lo tanto su poca contribución dentro de la Identidad de Kaya.

Aun así resultaría en un gran sacrificio para la población de los países No-OCDE asumir estos escenarios, ya que se espera un crecimiento del ingreso per capita para mejorar la calidad de vida de la región.

Las emisiones al final del período son mayores que NL-1% para países OCDE, pero se acercan mucho a este escenario.

Escenarios para países No-OCDE

La metodología utilizada para países en desarrollo se sustenta en el principio de responsabilidad de emisiones históricas para los países desarrollados, así que se propone que los países en desarrollo emitan gei a la atmósfera hasta alcanzar los niveles de los países desarrollados esperando que sus economías e industria alcancen un nivel digno.
Las emisiones de países en desarrollo se modelan con base en el escenario IS92a del IPCC, 1992.
Esta emisión se alcanzaría en el 2010, en la década siguiente (2020) deberán hacer reducción del 1 % por década hasta el año 2100 para estabilizar las concentraciones de CO_2 en la atmósfera.

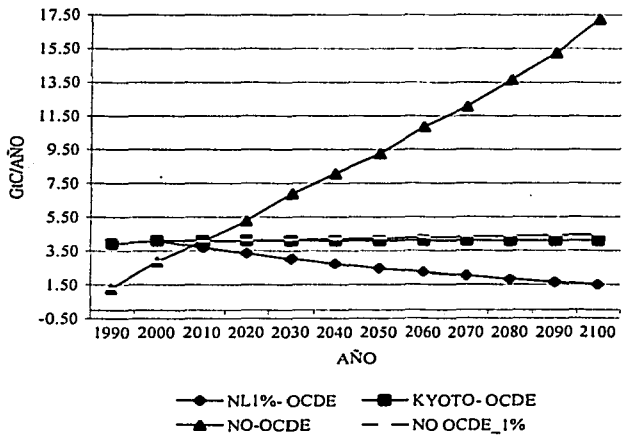
Tabla 3.IX. Tasa de disminución del 1% de CO_2 por década (2020-2100) para países No-OCDE (GtC/año)

	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
NO OCDE_1%	1.28	2.88	4.08	4.12	4.16	4.20	4.24	4.28	4.32	4.37	4.41	4.46

Los países en desarrollo emitirán gei a la atmósfera hasta alcanzar los niveles de los países desarrollados esperando que sus economías e industria alcancen un nivel digno. Esperando que en el año 2100 se estabilicen las concentraciones de CO_2 en la atmósfera.

Fuente: Construcción propia.

Gráfica 3.X. Emisiones de CO_2 (GtC/ año) para No-OCDE_1% por década y No-OCDE según IS92a, NL-1% y Kyoto para OCDE (1990-2100)



Escenario No-OCDE basado en IS92a para emisiones de CO_2 por energía y escenario de 1% de reducción por década para países No-OCDE y escenarios NL-1% y Kyoto para los escenarios OCDE de emisiones de CO_2
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IEA 2001

Esta propuesta junto con los escenarios No-OCDE de comparación, utilizando la Identidad de Kaya, serán los escenarios que junto con los sugeridos para OCDE, se combinarán para modelar las emisiones mundiales durante el período de estudio.

Tabla 3.X. Resumen de escenarios basados en la Identidad de Kaya para OCDE y No-OCDE

Resumen de escenarios para países OCDE y No-OCDE	
OCDE	
Tasa cero al final del período	1. EP01, EP025, EP05, CE025, CE05, PP025 y PP05
Tasa diferente de cero al final del período	2. P01 3. PP01 4. CE01 5. P025 6. P05
No-OCDE	
Tasa cero al final del período	1. NO-OCDE_CE025 y NO-OCDE_CE05
Tasa diferente de cero al final del período	2. NO-OCDE_PP01, NO-OCDE_PP05 y NO-OCDE_PP025 3. NO-OCDE_P05 4. NO-OCDE_P025 5. NO-OCDE_CE01 6. NO-OCDE_EP05 7. NO-OCDE_P01 8. NO-OCDE_EP025 9. NO-OCDE_EP01

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología propuesta

Los escenarios de tasa cero al final del período se agrupan ya que siguen las mismas trayectorias hasta el final de período.. Los escenarios diferentes de tasa cero también son diferentes entre sí, a menos que se indique lo contrario: como el caso de NO-OCDE_PP01, NO-OCDE_PP05 y NO-OCDE_PP025 que llegan a las mismas tasas de reducción al final del período.

De acuerdo a estos parámetros de semejanza, los escenarios para OCDE son seis diferentes y nueve para No-OCDE que junto con los escenarios NL-1% y Kyoto para OCDE y reducción de 1% y escenarios IS92a para No-OCDE hacen un total de 14 escenarios con recorridos distintos

Escenarios mundiales

Los escenarios mundiales para cada uno de los dos grandes grupos estudiados en este trabajo: países OCDE y No-OCDE son resultado de la combinación de los escenarios comentados anteriormente en la tabla 3.XI y resumidos en la tabla 3.XII.

Tabla 3.XI. Escenarios mundiales de mitigación de emisiones de CO_2

Escenarios		
OCDE	**NO-OCDE**	**Mundiales**
Identidad de Kaya: Reducción de 10, 25 y 50% en las tasas de cambio promedio anual.	Identidad de Kaya: Reducción de 10, 25 y 50% en las tasas de cambio promedio anual.	CE025 Y NO-OCDE_CE025 P01 Y NO-OCDE_P01 PP01 Y NO-OCDE_CE025 CE01 Y NO-OCDE_CE01 P025 Y NO-OCDE_P025 P05 Y NO-OCDE_P05 CE025 Y NO-OCDE_PP025 CE025 Y NO-OCDE_EP05 CE025 Y NO-OCDE_EP025 CE025 Y NO-OCDE_EP01
NL-1%, reducción de 1% de interés anual compuesto	1% de reducción por década desde el 2020 hasta el 2100	NL1%- OCDE Y NO OCDE_1%
	Bajo el escenario IS92a sin reducción de emisiones	NL1%- OCDE Y NO-OCDE
Kyoto, reducción de 5.2% en 1990	1% de reducción por década desde el 2020 hasta el 2100	KYOTO- OCDE Y NO OCDE_1%
	Bajo el escenario IS92a sin reducción de emisiones	KYOTO- OCDE Y NO-OCDE

Los escenarios mundiales para cada uno de los dos grandes grupos estudiados en este trabajo: OCDE y NO-OCDE son resultado de la combinación de los diferentes escenarios
Fuente: Construcción propia con base en datos de IEA,2001

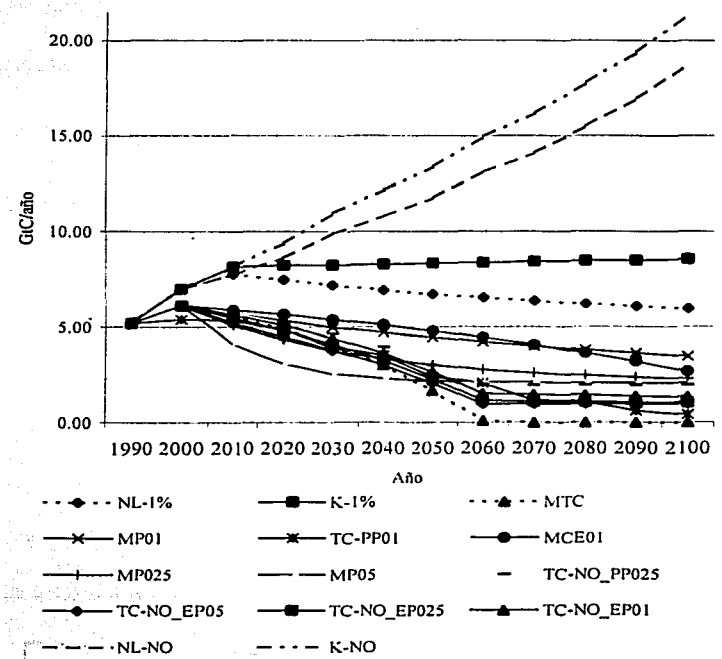
Para hacer más fácil la terminología al referirnos a los escenarios, se propone una nomenclatura para las nuevas agrupaciones mundiales de emisiones de CO_2.
Es de hacer notar que en los casos en que las emisiones al final del período son iguales, se utiliza un escenario equivalente a todos los que cumplan con la igualdad de tasas de reducción al final del período. Así EP01, EP025, EP05, CE025, CE05, PP025 y PP05 tienen tasa cero al final del período de estudio y para combinarlos con los escenarios No-OCDE se utilizan las emisiones del CE025 como representantes de este grupo.
Al igual para NO-OCDE_CE025 y NO-OCDE_CE05 que tienen tasa cero al final del período se utiliza el recorrido de NO-OCDE_CE02. Finalmente para NO-OCDE_PP01, NO-OCDE_PP05 y NO-OCDE_PP025 que aunque sus tasa no son cero al final del período, sus recorrido son iguales y llegan a tasas de reducción iguales al final del período, En este caso se utiliza el recorrido de PP025.

Tabla 3.XII. Nomenclatura de escenarios mundiales (1990-2100)

Nomenclatura	Escenarios mundiales
NL-1%	NL1%- OCDE Y NO OCDE_1%
K-1%	KYOTO- OCDE Y NO OCDE_1%
MTC	CE025 Y NO-OCDE_CE025
MP01	P01 Y NO-OCDE_P01
TC-PP01	PP01 Y NO-OCDE_CE025
MCE01	CE01 Y NO-OCDE_CE01
MP025	P025 Y NO-OCDE_P025
MP05	P05 Y NO-OCDE_P05
TC-NO_PP025	CE025 Y NO-OCDE_PP025
TC-NO_EP05	CE025 Y NO-OCDE_EP05
TC-NO_EP025	CE025 Y NO-OCDE_EP025
TC-NO_EP01	CE025 Y NO-OCDE_EP01
NL-NO	NL1%- OCDE Y NO-OCDE
K-NO	KYOTO- OCDE Y NO-OCDE

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología propuesta

Gráfica 3.XI. Perfiles mundiales de concentraciones de CO_2 (GtC/año)



Fuente: Elaboración propia con datos de IEA, 2002

Escenarios que reducen emisiones de CO_2 a escala mundial

Hasta este punto se cuenta con catorce escenarios mundiales, de los cuales once disminuyen considerablemente las emisiones futuras; sin embargo estos escenarios aún se encuentran expresados en gigatoneladas de carbón por año (GtC/año) emitidas por la quema de combustibles fósiles. Para cumplir con el objetivo de obtención de escenarios de estabilización es necesario convertir estas unidades de masa a aquellas que expresan la concentración volumétrica de CO_2 en la atmósfera, esto es ppmv.

La herramienta utilizada: MAGICC, será la encargada de la simulación del ciclo del carbono y la interacción energética planetaria responsable del equilibrio climático.

Con MAGICC se obtienen las concentraciones de CO_2 asociadas a los escenarios de emisiones construidos y las alteraciones climáticas derivadas de ellos.

Los resultados de aplicar MAGICC a los escenarios mundiales generados están en la tabla.

Tabla 3.XIII. Resultados de MAGICC bajo los diferentes escenarios[1]

Escenario	Concentración de CO_2 ppmv	Estado en 2100	Parámetros climáticos en 2100	
			Δ °C[2]	cmsnm[3]
KYOTO				
K-1%	533	Aumenta	1.4	40
K-NO	710	Aumenta	2.05	44
NL-1%				
NL-1%	475	Aumenta	1.2	37
NL-NO	565	Aumenta	1.9	43
KAYA				
MP05	385	Aumenta	0.6	24.5
MTC	372	Disminuye	0.6	25.5
TC-PP01	383	Disminuye	0.6	26
TC-NO_EP05	383	Disminuye	0.6	26
TC-NO_EP025	387	Disminuye	0.65	26.5
TC-NO_EP01	392	Disminuye	0.65	27
MP025	402	Disminuye	0.75	27.5
TC-NO_PP025	404	Disminuye	0.71	28
MCE01	430	Aumenta	0.9	30
MP01	435	Aumenta	0.9	30.5

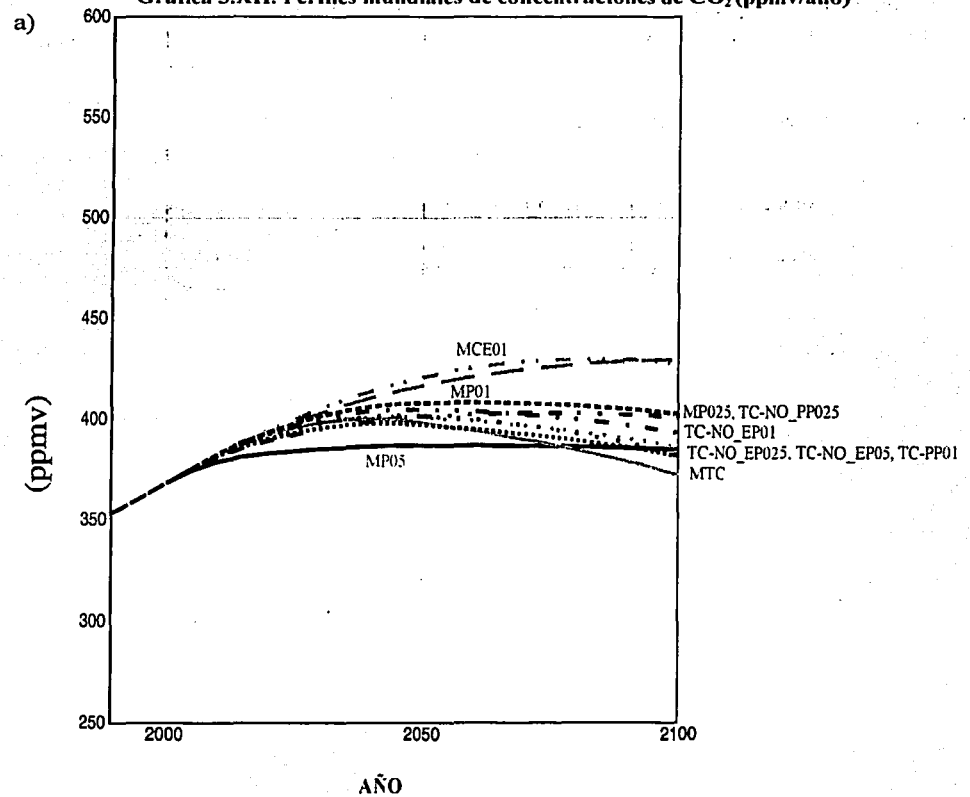
Resultados de aplicar MAGICC a los escenarios mundiales generados.
Notas: 1Datos generados con el programa MAGICC. 2 Cambio en la temperatura expresada en grados centígrados. 3 Aumento en el nivel del mar, expresado en centímetros.
Fuente: Construcción propia

De los catorce escenarios K-NO y NL-NO son los que tienen concentraciones de CO_2 mayores a lo largo del período, con un valor de 710 y 565 ppmv en el año 2100. Estos dos escenarios dan toda la responsabilidad de reducción de emisiones a los países OCDE mientras que los No-OCDE no limitan sus emisiones en todo el período.

Los escenarios MP05, MP025, MCE01 y MP01 que son los que aplican una tasa de reducción igual para todo el mundo dan lugar concentraciones ménores que las establecidas por el Protocolo de Kyoto de 550 ppmv en el año 2100, asimismo, MTC que aplica la tasa cero a escala mundial alcanzada entre 2040 y 2060 también alcanza un valor inferior a 550 ppmv.

TC-NO_EP05, TC-NO_EP025, TC-NO_EP01, TC-NO_PP025 aplican la tasa cero a los países OCDE y los escenarios E/PIB y PIB/POB para los No- OCDE. El escenario TC-PP01 es el único que aplica la tasa cero sólo a los países No-OCDE y PIB/POB a los OCDE. En todos estos casos las emisiones son menores a 550 ppmv al final del período. (Gráfica 3.XII: a, b)

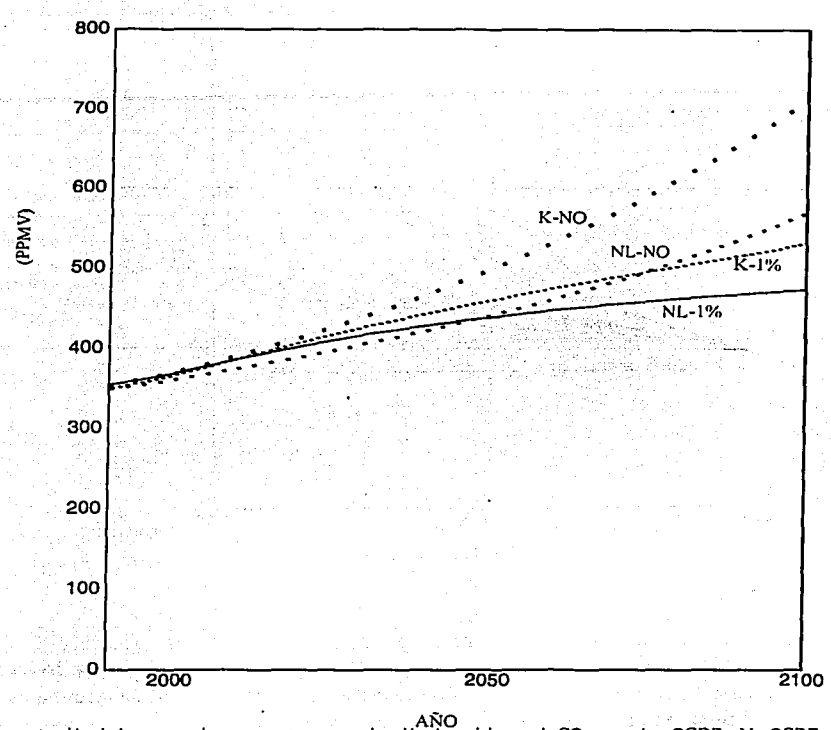
Gráfica 3.XII. Perfiles mundiales de concentraciones de CO_2 (ppmv/año)



Perfiles de concentraciones para países OCDE y No-OCDE de los escenarios propuestos para reducción de emisiones de CO_2 en el período de estudio (1990-2100)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IEA 2001 y MAGICC

b)



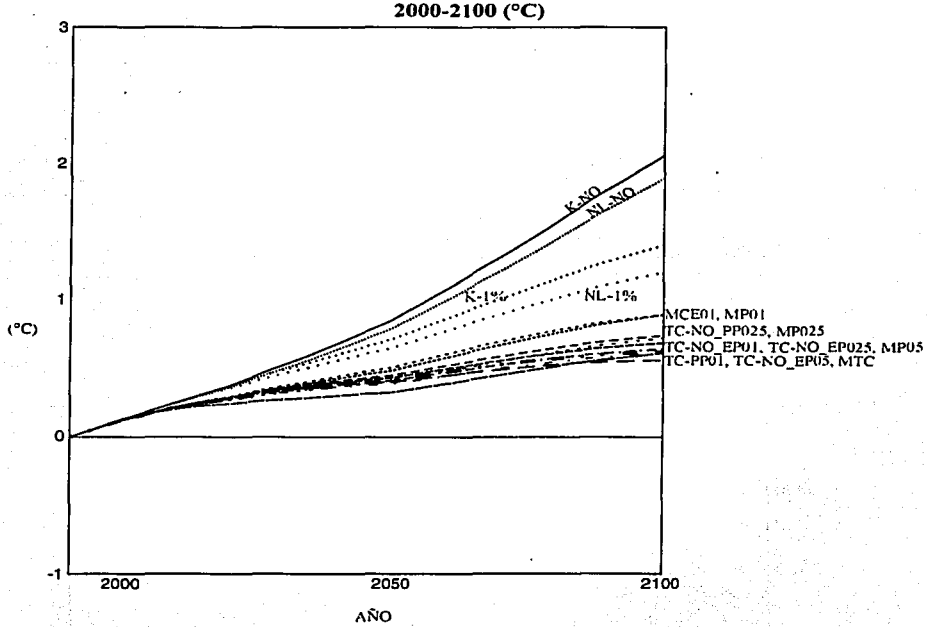
Perfiles de concentración de los escenarios propuestos para reducción de emisiones de CO_2 en países OCDE y No-OCDE en el periodo de estudio (1990-2100)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IEA 2001 y MAGICC

Las variaciones climáticas asociadas a todos los escenarios (figura 3.XIV), varían igual que los escenarios propuestos.

Para los escenarios basados en Kyoto y NL el cambio de temperatura varía entre 2.05 y 1.02 °C en el año 2100. Los escenarios basados en la Identidad de Kaya presentan cambios de temperatura que oscilan entre 0.6 y 0.9 °C. (Gráfica 3.XIII)

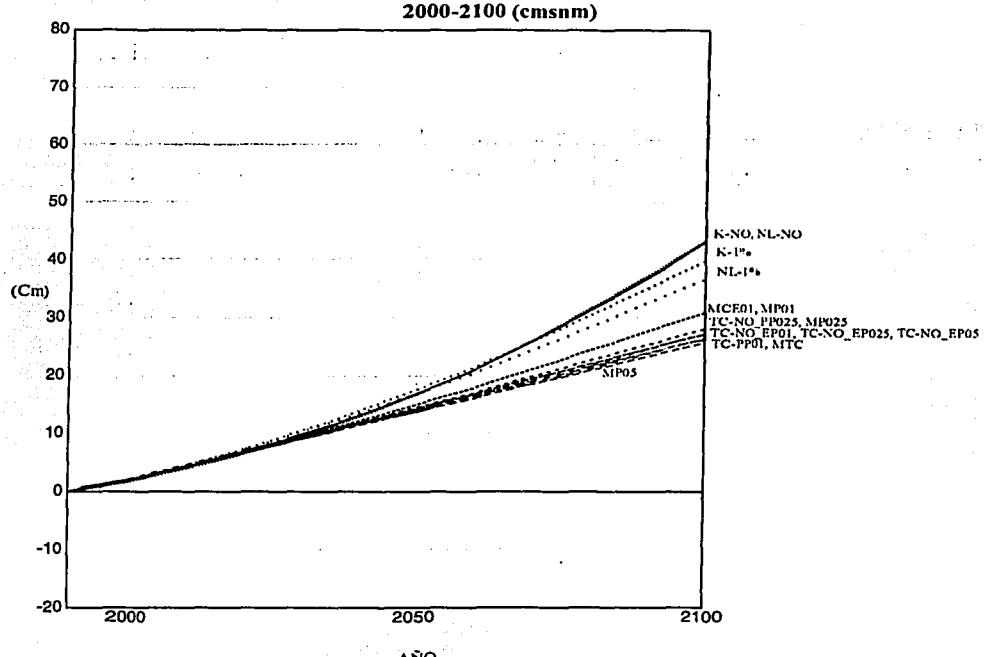
Gráfica 3.XIII. Alteraciones de la temperatura asociadas a los escenarios mundiales generados 2000-2100 (°C)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IEA 2001 y MAGICC

Los cambios en el nivel del mar son entre 44 y 37cm para los escenarios basados en Kyoto y NL, el año 2100; nuevamente los valores menores se encuentran en los escenarios basados en la Identidad de Kaya con valores entre 24.5 y 30.5cm de elevación del mar respecto al nivel de 1990. (Gráfica 3.XIV)

Gráfica 3.XIV. Alteraciones generados en el nivel del mar asociadas a los escenarios mundiales 2000-2100 (cmsnm)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IEA 2001 y MAGICC

Según estos resultados, los cambios mayores en el clima pueden esperarse dentro de cinco décadas y podría ser factible encontrar medidas poco drásticas para afrontar este cambio paulatino a través de todo el siglo. Sin embargo, tomando en cuenta que en la mayoría de los escenarios las concentraciones siguen aumentando a lo largo del siglo, el cambio climático global acelerado se sentirá aun después del año 2100 a consecuencia de la inercia climática.

A medida que aumente la concentración de CO_2 atmosférico proveniente de las emisiones por la quema indiscriminada de combustibles fósiles, el cambio global continuará afectando cada vez más las actividades humanas, hasta que se tomen las medidas adecuadas para disminuir en mayor medida las emisiones, forzando a la estabilización.

Tasas de reducción para los componentes de la Identidad Kaya

Ya que encontramos los escenarios que disminuyen las concentraciones de CO_2 por debajo de 550 ppmv, se proponen las cuotas de reducción para los factores socioeconómicos analizados anteriormente.

Tabla 3.XIV. Tasa de reducción anual para llegar a las emisiones de CO_2 establecidas para el 2100

Nomenclatura	Escenarios mundiales	Escenarios regionales	POB	C/E	E/PIB	PIB/POB	CO2_2100	i %
MTC	CE025 Y NO-OCDE_CE025	CE025	0.73	-0.44	-0.75	1.66	0.00	**1.02**
		NO-OCDE_CE025	1.58	-0.68	1.04	0.06	0.00	**1.00**
MP01	P01 Y NO-OCDE_P01	P01	0.73	-0.44	-0.75	1.66	2.48	**1.01**
		NO-OCDE_P01	1.58	-0.68	1.04	0.06	0.97	**0.95**
TC-PP01	PP01 Y NO-OCDE_CE025	PP01	0.73	-0.44	-0.75	1.66	0.00	**0.99**
		NO-OCDE_CE025	1.58	-0.68	1.04	0.06	0.00	**1.00**
MCE01	CE01 Y NO-OCDE_CE01	CE01	0.73	-0.44	-0.75	1.66	1.73	**0.99**
		NO-OCDE_CE01	1.58	-0.68	1.04	0.06	0.92	**0.08**
MP025	P025 Y NO-OCDE_P025	P025	0.73	-0.44	-0.75	1.66	1.76	**1.01**
		NO-OCDE_P025	1.58	-0.68	1.04	0.06	0.51	**0.99**
MP05	P05 Y NO-OCDE_P05	P05	0.73	-0.44	-0.75	1.66	1.62	**1.00**
		NO-OCDE_P05	1.58	-0.68	1.04	0.06	0.43	**0.99**
TC-NO_PP025	CE025 Y NO-OCDE_PP025	CE025	0.73	-0.44	-0.75	1.66	0.00	**1.02**
		NO-OCDE_PP025	1.58	-0.68	1.04	0.06	1.94	**1.03**
TC-NO_EP05	CE025 Y NO-OCDE_EP05	CE025	0.73	-0.44	-0.75	1.66	0.00	**1.02**
		NO-OCDE_EP05	1.58	-0.68	1.04	0.06	0.96	**0.93**
TC-NO_EP025	CE025 Y NO-OCDE_EP025	CE025	0.73	-0.44	-0.75	1.66	0.00	**1.02**
		NO-OCDE_EP025	1.58	-0.68	1.04	0.06	1.02	**0.97**
TC-NO_EP01	CE025 Y NO-OCDE_EP01	CE025	0.73	-0.44	-0.75	1.66	0.00	**1.02**
		NO-OCDE_EP01	1.58	-0.68	1.04	0.06	1.33	**0.99**

Siguiendo la metodología propuesta para la Identidad de Kaya, se aplica la tasa de disminución anual al componente a que se refiera el escenario para llegar a las emisiones establecidas.
Fuente: Elaboración propia con base en datos de IEA, 2001

Estas tasas tendrían que ser reducidas anualmente en cada sector social o económico para cada país según el escenario seleccionado. En el caso de CE025 y NO-OCDE_CE025 que son de tasa cero y componen el escenario mundial *MTC*, el índice de reducción del factor C/E (carbonización de la energía consumida en un país) dependerá de la conversión a un energético menos contaminante como el gas natural. La reducción será de 1.02 para OCDE y 1.00 para No-OCDE.

MP01 se compone de P01 para OCDE y NO-OCDE_P01; la reducción será en las tasa de crecimiento poblacional de un país, en este caso para todas las regiones (OCDE y No-OCDE). La reducción sería de 1.01 para OCDE y 0.95 para No-OCDE.

TC-PP01 contiene el escenario PP01 para OCDE y NO-OCDE_CE025 de tasa cero, para No-OCDE; PP01 disminuye el ingreso per capita con un índice de 0.99% y NO-OCDE_CE025 disminuye la carbonización de la energía en 1%.

MCE01 indica la reducción del 0.99 y 0.08% para OCDE y No-OCDE respectivamente durante el siglo (2000- 2100).

MP025 reduce 1.01 y 0.99% para OCDE y No-OCDE; este factor se aplica a la tasa de crecimiento poblacional.

MP05, al igual que *MP025* hace una reducción en la tasa de crecimiento poblacional por país de 1.0 y 0.99% para OCDE y No-OCDE respectivamente.

TC-NO_PP025 aplica la tasa cero a los países OCDE y PP025 para los No-OCDE. Para llegar a estas emisiones de CO_2 se requiere de una disminución de 1.02 en C/E para OCDE y 1.03 en PP025 para No-OCDE, anualmente.

TC-NO_EP05, TC-NO_EP025 y TC-NO_EP05, aplican tasa cero de emisiones de CO_2 para países OCDE y los escenarios E/PIB para No-OCDE; estos escenarios aplican una reducción a la intensidad energética de la economía. Las reducciones son 0.93, 0.97 y 0.99 respectivamente. Para aplicar dichas reducciones es necesario mejorar los procesos industriales así como mejorar la producción, distribución y uso de la energía.

Los escenarios basados en *Kyoto* y *NL* para OCDE y *NO* y *1%* para No-OCDE (Tabla 3.XV) muestran elevadas tasas de emisiones para todo el período de estudio.

Tabla 3.XV. Emisiones de CO_2 (GtC/año), período 1990-2100

	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
NL-1%	5.21	6.97	7.78	7.47	7.19	6.94	6.72	6.52	6.35	6.20	6.07	5.96
K-1%	5.21	6.97	8.17	8.22	8.26	8.30	8.34	8.38	8.42	8.47	8.51	8.55
NL-NO	5.21	6.97	7.78	8.63	9.91	10.82	11.76	13.12	14.10	15.51	16.93	18.78
K-NO	5.21	6.97	8.17	9.37	10.97	12.17	13.37	14.97	16.17	17.77	19.37	21.37

Fuente: Elaboración propia con base en datos de IEA, 2001

Especialmente los escenarios NL-NO y K-NO aplica las reducciones de CO_2 solo a los países OCDE, mientras que los países No-OCDE no tienen ninguna restricción por lo que estos escenarios mundiales registran las concentraciones más altas al final de siglo.
K-1% y NL-1% se mantienen moderados en todo el período y la reducción aplicada a los países No.-OCDE en la década 2020-2030 permite a estos países equilibrar sus economías con las regiones OCDE.

4. Conclusiones y Recomendaciones

El año 2002 marca el comienzo de la cuarta década desde que la comunidad internacional estableció en 1972, las bases para una acción mundial colectiva a fin de mitigar efectos adversos sobre el medio ambiente. Al mismo tiempo, encuentra a uno de los tres soportes para el desarrollo sostenible, el medio ambiente, seriamente amenazado por causa de distorsiones operadas sobre él por la acción de la población que actualmente supera los 6,000 millones de seres humanos. La importancia del medio ambiente es a menudo subestimada aun a pesar de su incalculable valor para la supervivencia y el desarrollo humanos.

Muchos procesos complejos (sociales, económicos y ambientales) están en juego en lo concerniente a los efectos mayores sobre la población como resultado de los cambios ambientales. La vulnerabilidad humana resalta que todas las personas se encuentran en situación de riesgo, de una forma u otra, debido a los cambios ambientales. La principal diferencia se da en los distintos niveles de capacidad para enfrentarlos y recuperarse de ellos, y esta diferencia significa que los pobres son generalmente más vulnerables.

Se hace necesario un cambio en los niveles de consumo de los individuos y los países más ricos del mundo. La prosperidad está estrechamente vinculada a la capacidad de enfrentar los problemas ambientales pero es también uno de los motores del consumo excesivo, el cual constituye la causa de otros problemas con repercusiones de gran alcance.

El impacto ambiental mundial (huella ecológica) del mundo desarrollado y de las comunidades prósperas en otras regiones es mayor que el de los pobres en el mundo en desarrollo, pero el desarrollo económico futuro y el aumento demográfico de este último posiblemente incrementen los efectos ambientales de manera impresionante.

El desarrollo de las políticas ambientales es un proceso dinámico e iterativo que abarca la evaluación de los problemas y las opciones, el establecimiento de metas y la formulación de políticas, seguido de las fases de implementación, vigilancia, revisión, evaluación, reevaluación regular y ajuste. Las políticas ambientales eficaces forman parte de la corriente principal de la política y deberían ser incorporadas en todos los sectores políticos y niveles de gobierno, especialmente en la toma de decisiones de carácter económico.

Luego de analizar la evolución de las emisiones de CO_2 fósil a partir del nivel de actividad en los sectores social y económico en los próximos cien años, el trabajo busca establecer en que medida las emisiones futuras de CO_2 se verán afectadas por ciertos indicadores dentro

de cada área; para el sector energético se escogió la carbonización de la oferta energética (C/E), la intensidad energética de la economía (E/PIB); dentro del sector económico el mismo índice anterior además del PIB por habitante (PIB/POB) y dentro del sector social la población (POB). Se demostró que mediante la disminución de las tasas de cambio en estos índices pueden alcanzarse reducciones importantes en los niveles futuros esperados de CO_2 atmosférico.

Los niveles de emisión de un país respecto a su consumo energético dependen en gran medida de la cantidad y composición de combustibles fósiles utilizados, el promedio en el contenido de carbón de la oferta energética, el consumo por habitante y el tamaño de la población.

Este trabajo tiene como objetivo demostrar el sacrificio desigual que sufrirían los países en desarrollo al cumplir las cuotas de reducción para la mitigación de los gei en la atmósfera, aunque la mayor responsabilidad es de los países desarrollados.

Bajo el supuesto que las emisiones futuras de CO_2 se apegaran a los escenarios aquí desarrollados, los cálculos de los parámetros climáticos están sujetos a una serie de incertidumbres en diversos aspectos, desde el hecho de la limitada comprensión de los procesos físicos y químicos que intervienen en el sistema climático hasta la forma y cantidad en que se toman en cuenta todos los gases efecto invernadero, no solo el CO_2. Esto indica que al reportar las alteraciones climáticas futuras se está considerando toda la gama de gei que influencian el clima. En este sentido MAGICC proporciona resultados con cierta dispersión aún cuando se utilizan los mismos valores para los parámetros del programa, sin embargo se reportaron únicamente las estimaciones promedio en todos los escenarios para tener una base de comparación estándar

Los escenarios K-NO y NL-NO demuestran que la reducción de emisiones de CO_2 aplicada solo a los países de la OCDE no resultaría en la disminución de las emisiones igual o por de bajo de 550 ppmv; K-1% y NL-1% que son escenarios que piden una reducción de 1% por década a los países No-OCDE desde 2020 junto con los escenarios NL y Kyoto para países OCDE, muestran un recorrido de emisiones que sí llega a disminuir por debajo de los 550 ppmv a final de siglo.

Estos dos escenarios son propuestas factibles para la reducción de CO_2 en la atmósfera durante este siglo.

Los escenarios construidos bajo la Identidad de Kaya llegan a valores menores de 550 ppmv, por lo que cualquiera podría ser propuesto para reducción de emisiones.

En esta parte del estudio es importante hacer notar que los escenarios propuestos deben ser factibles de llevar a cabo por los países involucrados.

De los escenarios construidos con la metodología de Kaya, MCE01 es uno de los que podrían llamar la atención de las regiones en estudio, ya que tiene un recorrido de emisiones muy parecido al de NL-1% (1% de reducción anual en la emisiones de CO_2, desde 2000 para OCDE y 1% por década desde 2020 para No-OCDE, hasta el 2100), y da prioridad a la responsabilidad histórica de emisiones de CO_2 a la atmósfera

Este escenario se basa en el mejoramiento de los procesos de producción distribución y uso de energía, utilizar formas alternativas de generación de energía. Lo que no ha sido desarrollado en todo su potencial en la mayoría de los países en desarrollo.

Se ha demostrado que aplicando las mismas políticas de reducción a los países desarrollados que se aplican a los países en desarrollo se vería una disminución en su crecimiento económico, industrial, social y humano cercano al 2% anual en cada componente de la Identidad de Kaya.

El trabajo y sacrificio conjunto es la forma menos dolorosa para la población ya que se distribuye el sacrificio de acuerdo a la responsabilidad histórica.
Dentro del estudio "Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y estrategias de mitigación en México", realizado por el Programa Universitario de Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México (PUE-UNAM), se establecieron tres escenarios que contemplan el análisis de tecnologías de eficiencia energética:
• Cogeneración para cinco ramas industriales (incluyendo cambios en la tecnología actual y en las nuevas plantas).
• Lámparas compactas fluorescentes en el sector residencial.
• Iluminación eficiente en el sector comercial.
Para determinar los requerimientos energéticos de México en el año 2005 se utilizó el modelo STAIR, y para la estimación de costos, el modelo ETO (Energy Technology Optimization), que calcula los costos mínimos para los diferentes escenarios.
A grandes rasgos, los resultados obtenidos en ese estudio mostraron que:
• La tecnología de ciclo combinado es preferible económicamente sobre otras tecnologías de generación eléctrica;
• Las necesidades adicionales de gas natural deberán cubrirse por medio de importaciones;
• El modelo es sumamente dependiente del transporte y suministro de gas natural;
• La cogeneración resulta altamente rentable, al evitar la construcción de nuevas plantas generadoras;
• Los resultados en las emisiones totales de CO_2 dejan en claro que la mayor mitigación está en la generación eléctrica.
Estas medidas pueden converger con el escenario MCE01 propuesto en esta tesis.
La contribución de esta tesis es el análisis de algunas posibilidades de mitigación al cambio climático global. Los resultados de los escenarios diseñados en este trabajo vislumbran los sacrificios de cada región (países desarrollados y países en desarrollo) y abren el camino para sugerencias a las políticas de medio ambiente y de energía de cada región antes señalada.
Finalmente se propone como continuación de este trabajo, encontrar las transacciones de carbón por habitante entre países desarrollados y en desarrollo para cada escenario generado a través de todo el siglo. Estudiar la viabilidad de estos escenarios para cada región y país de la OCDE utilizando la misma metodología y obteniendo resultados específicos de sacrificio per capita.
En este mismo sentido, existe otra propuesta que ya se está llevando a cabo que se basa en la reducción de los gei de países No-OCDE hasta la década de 2030- 2040 para que los países en desarrollo tengan más oportunidad de crecimiento.
Para el caso de México se propone la inclusión de estos escenarios a los estudios que se están llevando a cabo, adaptándolos a las condiciones y estrategias de crecimiento y necesidades socioeconómicas. Sin perder de vista que para el estudio de país esta metodología es muy general y no toma en cuenta situaciones específicas geográficas ya que se basa en mitigación del cambio climático global.

5. Referencias bibliográficas

- Audus, Harry (1999)"Technologies for CO_2 Emission Reduction". Paper presented at "The Internaional Conference on Sustainable Future of the Global system", Tokyo 23-24 february
- Bennett, M. (1995). *The Gulf War*. Database for Use in Schools http://www.soton.ac.uk/~engenvir//environment/water/oil.gulf.war.html
- Conde, Cecilia; Sánchez, O. y Gay, Carlos (1994). *"Escenarios básicos y regionales. Estudio de País: México"* en "México ante el Cambio Climático" Memorias del Primer Taller de estudios de País: México". INE- Semarnap, México DF.
- Hoffert, M. I. & Potter, S. D. in *Engineering Response to Global Climate Change* (ed.Watts, R. G.) 205– 260 (Lewis, Boca Raton, FL, 1997).
- Holdren, J.P and Smith, K.R., eds. (2000). Energy, the Environment and Health. In *World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability.* New York, United Nations Development Programme
- IEA (2002). *Key World Energy Statistics from theIEA.* Paris, International Energy Agency
- International Forum on Forecasting "El Niño": Launching an International Research Institute, 6-8 November 1995, Washington, D. C. Executive Summary. September 1996.
- IPCC (1996). *Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press
- IPCC (2001a). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*Cambridge, United Kingdom, and New York, United States, Cambridge University Press
- IPCC (2001b). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, United Kingdom, and New York, United States, Cambridge University Press
- IPCC (2001c). *Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, United Kingdom, and New York, United States, Cambridge University Press
- Kaya, Y. Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: Interpretation of proposed scenarios (IPCC Response Strategies Working Group Memorandum, 1989).
- *México. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 1a edición: noviembre de 1997
- Nakicenovic, N., Victor, D., Grübler, A. & Schrattenholtzer, L. Long term strategies for mitigating global warming: Introduction. *Energy* 18, 403–409 (1993).
- Rayola D. And Russell J. (1999). "OECD Country Carbon Emissions: A Kaya Identity Perspective on Historic Emissions and Proposed Emissions reduction Targets and Timetables". Forthcoming in the proceedings of the 21th IAEE Annual International Conference.

- Saravia, Marisela (2000). *"Escenarios Mundiales de Emisión de Gases Efecto Invernadero Asociados al consumo de Energía: Perfiles para Países en vías de desarrollo"*. División de Estudios de Posgrado. Facultad de Ingeniería. UNAM. México DF.
- UN (2001). *Mandate of the Commission for Sustainable Development*. United Nations http://www.un.org/esa/sustdev/csdback.htm
- UNCTAD (2000). *The Least Developed Countries 2000 Report*. Geneva, United Nations Conference on Trade and Development
- UNDP (2001). *Human Development Report 2001*. Oxford and New York, Oxford University Press http://www.undp.org/hdr2001/completenew.pdf
- UNEP (2001). *The Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants*. UNEP Chemicals/WHO – GEENET http://irptc.unep.ch/pops/newlayout/negotiations.htm
- UNEP (2002). *Global Environment Outlook 3: Past Present and future*. United Kingdom
- UNESCO (2001). *The World Heritage List*. Paris, UNESCO http://www.unesco.org/whc/heritage.htm
- UNFCCC (2001). *The Convention and Kyoto Protocol*. Secretariat of the UNFCCC http://www.unfccc.de/resource/conykp.html
- United Nations Population Division (2001). *World Population Prospects 1950-2050* (The 2000 Revision). New York, United Nations www.un.org/esa/population/publications/wpp2000/wpp2000h.pdf
- WHO (1997). *Health and Environment in Sustainable Development*. Geneva, World Health Organization
- World Bank (2001). *World Development Indicators 2001*. Washington DC, World Bank http://www.worldbank.org/data/wdi2001/pdfs/tab3_8.Pdf