

# INFORME DE LA SITUACION DEL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO

## COMPENDIO DE ESTADÍSTICAS AMBIENTALES



**2005**



DR©2005, **SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES**

Edificio sede

Boulevard Adolfo Ruíz Cortines No. 4209

Jardines en la Montaña, CP 14210

Tlalpan, México D. F.

<http://www.semarnat.gob.mx>

[contactodgeia@semarnat.gob.mx](mailto:contactodgeia@semarnat.gob.mx)

**INFORME DE LA SITUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO**  
**Compendio de Estadísticas Ambientales**

Impreso en México

ISBN 968-817-738-5

**Para mayor información sobre esta obra, favor de comunicarse a:**

Dirección General de Estadística e Información Ambiental

Dirección de Análisis e Indicadores Ambientales

Dirección de Estadísticas Ambientales

Boulevard Adolfo Ruíz Cortines No. 4209

Jardines en la Montaña, CP 14210

Tlalpan, México D. F.

Teléfonos 5628 0854, 5628 0747 Fax. 56280853



El Informe de la Situación del Medio Ambiente en México  
y el Compendio de Estadísticas Ambientales 2005 son parte del  
Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN)  
de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.



El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), a través del Proyecto PNUD-SEMARNAT, « Espacios públicos de concertación social para procesos de desarrollo sustentable local» apoyó parcialmente la elaboración de esta obra y su versión electrónica, con objeto de mejorar la cantidad, calidad y accesibilidad de la información ambiental.





**Ing. José Luis Luege Tamargo**  
Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales

**Dr. Fernando Tudela Abad**  
Subsecretario de Planeación y Política Ambiental

**Ing. José Ramón Ardavín Ituarte**  
Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental

**Quím. Felipe Adrián Vázquez Gálvez**  
Subsecretario de Gestión para la Protección Ambiental

**Ing. Gonzalo A. Guerra Hernández**  
Oficial Mayor

**Lic. Mónica Rodríguez Cárdenas**  
Coordinadora General de Comunicación Social

**M. en C. Salvador Sánchez Colón**  
Director General de Estadística e Información Ambiental



### **Coordinador General del Informe**

Arturo Flores Martínez

### **Participantes en la integración y edición del Informe**

Mildred Castro Hernández  
Rosalba Garro Matamoros  
Luz María González Osorio  
Gerardo Grobet Vallarta  
Miguel de Jesús Gutiérrez Ladrón de Guevara  
Juan David Reyes Vázquez  
César E. Rodríguez Ortega  
Salvador Sánchez Colón  
Verónica E. Solares Rojas  
Porfirio Álvarez Torres  
I. Ahmed Cruz Leyva  
Angélica Daza Zepeda  
Sol Ortíz García  
Ernesto Vega Peña

**Diseño Gráfico** Ariadna Jaimes Chacón

**Desarrollo Web** Rogelio Chávez Pérez

### **Coordinador del Compendio**

Armando Yáñez Sandoval

### **Participantes en la integración y edición del Compendio**

José Marcelo Sánchez López  
Arturo Mondragón Montes de Oca  
Jorge Apaez Godoy  
Edgar Camacho Castillo  
Gerardo Cervantes Corte  
Erika J. Morales Reyes  
Laura Georgina Pérez Montiel  
Fabiola Rivera Ramírez  
Rebeca Serafín Pulido





# Contenido

<b>Presentación</b>	xvii
<b>Introducción</b>	xix
<b>1. Población</b>	<b>23</b>
<b>Población de México y el mundo</b>	25
<b>Características socioeconómicas</b>	32
<b>Población y ambiente</b>	40
<b>Referencias</b>	50
<b>2. Vegetación y uso del suelo</b>	<b>53</b>
<b>Uso actual del suelo</b>	54
<b>Cambios en el uso del suelo</b>	61
<b>Procesos del cambio de uso del suelo</b>	72
Deforestación	72
Alteración de bosques y selvas	79
Degradación de matorrales	80
Fragmentación	85
<b>Factores relacionados al cambio de uso del suelo</b>	85
Población	85
Crecimiento de la frontera agropecuaria	87
Urbanización	89
<b>Gestión</b>	89
<b>Referencias</b>	98
<b>3. Suelos</b>	<b>101</b>
<b>Degradación de los suelos</b>	106
<b>Evaluación de la erosión potencial en México</b>	114
<b>Zonas frágiles</b>	117
Las montañas: un patrimonio común	117
Zonas secas: la amenaza de la desertificación	120
<b>Factores asociados a la degradación del suelo</b>	124
<b>Gestión</b>	127
Conservación y restauración de suelos	127
<b>Referencias</b>	132
<b>4. Biodiversidad</b>	<b>133</b>
<b>México, un país megadiverso</b>	134
<b>La amenaza a los ecosistemas mexicanos</b>	141
Ecosistemas terrestres	141
Ecosistemas costeros y oceánicos	149
Ecosistemas acuáticos continentales	154



Especies en riesgo	162
<b>La conservación de la biodiversidad</b>	163
Especies prioritarias	165
Áreas naturales protegidas	165
Regiones Prioritarias	184
<b>Referencias</b>	188
<b>5. Aprovechamiento de los recursos forestales, pesqueros y de la vida silvestre</b>	<b>191</b>
<b>Manejo y conservación de los recursos forestales</b>	192
Recursos maderables	193
Recursos forestales no maderables	201
Gestión de los recursos forestales	204
<b>Manejo y conservación de la vida silvestre</b>	211
Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Uma)	211
Centros de Conservación e Investigación de la Vida Silvestre (CIVS)	216
Permisos de caza deportiva, colecta y comercio	218
<b>Manejo y conservación de los recursos pesqueros</b>	223
Panorama mundial	223
La pesca en México	226
Impactos de la pesca en los recursos y ecosistemas marinos	231
Sustentabilidad del manejo de los recursos pesqueros	232
Gestión de los recursos pesqueros	236
<b>Referencias</b>	244
<b>6. Atmósfera</b>	<b>251</b>
<b>Calidad del aire</b>	253
Inventarios de emisiones	253
Evolución de las emisiones en el Valle de México	259
Normatividad y monitoreo de la calidad del aire	262
Calidad del aire en las ciudades del país	266
<b>Cambio climático y efecto invernadero</b>	271
<b>Ozono estratosférico</b>	290
<b>Referencias</b>	298
<b>7. Agua</b>	<b>301</b>
<b>Variación espacial y temporal</b>	304
Balance de agua	306
Agua subterránea	308
<b>Disponibilidad del agua</b>	309
Usos del agua	313
Escenarios futuros	320



<b>Calidad del agua</b>	321
<b>Servicios y cobertura</b>	331
<b>Referencias</b>	340
<b>8. Residuos</b>	<b>343</b>
<b>Residuos sólidos municipales</b>	344
Generación de residuos sólidos municipales	344
Manejo y disposición final de residuos sólidos municipales	349
<b>Residuos peligrosos</b>	352
Generación de residuos peligrosos	355
Gestión y manejo de residuos peligrosos	357
<b>Referencias</b>	364
<b>9. Instrumentos de planeación</b>	<b>366</b>
<b>Ordenamiento ecológico del territorio</b>	367
<b>Evaluación de impacto ambiental</b>	371
<b>Evaluación del riesgo ambiental y bioseguridad</b>	375



# Índice de recuadros

<b>1. Población</b>	
Servicios ambientales y bienestar humano	45
Pobreza y medio ambiente	47
Desarrollo sustentable y capital natural	51
<b>2. Vegetación y uso del suelo</b>	
Vegetación de México	55
Cambios locales, consecuencias globales	62
Inventarios forestales y tasas de deforestación	64
El Niño promueve los incendios forestales	78
Cambios catastróficos en ecosistemas	81
La amenaza de la fragmentación	86
Efectos de la roza, tumba y quema sobre el uso del suelo	90
<b>3. Suelos</b>	
¿Qué es el suelo?	103
Los suelos someros	105
La amenaza de la desertificación a nivel mundial	122
Programas Institucionales para la Conservación y Rehabilitación de Suelos	129
<b>4. Biodiversidad</b>	
Servicios ambientales de la biodiversidad	139
Especies invasoras en México	145
El cambio climático y la biodiversidad	147
Ecosistemas anfibios: un tesoro amenazado	150
Arrecifes de coral	155
Viajeros milenarios en riesgo	166
Los gigantes de los mares	172
<b>5. Aprovechamiento de los recursos forestales, pesqueros y de la vida silvestre</b>	
Servicios ambientales de los bosques	208
¿Qué son las Uma?	214
Los permisos de caza deportiva y su evolución en el tiempo	221
Efectos de la pesca sobre los ecosistemas	224
La acuicultura y sus efectos ambientales	245
<b>6. Atmósfera</b>	
¿Quiénes emiten en la Zona Metropolitana del Valle de México?	254
Principales contaminantes atmosféricos y sus efectos sobre la salud	264
Proaires y sus avances	272



¿Qué motiva el cambio en el clima?	278
Cambio climático: ¿nos debe preocupar y ocupar?	287
Medidas adoptadas por México en materia de cambio climático	291
<b>7. Agua</b>	
Huella hídrica y patrones de consumo	315
Cambio de uso del suelo y servicios ecosistémicos	323
Calidad del agua en zonas costeras	333
<b>8. Residuos</b>	
Tipos de residuos y generadores	345
Minimización de residuos peligrosos	359
<b>9. Instrumentos de planeación</b>	
Los organismos genéticamente modificados y sus riesgos al ambiente	379



# Abreviaturas

<b>ACS</b>	American Chemical Society	<b>CFC</b>	Clorofluorocarbonos
<b>AGAGE</b>	Advanced Global Atmospheric Gases Experiment	<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>ALE</b>	Atmospheric Lifetime Experiment Program	<b>CIAT</b>	Comisión Interamericana del Atún Tropical
<b>ANP</b>	Áreas Naturales Protegidas	<b>Cibiogem</b>	Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados
<b>APFF</b>	Áreas de Protección de Flora y Fauna	<b>CICAVS</b>	Centros Integrales para la Conservación y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre
<b>APICD</b>	Acuerdo sobre el Programa Internacional para la Conservación de Delfines	<b>CIGA</b>	Centro de Información y Gestión Ambiental
<b>APRN</b>	Áreas de Protección de los Recursos Naturales	<b>CITES</b>	Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Flora and Fauna
<b>ATSDR</b>	Agency for Toxic Substances and Disease Registry	<b>CIVS</b>	Centro de Conservación e Investigación de la Vida Silvestre
<b>BBC</b>	The British Broadcasting Corporation	<b>CMP+L</b>	Centro Mexicano para la Producción más Limpia
<b>BID</b>	Banco Interamericano de Desarrollo	<b>CNA</b>	Comisión Nacional del Agua
<b>BMZ</b>	Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania	<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>CBD</b>	Convention on Biological Diversity	<b>CO<sub>2</sub></b>	Bióxido de carbono
<b>CCA</b>	Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte	<b>Conabio</b>	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
<b>CDIAC</b>	Carbon Dioxide Information Analysis Centre	<b>Conae</b>	Comisión Nacional para el Ahorro de Energía
<b>Cemda</b>	Centro Mexicano de Derecho Ambiental	<b>Conafor</b>	Comisión Nacional Forestal
<b>Cenapred</b>	Centro Nacional de Prevención de Desastres	<b>Conanp</b>	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
<b>Cenica</b>	Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental	<b>Conapesca</b>	Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca
<b>Censa</b>	Centro Nacional de Salud Ambiental	<b>Conapo</b>	Consejo Nacional de Población
<b>Cespedes</b>	Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable	<b>Conieco</b>	Consejo Nacional de Industriales Ecologistas de México, A.C.
		<b>COT</b>	Compuestos orgánicos totales
		<b>COV</b>	Compuestos orgánicos volátiles
		<b>COVNM</b>	Compuestos orgánicos volátiles distintos al metano
		<b>CPCTM</b>	Centros de Protección y Conservación de las Tortugas Marinas



<b>CRETIB</b>	Corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológico-infeccioso	<b>Gg</b>	Gigagramo
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demanda bioquímica de oxígeno a cinco días	<b>GMS</b>	Gobierno Municipal de Salamanca
<b>DET</b>	Dispositivos excluidores de tortugas	<b>GPR</b>	Grado de presión del recurso
<b>DOF</b>	Diario Oficial de la Federación	<b>GRDC</b>	Global Runoff Data Centre
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno	<b>GTZ</b>	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Agencia Alemana de Tecnología Ambiental
<b>DTT</b>	Distritos de temporal tecnificado	<b>HC</b>	Hidrocarburos
<b>EIA</b>	Energy Information Administration	<b>HCFC</b>	Hidroclorofluorocarbonos
<b>EMA</b>	Estaciones de monitoreo automático	<b>HFC</b>	Hidrofluorocarbonos
<b>EMCo</b>	Espacio municipal de composteo	<b>ICA</b>	Índice de calidad del agua
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency	<b>IDH</b>	Índice de Desarrollo Humano
<b>ER</b>	Estudio de riesgo	<b>IEA</b>	International Energy Agency
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization of the United Nations	<b>IEG</b>	Instituto de Economía y Geografía
<b>Fiprev</b>	Fondo para Proyectos de Prevención de la Contaminación	<b>IFAD</b>	International Fund for Agricultural Development
<b>FIRA</b>	Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura	<b>IM</b>	Índice de Marginación
<b>Firco</b>	Fideicomiso de riego compartido	<b>Imeca</b>	Índice Metropolitano de la Calidad del Aire
<b>FNUAP</b>	Fonds des Nations Unies pour la Population. Fondo de las Naciones Unidas para la Población	<b>INE</b>	Instituto Nacional de Ecología
<b>Funtec</b>	Fundación Mexicana para la Innovación y Transferencia de Tecnología en la Pequeña y Mediana Empresa, A. C.	<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
<b>GACGC</b>	German Advisory Council on Global Change	<b>INEM</b>	Inventario Nacional de Emisiones de México
<b>GAGE</b>	Global Atmospheric Gases Experiment	<b>INFP</b>	Inventario Nacional Forestal Periódico
<b>GDF</b>	Gobierno del Distrito Federal	<b>INP</b>	Instituto Nacional de Pesca
<b>GEF</b>	Global Environment Facility	<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>GEG</b>	Gobierno del Estado de Guanajuato	<b>ISIC</b>	Industrial Sector International Classification
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero	<b>IUCN</b>	The World Conservation Union, antes International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources
<b>GEMI</b>	Global Environmental Management Initiative	<b>LCBA</b>	Laboratorio Central de Biología Ambiental
		<b>LGEEPA</b>	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente



<b>LGVS</b>	Ley General de Vida Silvestre	<b>PGR</b>	Procuraduría General de la República
<b>LMD</b>	Límite de mortalidad incidental de delfines	<b>Piasre</b>	Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva
<b>MCF</b>	Metilcloroformo	<b>PIB</b>	Producto interno bruto
<b>MIRE</b>	Manejo Integral de Residuos en el Estado	<b>PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub></b>	Partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros
<b>MN</b>	Monumentos naturales	<b>PMT</b>	Programas de Manejo de Tierras
<b>mtc</b>	Millones de toneladas de equivalentes de carbono	<b>PN</b>	Parques Nacionales
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Oxido nitroso	<b>PNUD</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
<b>NAS</b>	National Academy of Sciences	<b>PNUMA</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration	<b>ppb</b>	Partes por billón
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amoniaco	<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>NMP</b>	Número más probable	<b>ppmv</b>	Partes por millón por volumen
<b>NO<sub>2</sub></b>	Dióxido de nitrógeno	<b>PPP</b>	Public Private Partnership
<b>NOM</b>	Norma Oficial Mexicana	<b>PREP</b>	Programas de Recuperación de Especies Prioritarias
<b>NO<sub>x</sub></b>	Óxidos de nitrógeno	<b>Proaire</b>	Programa para Mejorar la Calidad del Aire
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozono	<b>Procoref</b>	Programa de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales
<b>OCDE</b>	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico	<b>Procymaf</b>	Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable de Recursos Forestales
<b>OECD</b>	Organization for Economic Cooperation and Development	<b>Prodefor</b>	Programa de Desarrollo Forestal
<b>OEMGC</b>	Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California	<b>Prodeplan</b>	Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales
<b>OGM</b>	Organismo genéticamente modificado	<b>Profepa</b>	Procuraduría Federal para la Protección al Ambiente
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud	<b>Pronare</b>	Programa Nacional de Reforestación
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas	<b>PSA-CABSA</b>	Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad y para Fomentar el Establecimiento y Mejoramiento de Sistemas Agroforestales
<b>ONUDI</b>	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial		
<b>OPS</b>	Organización Panamericana de la Salud		
<b>PACD</b>	Plan Nacional de Acción contra la Desertificación		
<b>Pb</b>	Plomo		
<b>Pemex</b>	Petróleos Mexicanos		
<b>PET</b>	Polietilentereftalato		
<b>PFNM</b>	Productos forestales no maderables		



<b>PSAH</b>	Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos		
<b>PST</b>	Partículas suspendidas totales	<b>SIAP</b>	Peligrosos Sistema de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera
<b>PyRE</b>	Parques y Reservas Estatales		
<b>RB</b>	Reservas de la Biosfera	<b>SMAGDF</b>	Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal
<b>RDS</b>	Red para el Desarrollo Sostenible de México, A.C.	<b>SNIB</b>	Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad
<b>RHP</b>	Regiones Hidrológicas Prioritarias	<b>SO<sub>2</sub></b>	Bióxido de azufre
<b>RNM</b>	Red Nacional de Monitoreo	<b>SS</b>	Secretaría de Salud
<b>RP</b>	Residuos Peligrosos	<b>STPS</b>	Secretaría del Trabajo y Previsión Social
<b>RPM</b>	Regiones Prioritarias Marinas	<b>Suma</b>	Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre
<b>RSM</b>	Residuos sólidos municipales		
<b>RTP</b>	Regiones Terrestres Prioritarias	<b>TET</b>	Tetracloruro de carbono
<b>RTTMRP</b>	Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.	<b>UACH</b>	Universidad Autónoma de Chapingo
<b>S</b>	Santuarios	<b>TNRCC</b>	Texas Natural Resource Conservation Commission
<b>SAO</b>	Sustancias agotadoras del ozono	<b>Uma</b>	Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre
<b>SARH</b>	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos	<b>UNCCD</b>	United Nations Convention to Combat Desertification
<b>Sagar</b>	Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural	<b>UNAM</b>	Universidad Nacional Autónoma de México
<b>Sagarpa</b>	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación	<b>UNDP</b>	United Nations Development Program
<b>SCT</b>	Secretaría de Comunicaciones y Transportes	<b>UNEP</b>	United Nations Environment Program
<b>Sedena</b>	Secretaría de la Defensa Nacional	<b>UNESCO</b>	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
<b>Sedesol</b>	Secretaría de Desarrollo Social	<b>UNFCCC</b>	United Nations Framework Convention on Climate Change
<b>SEEM</b>	Secretaría de Ecología del Estado de México	<b>UPM</b>	Unidad pesquera de manejo
<b>Semarnap</b>	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca	<b>USAID</b>	United States Agency for International Development
<b>Semarnat</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales	<b>USGS</b>	United States Geological Survey
<b>Senasica</b>	Servicio Nacional de Sanidad e Inocuidad Alimentaria	<b>WB</b>	World Bank
<b>Sener</b>	Secretaría de Energía	<b>WCPA</b>	World Commission on Protected Areas
<b>Siacon</b>	Sistema de Información Agropecuaria de Consulta		
<b>Sirep</b>	Sistema de Rastreo de Residuos		



<b>WHO</b>	World Health Organization
<b>WMC</b>	World Monitoring Centre
<b>WMO</b>	World Meteorological Organization
<b>WRI</b>	World Resources Institute
<b>WWF</b>	World Wildlife Fund
<b>ZMG</b>	Zona Metropolitana de Guadalajara
<b>ZMM</b>	Zona Metropolitana de Monterrey
<b>ZMVM</b>	Zona Metropolitana del Valle de México
<b>ZMVT</b>	Zona Metropolitana del Valle de Toluca
<b>Zofemat</b>	Zona Federal Marítimo Terrestre
<b>Zofematac</b>	Zona Federal Marítimo Terrestre y Ambientes Costeros
<b>ZPE</b>	Zonas de Preservación Ecológica de los Centros de Población



# Presentación

Como sucede en otros países del mundo, a lo largo de las últimas décadas México ha experimentado profundos cambios económicos y sociales que se han acompañado de un creciente deterioro del ambiente y de una reducción de sus recursos naturales. La disminución y degradación de la cubierta vegetal natural y del suelo, la acelerada pérdida de biodiversidad y la sobreexplotación de los acuíferos son algunos de los principales problemas que hoy enfrenta el país.

Durante mucho tiempo, los temas ambientales fueron pasados por alto o considerados sólo como secundarios y supeditados a la planeación del desarrollo. El impacto del crecimiento demográfico, de la desigual distribución territorial de la población, de la actividad productiva y de la urbanización sobre la calidad del aire, del agua y del suelo, sobre la disponibilidad de los recursos naturales y sobre la integridad y funcionamiento de los ecosistemas naturales fue estimado de manera parcial en algunos casos y en otros simplemente ignorado.

El avance de la investigación científica ha mostrado la necesidad de reconocer el valor del capital natural como un elemento indispensable para alcanzar un verdadero desarrollo sustentable, lo cual implica establecer políticas, estrategias y acciones que promuevan la salud de los ecosistemas en el mismo rango de prioridad que tienen los sistemas económico, educativo o de salud pública.

La gestión ambiental es compleja e involucra una multitud de factores diversos. Ya desde la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente Humano (Estocolmo, Suecia, 1972) se identificó una carencia "...de información precisa y actualizada para tomar las decisiones necesarias para mejorar el manejo y conservación del ambiente y de los recursos naturales del mundo". Asimismo, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Río de Janeiro, Brasil, 1992) se reconoció que la información es un medio necesario para la instrumentación del Plan de Acción para el Desarrollo Sustentable (Agenda 21). De hecho, la propia Agenda 21 dedica por entero su capítulo 40 al tema de la información para la toma de decisiones.

En México, tanto la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente como el Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006 establecen la obligación de contar con un Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales confiable, accesible y oportuno, que sirva:

- Para mantener informada a la sociedad del estado del ambiente y los recursos naturales del país
- Como base para formular políticas y programas de manejo y conservación ambiental
- Para incorporar la agenda ambiental en las decisiones políticas, económicas y sociales que tomen todos los órdenes de gobierno, los sectores económicos y la sociedad.

El Informe de la situación del medio ambiente en México, cuya nueva edición me complace presentar en esta ocasión, es uno de los elementos básicos de este sistema de información.



Esta obra constituye un reporte sintético y sucinto del estado actual del ambiente y los recursos naturales del país, así como de las acciones efectuadas para su mejoramiento, conservación y manejo. En ella se analizan los principales cambios y tendencias que se han seguido en años recientes. Los grandes temas tratados en el informe son: Población, Vegetación y Uso del Suelo, Suelos, Biodiversidad, Aprovechamiento de los Recursos Forestales, Pesqueros y de la Vida Silvestre, Atmósfera, Agua, Residuos e Instrumentos de planeación ecológica.

Junto con el Informe se presenta también la nueva edición del Compendio de Estadísticas Ambientales, obra que reúne y sistematiza un gran acervo de datos estadísticos y que, además de constituir una fuente integrada y fácilmente accesible de información oficial, sirve de sustento y del Informe.

Estos dos productos son parte de la respuesta de SEMARNAT a la creciente demanda de información, cada vez de mejor calidad y en mayor cantidad, sobre la situación ambiental del país. Con estas dos obras complementarias, nuestra institución cumple con el mandato de ley de publicar de manera periódica un informe sobre la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente del país.

La producción del Informe ha sido posible gracias al trabajo cotidiano y la participación activa de múltiples áreas de SEMARNAT y de otras dependencias del gobierno federal. Gracias también al esfuerzo de compilación, edición y difusión que SEMARNAT realiza para consolidar el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales como la base de información confiable y oportuna que permita mantener informada a la sociedad del país del estado que guardan el ambiente y sus recursos naturales.

J

**José Luis Luege Tamargo,**  
**Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales**  
**Diciembre 2005**



# Introducción

Aun cuando la vida moderna y la tecnología han alejado a la sociedad de la naturaleza, los seres humanos dependemos íntegramente de ella. Durante milenios, el medio ambiente ha proveído a las sociedades de bienes y servicios que la tecnología más avanzada no podría reemplazar en la actualidad. No obstante, muchas naciones del mundo, incluido México, enfrentan en la actualidad problemas ambientales derivados de su propio desarrollo, algunos de gran importancia y que requieren de soluciones que garanticen el futuro de las generaciones venideras.

A pesar de que para las sociedades urbanas y tecnológicamente desarrolladas la relación que existe entre preservar en buen estado los ecosistemas naturales y su bienestar está bien comprendida, alcanzar esa meta en la actualidad aún parece lejano. La importancia de los elementos del medio ambiente en la evolución y sostenimiento de la vida en el planeta fue reconocida mucho tiempo antes de que se tomara plena conciencia de los posibles efectos negativos que su deterioro podría traer a la humanidad; sin embargo, el tema ambiental no fue objeto de la atención gubernamental hasta muy recientemente, cuando los efectos del deterioro se hicieron evidentes y pusieron en riesgo el desarrollo futuro de muchos países.

De hecho, el tema ambiental cobró dimensiones internacionales sólo hasta mediados del siglo XX, a partir del conocimiento y difusión en los medios de comunicación de problemas como la muerte de aves y otras especies marinas como consecuencia de los derrames petroleros, la afectación de bosques y lagos por la lluvia ácida, los daños a la salud de los habitantes en las ciudades por la contaminación del aire y la creciente pérdida de especies debida a la destrucción de sus hábitats, por citar sólo algunos ejemplos.

De acuerdo con los resultados de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, impulsada por las Naciones Unidas, se ha concluido que si bien los cambios en los ecosistemas naturales han contribuido a obtener considerables beneficios netos en términos de bienestar humano y desarrollo económico, éstos se han logrado con crecientes costos, tanto por la degradación de muchos de los servicios que brindan los ecosistemas como por la acentuación de la pobreza en algunos grupos sociales.

En México, al igual que en muchos otros países, el interés y reclamo de la sociedad por atender y solucionar los problemas ambientales confrontó al gobierno con la preocupante realidad de la insuficiencia de conocimiento e información sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas naturales que permitiera evaluar objetivamente tanto los factores de presión, como la respuesta de éstos a las acciones implementadas para detener y revertir su deterioro. En este contexto, uno de los pasos necesarios para formular estrategias y políticas de gobierno que conjunten armónicamente el desarrollo económico y la conservación del ambiente es contar con información suficiente y confiable sobre la situación del medio ambiente, así como de los factores que presionan su integridad y la efectividad de las acciones que se implementan para detener y, eventualmente, revertir su deterioro.

Una de las acciones más importantes que ha desarrollado la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) en este sentido es la creación y desarrollo del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN), que integra de manera organizada información contenida en bases de datos estadísticos y geográficos con productos de integración y análisis (como son los sistemas de indicadores y los informes sobre la situación del medio ambiente).



El Informe sobre la Situación del Medio Ambiente en México 2004, está basado, en su mayoría, en la información contenida en las bases de datos del SNIARN y utiliza también para su evaluación y análisis los indicadores definidos dentro del Conjunto Básico de Indicadores del Desempeño Ambiental, lo que le confiere mayor consistencia interna a la obra. El Informe está organizado en nueve capítulos que abarcan los principales factores que afectan al ambiente: la población y el uso del suelo; la descripción del estado que guardan los componentes bióticos y abióticos del ambiente –suelo, atmósfera, agua y biodiversidad-; y tres capítulos que se refieren a la situación y manejo de los recursos forestales, pesqueros y de la vida silvestre, de los residuos sólidos y los principales instrumentos de planeación ecológica que se aplican en el país.

Las tendencias demográficas y características socioeconómicas de la población mexicana se examinan en el primer capítulo. Además, se hace un recuento de las ideas y evidencias que muestran la fuerza de la relación que existe entre la población y el ambiente. En el capítulo dos se describe la situación de los ecosistemas terrestres en el país, así como las tendencias en la forma que se ha usado el suelo en México, incluyendo la revisión de procesos como la deforestación, la degradación de la vegetación y su conversión hacia usos agropecuarios. En este mismo capítulo se examinan los factores asociados a estos procesos: el crecimiento de la población y los incendios forestales, entre otros. Asimismo, se exponen las medidas que se han implementado para aminorar los efectos negativos del cambio de uso del suelo.

El suelo y su degradación en el país es el tema del capítulo tres, el cual hace también mención de las transformaciones que tienen lugar en regiones especialmente frágiles, como son las montañas y las zonas áridas. Además, se detallan los principales procesos que degradan el suelo -como la erosión-, y se examinan someramente algunos de sus factores causales.

En el cuarto capítulo se revisa la situación de la biodiversidad en México y sus amenazas más

importantes, tanto a nivel de ecosistemas como en el de especies. Se examinan también las estrategias más importantes implementadas para proteger la gran riqueza biológica del país.

En el capítulo cinco se describe la manera en la que se han utilizado los principales recursos naturales del país. Aunque el capítulo contiene mayor detalle sobre los recursos forestales, también se incluye, de forma más o menos extensa, información sobre los recursos pesqueros y el aprovechamiento de otras especies de la vida silvestre; en este último caso se revisan los instrumentos disponibles para su manejo y conservación.

En el capítulo seis se trata el tema de la calidad del aire y otros problemas atmosféricos que hoy en día son una preocupación constante tanto a nivel local como global. Se describen los resultados de las emisiones de contaminantes a la atmósfera y su relación con la calidad del aire en las zonas urbanas del país que cuentan con estaciones de monitoreo. Se abordan también los temas del cambio climático global y la reducción del espesor de la capa de ozono, ambos de relevancia mundial.

La situación del agua en el país se trata con detalle en el capítulo siete, tanto en términos de la calidad como de la disponibilidad de este recurso. Además, se examina la cobertura de servicios de agua potable y alcantarillado, así como la infraestructura disponible para el tratamiento de las aguas residuales.

En este informe se aborda como capítulo independiente la problemática de los residuos desde su generación hasta su manejo, a diferencia del publicado en 2003 que lo incluía dentro del capítulo dedicado a los suelos. Así, el octavo capítulo examina la situación tanto de los residuos sólidos municipales, como de los residuos peligrosos.

Finalmente, en el capítulo nueve se detallan los instrumentos de planeación ambiental existentes en el país: la evaluación de impacto ambiental, el ordenamiento ecológico del territorio y la evaluación del riesgo ambiental, además de incluirse algunas consideraciones sobre bioseguridad.



La descripción de la situación del medio ambiente en México aquí presentada ha tratado de incluir, cuando ha sido posible, una visión retrospectiva del fenómeno, todo ello con la finalidad de ubicar al lector en un contexto temporal más amplio. Se ha incluido también, en algunos casos, información dentro del contexto internacional.

De manera semejante al Informe de 2002, en éste se ha optado por mantener una serie de recuadros, a lo largo de los diferentes capítulos, en los que se profundiza o se proporciona mayor información de contexto. Estos textos pueden omitirse en lectura del informe sin afectar su continuidad, ya que están elaborados para ser revisados de forma independiente por aquellos lectores que tengan intereses particulares.

En el informe, las estadísticas se presentan sintetizadas en forma de tablas, figuras y mapas, lo que permitirá al lector seguir, reafirmar o complementar lo expresado en el texto. Sin embargo, para el público interesado en consultar la información a detalle, también se han incluido ligas a cuadros, recuadros, mapas y figuras –las cuales aparecen en el texto resaltadas en color verde- que forman parte de la Base de Datos Estadísticos del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (BADESNIARN) y que pueden ser fácilmente examinadas en el disco compacto anexo o bien, en la versión electrónica del Informe publicada en Internet dentro del portal de la Secretaría en el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (<http://www.semarnat.gob.mx/dgeia/>).

El objetivo que subyace detrás de todo este esfuerzo de compilación e integración de la información ambiental disponible es el interés en que esta obra sea útil para crear en el público general una visión completa de la situación ambiental en México. Estamos seguros que en la medida en que la sociedad y los tomadores de decisiones cuenten con más y mejor información, podrán tomar mejores decisiones en materia ambiental que contribuirán de manera eficaz a detener el deterioro ecológico que sufre el país. Esperamos que la información recopilada, tanto en el Informe como en la base de datos estadística

del BADESNIARN, sirva de materia prima a los académicos y personas interesadas en los temas ambientales para que, después de analizarla, puedan contribuir con sus ideas y propuestas a mejores decisiones en beneficio del medio ambiente y del manejo sustentable de nuestros recursos naturales.





# Capítulo I. Población

## Capítulo 1. Población



La población se relaciona con el ambiente al menos a través de tres procesos: I) el consumo directo de los recursos naturales renovables y no renovables (como el agua, las plantas y animales, el petróleo y los minerales); II) la generación de desechos sólidos, líquidos y gaseosos producto de diferentes actividades y que afectan el estado de los suelos, el agua, el aire y el de los ecosistemas naturales y III) la transformación directa de los ecosistemas para usos diversos como la creación de zonas urbanas y sistemas agropecuarios. En este sentido, el impacto o presión que el hombre ejerce sobre el ambiente depende tanto del tamaño de la población, como de la manera en la que se utilizan los recursos y se generan los desechos que se vierten al ambiente.

Ehrlich y Holdren (1971) sintetizaron esta concepción y propusieron que en cualquier interacción del hombre con el ambiente, incluso en las sociedades más simples, los tres elementos que intervienen en definir la magnitud del impacto sobre los ecosistemas son la población, el consumo per cápita y un componente tecnológico que determina cuántos recursos se utilizan y cuántos desechos son generados para producir los bienes y servicios que requiere y consume la población. En particular la expresión propuesta para esta relación es:

$$I = PAT$$

donde:

I = impacto de la población,

P = población total,

A = consumo y generación de desechos y

T = efecto del componente tecnológico en la eficiencia del uso de los recursos y la generación de desechos.

A pesar de que este modelo ha recibido muchas críticas por su simplificación (supone, por ejemplo, que sus componentes son independientes y que los ecosistemas responden de manera lineal a las presiones); y se han propuesto modelos alternativos (Waggoner y Ausubel, 2002), conceptualmente sigue siendo utilizado, ya que incluye los principales procesos que intervienen en el resultado de la interacción hombre-ambiente.

Independientemente de los avances tecnológicos, económicos y culturales, desde una perspectiva funcional, la relación de la humanidad con el ambiente es similar a la de las otras millones de especies que viven en el planeta. Dependemos de la energía y los recursos de la naturaleza, y toda la energía y materia eventualmente regresan al ambiente en forma de desechos. Sin embargo, el tamaño de la población y sus patrones de consumo provocan que la población tenga un papel muy significativo. Aunque la biomasa de la población humana no llega al 0.5% de la biomasa total de los heterótrofos (Imhoff *et al.*, 2004), hoy en día es el principal consumidor de la Tierra, apropiándose de entre el 16 y el 40% de la productividad primaria neta terrestre del planeta (Vitousek *et al.*, 1986; Wackernagel *et al.*, 2002; Imhoff *et al.*, 2004). De tal magnitud es este consumo que se estima que las demandas humanas, medidas en términos de los recursos que se consumen y la superficie de tierras y aguas necesarias para purificar sus desechos, sobrepasaron la capacidad de carga del planeta desde los años 80 (Wackernagel *et al.*, 2002).

Los impactos del hombre sobre el ambiente



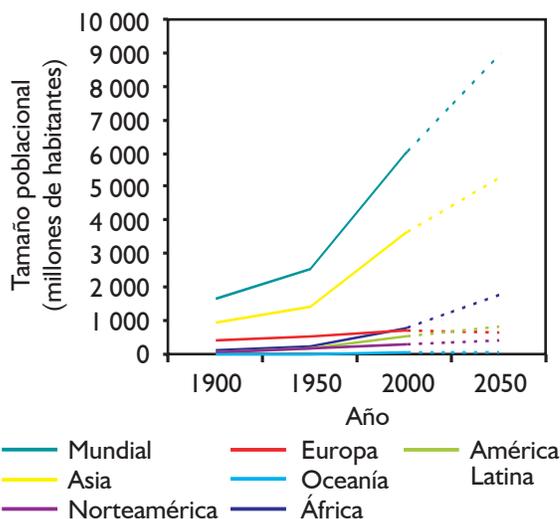
comúnmente se asocian con el tamaño de la población y la tasa de crecimiento. Sin embargo, existen otras características relacionadas con la población que son relevantes, como su distribución espacial, estructura de edades, capacidad de consumo, escolaridad y “arraigo” a la tierra, las cuales determinan, de manera importante, la forma e intensidad de uso de recursos, y con ello, el impacto sobre el ambiente. En particular es importante resaltar lo referente al nivel de consumo (o sobreconsumo) de la población en algunas sociedades de los países desarrollados y sus impactos ambientales (Baltz, 1999). Sólo para ejemplificar las grandes diferencias en el uso de los recursos entre los habitantes de los países desarrollados y los de los países en desarrollo, una familia promedio estadounidense de cuatro miembros en 1991 consumía la cantidad de recursos y generaba equivalentes al de 80 familias costarricenses o 280 de Bangladesh. El consumo per cápita de energía eléctrica de un estadounidense en el año 2000 era 150 veces mayor que uno de un ciudadano de Nigeria, 35 veces mayor que uno hindú y 6 veces mayor que uno brasileño. Asimismo, la cantidad de agua que desechaba era casi cuatro veces mayor que la de una familia rusa (WWI, 2004). En este contexto, a la pregunta de cuánta gente puede soportar el planeta, debe considerarse también la pregunta de a qué nivel de consumo.

### Población de México y el mundo

A pesar de que el hombre moderno tiene varios miles de años sobre la Tierra, su número se había mantenido bajo hasta hace relativamente poco tiempo, cuando los avances en el campo de la medicina y la salud disminuyeron significativamente sus niveles de mortalidad. Se requirieron de varios miles de años para que la población humana alcanzara los mil millones de habitantes en 1804. Sin embargo, sólo se requirieron 123 años más (es decir, en 1927) para alcanzar los 2 mil millones, 33 años adicionales (1960) para llegar a la cifra de los 3 mil millones y 40 años más para duplicar esta cifra y llegar a los 6 mil millones en el año 2000. Para el año 2004, la cifra estimada fue de 6 mil 378 millones y según las proyecciones elaboradas por las Naciones Unidas, la población mundial alcanzará un valor de

7 mil 800 millones en el año 2025 y 8 mil 918 en el 2050 (FNUAP, 2004) (Figura 1.1).

**Figura 1.1 Población mundial por región, 1900-2050.** La línea discontinua representa proyecciones de población.



Fuente: ONU-FNUAP. *The World at Six Billion*. USA. 1999.

La mayor parte de la población se concentra actualmente en los países en desarrollo (81%), siendo además los que experimentan las mayores tasas de crecimiento, por lo que se prevé que para el 2050 el 86.3% de la población vivirá en estos países (Tabla 1.1) Los países considerados desarrollados crecerán muy poco o incluso sufrirán reducciones importantes en su población, como en el caso de la Federación Rusa que se prevé disminuiría su población en casi 30%. Para el año 2050, los países más poblados del mundo serán la India, China, Estados Unidos y varios países de África.

México es el onceavo país más poblado del mundo y el segundo de América Latina, detrás de Brasil. La población del país creció de manera importante en el siglo pasado. En el año de 1900 había poco más de 13 millones y para el año 2000 casi se alcanzaron los 100 millones. Para el año 2004 la población estimada del país fue de alrededor de 104.9 millones de habitantes y según las proyecciones del Consejo Nacional de Población (Conapo), para mediados de

**Tabla 1.1 Población en países selectos y por condición de desarrollo, 2004 y 2050**

País	Población (millones de habitantes)	
	2004	2050
<b>Total mundial</b>	<b>6 378</b>	<b>8 919</b>
<i>Países más desarrollados</i>	<i>1 206</i>	<i>1 220</i>
<i>Países menos desarrollados</i>	<i>5 172</i>	<i>7 699</i>
Etiopía	72	171
Uganda	27	103
Congo	54	152
Sudáfrica	45	40
Nigeria	127	259
China	1 313	1 395
Japón	128	110
Indonesia	223	294
Bangladesh	150	255
India	1 081	1 531
Pakistán	157	349
Arabia Saudita	25	55
Finlandia	5	5
España	41	37
Italia	57	45
Alemania	83	79
Francia	60	64
Guatemala	13	26
México	105	140
Brasil	181	233
Canadá	32	39
Estados Unidos	297	409
Federación Rusa	142	102
Ucrania	48	32

**Fuente:**

ONU-FNUAP. *Estado de la población mundial 2005. La promesa de igualdad: Equidad de género, salud reproductiva y Objetivos de Desarrollo del Milenio*. FNUAP. EUA. 2005.

2005 seremos 105.3 millones. La tasa de crecimiento natural estimada (diferencia de nacimientos menos defunciones) para el 2004 fue de 1.44%, con una tendencia clara a seguir disminuyendo como ha ocurrido a partir de los años setenta cuando alcanzó su valor más alto. No obstante la marcada reducción en la tasa de crecimiento en los últimos cinco años, se

han incorporado más de 1.1 millones de mexicanos a la población nacional cada año (Figura 1.2).

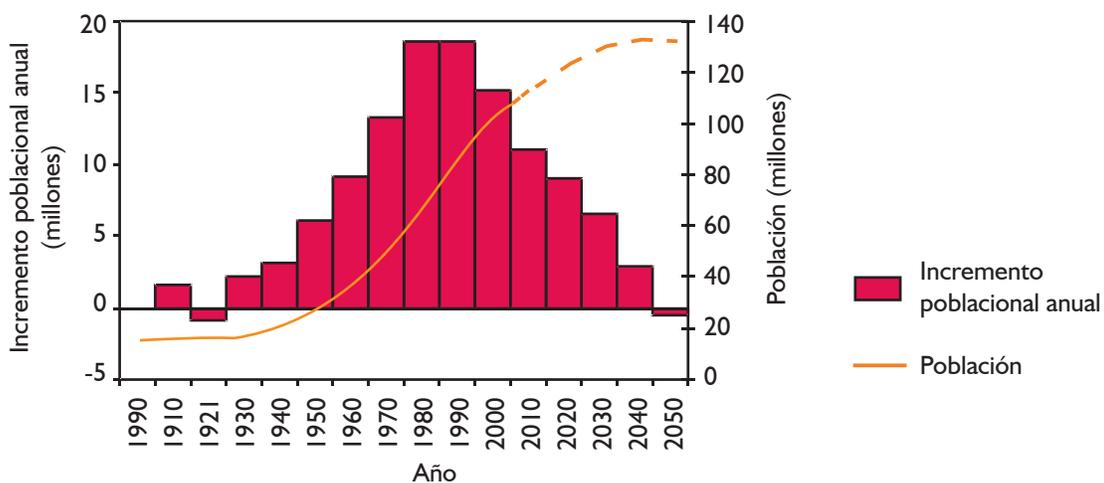
La disminución en la tasa de crecimiento puede explicarse, en parte, por una reducción paulatina de la fecundidad (Figura 1.3). En 2000, la tasa de fecundidad estimada fue de 2.21 hijos por mujer. Entre el año 2005 y 2010 se espera que se alcance el valor de 2.11, considerado como el nivel de reemplazo intergeneracional (número de hijos necesarios para reemplazar exactamente al número de los padres). A pesar de ello se prevé que la población seguirá creciendo en los próximos años hasta alcanzar los 130 millones en el año 2040, para posteriormente iniciar lentamente su descenso (Figura 1.2).

México ha vivido en los últimos años una profunda transición demográfica. Este proceso ha propiciado importantes cambios en la estructura y composición de la población. Hoy disfrutamos del llamado “bono demográfico”, que no es otra cosa que una proporción baja entre la población dependiente con respecto a la potencialmente productiva. El “índice de dependencia demográfica” es un indicador de este proceso, si toma el valor de 1.0 significa que por cada persona en edad productiva existe una dependiente (menor a 15 años o mayor a 65). En el año de 1970, el índice de dependencia fue muy cercano a la unidad, disminuyendo a 0.75 en 1990, 0.61 en 2000 y para el 2004 alcanzó 0.56, lo que significa que ahora en el país por cada 100 individuos en edad productiva (mayores de 15 años y menores a 65) se tienen 56 dependientes. El país mantendrá por varios años más esta condición ventajosa, alcanzando alrededor del año 2020 su valor más bajo (0.45), para después comenzar a incrementarse por la acumulación de personas mayores (Figuras 1.4 y 1.5).

Durante el siglo pasado México también experimentó un fuerte proceso de urbanización. Mientras que en 1900 una quinta parte de la población vivía en ciudades, en 2000 el porcentaje se incrementó al 66.6%, quedando el resto de la población (33.4%) repartida en localidades mixtas y rurales (Figura 1.6).



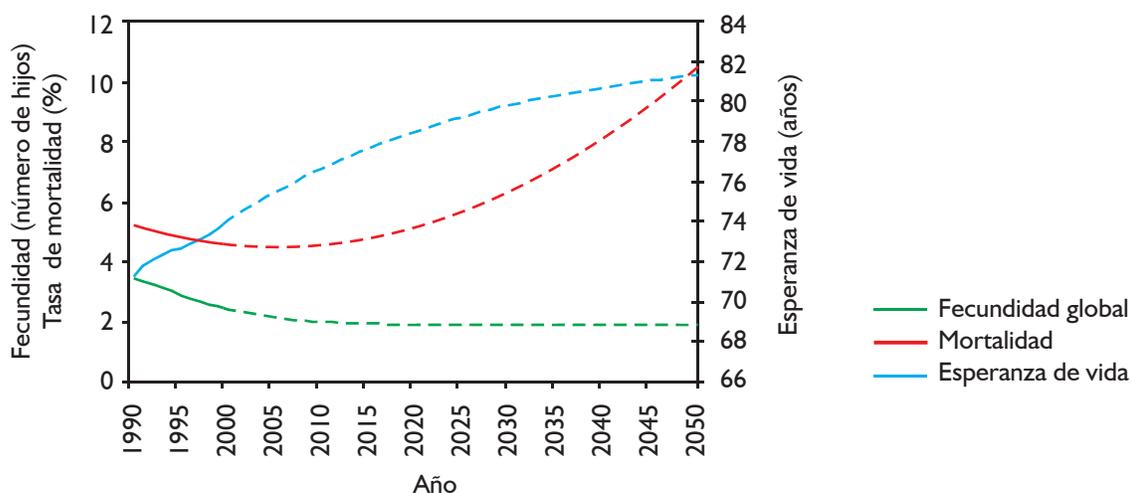
**Figura 1.2 Población en México, 1900-2050.** La línea discontinua representa proyecciones de población.



**Fuentes:**

1900-1990: INEGI. *Censos de Población y Vivienda*. Varios años. México. Varios años.  
INEGI. *Conteo de Población y Vivienda 1995*. México. 1996.  
Conapo. *Proyecciones de la población de México, 2000-2050*. México. 2002.

**Figura 1.3 Tasas de fecundidad, mortalidad y esperanza de vida en México, 1990-2050.** La línea discontinua representa proyecciones de población.



**Fuente:**

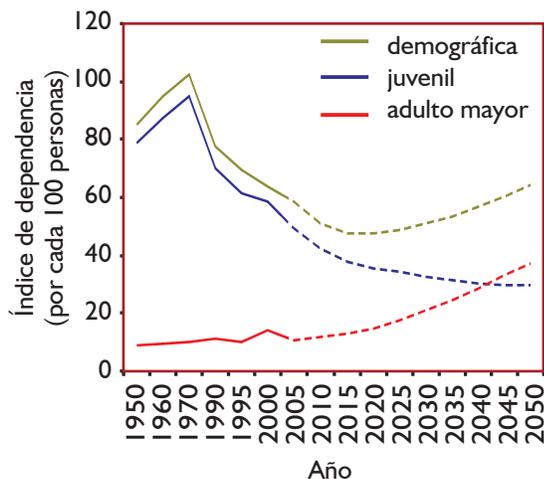
Conapo. *Proyecciones de la población de México, 2000-2050*. México. 2002.

A inicios de este nuevo siglo la distribución de la población continúa presentando dos tendencias contrastantes: una concentración de la población en un reducido número de ciudades y un gran número de pequeñas localidades esparcida sobre la totalidad del territorio nacional.

El motor principal del crecimiento urbano es la migración interna. Durante una buena parte de la segunda mitad del siglo pasado, la Ciudad de México y otros grandes centros urbanos atrajeron a miles de personas que vivían en zonas rurales en busca de una oportunidad de progreso. Sin embargo, hacia el

**Figura 1.4 Índice de dependencia demográfica, juvenil y del adulto mayor en México, 1950-2050<sup>1</sup>.**

La línea discontinua representa proyecciones de población.



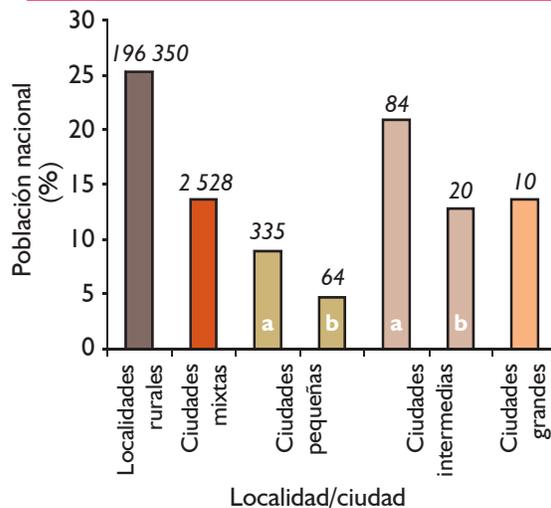
**Nota:**

<sup>1</sup>Los datos para el año 1980 no se encuentran disponibles.

**Fuentes:**

INEGI. VII Censo General de Población, 1950. México. 1953.  
 INEGI. VIII Censo General de Población, 1960. México. 1962.  
 INEGI. IX Censo General de Población, 1970. México. 1972.  
 INEGI. XI Censo General de Población y Vivienda, 1990. México. 1992.  
 Conapo. Proyecciones de la población de México, 2000-2050. México. 2002.

**Figura 1.6 Distribución de la población por tamaño de localidad<sup>1</sup> en México, 2000.** El número arriba de cada barra corresponde a las localidades censadas.



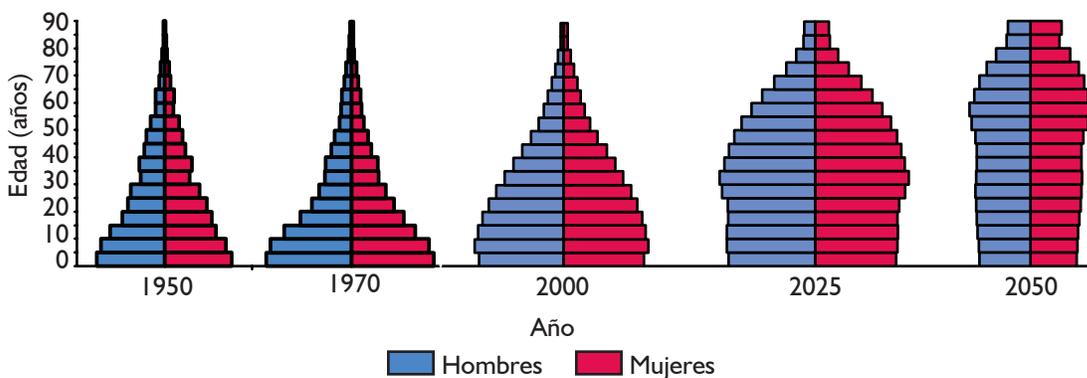
**Notas:**

<sup>1</sup>Tamaño de localidades en habitantes:  
 Localidades rurales: < 2 500  
 Ciudades mixtas: 2 500 - 14 499  
 Ciudades pequeñas: 15 000 - 49 999(a); 50 000 - 99 999(b)  
 Ciudades intermedias: 100 000 - 499 999(a); 500 000 - 999 999(b)  
 Ciudades grandes: Mayor a 1 000 000

**Fuente:**

Anzaldo, C. Tendencias recientes de la urbanización. En: Conapo (Ed.). La situación demográfica de México 2003. Conapo. México. 2003.

**Figura 1.5 Pirámides de edad en México, 1950-2050**



**Fuentes:**

INEGI. Estadísticas Históricas de México. México. S/A.  
 INEGI. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. México. 2001.  
 Conapo. Proyecciones de la Población de México, 2000-2050. México. 2002.

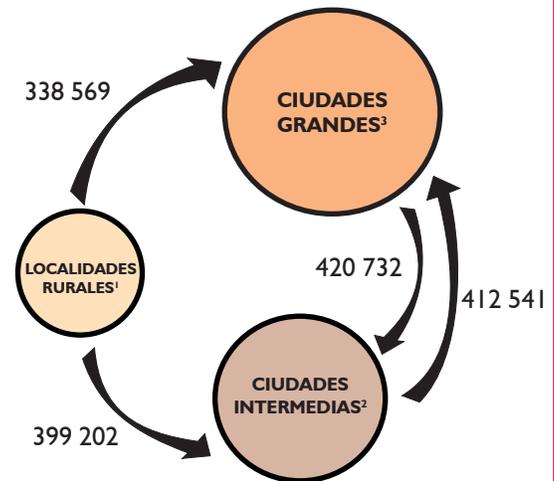
final del siglo pasado cambió el patrón de migración, convirtiéndose los movimientos entre ciudades en el factor más importante de crecimiento urbano. De hecho, durante el quinquenio 1995-2000 cerca de la mitad de los flujos migratorios (47.8%) tuvieron como origen y destino a las ciudades, mientras que la migración del campo a las grandes ciudades representó tan sólo el 18.3% del total (Figura 1.7).

A mediados del siglo pasado, el Distrito Federal y el Estado de México eran el destino principal del flujo originado en 18 de las entidades del país (36% de la migración interna). En 2000, el Valle de México fue la zona de donde salió el 20% de la población que migró y a la que llegó el 15% de la emigración que tuvo como origen otras partes de la república.

La población de México actualmente se concentra en grandes ciudades. En las nueve más grandes se encuentra el 33.6% de la población total (Tabla 1.2); sin embargo, las grandes urbes como la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) actualmente no registran crecimientos poblacionales acelerados, sino que son las ciudades intermedias las que crecen con mayor rapidez (Mapa 1.1). Por ejemplo, la ZMVM tiene una tasa de crecimiento inferior al 1% en contraste con la zona metropolitana de Querétaro o Tijuana que crecen a más de 2% anual (Figura 1.8). Para el año 2003 se estimó que la población en la ZMVM era de 19 millones de habitantes, siguiéndole la Zona Metropolitana de Guadalajara con 3.9 millones y la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM) con 3.5 millones; esta última con una mayor tasa de crecimiento, por lo que se prevé que en el año 2025 desplace a la ZMG del segundo lugar. Actualmente existen nueve ciudades o zonas metropolitanas con más de un millón de habitantes y se espera que en los próximos años se integren a este grupo las zonas metropolitanas de Querétaro (en 2010), Mérida (2014), Cuernavaca (2017), San Luis Potosí (2018), Aguascalientes (2021) y Mexicali (2027) (Tabla 1.2).

Las ciudades que están creciendo de manera más acelerada son algunos de los destinos turísticos más importantes del país, como Playa del Carmen

**Figura 1.7 Dinámica de la migración poblacional en México, 1995-2000.** Las cifras corresponden al número de habitantes.



**Notas:**

- <sup>1</sup> Localidades rurales: < 2 500 habitantes
- <sup>2</sup> Ciudades intermedias: 100 000 a 1 000 000 habitantes
- <sup>3</sup> Ciudades grandes: Mayor a 1 000 000 habitantes

**Fuente:**

Partida, B. V. Aspectos demográficos de la urbanización. En: Conapo (Ed.). *La situación demográfica de México, 2003*. México, 2003.

(9.37%) y Cancún (4.52%), en Quintana Roo y San José del Cabo y Cabo San Lucas en Baja California Sur (5.73% y 5.71%, respectivamente). También, ciudades fronterizas importantes en el movimiento migratorio hacia los Estados Unidos y en la industria han crecido de manera notable, como son los casos de Tijuana (3.2%) y Ciudad Juárez (3.06%).

De manera paralela al proceso de urbanización, en el periodo 1970-2000 creció significativamente el número de localidades rurales menores a los 2 mil 500 habitantes, pasando de cerca de 100 mil a 196 mil. Alrededor del 15% de ellas se ubicaron en los márgenes de las grandes ciudades, contribuyendo al proceso de suburbanización. Una porción importante (44.3%) alberga a 13.1 millones de personas y se encuentra ubicada lejos de las ciudades y centros de población, o bien a lo largo de las carreteras, lo que puede constituir un foco de presión potencial para los ecosistemas naturales.

**Tabla 1.2 Población, incremento poblacional y tasa de cambio anual según el tamaño de la localidad y en las 25 ciudades más grandes en México, 2002-2003**

Tamaño de localidades (habitantes)	Población 2003 (habitantes)	Incremento 2002-2003 (habitantes)	Tasa de cambio anual (%)
<b>Nacional</b>	<b>104 213 503</b>	<b>1 154 201</b>	<b>1.11</b>
<b>Rural</b>	<b>34 221 362</b>	<b>228 136</b>	<b>0.67</b>
De 1 a 2 499	23 514 876	113 603	0.48
De 2 500-14 499	10 706 486	114 533	1.07
<b>Urbano</b>	<b>69 992 141</b>	<b>926 065</b>	<b>1.32</b>
De 15 000 - 49 999	6 478 683	63 832	0.99
De 50 000 - 99 999	3 246 884	37 271	1.15
De 100 000 - 499 999	14 073 895	207 674	1.48
De 500 000 - 999 999	11 183 428	161 699	1.45
De 1 000 000 ó más	35 009 251	455 589	1.3

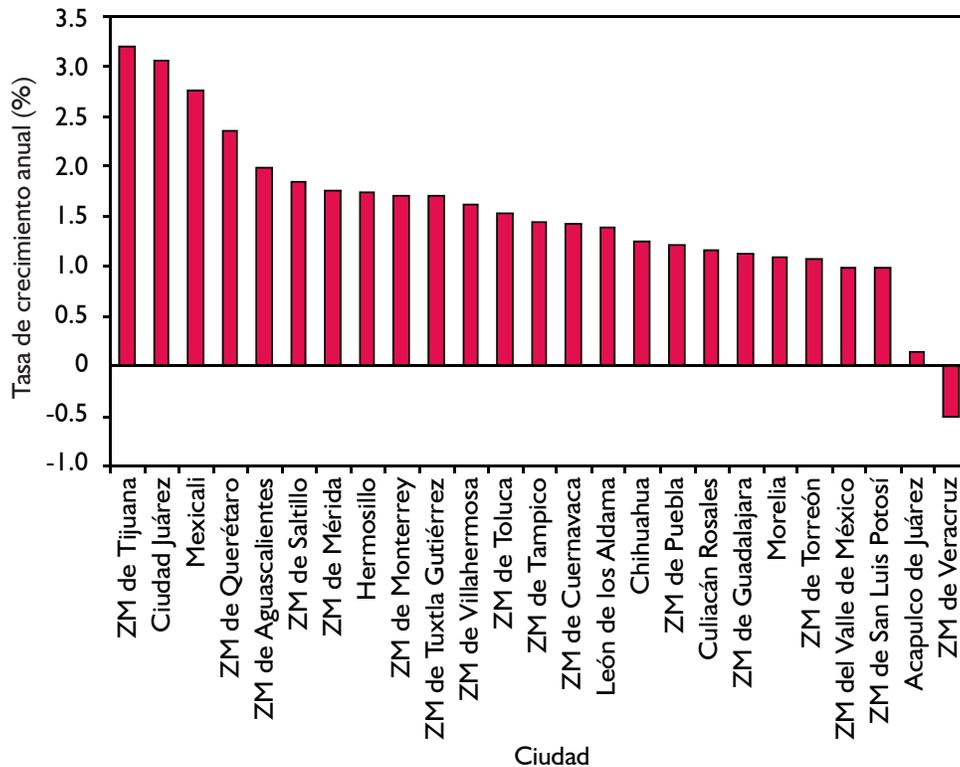
Ciudad	Población 2003 (habitantes)	Incremento 2002-2003 (habitantes)	Tasa de cambio anual (%)
Zona Metropolitana de la Ciudad de México	19 073 915	188 989	0.99
Zona Metropolitana de Guadalajara	3 921 329	43 884	1.12
Zona Metropolitana de Monterrey	3 542 979	60 636	1.71
Zona Metropolitana de Puebla	2 016 956	24 674	1.22
Zona Metropolitana de Toluca	1 450 552	22 254	1.53
Zona Metropolitana de Tijuana	1 437 729	46 067	3.2
Ciudad Juárez	1 365 038	41 772	3.06
León de los Aldama	1 118 137	15 592	1.39
Zona Metropolitana de Torreón	1 082 616	11 721	1.08
Zona Metropolitana de San Luis Potosí	895 602	8 803	0.98
Zona Metropolitana de Querétaro	877 837	20 693	2.36
Zona Metropolitana de Cuernavaca	861 745	12 236	1.42
Zona Metropolitana de Mérida	852 457	14 940	1.75
Zona Metropolitana de Aguascalientes	766 312	15 253	1.99
Zona Metropolitana de Tampico	721 666	10 394	1.44
Chihuahua	697 440	8 715	1.25
Zona Metropolitana de Saltillo	676 639	12 516	1.85
Zona Metropolitana de Villahermosa	648 819	10 468	1.61
Acapulco de Juárez	642 628	873	0.14
Mexicali	609 714	16 834	2.76
Morelia	605 323	6 616	1.09
Zona Metropolitana de Veracruz	603 562	- 3 043	-0.5
Hermosillo	594 299	10 353	1.74
Culiacán Rosales	584 280	6 743	1.15
Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez	545 105	9 305	1.71

**Fuente:**

Partido, B. V. Situación Demográfica Nacional. En: Conapo (Ed.). *La situación demográfica de México, 2003*. México, 2003.



**Figura 1.8 Tasa de crecimiento anual de las 25 ciudades más grandes en México, 2003**



**Fuente:** Partido, B. V. Aspectos demográficos de la urbanización. En: Conapo (Ed). *La situación demográfica de México 2003*. Conapo. México. 2003.

Sesenta y cuatro mil pequeñas localidades (32.5%) se encuentran en situación de aislamiento, es decir, alejadas de ciudades, centros de población y vías de comunicación transitables todo el año (Figura 1.9).

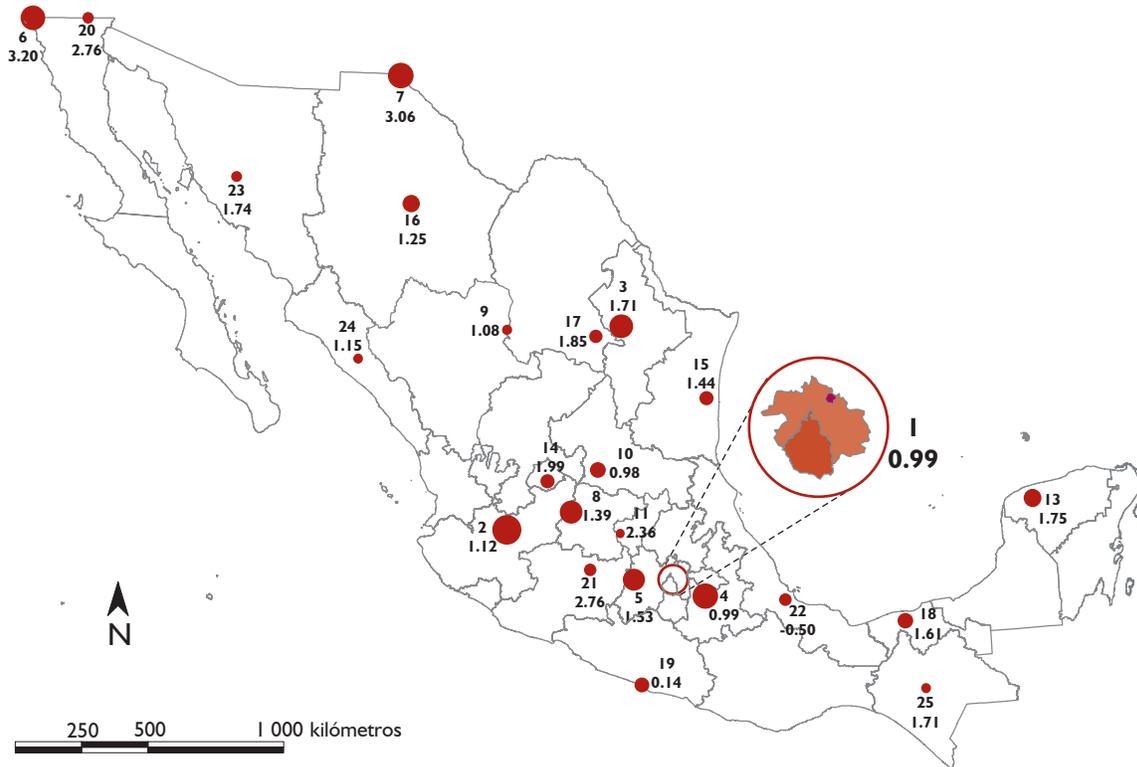
Las localidades rurales (menores a 2 mil 500 habitantes) se ubican principalmente en las zonas montañosas de la Sierra de Chiapas y la Selva Lacandona; en la zona serrana de los estados de Guerrero y Oaxaca, y en la Sierra Madre Oriental, entre los estados de Puebla y Veracruz (Mapa 1.2). Varias de estas localidades son núcleos de población indígena.

Los patrones migratorios no sólo se reflejan en el crecimiento de ciudades, sino también en el de la población estatal. El Distrito Federal, Estado de México, Jalisco, Veracruz y Nuevo León mantienen la población más grande (Mapa 1.3), pero no son

las entidades con las mayores tasas de crecimiento, ya que estos lugares los ocupan Quintana Roo, Baja California y Baja California Sur (Mapa 1.4). Durante el periodo de 1990-2000, todos los estados mantuvieron tasas positivas de crecimiento, aunque con diferencias muy marcadas entre ellos. Quintana Roo mantiene la tasa de crecimiento más alta (3.79%) seguido por Baja California y Baja California Sur (2.9 y 2.73%, respectivamente), en contraste, estados como Zacatecas, Veracruz y el Distrito Federal mantienen tasas por debajo de 0.3%.

La migración a Estados Unidos es un proceso que influye fuertemente en el crecimiento poblacional nacional. En 2000 se calculó que 390 mil individuos (la mayoría en edad productiva) emigraron a los Estados Unidos. Para poner en contexto esta cifra, esta “pérdida neta” de mexicanos es equivalente al 85% del total de los fallecimientos ocurridos en

**Mapa 1.1 Población por tamaño de localidad de las ciudades más grandes en México, 2003.** El tamaño del círculo es proporcional al tamaño poblacional. Los números adyacentes corresponden a la ciudad (ver lista inferior) y a su tasa de crecimiento poblacional.



**Ciudades:**

1 Zona Metropolitana del Valle de México, 2 Zona Metropolitana de Guadalajara, 3 Zona Metropolitana de Monterrey, 4 Zona Metropolitana de Puebla, 5 Zona Metropolitana de Toluca, 6 Zona Metropolitana de Tijuana 7 Ciudad Juárez, 8 León de los Aldama, 9 Zona Metropolitana de Torreón, 10 Zona Metropolitana de San Luis Potosí, 11 Zona Metropolitana de Querétaro, 12 Zona Metropolitana de Cuernavaca, 13 Zona Metropolitana de Mérida, 14 Zona Metropolitana de Aguascalientes, 15 Zona Metropolitana de Tampico, 16 Chihuahua, 17 Zona Metropolitana de Saltillo, 18 Zona Metropolitana de Villahermosa, 19 Acapulco de Juárez, 20 Mexicali, 21 Morelia, 22 Zona Metropolitana de Veracruz, 23 Hermosillo, 24 Culiacán Rosales, 25 Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez.

**Fuente:**

Partida, B. V. Situación Demográfica Nacional. En: Conapo (Ed.). *La situación demográfica de México, 2003*. México, 2003.

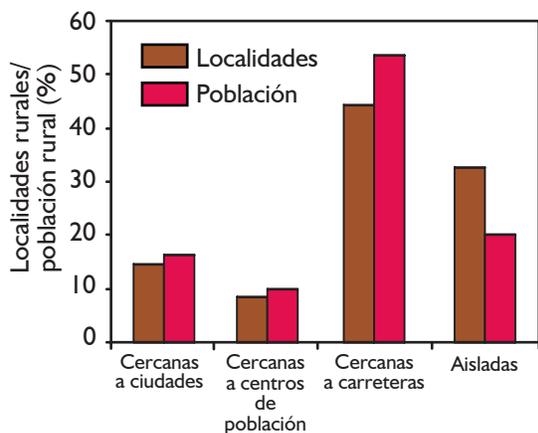
ese mismo año en todo el país. Este importante flujo provoca que la tasa de crecimiento total sea de 1.11% en lugar de 1.49 % que corresponde a la tasa de crecimiento natural. Si bien la migración se presenta en todo el territorio nacional, en los estados de Aguascalientes, Durango, Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Zacatecas es más intensa (Mapa 1.5), lo que explica, al menos en parte, sus bajas tasas de crecimiento poblacional.

**Características socioeconómicas**

Existe una estrecha relación entre los atributos demográficos y los socioeconómicos. Las poblaciones con mayor proporción de personas pobres son también las que tienen mayores fecundidades, esperanzas de vida menores y migración alta. De entre las diversas maneras de describir las características sociales y económicas



**Figura 1.9 Distribución de localidades rurales según condición de ubicación y población, 2000**



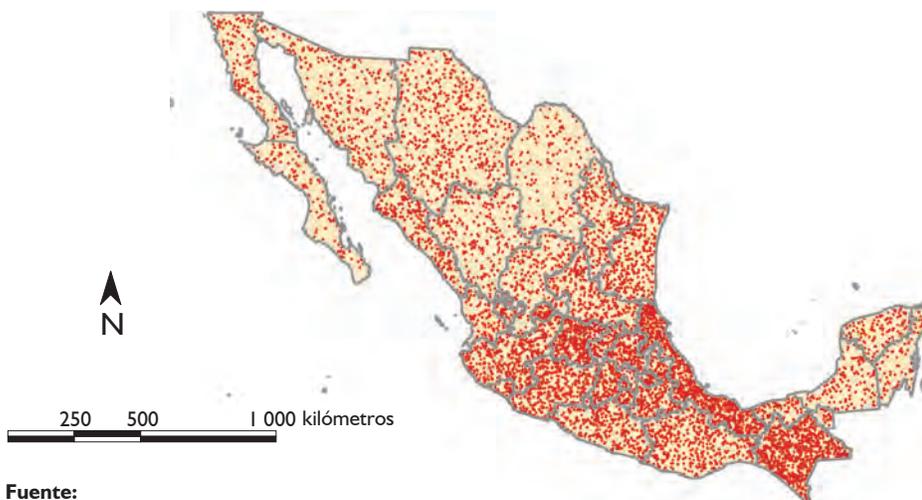
**Fuente:**

Conapo. Informe de Ejecución del Programa de Acción de la Conferencia Internacional sobre la Población y el Desarrollo 1994-2003: México. En: Conapo (Ed.). Capítulo 6: *Distribución territorial de la población, urbanización y migración interna*. México. 2004.

habitantes para desarrollar su potencial productivo y creativo. En ese sentido, el desarrollo humano es mucho más que un criterio económico. El concepto que está detrás es que para que los individuos puedan desarrollarse requieren, además de un ingreso que les permita cubrir sus necesidades básicas, de una educación adecuada y de una vida larga y saludable. Si estas condiciones se satisfacen, cada individuo estará en posibilidad de elegir aquello que valore más y la forma de cómo conseguirlo. Por ello, se considera que el desarrollo humano está muy cercano a la libertad. El IDH reconoce que más allá del capital económico, la verdadera riqueza de las naciones está en sus habitantes y en el potencial que tienen para actuar con libertad y creatividad.

El IDH es un indicador fuertemente impulsado por las Naciones Unidas y se basa en la ponderación de tres aspectos básicos: a) una vida larga y saludable medida por la esperanza de vida al nacer; b) conocimiento (educación) medido a partir de la tasa de alfabetización de adultos y la matriculación

**Mapa 1.2 Localidades rurales por entidad federativa, 2000**



**Fuente:**

INEGI. *XII Censo General de Población y Vivienda 2000*. México. 2001.

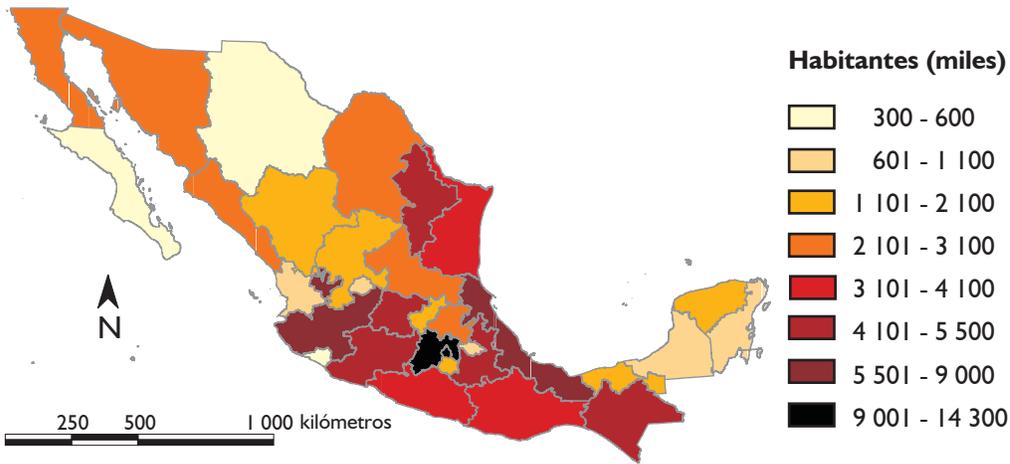
de la población, destacan el índice de desarrollo humano (IDH), el índice de marginación (IM) y el grado de pobreza.

El concepto de desarrollo humano está estrechamente relacionado con la capacidad de sus

y c) acceso a los recursos, medido por el producto interno bruto per cápita.

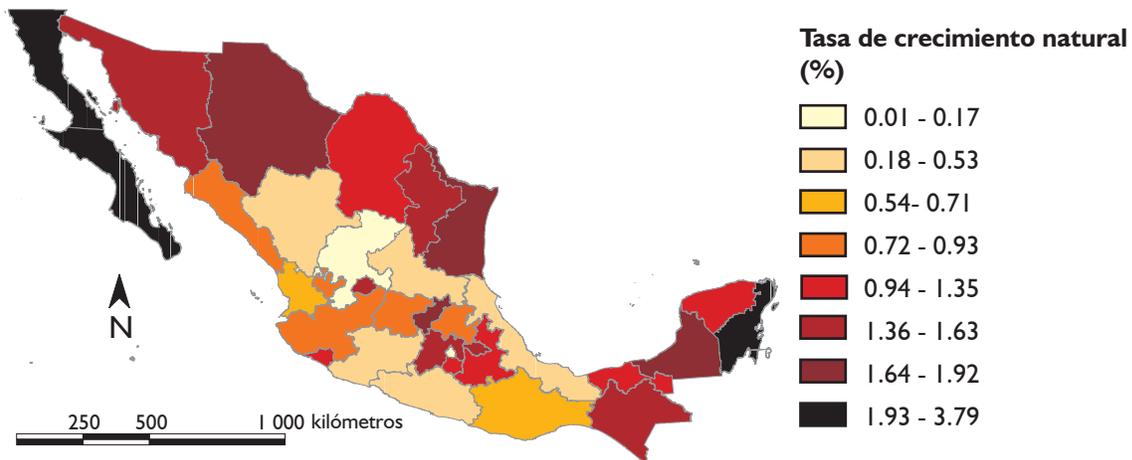
El IDH se calculó por primera vez en el año 2000 y permitió obtener una imagen de la situación de la población mundial bajo esta perspectiva. De

**Mapa 1.3 Habitantes por entidad federativa, 2003**



**Fuente:**  
Conapo. *Proyecciones de la población de México, 2000-2050*. Conapo. México. 2002.

**Mapa 1.4 Tasa de crecimiento natural de la población por entidad federativa, 2002-2003**



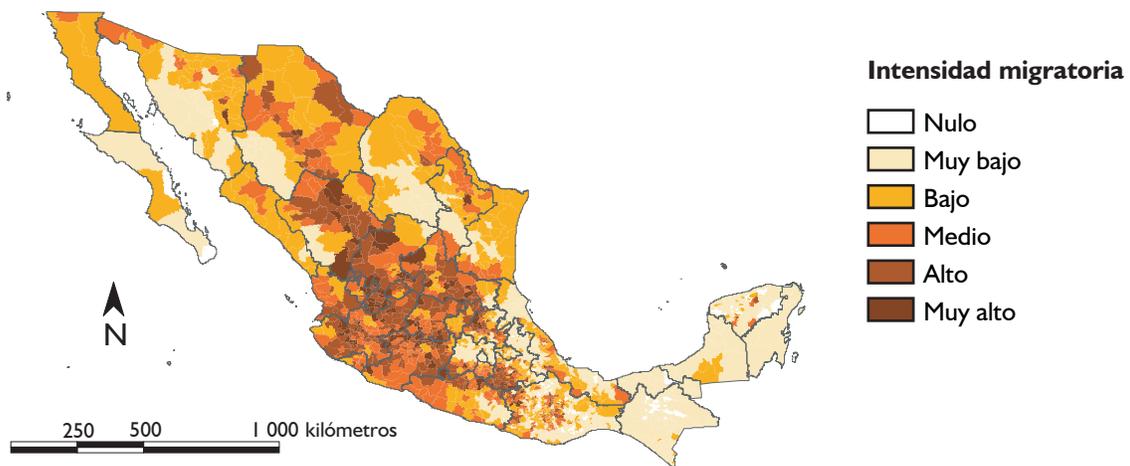
**Fuente:**  
Conapo. *Proyecciones de la población de México, 2000-2050*. Conapo. México. 2002.

acuerdo con ese estudio, México estaba situado en el lugar 54 de 173 países evaluados, muy cerca del límite de lo que se consideraba un IDH medio-alto y alto. Como ejercicio paralelo, se calculó el IDH a escala municipal para el país, evidenciándose grandes diferencias: municipios como Coicoyan de

las Flores en Oaxaca con un IDH de 0.362 estaba en la categoría de IDH bajo, mientras que la Delegación Benito Juárez en el Distrito Federal se encontraba en la categoría de IDH alto, con un valor comparable al de países desarrollados como Japón. Este indicador se calculó también para los años 2002 y 2003 (a



**Mapa 1.5 Intensidad migratoria a Estados Unidos por municipio, 2000**



**Fuente:**  
Conapo. *La población de México en el nuevo siglo*. México. 2001.

nivel estatal para ambos años y municipal sólo para el 2002), lo que permite hacer un examen sobre las tendencias de cambio.

De acuerdo con los resultados de 2002, México se encuentra en el lugar 53 de los 177 países evaluados con un IDH de 0.7937. Ello lo coloca en el penúltimo lugar dentro de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), sólo por encima de Turquía. A nivel de Latinoamérica y el Caribe, se ubica por debajo de Argentina, Chile, Costa Rica, Uruguay, Bahamas y Cuba (Figura 1.10).

El IDH a nivel estatal presenta diferencias importantes. El Distrito Federal y Nuevo León aventajan notoriamente a estados como Chiapas y Oaxaca. El Distrito Federal registra niveles de IDH no muy diferentes a los de países europeos como Portugal y Grecia, mientras que Oaxaca y Chiapas tienen valores de IDH similares a los registrados en los territorios ocupados de Palestina, Uzbekistán o Argelia. Según la clasificación del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 14 entidades se encuentran en la categoría de desarrollo humano alto y 18 con nivel de desarrollo medio;

ningún estado se ubica en la categoría de desarrollo humano bajo (Mapa 1.6).

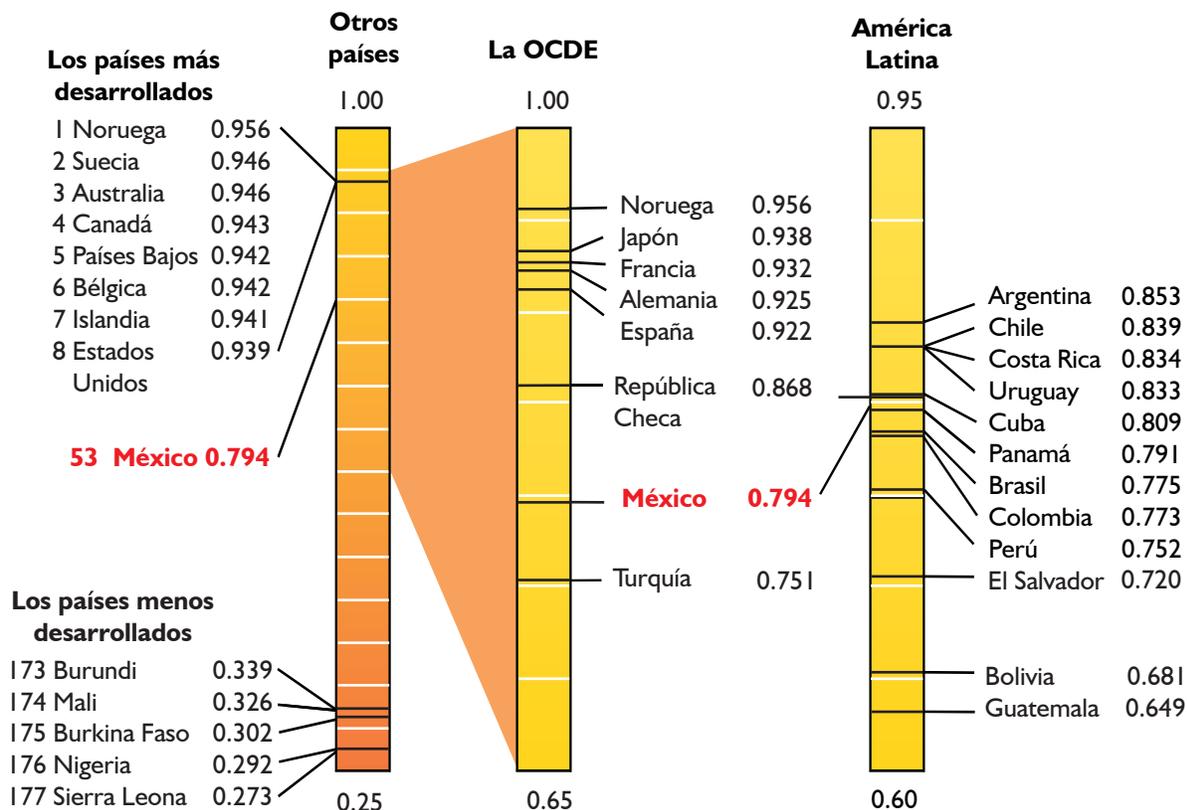
Cuando se examina a nivel municipal, las diferencias son aún mayores. El intervalo de valores va desde 0.923 de la Delegación Benito Juárez en el Distrito Federal (valor comparable al de Alemania, 0.925), hasta valores comparables a los de países africanos, como es el caso de distintos municipios de Guerrero y Oaxaca (Mapa 1.7).

De los componentes del IDH, el que más destaca en México es la desigualdad de ingreso. La brecha que separa a las entidades con ingreso alto y bajo es mayor que la observada en los componentes de salud y educación (Tabla 1.3).

Muy asociado al concepto de desarrollo humano está la marginación, la cual se ha evaluado en nuestro país mucho antes de que el IDH cobrara importancia. La marginación se considera como un fenómeno estructural que se expresa, por un lado, en la dificultad de propagar el progreso técnico en el conjunto de la estructura productiva y en las regiones del país, y por el otro, en la exclusión de los grupos sociales del proceso del desarrollo y del disfrute de sus beneficios.

**Figura 1.10 México en el mundo: índice de desarrollo humano (IDH), 2002.**

El IDH es una medida del potencial del capital humano de una región, basado en la longevidad, la educación y el ingreso. Se muestra la posición de México en el mundo, la OCDE y América Latina.



Fuente: PNUD. Informe sobre el Desarrollo Humano México, 2004. México. 2005.

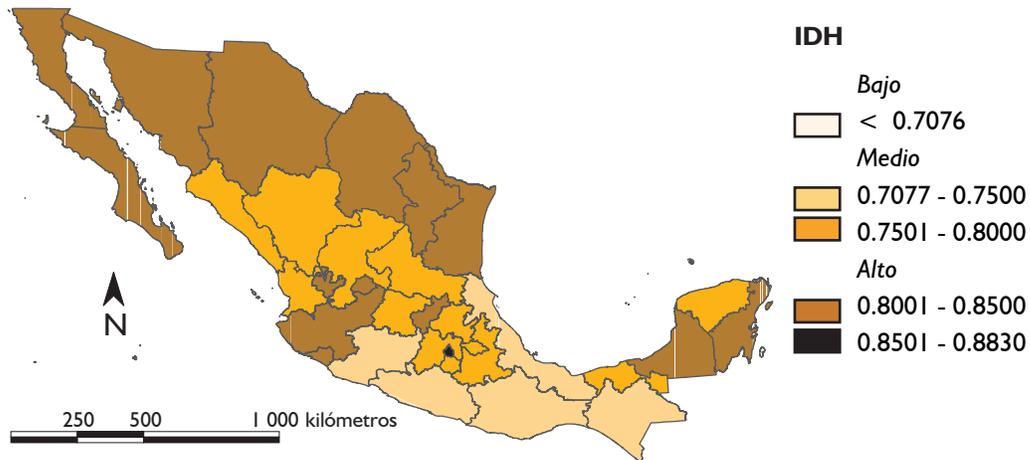
El índice de marginación (IM) permite detectar diferencias en las entidades federativas y municipios de acuerdo a las carencias que padece la población, todo ello como resultado de la falta de acceso a la educación, vivienda inadecuada, ingreso monetario insuficiente y la residencia en localidades pequeñas, dispersas y en condiciones de aislamiento que dificultan el suministro de servicios y el aprovechamiento de las economías de escala de los servicios básicos, infraestructura y equipamiento.

El IM y el IDH muestran resultados muy parecidos: el Distrito Federal, Nuevo León y Coahuila son los estados con las mejores condiciones de vida, mientras que Oaxaca, Chiapas y Guerrero son los que presentan las condiciones más desfavorables

(Figura 1.11, Mapa 1.8). Es importante hacer notar que el IM es una medida relativa, por lo que no pueden compararse directamente los resultados en dos periodos diferentes. Sin embargo, el Conapo, con el fin de conocer de qué manera ha cambiado la condición de marginación en el periodo 1995-2000, realizó una estimación tomando como punto de referencia el valor del Distrito Federal, la entidad federativa con el menor grado de marginación. Así, cada estado puede evaluarse en términos de que tan cerca o lejos se encuentra de este punto de referencia y qué tanto ha disminuido su distancia en un tiempo determinado. De acuerdo a estos resultados, cuatro estados aumentaron la distancia que los separa del Distrito Federal (Guerrero, Campeche, Nayarit y Baja California Sur), mientras que siete entidades

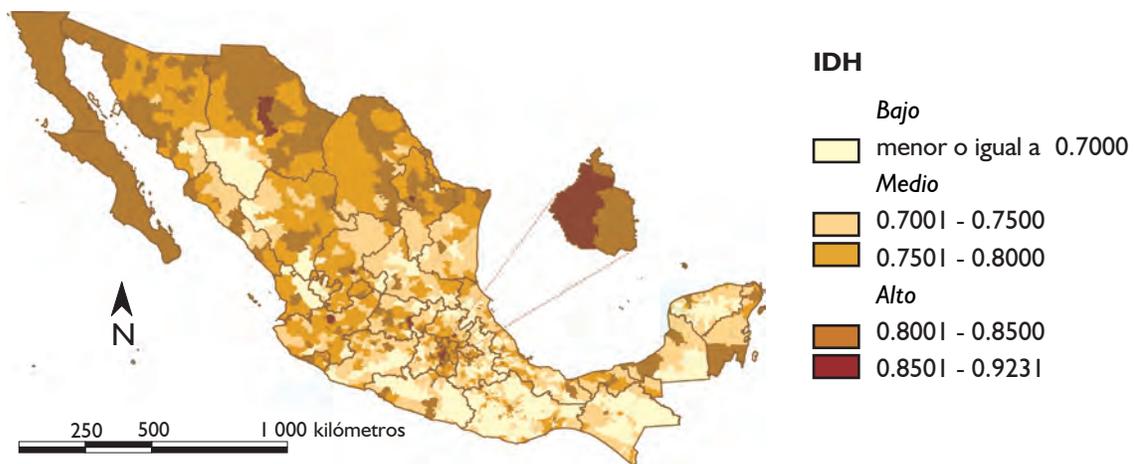


**Mapa I.6 Índice de desarrollo humano (IDH) por entidad federativa, 2002**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: PNUD. *Informe sobre Desarrollo Humano México 2004*. México. 2005.

**Mapa I.7 Índice de desarrollo humano (IDH) por municipio en México, 2002**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: PNUD. *Informe sobre Desarrollo Humano México 2004*. México. 2005.

redujeron notoriamente su brecha de marginación (Nuevo León, Coahuila, Aguascalientes, Querétaro, Tamaulipas y Quintana Roo) (Mapa I.9).

Otra condición de la población muy importante en lo que se refiere a su nivel de bienestar es la pobreza. Ésta se mide considerando básicamente el

ingreso y se divide en función de su capacidad para adquirir la canasta básica de productos y servicios. La condición más desfavorable de pobreza es la llamada pobreza alimentaria, donde los ingresos no alcanzan para satisfacer las necesidades mínimas de alimento; el segundo nivel es el de pobreza de capacidades, donde los ingresos no son suficientes para cubrir las

**Tabla 1.3 Desigualdades en el desarrollo humano de México, 2002**

<b>ÍNDICE DE DESARROLLO HUMANO</b>			
Nacional	Máximo	Mínimo	Diferencia*
0.7937	D. F. 0.883	Chiapas 0.7076	24.8
<b>ÍNDICE DE SALUD</b>			
Nacional	Máximo	Mínimo	Diferencia*
0.8270	D. F. 0.8482	Chiapas 0.7990	6.2
<b>ÍNDICE DE EDUCACIÓN</b>			
Nacional	Máximo	Mínimo	Diferencia*
0.8190	D. F. 0.8997	Chiapas 0.7372	22.0
<b>ÍNDICE DE INGRESO</b>			
Nacional	Máximo	Mínimo	Diferencia*
0.7352	D. F. 0.9018	Chiapas 0.5868	53.7

**Nota:**

\* La diferencia muestra en qué porcentaje el estado con el valor máximo supera al estado con el valor mínimo.

**Fuente:**

PNUD. *Informe sobre el Desarrollo Humano México, 2004*. México. 2005.

necesidades básicas de educación y salud. Por último, la tercera categoría es la denominada pobreza de patrimonio, que corresponde a ingresos insuficientes para satisfacer las necesidades de vestido, calzado, vivienda y transporte.

La pobreza sigue siendo un problema muy serio en el país, a pesar de que en los últimos años han disminuido sus niveles. Según las últimas estimaciones en 2004 existían en el país 48.9 millones de personas en condiciones de pobreza, que expresado en número de hogares representaban un total de 10.2 millones. Estos valores corresponden al 47% de la población y al 40% de los hogares. De las personas consideradas en pobreza, 18 millones (17.3%) se encontraban en la categoría de pobreza alimentaria (Figura 1.12).

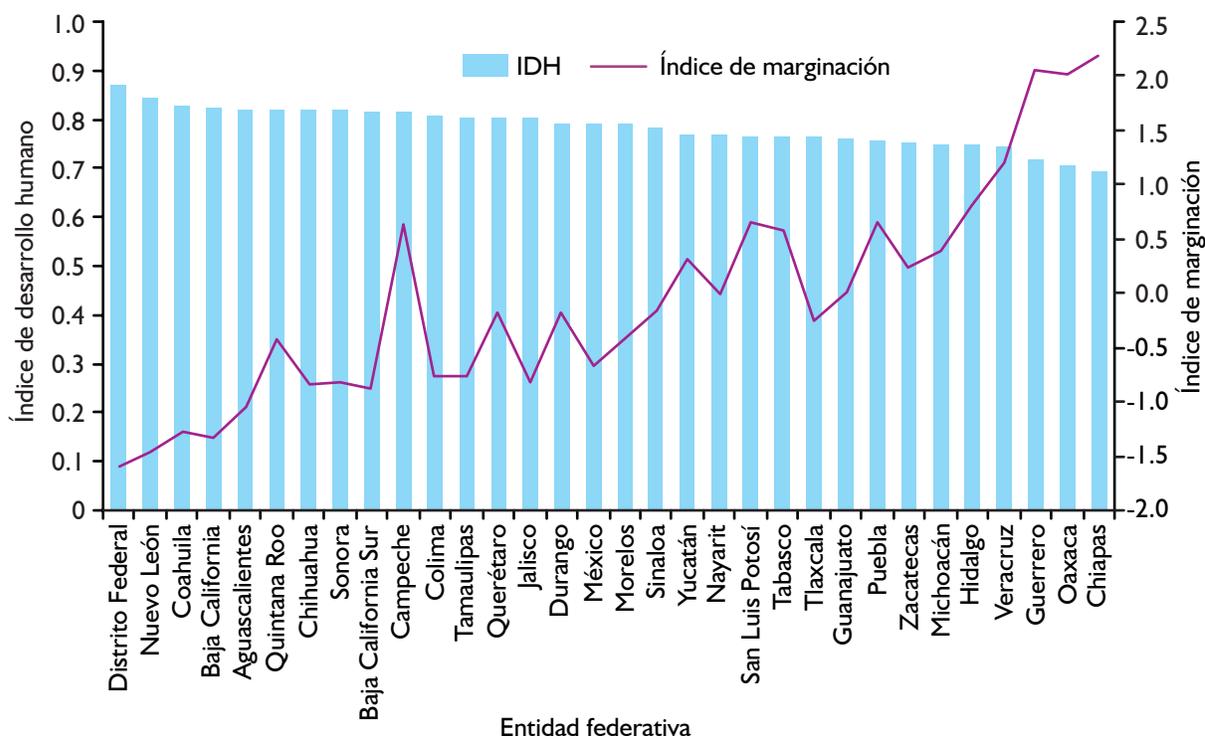
La mayoría de las personas en pobreza se encuentra en zonas urbanas (26.4 millones), aunque la mayor cantidad de los pobres extremos viven en zonas rurales (10.9 millones). A pesar de que los niveles de pobreza siguen inaceptablemente altos, la tendencia mostrada en los últimos años es hacia su disminución (Tabla 1.4). Durante el periodo 2000-2004 se redujo el número de pobres, siendo la reducción de los pobres extremos en zonas rurales la más notoria, pasando de 16.1 millones en el año 2000 a 10.9 millones en 2004 (Tabla 1.5). La pobreza, la marginación y el desarrollo humano están muy relacionados entre sí también con otros fenómenos como la migración y el indigenismo.

La población indígena en el país varía entre 8 y 12.7 millones de personas según el criterio que se considere (Fernández *et al.*, 2002). La mayor parte de los indígenas viven principalmente en los estados del sureste. Seis estados (Yucatán, Oaxaca, Chiapas, Quintana Roo, Hidalgo y Campeche) concentran el 63%; en el otro extremo se encuentran los estados que prácticamente no tienen población indígena: Coahuila, Aguascalientes, Zacatecas, Guanajuato, Nuevo León y Colima (Mapa 1.10).

Se reconoce en el país la existencia de alrededor de 62 grupos lingüísticos, pero sólo entre la población de náhuatl y mayas se concentra el 37.9% de la población indígena. Le siguen en importancia el zapoteco, mixteco, otomí, totonaca, totzil y tzetzal. Los municipios con la mayor población indígena se concentran en la región tarahumara; la meseta Huichol en Nayarit, Durango y Zacatecas; la huasteca en San Luis Potosí, Veracruz e Hidalgo; la meseta purépecha de Michoacán; asentamientos otomíes y mazahuas en el Estado de México; mixtecos en la Sierra de Guerrero; zapotecos en Oaxaca y Veracruz; la selva Chiapaneca y los mayas en la península de Yucatán.

La marginación se concentra en los municipios con más población indígena (Figura 1.13). También existe una relación negativa entre el IDH y la población indígena. Los municipios con IDH bajos tienen niveles altos de población indígena (Figura 1.14).

**Figura 1.11 Índice de desarrollo humano (IDH) e índice de marginación por entidad federativa, 2000**

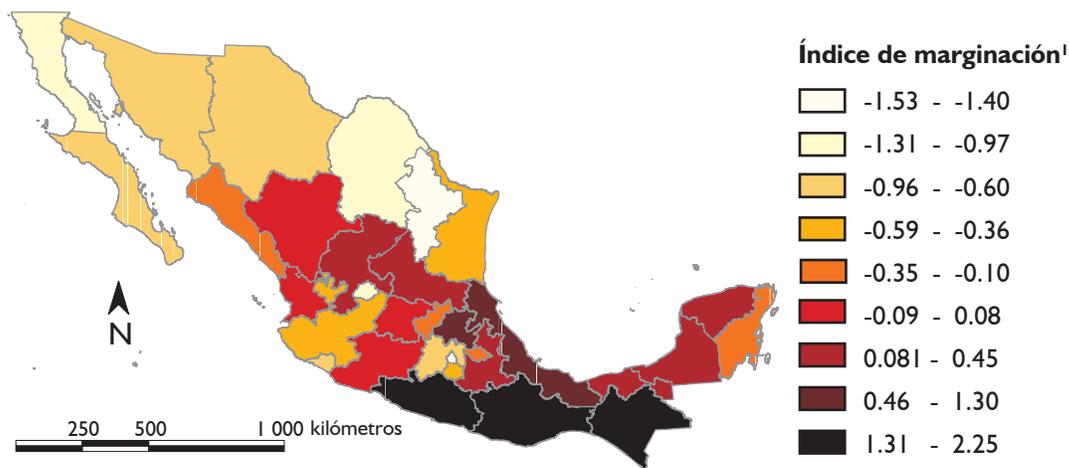


**Fuentes:**

Conapo. Índice de Desarrollo Humano 2000. México. 2001.

Conapo. Índice de Marginación 2000. México. 2001.

**Mapa 1.8 Índice de marginación por entidad federativa, 2000**



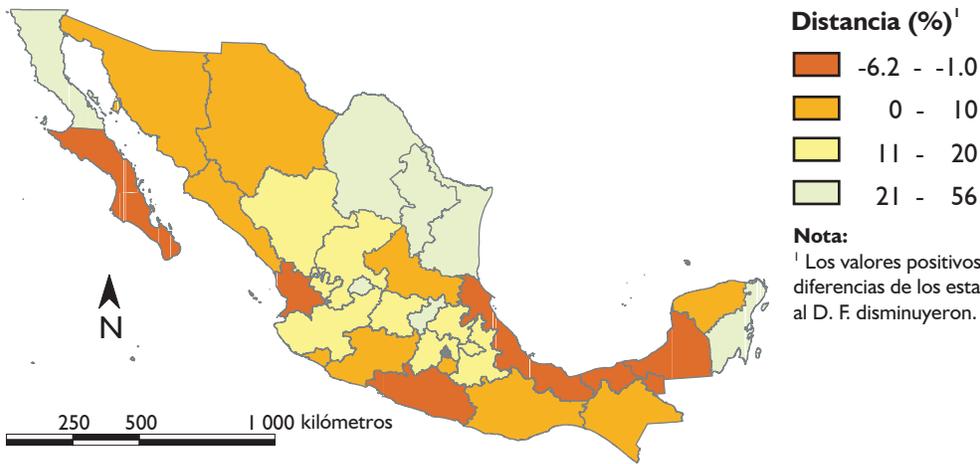
**Fuente:**

INEGI. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. México. 2001.

**Nota:**

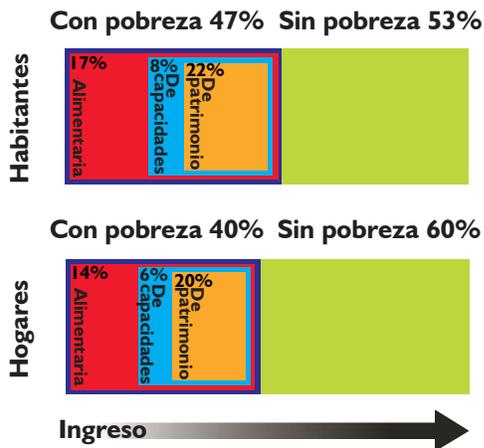
<sup>1</sup> Los valores positivos indican mayor marginación.

**Mapa I.9 Cambio proporcional de la distancia del índice de marginación (IM) con respecto al Distrito Federal entre 1990 y 2000**



**Fuentes:**  
 Estimaciones del Conapo con base en INEGI, Conapo y CNA. *Indicadores socioeconómicos e índices de marginación municipal 1990 y XII Censo General de Población y Vivienda, 2000*

**Figura I.12 Habitantes y hogares de México en diferentes condiciones de pobreza, 2004**



**Nota:**  
 Los porcentajes dentro de la categoría de pobreza corresponden a la población que se encuentra entre los límites de cada tipo de pobreza.

**Fuente:**  
 Conapo. *Informe de Ejecución del Programa de Acción de la Conferencia Internacional sobre la Población y el Desarrollo 1994-2003: México*. En: Conapo (Ed). Capítulo 6: Distribución territorial de la población, urbanización y migración interna. México. 2004.

La migración es un fenómeno que no muestra una relación tan directa (como podría suponerse) con la marginación: la mayor migración a Estados Unidos, por ejemplo, se da en poblaciones con índices de marginación medios y altos pero no en los más altos. En general, la tendencia es que las personas que viven en los municipios con la más alta marginación migren hacia los centros urbanos más cercanos y no al extranjero.

### **Población y ambiente**

En la medida en que las sociedades se vuelven más complejas y tecnológicamente avanzadas, es fácil tener la impresión de que no dependen más de los ecosistemas naturales. Para los habitantes que han vivido toda su vida en ciudades, el estado de los ríos, bosques y mares pueden percibirse como un asunto remoto; la naturaleza se percibe como “algo” que se puede disfrutar el fin de semana, pero su permanencia y conservación no se considera un asunto preocupante o prioritario.

Al contrario de esta errónea percepción, y a pesar del ritmo vertiginoso del avance tecnológico, la humanidad sigue dependiendo como siempre de



**Tabla 1.4 Hogares y población en condiciones de pobreza en México, 1992-2004**

Condición de pobreza	Año						
	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004
<b>HOGARES (%)</b>							
Alimentaria <sup>1</sup>	17.4	16.1	28.8	26.8	18.6	15.8	13.7
De capacidades <sup>2</sup>	21.8	22.7	36.5	32.9	25.3	21.1	19.8
De patrimonio <sup>3</sup>	44.1	46.8	60.8	55.6	45.9	44.1	39.6
<b>PERSONAS (%)</b>							
Alimentaria <sup>1</sup>	22.5	21.1	37.1	33.9	24.2	20.3	17.3
De capacidades <sup>2</sup>	28.0	29.4	45.3	40.7	31.9	26.5	24.6
De patrimonio <sup>3</sup>	52.6	55.6	69.6	63.9	53.7	51.7	47.0

**Notas:**

<sup>1</sup> Hogares o personas cuyo ingreso es insuficiente para cubrir sus necesidades mínimas de alimentación, equivalente a 15.4 y 20.9 pesos diarios.

<sup>2</sup> Hogares o personas cuyo ingreso es insuficiente para cubrir sus necesidades mínimas de alimentación y los gastos mínimos en educación y salud, equivalentes a 18.9 y 24.7 pesos diarios.

<sup>3</sup> Hogares o personas cuyo ingreso es insuficiente para cubrir sus necesidades mínimas de alimentación, vestido, calzado, salud, transporte público, vivienda y estimación de la vivienda, equivalente a 28.1 y 41.8 pesos diarios. Contempla educación primaria y secundaria.

**Fuente:**

Estimaciones del Conapo con base a las Encuestas Nacionales de Ingresos y Gastos de los Hogares, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002. En: Conapo. *Informe de Ejecución del Programa de Acción de la Conferencia Internacional sobre la Población y el Desarrollo 1994-2003: México*. México. 2004.

los servicios que presta la biosfera. Los continuos avances en las labores agrícolas, obras de irrigación y las mejoras tecnológicas que permitieron incrementar los volúmenes de pesca y la producción de alimentos y que beneficiaron a millones de personas, promovieron la visión de que el hombre no estaba limitado por la cantidad de recursos que el ambiente proveía, sino que podía virtualmente incrementar al “infinito” la explotación de todos sus recursos.

Una corriente de pensamiento, identificada con Julian Simon, sostiene la idea de que es equivocada la visión de que los recursos de la Tierra pueden llegar a ser insuficientes para mantener a la población que habita el planeta. En particular, esta corriente sostiene que: I) no hay evidencia sólida de que los recursos puedan disminuir a tal grado que colapsen a las sociedades; II) hasta la fecha los avances científicos y tecnológicos han hecho que la posible “capacidad de carga del planeta” se amplíe a un valor que no es limitante para el crecimiento, y III) que el recurso más escaso y por el que nos deberíamos preocupar

es el humano, lo que ha llevado al cuestionamiento de las políticas de control de la población que podrían acarrear efectos negativos al impedir que la población crezca.

Otra corriente, a veces llamada de los Neomalthusianos, plantea que la Tierra tiene una capacidad de carga finita y que en la medida que la población se incrementa será cada vez más difícil proveerla de los bienes y servicios necesarios para su desarrollo. Esta corriente sostiene que si bien frenar el crecimiento poblacional no es la solución, si permite tener más tiempo para que puedan establecerse las medidas y acciones necesarias para evitar problemas mayores.

El argumento ecológico que está detrás de esta aproximación es que la relación de la humanidad con la biosfera (y sus ecosistemas) es similar a la de otras especies. El hombre depende de la energía y los recursos extraídos de la naturaleza para su desarrollo y regresa los desechos producidos a los ecosistemas. La mayor diferencia con respecto al resto de las

**Tabla 1.5 Población en condiciones de pobreza en el medio urbano y rural en México, 1992-2004**

Condición de pobreza	Año						
	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004
<b>URBANA</b>							
<b>HOGARES (%)</b>							
Alimentaria <sup>1</sup>	10.2	7.2	20.1	16.4	9.8	8.5	8.7
De capacidades <sup>2</sup>	14	12.8	27.7	22.8	16.4	12.2	14.2
De patrimonio <sup>3</sup>	35.6	35.6	53.2	47.7	37.4	35.4	34.2
<b>PERSONAS (%)</b>							
Alimentaria <sup>1</sup>	13.5	9.7	26.5	21.3	12.6	11.4	11
De capacidades <sup>2</sup>	18.4	17.1	35	29	20.2	16	17.8
De patrimonio <sup>3</sup>	44	43.6	61.9	55.8	43.8	42	41
<b>RURAL</b>							
<b>HOGARES (%)</b>							
Alimentaria <sup>1</sup>	29.5	30	43.3	43.8	34.1	28.5	22.3
De capacidades <sup>2</sup>	34.8	38.1	51.3	49.3	41.4	36.5	29.4
De patrimonio <sup>3</sup>	56.7	64.2	73.4	68.6	60.7	59.4	48.8
<b>PERSONAS (%)</b>							
Alimentaria <sup>1</sup>	35.6	36.8	52.4	52.1	42.4	34.8	27.6
De capacidades <sup>2</sup>	41.8	46.2	60.2	57.6	50	43.8	35.7
De patrimonio <sup>3</sup>	65	72	80.8	74.9	69.3	67.5	56.9

**Notas:**

<sup>1</sup> Hogares o personas cuyo ingreso es insuficiente para cubrir sus necesidades mínimas de alimentación, equivalente a 15.4 y 20.9 pesos diarios.

<sup>2</sup> Hogares o personas cuyo ingreso es insuficiente para cubrir sus necesidades mínimas de alimentación y los gastos mínimos en educación y salud, equivalentes a 18.9 y 24.7 pesos diarios.

<sup>3</sup> Hogares o personas cuyo ingreso es insuficiente para cubrir sus necesidades mínimas de alimentación, vestido, calzado, salud, transporte público, vivienda y estimación de la vivienda, equivalente a 28.1 y 41.8 pesos diarios. Contempla educación primaria y secundaria.

**Fuente:**

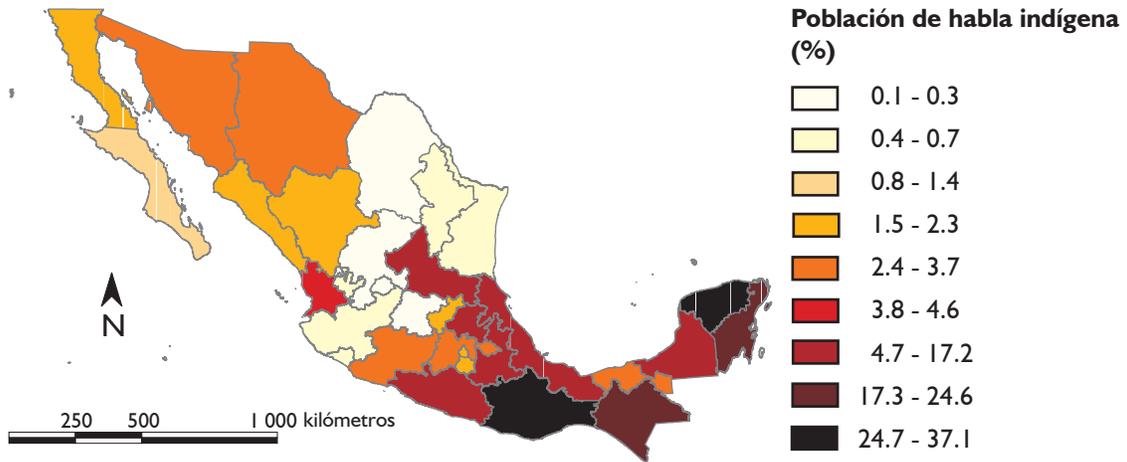
Estimaciones del Conapo con base a las Encuestas Nacionales de Ingresos y Gastos de los Hogares, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002. En: Conapo. *Informe de Ejecución del Programa de Acción de la Coferencia Internacional sobre la Población y el Desarrollo 1994-2003: México*. México. 2004.

especies es que, además de su metabolismo biológico, la humanidad tiene un “metabolismo industrial”. El uso de recursos que hace la humanidad es de tal magnitud que se ha estimado que las sociedades humanas son ahora el consumidor dominante en la mayoría de los ecosistemas del mundo. De acuerdo a diferentes estimaciones, la humanidad se puede estar apropiando, con diferencias regionales importantes, de hasta un 40% de la productividad primaria terrestre del planeta (Vitousek *et al.*, 1986, Wackernagel *et al.*, 2002, Imhoff *et al.*, 2004).

Algunas regiones como Asia Central y Europa occidental hacen un uso más intensivo y consumen una cantidad de energía equivalente a más del 70% de su productividad primaria neta terrestre. En contraste, Sudamérica consumiría menos del 10% y África un 12.4% (Imhoff *et al.*, 2004). Para el caso de los océanos, las estimaciones realizadas a partir de los volúmenes de pesca comercial indican que el hombre consume entre un 25 y un 35% de la productividad primaria neta de las zonas costeras y estuarios (Pauly y Christensen, 1996). La apropiación

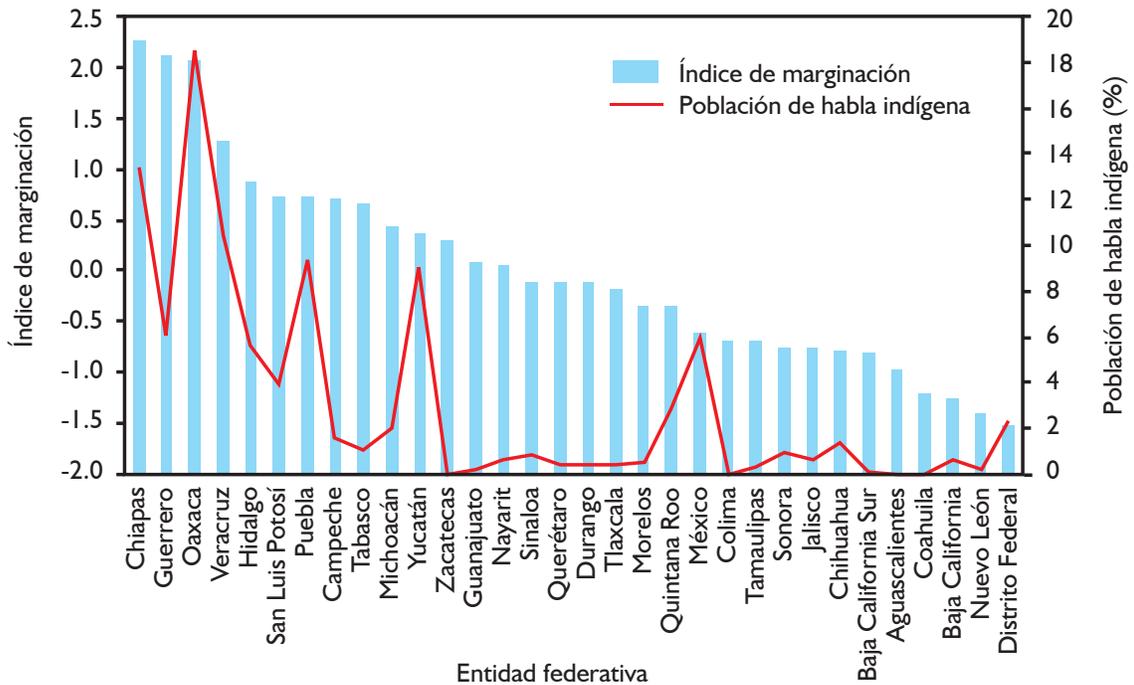


Mapa I.10 Población hablante de lengua indígena, 2000



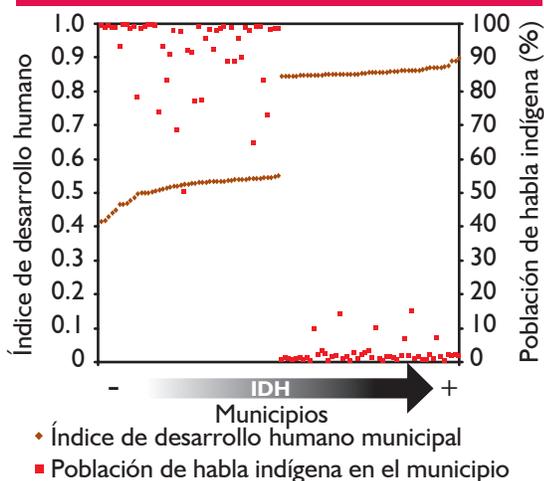
Fuente: INEGI. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. México. 2001.

Figura I.13 Población indígena e Índice de marginación por entidad federativa, 2000



Fuente: Conapo. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. México. 2001.

**Figura 1.14 Índice de desarrollo humano (IDH) y población de habla indígena municipal en México, 2000**



**Fuentes:**

Conapo. *Índice de Desarrollo Humano 2000. México. 2001.*  
 Conapo. *Índice de Marginación 2000. México. 2001.*

de la productividad del planeta podría ser mayor si se considera que el consumo de combustibles fósiles (petróleo principalmente) es energía “acumulada” durante largos periodos. Al respecto, Duker (2003) estimó que la quema de combustibles consumidos en un año era equivalente a más de 400 veces la productividad primaria anual neta del planeta.

Además de esta “dependencia energética”, la humanidad depende plenamente de los servicios que prestan los ecosistemas, por lo que su bienestar estará íntimamente relacionado con su integridad. Un medio ambiente degradado es también improductivo, lo que puede resultar en baja productividad; la contaminación también afecta a la salud humana, lo cual es evidente puesto que cada año se registra alta mortalidad en las ciudades asociada a los problemas de la contaminación y se reportan muchos casos de campesinos intoxicados por el uso de plaguicidas.

La degradación de los ecosistemas generalmente daña a las comunidades rurales de manera más directa que a las poblaciones urbanas. Además, sus

impactos más directos y graves recaen sobre los más pobres. El sector de la población con mayor capacidad económica controla en muchas ocasiones el acceso a una mayor parte de los servicios que prestan los ecosistemas, consume sus servicios a una mayor tasa y está protegido contra los cambios en su disponibilidad (a menudo a un costo elevado) gracias a su capacidad para adquirir los servicios de otros ecosistemas.

Los cambios en los ecosistemas afectan al bienestar humano en aspectos tan importantes como: seguridad, acceso a bienes materiales, salud, relaciones sociales y las opciones de desarrollo (ver **Servicios ambientales y bienestar humano**) (Alcamo et al., 2003).

De acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio presentada en 2004, las evidencias indican que la actividad humana está ejerciendo tal presión sobre las funciones naturales de la Tierra que ya no puede garantizarse la capacidad de los ecosistemas para sustentar muchas de las necesidades de las nuevas generaciones. Más aún, se prevé que en las próximas décadas, en la medida en que aumenten las demandas de la población, los ecosistemas estarán sujetos a presiones aún más fuertes, todo ello con el riesgo de un mayor debilitamiento de la infraestructura natural de la que depende la sociedad humana. Dicha evaluación sostiene que hasta ahora, la provisión de alimentos, agua dulce, energía y materiales para una población siempre en aumento se ha hecho con un costo considerablemente alto para los ecosistemas y los procesos biológicos que permiten la vida en el planeta (Reid et al., 2004).

Un problema importante asociado al manejo adecuado del ambiente es que el conocimiento de los procesos que operan en los ecosistemas naturales no es suficiente para predecir su comportamiento y respuesta ante las presiones que sobre ellos se ejercen. En este sentido, actualmente no es posible calcular, con un alto grado de certidumbre, la magnitud de la presión que puede ejercerse sobre los ecosistemas sin poner en peligro los servicios que brindan. Desafortunadamente, los sistemas ecológicos tienden a pasar del cambio gradual al catastrófico de manera rápida, lo cual en un gran



## Servicios ambientales y bienestar humano

número de casos resulta en la imposibilidad de regresar al sistema a sus condiciones originales aun cuando se reduzca o elimine la fuente de presión original (ver **Cambios catástrofos en ecosistemas** en el Capítulo 2 **Vegetación y uso del suelo**).

La pobreza y la degradación ambiental pueden combinarse en un ciclo de deterioro ascendente: las comunidades pobres frecuentemente tienen menos opciones para conservar sus recursos, lo que lleva a un deterioro mayor de la tierra y, a su vez, a una mayor pobreza. En muchos casos son los pobres los que sufren la pérdida de los servicios ambientales de los ecosistemas, causada por la presión ejercida para llevar beneficios a otras comunidades, con frecuencia lejanas (incluso en otras partes del mundo) (ver **Pobreza y medio ambiente**). Los beneficios derivados de las presas, por ejemplo, son disfrutados mayormente en las ciudades a las que se les provee de agua y electricidad, en tanto que los pobres del campo dejan de tener acceso a sus tierras y otros bienes ambientales. La deforestación en lugares como la Amazonía se origina, al menos en parte, por la demanda de papel, madera y productos agrícolas y pecuarios que tienen su origen en los países desarrollados.

No existe una definición completamente aceptada de la capacidad de carga de un ecosistema, pero se interpreta como la tasa máxima de recursos y descarga de residuos que puede sostener, de manera indefinida y sin producir un desequilibrio importante, la integridad funcional y la productividad de los ecosistemas. Esto implica que una cierta cantidad de recursos (o tasa de producción) puede sustentar a poca gente con un buen nivel de bienestar y altas tasas de consumo o bien, a muchos con consumos de recursos y generación de desechos bajos.

El consumo de alimentos, productos maderables, combustibles y capacidad de procesamiento de residuos en forma continua exige una superficie de ecosistemas productivos que lo sustente. En este sentido, una manera de medir la “intensidad del impacto” de una determinada sociedad es a través de la cantidad de superficie que requiere para producir los bienes que consume, dotarlo de

Los servicios ambientales se definen como todos aquellos beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. Estos beneficios contemplan servicios de suministro, como los alimentos y el agua; servicios de regulación, como la regulación de las inundaciones, las sequías, la degradación del suelo y las enfermedades a través del control de sus vectores; servicios de base o soporte, como la formación del suelo y los ciclos de los nutrientes; y servicios culturales como los beneficios recreacionales, espirituales, religiosos y otros beneficios intangibles.

El bienestar humano tiene varios componentes, entre los que se incluyen aspectos como la disponibilidad de los materiales básicos para su subsistir (por ejemplo, alimento, vestido, vivienda, etc.), pero también considera otros componentes menos tangibles como la posibilidad de libertad y seguridad. Podría decirse que el bienestar está dentro de un continuo donde en el otro extremo se encuentra la pobreza (que se define como una privación evidente del bienestar). En todos los casos los ecosistemas son esenciales para el bienestar humano; por esta razón, la alteración y destrucción de los ecosistemas naturales tienen efectos directos sobre la población, sobre todo aquella más desprotegida (**Figura a**).

## Servicios ambientales y bienestar humano (continuación)

Figura a. Relaciones entre los servicios ambientales y el bienestar humano



Fuente:

Alcamo, J. et al. *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. USA. 2003.

servicios y absorber o reciclar sus desechos. Esta superficie es la llamada “huella ecológica”. En la medida que se requiere de más superficie de la que se tiene disponible, se está en una situación de no sustentabilidad.

De acuerdo a las últimas cifras publicadas para el año 2001, la huella ecológica promedio per cápita en el mundo era de 2.2 hectáreas de superficie, un valor 22% mayor que las cerca de 1.8 hectáreas de terreno productivo de las que se disponía. Esto significa que, de manera global, la humanidad está



## Pobreza y medio ambiente

En septiembre del año 2000, durante la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas, los líderes del mundo acordaron establecer una serie de objetivos y metas para combatir la pobreza, el hambre, las enfermedades, el analfabetismo, la degradación del ambiente y la discriminación de la mujer; propósitos conocidos como “Objetivos del Desarrollo del Milenio”.

Las metas relacionadas con el tema ambiental se concentran en el séptimo objetivo (“Garantizar la Sustentabilidad del Medio Ambiente”). No obstante, el informe reconoce que la degradación del ambiente y los recursos naturales afecta, al menos de manera indirecta, el posible cumplimiento de todos los objetivos del milenio. El sustento y la seguridad de los pobres, principalmente en ambientes rurales, dependen de los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas cercanos, por lo que la erradicación de la pobreza y el hambre requieren de ecosistemas no degradados. Las mujeres y los niños son los que frecuentemente invierten más tiempo y energía en la búsqueda de agua, leña y alimentos, por lo tanto una mejora en los ecosistemas aledaños (con recursos disponibles y agua de buena calidad) permitiría, por ejemplo, que los niños pudieran dedicar más tiempo a la educación y le permitiría a las mujeres tener más oportunidades de desarrollar otras actividades y afrontar con menos riesgos la maternidad. Además, la degradación del medio ambiente afecta mayormente al sector de la población más pobre el cual suele sufrir las mayores consecuencias de la contaminación del agua y el aire y resulta más vulnerable a las inundaciones y sequías.

La pobreza y la degradación ambiental guardan una relación compleja. Para la gente

pobre, el presente es más importante que el futuro; la prioridad es obtener recursos e ingresos en el corto plazo, por lo que se prefieren las prácticas de extracción intensiva aun cuando en el mediano plazo se agoten los recursos, y con esto se reduzcan sus expectativas futuras de mejora. Así mismo, los pobres sufren el problema de falta de capital y de oportunidades para realizar una explotación adecuada y sustentable de su ambiente, manteniendo en consecuencia y frecuentemente, prácticas poco eficientes y agresivas hacia el medio ambiente. La situación se complica aún más para la gente de escasos recursos porque la degradación ambiental también conduce a la pobreza. Los pobres son más vulnerables a los daños ambientales debido a su escasa capacidad económica de defensa: no pueden adquirir sistemas de control de contaminantes, sus hogares no cuentan con cimentación adecuada, no tienen filtros para el agua y frecuentemente también sus hogares no pueden mantener las condiciones mínimas de higiene que eviten la transmisión de enfermedades. Las enfermedades limitan además su capacidad de trabajo, acentuando con ello su pobreza.

A pesar del evidente progreso en el mundo en términos del incremento en la producción de alimentos, salud y los adelantos tecnológicos que mejoran la calidad de vida de la población, los niveles de pobreza continúan siendo inaceptablemente altos en el mundo. Hoy en día tenemos un mundo cada vez más desigual, donde una porción muy importante de la población parece olvidada de los avances y los beneficios que se observan en las sociedades más desarrolladas. Algunas cifras pueden dar cuenta de ello:

- En 2001, poco más de mil millones de personas sobrevivieron con ingresos de menos



## Pobreza y medio ambiente (continuación)

de un dólar al día, y aproximadamente 70% de ellos viven en zonas rurales en las que son altamente dependientes de la agricultura de subsistencia, el pastoreo y la caza. En México, más del 40% de la población vive en la pobreza.

- La desigualdad en los ingresos y otras mediciones del bienestar humano se han incrementado en la última década. Un niño nacido en el África subsahariana tiene 20 veces más probabilidades de morir antes de los 5 años que uno nacido en un país industrial.

- A pesar del aumento de la producción de alimentos per cápita que tuvo lugar en las últimas décadas, al menos 850 millones de personas están subalimentadas. Asia meridional y África subsahariana son las regiones que concentran este problema.

- Alrededor de mil 100 millones de personas no tienen acceso a un suministro de agua adecuado y al menos 2 mil 600 millones de personas carecen de acceso a servicios de saneamiento. La escasez de agua afecta a entre mil y 2 mil millones de personas en todo el mundo.

Las personas que carecen de los bienes y servicios mínimos también son los más vulnerables frente al deterioro de los ecosistemas naturales. Por ello, la lucha contra la pobreza y el deterioro del ambiente deben abordarse de manera conjunta. En otras palabras, las políticas de desarrollo destinadas a reducir la pobreza que ignoren el impacto de nuestro estilo de vida actual respecto al medio ambiente están condenadas al fracaso. Lamentablemente, el tiempo para encontrar soluciones efectivas y poner en práctica alternativas dignas para la gente con menos recursos se acaba inexorablemente.

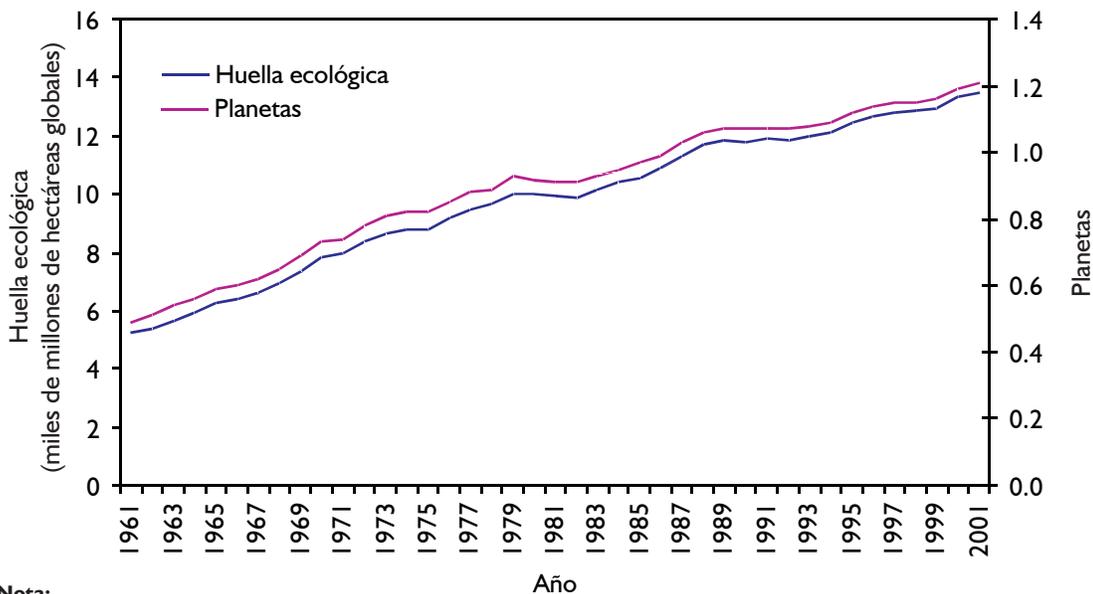
haciendo un uso no sustentable de los ecosistemas del planeta, lo que explica, al menos parcialmente, la degradación observada en el medio ambiente. La huella ecológica global entre 1961 y el año 2001 ha crecido cerca de 2.5 veces. En 1986, la huella ecológica mundial sobrepasó la superficie disponible; para el año 2001 se estimó que ya requeríamos 1.21 “planetas” para sostener a la población humana actual (Wackernagel et al., 2002; WWF, 2004) (Figura 1.15).

La huella ecológica promedio de los países desarrollados es de 6.4 hectáreas, lo cual contrasta con las 3.3 hectáreas de las que disponen; mientras que para el caso de los países en desarrollo la huella ecológica estimada es de 1.9 hectáreas, ligeramente por debajo de las 2 hectáreas con las que cuentan. Los países con las mayores huellas ecológicas son Kuwait (9.5 hectáreas), Estados Unidos (9.4) y Australia (7.7), aunque con diferencias muy marcadas en la superficie disponible: Kuwait sólo dispone de 0.3 hectáreas por habitante, Estados Unidos 4.9 y Australia 19.7 hectáreas.

Para el caso de México, la huella ecológica estimada para 2001 fue de 2.5 hectáreas (más de la mitad de ella producida por el consumo de energéticos), valor superior a la disponibilidad de superficie productiva que era de tan sólo 1.68 hectáreas por habitante. Para el periodo de 1991-2001, la huella ecológica per cápita del mexicano se incrementó 5%. Nuestro país se encuentra entre los veinte que tienen las mayores huellas ecológicas en el mundo, no tanto por la huella per cápita, sino por los poco más de 100 millones de mexicanos que habitan el país (Figura 1.16).

No se ha estudiado a detalle cómo diferentes segmentos de la población contribuyen a la huella ecológica, pero en general se considera que ésta es mayor para los pobladores de las grandes urbes. Una de las pocas ciudades a la que se le ha calculado su huella ecológica es Toronto: con una población de 4.2 millones y una superficie de 630 kilómetros cuadrados, la huella ecológica de cada habitante de esa ciudad es de 7.6 hectáreas, lo que implica que la superficie requerida por sus habitantes es de poco

**Figura 1.15 Huella ecológica y planetas, 1961-2001**



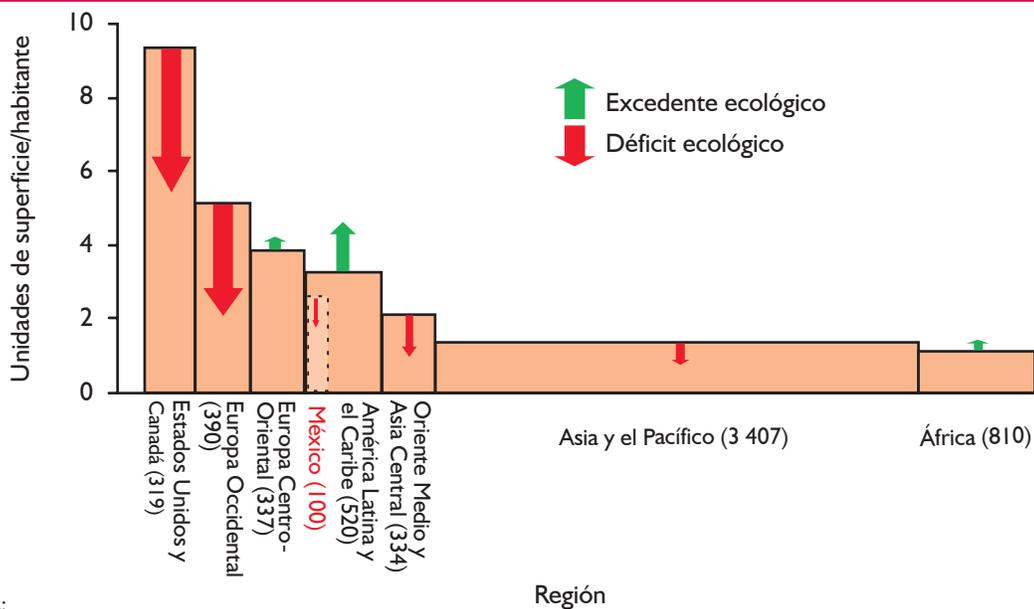
**Nota:**

<sup>1</sup>La huella ecológica también puede ser medida como el número de planetas por año, donde, un planeta representa la capacidad biológica de la Tierra en un año dado. En otras palabras, es el número de planetas como el nuestro que necesitamos por año para alojar a la población mundial.

**Fuente:**

WWF. *Living planet report*. WWF. Switzerland. 2004.

**Figura 1.16 La huella ecológica<sup>1</sup> de la humanidad, 2001**



**Nota:**

<sup>1</sup>La altura de cada barra corresponde a la huella ecológica per cápita de los habitantes por región, mientras que el ancho representa a la población local. De tal modo que el área del rectángulo es proporcional a la huella ecológica regional. La punta de las flechas indica la máxima capacidad biológicamente sostenible de las tierras en cada zona. Los números entre paréntesis se refieren a millones de habitantes en 2001.

**Fuente:**

WWF. *Living planet report*. Switzerland. 2004.



más de 181 mil kilómetros cuadrados (Onisto *et al.*, 1998). Esto significa que esta ciudad para mantener su estilo de vida y consumo, “importa” la capacidad productiva de al menos unas 280 veces la superficie de tierra donde está asentada.

Aunque no se ha medido la huella ecológica de las grandes ciudades mexicanas, seguramente será también muy grande. Los impactos de la Ciudad de México, por ejemplo, van mucho más allá de sus límites geográficos. La Ciudad de México se abastece del agua procedente de los estados de México, Guerrero y Michoacán, y desaloja residuos a través de las corrientes fluviales a Hidalgo y Veracruz. La electricidad que utiliza se genera en zonas tan remotas como Chiapas, se comercializa más del 30% de la producción hortofrutícola del país, su industria y transporte consume cerca de la cuarta parte de los combustibles fósiles del país, con las consecuentes emisiones de gases de invernadero que contribuyen al cambio climático a escala planetaria.

La población rural mantiene relaciones muy diferentes con su ambiente. En el campo las actividades productivas tienen distintas modalidades que afectan al entorno en forma diferente. La agricultura y la ganadería tecnificadas que se practican primordialmente en el norte de nuestro país, así como la explotación forestal en gran escala, se caracterizan por la eliminación total de la cubierta vegetal natural y están orientadas a la economía de mercado (ver **Desarrollo sustentable y capital natural**). Por el contrario, un sector importante de la población practica actividades más bien dirigidas al autoconsumo, y sus prácticas productivas a veces implican una menor alteración del ambiente. Este grupo campesino cuenta con un muy importante componente indígena.

Los diferentes grupos indígenas destacan entre los protagonistas del medio ambiente en México. Su modo de vida depende íntimamente de los recursos naturales, ya que en su mayoría son campesinos o se dedican a la ganadería en pequeña escala. Más allá de esto, su economía depende de la naturaleza para la obtención de otros bienes, tales como alimentos, medicamentos, vivienda y productos de

intercambio. Bajo estas condiciones, la supervivencia de los indígenas, así como la continuidad de su cultura, dependen absolutamente de los recursos naturales y su permanencia. Esta situación cobra especial relevancia cuando se toma en cuenta que una parte muy importante de la biodiversidad nacional se concentra en regiones indígenas. Éstas se concentran sobre todo en los trópicos, que son las regiones más biodiversas. Cerca de la mitad de las áreas naturales protegidas se encuentran en municipios con una población indígena estimada de 30% o más y 45 de las 155 regiones prioritarias para la conservación reconocidas por la Conabio se encuentran en regiones con una importante población indígena.

Ante este patrón se ha propuesto que el indígena juega un papel favorable, o cuando menos no destructivo, frente al medio ambiente. Si bien hay evidencia más o menos fundamentada que apunta en este sentido también existen casos documentados que muestran que lo contrario también ha sucedido. En este sentido, es importante analizar, más allá de posiciones ideológicas, las formas tradicionales de aprovechamiento de los recursos naturales, y su viabilidad para lograr un desarrollo sostenible.

## Referencias

Alcamo, J. *et al.* *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. USA. 2003.

Baltz, E. M. Overconsumption of Resources in Industrial Countries: The Other Missing Agenda. *Conservation Biology* 13(1): 213-215. 1999.

Dukes, S. J. Burning buried sunshine: human consumption of ancient solar energy. *Climatic Change* 61: 31-44. 2003.

Ehrlich, P. R. y P. Holdren. Impact of population growth. *Science* 171: 1212-1217. 1971.

Fernández, P., J. E. García y D. E. Ávila. *Estimaciones de la población indígena en México*. Conapo. México. 2002.

Imhoff, M. L., L. Bounoua, T. Ricketts, C. Loucks, R. Harriss y W. T. Lawrence. Global patterns in human consumption of net primary production. *Nature* 429: 870-873. 2004.



## Desarrollo sustentable y capital natural

Uno de los pasos indispensables para alcanzar el desarrollo sustentable es la protección del capital natural, es decir, de los ecosistemas y el conjunto de recursos naturales de una nación. En este sentido, es necesario evitar que la satisfacción inmediata de una necesidad económica o social conlleve a la destrucción o degradación de los ecosistemas y que con ésta se comprometa la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades y aspiraciones.

Históricamente, el desarrollo del país ha enfatizado la importancia del capital manufacturado y humano para el crecimiento de la economía, menospreciando al capital natural como base física de la actividad económica. Muestra de ello es que la estimación de los costos totales por agotamiento y degradación ambiental -que es una medida del desgaste del capital natural- han representado cada año, de 1993 a la fecha, alrededor del 10% del PIB nacional. Entre las múltiples causas del deterioro ambiental está la nula o inadecuada valoración de los recursos naturales y los servicios ambientales que proveen.

Hoy en día se acepta que el camino a la sustentabilidad debe pasar forzosamente por el combate a la pobreza y la marginación. Muchos de los bosques y selvas mejor conservados del país se ubican en zonas con población marginada, la cual depende casi por completo de sus recursos naturales para obtener el ingreso y cuya pobreza les imposibilita el uso de tecnologías menos agresivas con el ambiente. La vía de la tala clandestina y/o el desmonte para desarrollar una magra agricultura de subsistencia conduce a la eventual degradación del bosque y el suelo que, en un círculo vicioso, profundiza aún más la pobreza. La conservación del ambiente y la mitigación de la pobreza son tareas que para ser efectivas deben planificarse de manera paralela y conjunta. Para lograr el desarrollo sustentable deben ponerse en práctica esquemas novedosos que conjuguen la protección ambiental con efectos positivos para los más pobres (por ejemplo, el pago por servicios ambientales) y viceversa, con esquemas que fomenten el desarrollo social, resulten benéficos o al menos no nocivos para los ecosistemas (como el ecoturismo planificado).

Onisto, J. L., E. Krause y M. Wackernagel. *How big is Toronto's ecological footprint? Using the concept of appropriated carrying capacity for measuring sustainability*. Toronto. 1998.

Pauly, D., y V. Christensen. *Mass Balance Models of North-eastern Pacific Ecosystems*. Fisheries Centre Research Reports, University of British Columbia. Canada. Vol. 4. 1996.

Reid, W. V., H. A. Money, A. Cropper, D. Capistrano, S. R. Carpenter, K. Chopra, P. Dasgupta, T. Dietz, A. K. Duraiappah, R. Hassan, R. Karperson, R. Leemans, R. M. May, T. (A. J.) McMichael, P. Pingali, C. Samper, R. Scholes, R. T. Watson, A. H. Zakri, Z. Shidong, N. J. Ash, E. Bennett, P. Kummar, M. J. Lee, C. Raudsepp-Hearne, H. Simons, J. Thonell y M. B. Zurek. *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio: Informe de Síntesis*. 2004.

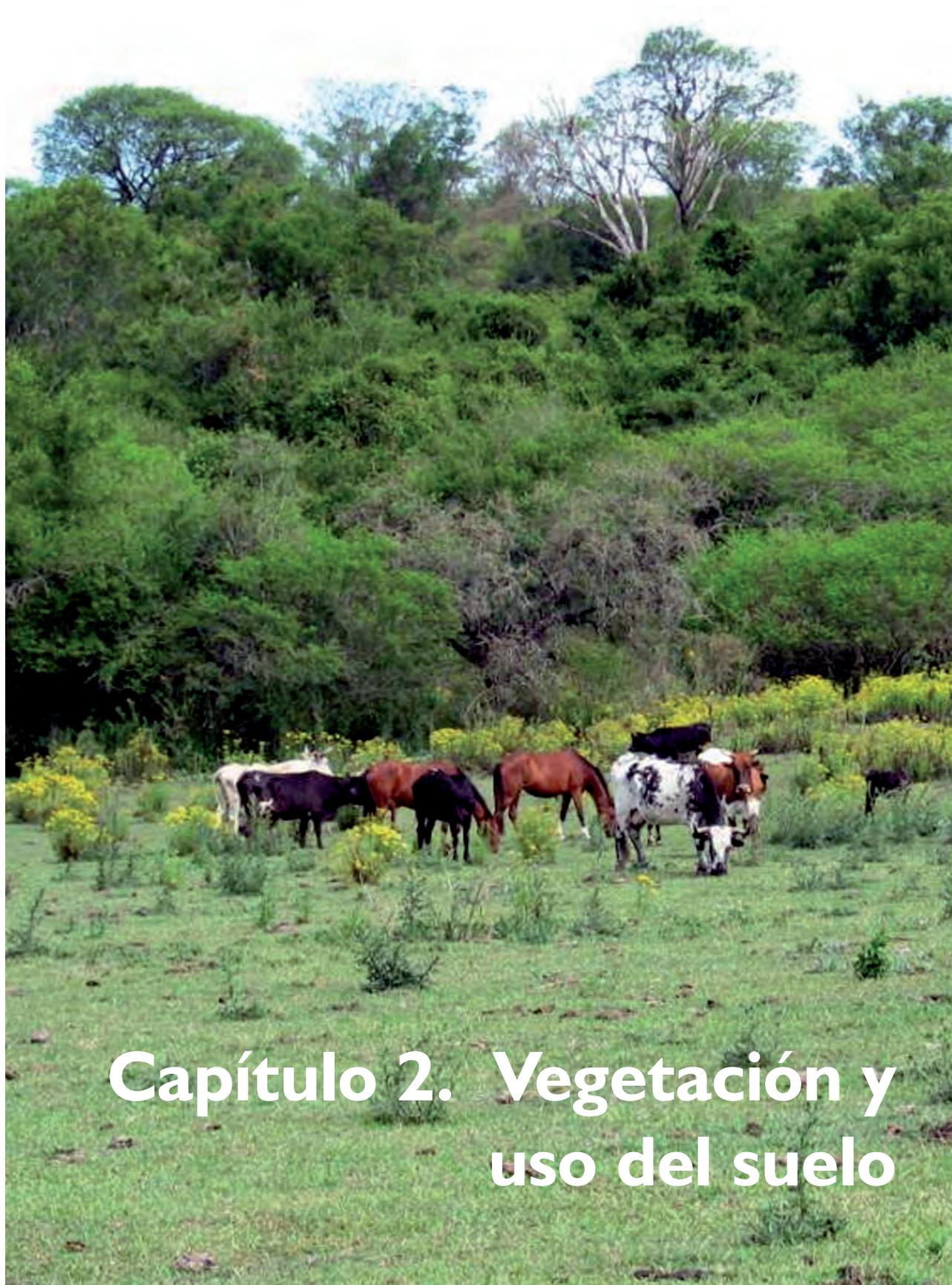
Vitousek, P., P. Ehrlich, A. Ehrlich, y P. Matson. Human appropriation of the products of photosynthesis. *BioScience* 36: 368-374. 1986.

Wackernagel, M., N. B. Schulz, D. Deumling, A. Callejas Linares, M. Jenkins, V. Kapos, Ch. Monfreda, J. Loh, N. Myers, R. Norgaard y J. Randers. Tracking the ecological overshoot of the human economy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99(14): 9266-9271. 2002.

Waggoner, E. P. y J. H. Ausubel. A framework for sustainability science: A renovated IPAT identity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99(12): 7860-7865. 2002.

WWF. *Living planet report*. Switzerland. 2004.





## Capítulo 2. Vegetación y uso del suelo

## Capítulo 2. Vegetación y uso del suelo



### Uso actual del suelo

A lo largo del territorio nacional se distribuye una gran diversidad de comunidades vegetales naturales como los bosques, selvas, matorrales y pastizales, junto con amplios terrenos dedicados a actividades agrícolas, ganaderas, acuícolas y zonas urbanas. A las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal se les conoce como “uso del suelo”.

En los lugares donde no ha habido modificación o ésta ha sido ligera, el suelo sigue cubierto por la vegetación natural y se le considera como primaria; en contraste, si ha ocurrido alguna perturbación considerable y se ha removido parcial o totalmente la cubierta vegetal primaria, la vegetación que se recupera en esos sitios se conoce como secundaria y puede ser estructural y funcionalmente muy diferente a la original. El caso extremo de transformación es cuando se elimina por completo la cubierta vegetal para dedicar el terreno a actividades agrícolas, pecuarias o zonas urbanas; éstas se conocen como coberturas antrópicas.

La superficie del país está cubierta por cuatro formaciones vegetales principales: bosques y selvas en los que predominan formas de vida arbórea; los primeros generalmente localizados en regiones templadas y las segundas en zonas con clima tropical (también se les conoce como bosques tropicales) y mucho más ricas en especies. Otra cubierta vegetal muy extendida en el país son los matorrales que se localizan principalmente en zonas secas o semisecas y tienen como componente dominante a los

arbustos. Por último, los pastizales se caracterizan por estar dominados por plantas de porte herbáceo, generalmente pastos y se localizan sobre todo en el centro norte del país (ver *Vegetación de México*). Otros tipos de vegetación también presentes en el país aunque en mucha menor proporción y restringidos frecuentemente a condiciones ambientales muy específicas son los manglares y la vegetación halófila y gipsófila.

La evaluación más reciente de la superficie ocupada por las diferentes formas de uso del suelo en México es la *Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie III* elaborada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y que describe el estado de la cubierta vegetal del país al año 2002.

De acuerdo con esta carta, en el 2002, 72.58% del país aún estaba cubierto por comunidades naturales en diferentes grados de conservación; el restante había sido convertido a terrenos agrícolas, ganaderos, urbanos y otras cubiertas antrópicas (Mapa 2.1; Figura 2.1). El hecho de que casi tres cuartas partes del territorio nacional aún conservaran vegetación natural no significa que permanecieran inalteradas por el hombre (Mapa 2.2). Según esta misma evaluación, sólo 50.8% del territorio nacional (70% de la vegetación remanente) conservaba vegetación primaria (es decir, que no presenta perturbación importante), siendo las selvas las que habían experimentado la perturbación más extensiva, ya que sólo 35% de éstas (en superficie) se mantenían como selvas primarias. A manera de comparación, de acuerdo con el reporte más reciente sobre los

## Vegetación de México

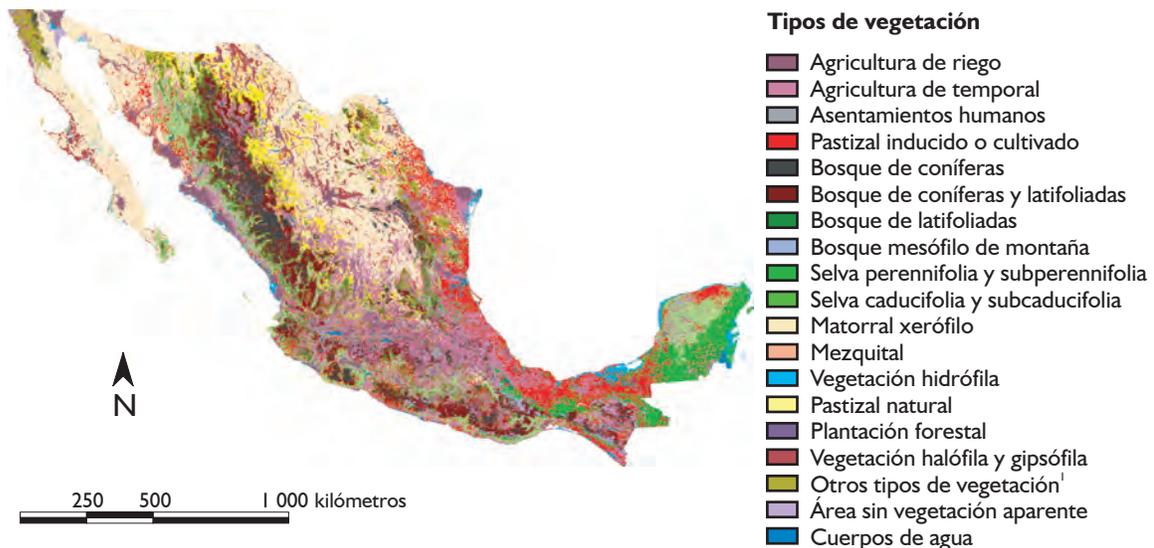
La vegetación de nuestro país es sumamente heterogénea. El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) utiliza un sistema de clasificación jerárquica que considera en su nivel más alto las formaciones que son categorías vegetales caracterizadas principalmente por rasgos fisonómicos y ecológicos (e.g., bosque, selva, matorral, etc.), dentro de las cuales se incluyen los tipos de comunidad que se definen por sus rasgos fisonómicos, ecológicos y florísticos (e.g., chaparral, rosetófilo, sarcocaulo, mesófilo de montaña, etc.) y los tipos de vegetación que combinan el nombre de la formación y el tipo de comunidad (e.g., bosque mesófilo de montaña, matorral sarcocaulo, etc.). Los tipos más ampliamente distribuidos en el país son los siguientes (**Mapa a**):

**Bosque de coníferas.** Vegetación dominada por árboles perennifolios del grupo de las

coníferas, entre las que se cuentan pinos (*Pinus*) y oyameles (*Abies*) como los más ampliamente distribuidos, si bien también hay otros géneros importantes como los pinabetes (*Pseudotsuga*), los enebros (*Juniperus*) y los cedros (*Cupressus*). Generalmente se presentan en climas templados y fríos de las partes altas de las cordilleras. Las coníferas, en especial los pinos, constituyen los árboles más intensamente explotados en el país con fines industriales. En algunos casos este tipo de vegetación se ve favorecida por el disturbio antropogénico como los desmontes o incendios.

**Bosque de encinos.** Vegetación dominada por árboles de hoja ancha, la mayoría caducifolios, principalmente encinos (*Quercus*). Frecuentemente se les llama también bosques de latifoliadas. Se les encuentra sobre todo en climas templados

### Mapa a Vegetación y uso del suelo en México, 2002



**Nota:**

<sup>1</sup> Otros tipos de vegetación: palmar natural e inducido, vegetación de dunas costeras, chaparral, matorral submontano, sabana y sabanoide.

**Fuente:**

INEGI. *Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie III.* México. 2005.

## Vegetación de México (continuación)

en las montañas, frecuentemente por debajo del piso altitudinal de las coníferas, aunque en ocasiones pueden desarrollarse en sitios francamente cálidos. Se les aprovecha especialmente para producir carbón y criar ganado. Estas actividades en general resultan en la degradación de la vegetación e incluso en su desaparición. Debido a que los suelos de los encinares son frecuentemente muy fértiles, las actividades agrícolas son comunes en ellos.

**Bosque de coníferas y de latifoliadas (encinos).** En algunas zonas coexisten los dos grupos de árboles formando bosques mixtos. Frecuentemente esta coexistencia es favorecida por las actividades humanas. La explotación de estos bosques es similar a la de los bosques de pino o encino.

**Bosque mesófilo de montaña.** Vegetación que se caracteriza por una densa cubierta de árboles donde coexisten numerosos géneros, como *Liquidambar*, *Magnolia*, *Juglans*, *Ostrya*, *Clethra*, *Podocarpus*, *Turpinia*, *Oreopanax* y muchos más. A menudo también hay pinos y encinos. Una de sus características más importantes son las afinidades templada y tropical de las especies del dosel y sotobosque respectivamente. Esta vegetación se desarrolla en altitudes donde se forman bancos de niebla. El bosque es exuberante, con gran cantidad de helechos y lianas, así como de plantas que crecen sobre los árboles. Una porción importante de la flora del bosque mesófilo es endémica. Superficies importantes de este bosque se han desmontado para establecer cultivos, y en varias regiones se siembra café bajo la copa de los árboles.

**Selva perennifolia y subperennifolia.** Vegetación dominada por árboles de muchas especies, en climas lluviosos y cálidos. La

copa puede rebasar los 40 metros de altura y conserva una parte importante de su follaje durante el año. Según la altura del dosel se dividen en selvas altas (vegetación arbórea de más de 30 metros), medianas (entre 20 y 30 metros) y bajas (frecuentemente entre 4 y 15 metros de altura del dosel). Bajo los árboles más altos hay varios estratos de vegetación de diferentes estaturas. Es una de las comunidades biológicas más diversas del mundo. Grandes áreas de este tipo de selvas han sido transformadas en pastizales para la ganadería o están sujetas a diferentes formas de agricultura. La explotación de algunas especies de alto valor comercial, como la caoba (*Swietenia*) o el cedro rojo (*Cedrela*) y de varios productos forestales no maderables, es común dentro de estas selvas.

**Selva caducifolia y subcaducifolia.** Vegetación dominada por árboles de diferentes especies de hoja caduca, que se desarrolla en ambientes cálidos con diferencias muy marcadas entre las temporadas de lluvias y de secas. De manera semejante a las selvas perennifolias se dividen en medianas y bajas en función de la altura de la vegetación arbórea dominante. El dosel rara vez rebasa los 15 metros de altura, aunque en algunos casos llega a los 30 metros.

La condición de subcaducifolia o caducifolia depende de la proporción de árboles que pierden el follaje en la temporada seca. Muchos de los árboles almacenan agua en sus tallos, como es el caso de los copales (*Bursera*), pochotes (*Ceiba*) y de varias cactáceas columnares. Esta vegetación frecuentemente está sujeta a la agricultura de roza, tumba y quema y a la ganadería extensiva. Estas actividades la degradan fuertemente, por lo que puede ser uno de los ecosistemas tropicales más amenazados del mundo.

## Vegetación de México (continuación)

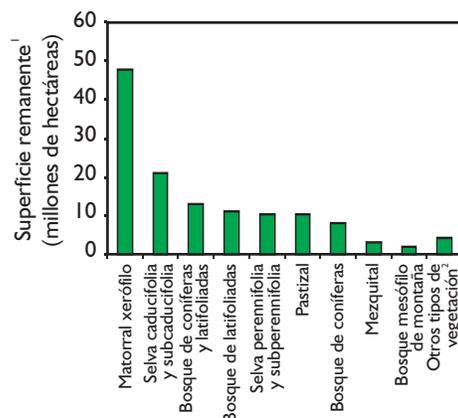
**Mezquital.** Vegetación dominada por árboles espinosos, principalmente mezquites (*Prosopis*). Se le encuentra en climas más bien áridos. Estos árboles permanecen verdes durante la temporada seca, ya que emplean las aguas subterráneas mediante sus largas raíces. Por esta razón crecen en suelos profundos y planos, lo que ha resultado en una fuerte destrucción de su hábitat, muy apto para la agricultura. Otros mezquiales están sujetos a una fuerte presión ganadera.

**Matorral xerófilo.** En esta categoría están incluidos un conjunto grande de tipos de vegetación (matorrales rosetófilos, sarcocaulales, crasicaulales, etc.). Vegetación dominada por arbustos, típica de las zonas áridas y semiáridas (de ahí el nombre xerófilo). Se trata del tipo de vegetación más extenso en México. El número de endemismos en estas zonas es sumamente elevado. Debido a la escasez de agua y a que los suelos son pobres y someros, la agricultura se practica en pequeña escala, salvo donde hay posibilidades de riego. Por el contrario, la ganadería está sumamente extendida, y zonas muy grandes de matorral xerófilo están sobrepastoreadas.

**Pastizal.** Vegetación dominada por herbáceas, principalmente gramíneas (pastos, zacates o graminoides). Se le encuentra en cualquier clima, pero principalmente en las regiones semiáridas del norte y en las partes más altas de las montañas (por arriba de los 4 000 metros). Casi todos los pastizales de nuestro país se emplean para la producción ganadera, casi siempre con una intensidad excesiva. Otros pastizales fueron bosques o matorrales, y la acción del ganado y el fuego los mantienen en esta forma alterada. A éstos se les conoce como pastizales inducidos.

De la superficie remanente de estos tipos de vegetación en el año 2002, el matorral xerófilo era el más abundante, y el mezquital y el bosque mesófilo de montaña los más escasos (*Figura a*).

**Figura a Vegetación remanente en México, 2002**



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie III*. México. 2005.

**Notas:**

<sup>1</sup>Se incluye la vegetación primaria y secundaria.

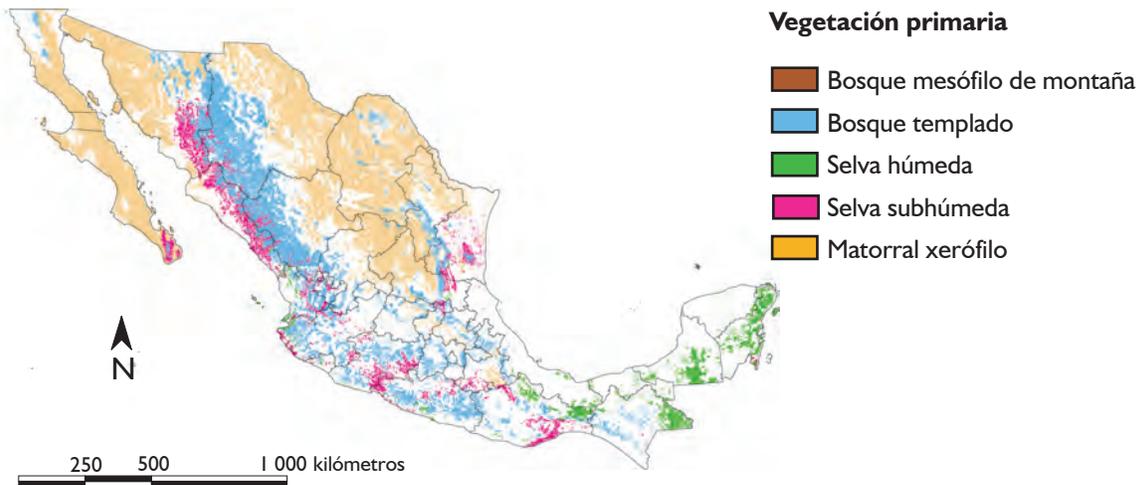
<sup>2</sup>Otros tipos de vegetación: manglar, popal, tular, vegetación de petén, palmar natural y chaparral.

Otros tipos de vegetación como los manglares, popales, tulares, palmares, vegetación de petén y chaparrales se encuentran ocupando superficies mucho menores y están relacionados a condiciones climáticas, edáficas o hidrológicas muy particulares.

**Fuente:**

Modificado de: *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales 2002*. México. 2003.

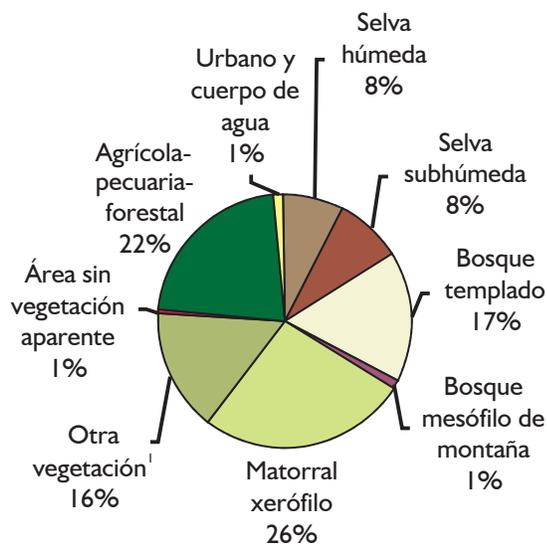
## Mapa 2.1 Vegetación primaria en México, 2002



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie III*. México. 2005.

## Figura 2.1 Usos del suelo y vegetación en México, 2002



**Nota:**

<sup>1</sup>Pastizal natural, humedal, vegetación halófila y gipsófila, bosque cultivado, pastizal inducido o cultivado, vegetación de galería, palmar natural, vegetación de dunas costeras, chaparral, matorral submontano, sabana, matorral subtropical, palmar inducido y sabanoide.

**Fuente:**

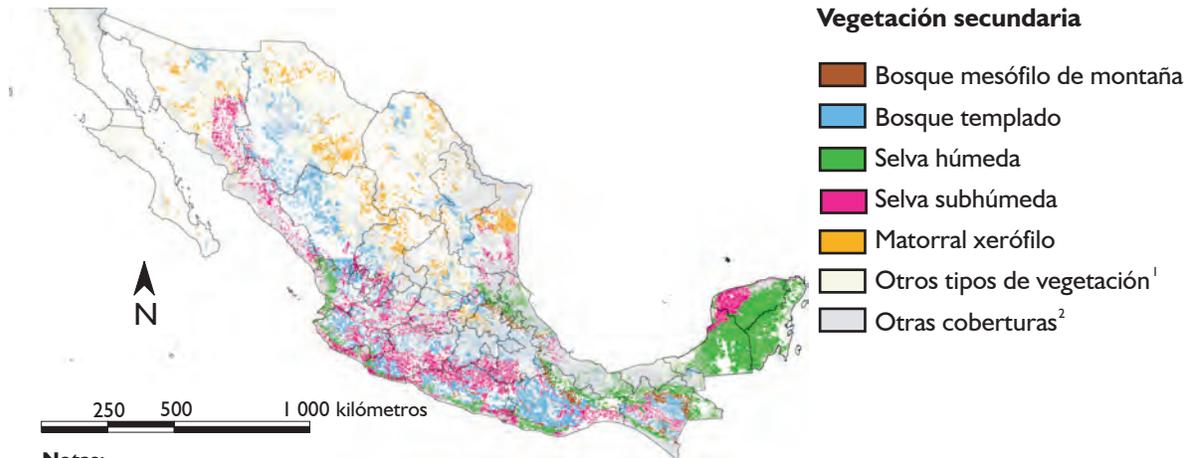
Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie III*. México. 2005.

recursos forestales del mundo (FAO, 2005), de los bosques actualmente existentes a nivel global, sólo 36% son bosques primarios.

De la superficie del país que aún conserva vegetación natural, los matorrales constituyen la formación predominante (26.2% del total del país); de ellos, al menos 8% son secundarios, y esta cifra podría ser mucho mayor si se considera que en muchos lugares los matorrales son sujetos a ganadería extensiva que frecuentemente modifica la composición por especies; sin embargo, este tipo de perturbación sólo puede ser detectada mediante detallados muestreos de campo por lo que no se cuenta con cifras de su impacto a nivel nacional. En conjunto, los bosques y selvas ocupan 33.8% del territorio nacional, ocupando extensiones similares cada uno de ellos. Sin embargo, la superficie cubierta por selvas primarias es considerablemente menor que la de bosques primarios (11.1 y 22.1 millones de hectáreas respectivamente) (Figura 2.2).

Los estados que conservan una mayor superficie con vegetación natural (independientemente de su grado de conservación) son Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Quintana Roo y Sonora, con más de 80% de su territorio. En

**Mapa 2.2 Vegetación secundaria en México, 2002**



**Notas:**

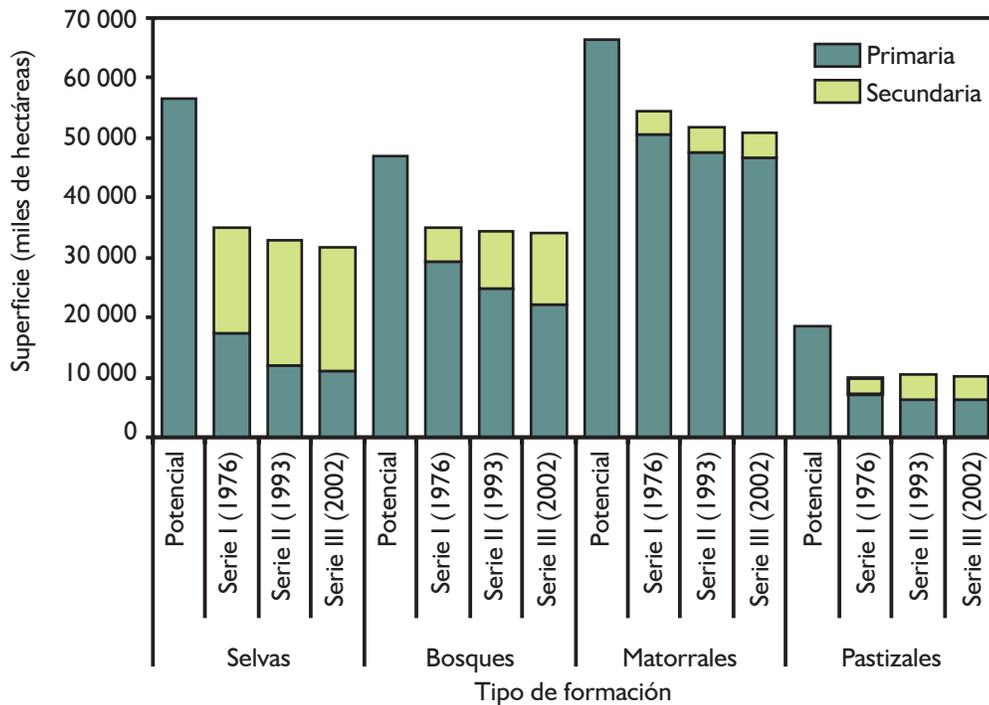
<sup>1</sup> Otros tipos de vegetación: vegetación halófila y gipsófila; vegetación de galería; y otros-especial (palmar natural, vegetación de dunas costeras, chaparral, matorral submontano, sabana, matorral subtropical, palmar inducido y sabanoide).

<sup>2</sup> Otras coberturas: agricultura, cuerpos de agua y áreas urbanas.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie III*. México. 2005.

**Figura 2.2 Vegetación primaria y secundaria por tipo de formación en México**



**Fuentes:**

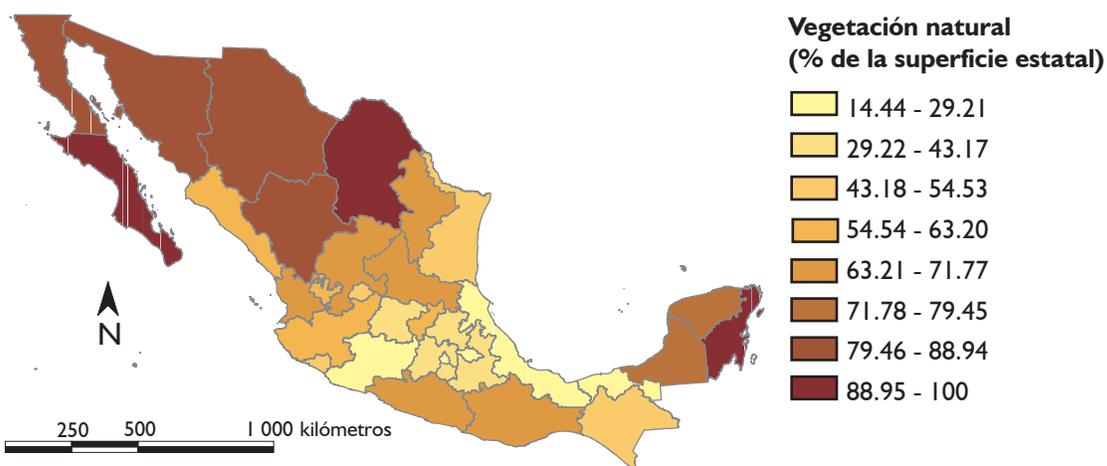
Elaboración propia con datos de:  
 INEGI. *Carta de vegetación primaria*, escala 1:1 000 000. INEGI. México. 2001.  
 INEGI. *Carta de uso del suelo y vegetación Serie I*. México.  
 INEGI. *Carta de uso del suelo y vegetación Serie II*. México.  
 INEGI. *Carta de uso del suelo y vegetación Serie III*. México.



contraste, en el Distrito Federal, Estado de México, Michoacán, Morelos, Tabasco, Tlaxcala y Veracruz la vegetación natural cubre menos de 35% (Mapa 2.3). El grado de conservación de la vegetación muestra diferencias muy grandes al interior del país; mientras que en Baja California, Baja California Sur y Coahuila menos del 10% de su cubierta vegetal es

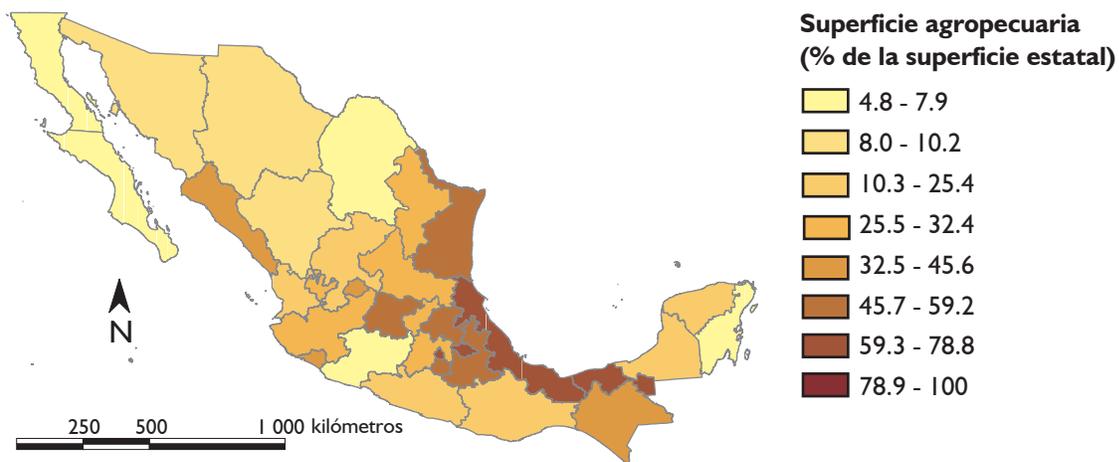
secundaria, en los estados de Campeche, Chiapas, Colima, Morelos, Oaxaca, Quintana Roo, Veracruz y Yucatán es más del 60%. Los estados que han sufrido una transformación más extensiva de sus ecosistemas naturales para dedicarlos a actividades agrícolas y pecuarias son Tabasco, Tlaxcala y Veracruz (Mapa 2.4).

**Mapa 2.3 Vegetación natural remanente por entidad federativa, 2002**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie III*. México. 2005.

**Mapa 2.4 Uso agropecuario por entidad federativa, 2002**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie III*. México. 2005.



## Cambios en el uso del suelo

Desde el siglo XVIII, pero más intensamente en los últimos 50 años, los seres humanos han transformado los ecosistemas del mundo más rápida y extensamente que en ningún otro periodo comparable de la historia. En la actualidad los sistemas de cultivo y ganaderos ocupan alrededor de una cuarta parte de la superficie terrestre, transformación que ha sido impulsada en gran parte para resolver el enorme aumento de la demanda de alimentos, agua, fibras y combustibles (Reid et al., 2004).

Estas rápidas y profundas transformaciones del uso del suelo, así como sus consecuencias, son uno de los temas de mayor interés actual en las disciplinas ambientales. De hecho, ahora se reconoce que, aún cuando los cambios de uso de suelo ocurren a nivel local, pueden tener consecuencias globales (ver **Cambios locales, consecuencias globales**). La pérdida de superficies boscosas es uno de los factores más importantes en el cambio climático global, toda vez que alteran ciclos biogeoquímicos como el del agua y el carbono. Es también una de las causas más importantes de pérdida de biodiversidad; el impacto es tal que se estima que la tasa actual de extinción de especies es hasta mil veces superior a las tasas típicas de la historia del planeta (Reid et al., 2004). Sin duda, es a través de los cambios en el uso del suelo que se materializa nuestra relación con el medio ambiente y también es la vía más importante por la que la sociedad resiente los cambios en el entorno (Lambin et al., 1999).

De acuerdo con la evaluación más reciente de los recursos forestales del mundo (FAO, 2005), los bosques cubren unas 4 mil millones de hectáreas, alrededor de 30% de la superficie terrestre total del planeta. Según esa evaluación, la deforestación, sobre todo para convertir los bosques en terrenos agrícolas ha proseguido a un ritmo de millones de hectáreas por año. Aunque el ritmo neto de pérdida ha disminuido con respecto a la década anterior (1990-2000), gracias a los programas de reforestación (como los promovidos extensivamente en China) y a la recuperación natural de los bosques

a partir de terrenos de cultivo y de uso pecuario no utilizados; el cambio neto durante el periodo 1990-2000 habría sido de unas 8.9 millones de hectáreas por año y se estima que disminuiría a 7.3 millones de hectáreas anuales en el periodo 2000-2005.

El uso del suelo está inherentemente ligado con la sustentabilidad del uso de los recursos naturales. La forma e intensidad en que se modifica la cubierta vegetal determina la persistencia de los ecosistemas y, por ende, de los recursos y servicios que éstos proporcionan. Es fundamental, por tanto, entender en detalle los procesos de cambio de uso del suelo y sus efectos.

En México se han elaborado inventarios de la superficie bajo diferentes usos desde hace aproximadamente 40 años. Esto permitiría, en principio, hacer comparaciones entre fechas y conocer las tasas y patrones de modificación de uso del suelo. Sin embargo, tales estudios se han hecho utilizando las diferentes fuentes de información (e.g., fotografías aéreas, imágenes de diferentes satélites, etc.) y herramientas tecnológicas (e.g., mapas en papel, cartas digitales, sistemas de información geográfica, etc.) disponibles en el momento y la clasificación de los usos del suelo empleada no ha sido consistente en todos ellos (ver **Inventarios forestales y tasas de deforestación**). Estas diferencias hacen que los resultados de esos inventarios no sean entera y directamente comparables y temas como el de la deforestación continúan siendo materia de discusión y controversia en los diferentes medios que, sobre todo, centran toda la atención en los valores finales y no en los procesos que subyacen a estos cambios. No obstante que las estimaciones cuantitativas no son lo precisas que sería deseable y deben tomarse con una dosis de precaución, la información disponible sí permite identificar varias tendencias.

De los inventarios de uso del suelo disponibles y que han hecho un examen exhaustivo a nivel nacional, los más directamente comparables entre sí son las *Cartas de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie I, Serie II y Serie III* elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

## Cambios locales, consecuencias globales

El cambio del uso del suelo suele considerarse como un problema local, sin embargo, su magnitud y ocurrencia a lo largo y ancho del mundo lo han convertido en un problema global. Aunque las prácticas de uso del suelo varían en las diferentes regiones del mundo, su objetivo final es generalmente el mismo: adquirir recursos naturales para satisfacer las necesidades inmediatas de la población, aunque ello conduzca a una degradación del ambiente.

Los impactos ambientales, resultado de la acumulación de todos esos pequeños cambios que se dan a escala local ya muestran sus efectos a escala mundial como sería el caso de los cambios en la composición de la atmósfera. La sustitución de los ecosistemas naturales ha modificado, por ejemplo, el ciclo global de carbono, el balance hídrico, los flujos de energía y el clima mundial. Se ha estimado que el 35% de las emisiones de bióxido de carbono en el mundo son el resultado del cambio del uso del suelo. También, aunque no plenamente comprobado, se ha propuesto que el incremento observado en la frecuencia e intensidad de los huracanes en los últimos años es una consecuencia del cambio climático.

Los ríos, lagos y mares también se han visto seriamente afectados por el cambio de uso del suelo. La transformación de las cuencas de captación y el uso del agua de los ríos modifica la cantidad y calidad del agua que transportan o albergan. Por ejemplo, la remoción de la vegetación natural en la cuenca de captación del río Tocantins en Brasil ha ocasionado un incremento de 230% en los sólidos transportados (aunque

la mayoría se queda en las represas y no se descarga al mar) y un incremento de 25% en el volumen de las descargas; en otros casos, las modificaciones del ciclo hidrológico para proveer de agua a la agricultura, la industria y los centros urbanos han reducido a tal punto el agua que transportan los ríos que han afectado fuertemente los ecosistemas acuáticos; quizá el caso más dramático sea el mar Aral, donde la intensa extracción de agua de sus afluentes ha reducido a tal punto la calidad de sus aguas que prácticamente se ha colapsado su productividad.

Los nutrientes de origen antropogénico provenientes de la cada vez mayor superficie agrícola también han afectado negativamente la calidad del agua en ecosistemas dulceacuícolas y costeros. Los fertilizantes lavados de los terrenos agrícolas de la cuenca del río Mississippi han ocasionado la eutrofización en el Golfo de México y la aparición cada vez más frecuente e intensa de la llamada “zona muerta”.

Cada vez es más frecuente que las decisiones que se tomen en un sitio tengan consecuencias en otros lugares a muchos kilómetros de distancia. Las grandes presas y obras de desviación del agua para el río modifican profundamente el volumen de descarga y las características fisicoquímicas del agua que se drena río abajo y al mar afectando fuertemente a los ecosistemas costeros. Por ejemplo, la vegetación hidrófila del delta del Colorado se ha visto fuertemente afectada por la reducción de cerca del 90% del flujo de agua y del 50% de los sedimentos que se descargan al mar en el Golfo de California.

## Cambios locales, consecuencias globales (continuación)

Sin duda, el balance general de la relación hombre-ambiente es altamente negativo para el segundo. De continuar esta situación a mediano o largo plazo el deterioro ambiental se volverá una carga para el desarrollo de los países. La alternativa a seguir es procurar cambiar esta relación por una en la que los dos ganen (ambiente y sociedad).

Existen algunos ejemplos donde la relación hombre-ambiente es de ganar-ganar. En la ciudad de Nueva York, después de evaluar los costos para la construcción de una planta purificadora se llegó a la conclusión que era mejor solución conservar los ecosistemas de la montaña de Castkill y sus servicios de purificación del agua. En algunas regiones de Holanda se ha demostrado la conveniencia de mantener vegetación natural alrededor de los cafetales, ya que la polinización por organismos silvestres mejora el rendimiento del café en cerca del 20%. En China, la conservación de peces herbívoros, además de ayudar al control de los vectores de la malaria, redujeron la necesidad de pesticidas e incrementaron la producción de pescado.

### Fuente:

Foley, A. J., R. DeFries, G. P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S. R. Carpenter, F. S. Chapin, M. T. Coet, G. C. Daily, H. K. Gibbs, J. H. Helkowski, T. Holloway, E. A. Howard, C. J. Kucharik, C. Monfreda, J. A. Patz, I. C. Prentice, N. Ramankutty y P. Snyder. Global Consequences of Land Use. *Science* 309: 570-574. 2005.

(INEGI). La Serie I fue elaborada con base en la interpretación de fotografías aéreas registradas en los 1970's; la Serie II fue elaborada a partir de imágenes de satélite registradas en 1993, y la Serie III a partir de imágenes del año 2002. Por otra parte, recientemente el mismo INEGI presentó la *Carta de vegetación primaria potencial*, que describe la vegetación que probablemente cubría el territorio nacional antes de que fuera transformado por las diferentes actividades humanas. La comparación de la cubierta vegetal del país en diferentes puntos en el tiempo en referencia a la probable vegetación original permite poner en contexto la magnitud de las transformaciones que ésta ha experimentado.

En la *Carta de vegetación primaria potencial* (Mapa 2.5) los matorrales ocupan cerca de la tercera parte del territorio nacional, seguidos en extensión por las selvas (29%) y los bosques (24%) (Figura 2.3). Hacia la década de los 1970's (según la *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación serie I*), aún se mantenían tres cuartas partes de la superficie originalmente cubierta por bosques y poco más de 60% de la extensión original de las selvas; los pastizales naturales se habían reducido a casi la mitad de su extensión original (Figura 2.2). Según la *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación serie III*, para el 2002 aún se conservaba poco más de 70% de la superficie original de bosques, 56% de las selvas, 77% de los matorrales y sólo 55% de los pastizales, lo que en teoría representaría una pérdida histórica neta de hasta 250 mil kilómetros cuadrados de selvas, 129 mil kilómetros cuadrados de bosques templados, 155 mil kilómetros cuadrados de matorrales y más de 83 mil kilómetros cuadrados de pastizales. Aun cuando la mayor parte de estas transformaciones habrían ocurrido a lo largo de la historia previa a los 1970's, en las últimas décadas (1970's–2002) se han seguido registrando pérdidas importantes (superiores a las 100 mil hectáreas anuales), particularmente en el caso de las selvas y los matorrales.

Las cifras de vegetación remanente incluyen también a las comunidades secundarias, que pueden ser estructural y funcionalmente muy diferentes a las originales. Si se considera sólo la vegetación primaria (i.e., aquella que no presenta perturbación



## Inventarios forestales y tasas de deforestación

Uno de los temas ambientales que mayor controversia ha generado en los últimos años en México es la magnitud y el ritmo al que se desmontan los bosques y selvas del país para convertirlos a otras formas de uso del suelo (e.g., campos de cultivo, potreros, zonas urbanas, etc.). El tema no es menor toda vez que la deforestación es una de las principales amenazas para la biodiversidad, conlleva la pérdida de numerosos servicios ambientales fundamentales y porque su ocurrencia es evidente, aún para el observador casual, en muchas partes del país.

Lo que ha resultado muy difícil es hacer una cuantificación científicamente sólida, reproducible y, por tanto, libre de suspicacias de la extensión y la tasa a la que ocurre la deforestación en diferentes partes del país. Parte de esta dificultad proviene de las características físicas del país que imponen serias limitantes desde el punto de vista metodológico. Por ejemplo, la gran extensión y la inaccesibilidad de varias partes de México restringen severamente la realización de estudios directos en el campo; la alta diversidad y heterogeneidad de la cubierta vegetal hace que métodos de estudio que se aplican exitosamente en otros países con condiciones menos complejas resulten total o parcialmente inadecuados para el nuestro; la casi continua presencia de una alta cobertura de nubes en buena parte del sur del país limita el uso de imágenes de satélite o de fotografías aéreas, que son la fuente básica de información para este tipo de estudios. Dificultades adicionales provienen de la compleja dinámica de cambio de la vegetación, con algunas áreas donde se destruye, parcial o totalmente, la cubierta vegetal al mismo tiempo que en otras (campos de cultivo y potreros abandonados) tiene lugar la regeneración de bosques o selvas secundarios, frecuentemente en

espacios de tiempo muy cortos, a la vez que se llevan a cabo campañas de reforestación y se establecen plantaciones forestales en terrenos previamente desmontados. Esta rápida dinámica de cambios hace difícil incluso la identificación y delimitación de las áreas deforestadas. Finalmente, hay aspectos de definición formal que también contribuyen a hacer menos claro el significado práctico del término deforestación. Históricamente, la ley forestal mexicana incluye a la vegetación de zonas áridas y semiáridas (principalmente matorrales xerofíticos) como parte de la vegetación forestal del país. Consecuentemente, la evaluación de la deforestación (definida simplemente como la pérdida de vegetación forestal) debe incluir la pérdida de matorrales y no sólo la de bosques y selvas, concepción que contrasta con la más estrecha definición de deforestación adoptada por otros países y por organismos internacionales como la FAO, que sólo incluye la pérdida de vegetación dominada por elementos arbóreos (es decir, bosques y selvas).

### *Inventarios forestales*

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable identifica al Inventario Nacional Forestal y de Suelos como el instrumento de política nacional en materia forestal que debe proveer, entre otras cosas, la información relativa a los tipos de vegetación forestal, a la superficie y localización de terrenos forestales, así como a la dinámica de cambio de la vegetación forestal del país, que permita evaluar las tasas de deforestación. A la fecha, en México se han completado tres inventarios forestales de carácter nacional.

### *Primer Inventario Nacional Forestal.-*

El primer inventario se inició en 1961 y se concluyó hasta 1985. Se basó en el análisis de

## Inventarios forestales y tasas de deforestación (continuación)

fotografías aéreas (escala promedio 1:50 000) y un muestreo intensivo de campo pero sólo para las principales zonas arboladas con valor comercial del país (aproximadamente 52% de la superficie arbolada total); el resto de la superficie estudiada se cuantificó mediante imágenes de satélite escala 1:3 000 000. La cobertura parcial, la clasificación adoptada (Forestal comercial, Forestal potencial comercial, Forestal no comercial, Forestal no arbolado, Chaparral, Hojosas y No forestal), así como la falta de un año base al cual referir los resultados de este inventario hacen imposible el compararlo con los inventarios posteriores y utilizarlo como base para derivar tasas de deforestación.

***Inventario Forestal de Gran Visión 1991.-*** Este inventario fue elaborado por la Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre de la entonces Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) con base en la Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación serie I del INEGI y mediante la clasificación digital de imágenes de satélite AVHRR, sin muestreo de campo. Como productos se obtuvieron mapas (escala 1:1 000 000) de la vegetación forestal del país, clasificada en diez tipos de vegetación forestal (coníferas, hojosas, bosque mesófilo, selvas altas y medianas, selvas bajas, manglares, mezquital y huizachal, selvas bajas caducifolias, chaparrales y matorral xerófilo) y siete de vegetación no forestal (otros tipos de vegetación, áreas fuertemente perturbadas, áreas perturbadas, agropecuario, cuerpos de agua, zonas urbanas y áreas sin vegetación).

***Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994.-*** Este inventario fue realizado por la SARH en asociación con la UNAM; se basó en el análisis de imágenes de satélite Landsat TM y muestreo de campo de baja intensidad. Como resultado se obtuvieron

mapas (escala 1:250 000) de la vegetación forestal del país (en seis categorías principales: Bosques, Selvas, Vegetación de zonas áridas, Vegetación hidrófila y halófila, Áreas forestales perturbadas y Usos no forestales; subdivididas para un total de 40 categorías de vegetación o uso del suelo) y de la zonificación de los terrenos forestales en tres clases o destinos (conservación, producción y restauración). El Inventario debería actualizarse cada 10 años.

***Inventario Nacional Forestal 2000 (no terminado).-*** En el año 2000 la entonces Semarnap comisionó a la UNAM la realización de un nuevo Inventario Forestal Nacional. Sin embargo, de éste sólo se completó la primera etapa, consistente en la elaboración de una carta de vegetación y uso actual del suelo (escala 1:250 000). En una segunda etapa se haría el trabajo de campo y la evaluación dasométrica. La carta de vegetación se elaboró mediante la interpretación visual de imágenes de satélite Landsat ETM+ adquiridas entre noviembre de 1999 y abril de 2000, y adoptó una clasificación similar a la del INEGI con ocho formaciones de vegetación (Bosque templado, Bosque tropical, Matorrales, Pastizales, Vegetación hidrófila, Otros tipos de vegetación, Cultivos y Otros tipos de cobertura) subdivididos en 17 tipos, 47 comunidades y 28 subcomunidades, para un total de 75 categorías.

***Inventario Nacional Forestal y de Suelos.-*** Finalmente, con la aprobación de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (en 2003) la Comisión Nacional Forestal (Conafor) inició en 2004 los trabajos para la elaboración de un programa de inventarios nacionales forestales y de suelos. El inventario incluye dos componentes complementarios: Un estudio satelital anual del Índice de Cobertura Forestal, enfocado esencialmente a cuantificar los cambios en la cobertura

## Inventarios forestales y tasas de deforestación (continuación)

forestal del país, y el inventario forestal propiamente dicho, que será actualizado cada cinco años y se elaborará con base en las *Cartas de Uso Actual del Suelo y Vegetación* (que produce de manera paralela el INEGI) y en el análisis de imágenes de satélite de alta resolución. Como productos del inventario deben obtenerse cartas de vegetación forestal en escala 1:250 000 y datos sobre los volúmenes, densidad e incrementos de la vegetación forestal del país. El primer ciclo de este programa de inventarios inició en 2004 y deberá completarse en 2009.

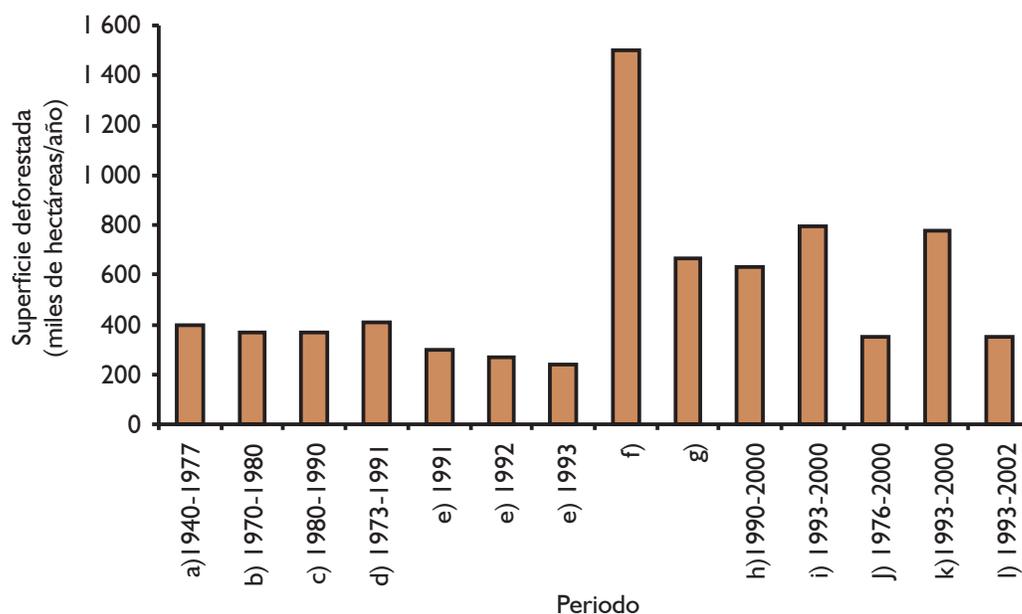
### Estimaciones de la tasa de deforestación

Los tres inventarios que han sido completados a la fecha difieren sustancialmente uno del otro en cuanto a la información básica empleada

(fotografías aéreas e imágenes de diferentes satélites, con diferentes niveles de muestreo de campo), las escalas de trabajo (desde 1:250 000 a 1:1 000 000) y la clasificación de la vegetación adoptada. Estas discrepancias hacen que sus resultados (por ejemplo, los relativos a la extensión de los diferentes tipos de vegetación forestal) no sean directamente comparables entre sí y resulte imposible o muy difícil poder utilizarlos como base para la estimación de las tasas de deforestación.

Esta carencia ha motivado que, en repetidas ocasiones, diversos autores hayan buscado obtener estimaciones de las tasas de deforestación del país con base en la incompleta información disponible en diversas fuentes y utilizando diversos métodos de cálculo (*Figura a*).

Figura a Estimaciones de la tasa de deforestación en México



**Nota:**

Los incisos del a) al i) corresponden con la fuente como se describe en el texto; los años denotan el periodo para el que se obtuvo la estimación en cada caso.

## Inventarios forestales y tasas de deforestación (continuación)

a) Como parte del *Primer Inventario Nacional Forestal*, en 1978 se estimó una tasa de deforestación de 397 mil hectáreas por año para el periodo 1940-1977, resultante de dividir la diferencia en la superficie arbolada estimada para esos años, entre el periodo transcurrido (37 años).

b) En 1990, con motivo del reporte de México a la FAO para la Evaluación de los Recursos Forestales 1990 (FRA, 1990), el Inventario Nacional Forestal obtuvo una estimación de 365 mil hectáreas/año para el periodo 1970-1980, resultante de ajustar los valores de cobertura forestal obtenidos en el *Primer Inventario Nacional Forestal* con base en los datos del crecimiento de la población rural durante ese periodo.

c) También en 1990 la SARH obtuvo, con base en los resultados de una encuesta realizada en sus Delegaciones Estatales, una estimación de 370 mil hectáreas/año para el periodo 1980-1990.

d) En 1991, con base en la comparación de las superficies forestales en el *Primer Inventario Nacional Forestal* y en el *Inventario Forestal de Gran Visión* y considerando un periodo aproximado de 18 años, se obtuvo una estimación de 406 mil hectáreas/año para el periodo 1973-1991.

e) Como parte del *Inventario Nacional Forestal Periódico* se obtuvieron estimaciones para los años 1991 a 1993. Para el año de 1991 se obtuvo una estimación de 298 mil hectáreas y, para 1992, de 270 mil hectáreas. Estas cifras fueron calculadas ajustando la cifra de 370 mil hectáreas/año, obtenida previamente para 1990, con los factores que

provocan la deforestación (e.g., reducción de los permisos de cambios de uso de suelo, reforzamiento de las acciones para disminuir el impacto de plagas, incendios, desmontes sin permiso, tala ilegal, etc.). Para 1993 se estimó una deforestación de 242 mil hectáreas, combinando información de las Delegaciones de la SARH con la tendencia de la superficie afectada por desmontes ilegales y el área de deforestación.

f) Con base en cifras oficiales sobre el incremento de la superficie agrícola y pecuaria del país, Toledo et al. (1989) estimaron una tasa de 1 500 000 hectáreas/año.

g) Con base en estadísticas oficiales y la extrapolación de resultados obtenidos en casos de estudio detallados, complementados con datos sobre perturbaciones e incendios forestales y ajustes hechos con base en el análisis de imágenes de satélite, en 1992 Masera, Dirzo y Ordóñez obtuvieron una estimación de 668 mil hectáreas/año.

h) En el reporte de México a la FAO para la Evaluación de los Recursos Forestales 2000 (FRA, 2000), se estimó que las existencias forestales (bosques y selvas) del país en 1990 eran de 61.5 millones de hectáreas y que, para el 2000, habrían disminuido a 55.2 millones, lo que representaría una tasa simple de deforestación de 630,600 hectáreas/año. Sin embargo, es importante señalar que no se dispone de datos factuales sobre las existencias forestales en México para ninguna de esas dos fechas (1990 y 2000); las cifras reportadas fueron, en realidad, estimaciones hechas con base en información básica proporcionada por la entonces Semarnap usando los métodos de estimación y

## Inventarios forestales y tasas de deforestación (continuación)

extrapolación aprobados por la propia FAO para armonizar los datos de los países. Los datos proporcionados por la Semarnap para tal efecto fueron, principalmente, los del *Primer Inventario Nacional Forestal*, del *Inventario Forestal Periódico* y los resultados de un ejercicio (parcial) de comparación de la *Carta de vegetación y uso actual del suelo Serie I* del INEGI (que describe el estado de la cubierta vegetal del país en la década de los 1970's) y la carta del *Inventario Forestal Periódico*.

i) En diciembre de 2001, la Semarnat presentó una estimación realizada con base en la *Carta de vegetación y uso actual del suelo Serie II* del INEGI (que describe el estado de la cubierta vegetal del país en 1993) y la *carta de vegetación del Inventario Nacional Forestal 2000* elaborada por la UNAM. En este reporte se establecía una tasa simple de 1 127 845 hectáreas/año. Sin embargo, esa estimación incluía (siguiendo la definición de vegetación forestal de la Ley Forestal) también a los matorrales y no sólo a bosques y selvas, por lo que no es directamente comparable con las otras cifras disponibles. Sin embargo, si de los cálculos empleados en ese ejercicio se considera sólo la parte correspondiente a bosques y selvas, se tiene una existencia estimada de 69.354 millones de hectáreas en 1993 y de 63.798 millones en 2000, lo que representaría tasa simple de deforestación de poco menos de 794 mil hectáreas/año.

j) En 2002, por mandato del Instituto Nacional de Ecología-Semarnat, el Instituto de Geografía-UNAM realizó una investigación encaminada a evaluar la confiabilidad y

mejorar la calidad de las bases de datos disponibles sobre uso de suelo y vegetación y obtener estimaciones de las tasas de pérdida del capital natural. En ese estudio se consideró que, de las bases de datos disponibles, las más adecuadas para el análisis del cambio de la cubierta vegetal eran la *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie I* del INEGI y la *carta de vegetación del Inventario Nacional Forestal 2000* de la UNAM. El análisis del cambio en la cubierta vegetal se realizó superponiendo las dos bases de datos y se obtuvo una tasa estimada de deforestación de 548 mil hectáreas/año (para bosques templados y tropicales y matorrales) o de 350 296 hectáreas/año sólo para bosques y selvas, para el periodo 1976-2000.

k) En 2003 se publicaron dos obras (Informe de México al proceso de Montreal e Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2002) en ambas de las cuales se hacen –de manera independiente– estimaciones de las existencias forestales y la tasa de deforestación. En ambos casos se utilizó como base la *Carta de vegetación y uso actual del suelo Serie II* del INEGI y la carta de vegetación del *Inventario Forestal Nacional 2000*, que eran las fuentes de datos más recientes disponibles entonces. En el Informe al Proceso de Montreal se estiman 69.05 millones de hectáreas de existencias forestales (bosques y selvas) en 1993 y de 63.66 millones de hectáreas en el 2000, lo que resulta en una tasa simple de deforestación de 769 mil hectáreas/año como promedio en el periodo. Las cifras reportadas en la segunda obra sólo difieren ligeramente de éstas (69.03 millones de hectáreas, 63.54 millones de hectáreas y

## Inventarios forestales y tasas de deforestación (continuación)

778 mil hectáreas/año, respectivamente), en razón de la diferente estandarización a la superficie total del país.

I) Para el reporte de México a la FAO para la Evaluación de los Recursos Forestales 2005 (FRA, 2005), la Comisión Nacional Forestal decidió utilizar exclusivamente fuentes de datos homogéneas; las fuentes elegidas para tal fin fueron la *Carta de vegetación y uso actual del suelo Serie II* y una versión entonces preliminar de la *Carta de vegetación y uso actual del suelo Serie III* (que describe la cubierta vegetal del país en 2002), ambas del INEGI.

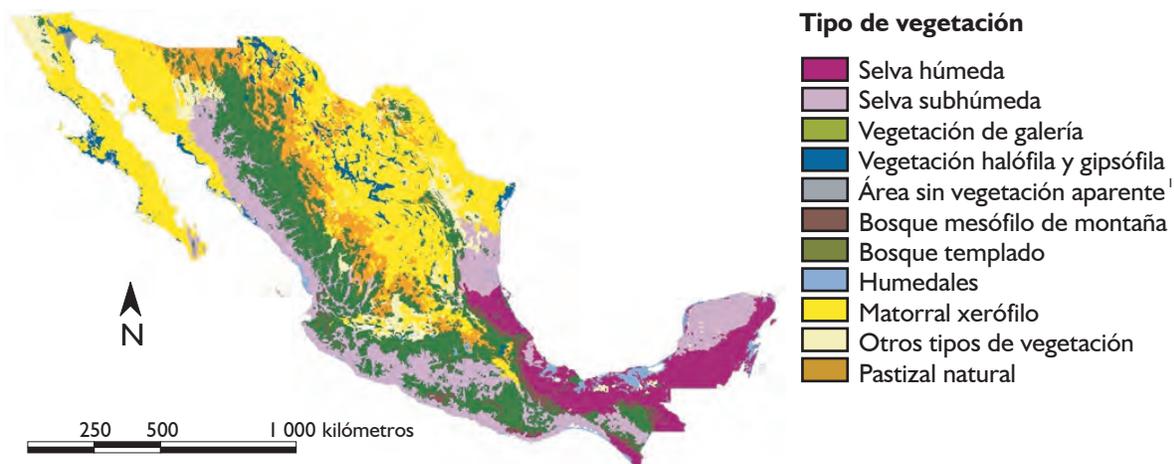
Un aspecto importante a considerar es que, para esta nueva evaluación, la FAO modificó ligeramente tanto algunas de sus definiciones como algunos de los métodos de estimación, por lo que los resultados de este nuevo reporte no son directamente comparables con los anteriores (FRA, 1990 y FRA, 2000).

Para el FRA 2005 la FAO solicitó dos piezas básicas de información: a) una estimación de las existencias forestales en 1990 y 2000 y b) una proyección de las existencias para el 2005. La primera estimación se hizo identificando en las dos series de datos elegidas las categorías que corresponden a las definiciones de Bosques y Otras tierras boscosas de la FAO y calculando las existencias de estas coberturas en ambas fechas. Este cálculo arrojó una existencia de 68.720 millones de hectáreas de Bosques en 1993 y de 65.557 millones de hectáreas en el 2002, lo que representa una pérdida total de 3.163 millones de

hectáreas en el periodo, o una tasa simple de deforestación de 351 445 hectáreas/año. Si se considera también la pérdida de Otras tierras boscosas, la tasa total de deforestación es de 401 mil hectáreas/año.

La proyección al año 2005 de las existencias de bosques y otras tierras boscosas se hizo suponiendo que la tasa de deforestación calculada para 1990-2000 se mantendría constante en 2000-2005 pero que se vería atenuada por los diversos programas (e.g., Programa Nacional de Reforestación, Programa de Desarrollo Forestal, etc.) que el gobierno federal aplica para contrarrestar sus efectos, en un nivel dado por las metas que estos programas esperan alcanzar en el periodo. De ahí se obtuvieron proyecciones – que, de cumplirse cabalmente las suposiciones en que se basaron las predicciones– dan como resultado una tasa promedio de 260 mil hectáreas/año para el periodo 2000-2005.

## Mapa 2.5 Cobertura vegetal original en México



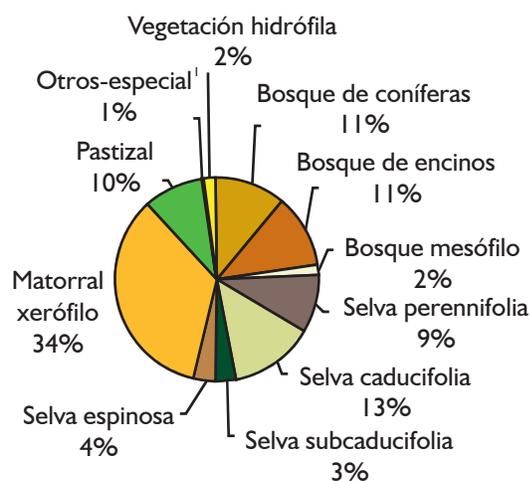
**Nota:**

<sup>1</sup> Incluye zonas de dunas arenosas interiores.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de vegetación primaria potencial* (escala 1:1 000 000). INEGI. México. 2001.

## Figura 2.3 Cobertura potencial de los principales tipos de vegetación en México



**Nota:**

<sup>1</sup>Otros-especial (palmar natural, vegetación de dunas costeras, chaparral, matorral submontano, sabana, matorral subtropical, palmar inducido y sabanoide).

El total de la suma de los porcentajes es mayor al 100% debido al redondeo de las cifras.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de vegetación primaria*, escala 1: 1 000 000. INEGI. México. 2001.

considerable y que es, en principio, la de mayor importancia por su biodiversidad y provisión de servicios ambientales), se observan transformaciones aún mayores. Hacia la década de los 1970's las selvas primarias remanentes representaban sólo el 30% de su probable extensión original, de los bosques templados primarios se conservaba un 62%, 76% de los matorrales y sólo 39% de los pastizales. En las últimas décadas (1970's a 2002) las selvas primarias se han seguido perdiendo o transformando hasta llegar a menos de 20% de su probable extensión original, los bosques primarios a 47%, los matorrales primarios a 70% y los pastizales a 34% (Figura 2.2).

A lo largo del periodo comprendido entre la década de los 1970's y 1993, bosques, selvas, matorrales y pastizales primarios que ocupaban unos 13.7 millones de hectáreas en diferentes partes del país fueron ya sea eliminados para dedicar los terrenos a otros usos o alterados y reemplazados por comunidades secundarias, a un ritmo promedio de unas 810 mil hectáreas por año. Estas transformaciones afectaron particularmente a los bosques templados (unas 276 mil hectáreas por año) y las selvas (unas 312 mil hectáreas por año).

Más recientemente, el ritmo de transformación



o alteración de la vegetación primaria ha disminuido considerablemente. De 1993 a 2002 un total de 4.4 millones de hectáreas (una superficie similar a la del estado de Quintana Roo) previamente cubiertas por bosques, selvas, matorrales desérticos y pastizales primarios fueron dedicadas a otros usos o reemplazadas por comunidades secundarias, a un ritmo promedio de 484 mil hectáreas por año. En este periodo fueron los bosques primarios los que sufrieron las mayores afectaciones (2.6 millones de hectáreas en total), siendo eliminados o alterados a un ritmo de 293 mil hectáreas por año; la extensión total de selvas primarias afectadas en ese periodo fue de 836 mil hectáreas, a un ritmo de casi 93 mil hectáreas por año (Figura 2.2).

En general, han sido las selvas los ecosistemas terrestres del país que, a través de la historia, han sufrido las mayores transformaciones y afectaciones por las actividades humanas, tanto en la extensión que ha sido eliminada para dedicarla a otros usos del suelo (potencialmente unas 25 millones de hectáreas), como en la proporción que ésta representa de su probable extensión original (44.2%), como en la extensión de la perturbación que han experimentado (sólo el 35% de las selvas actualmente existentes son primarias). En segundo lugar se encuentran los matorrales desérticos, cuya extensión en el país se ha reducido de las aproximadamente 66.4 millones de hectáreas que se estima pudieron ocupar originalmente a sólo 51 millones de hectáreas en la actualidad (incluyendo comunidades primarias y secundarias). Esto es particularmente importante ya que las selvas y los matorrales desérticos son los ecosistemas que abrigan la mayor parte de la biodiversidad del país y, en particular, los matorrales desérticos concentran una gran cantidad de especies que son endémicas de México (ver Capítulo 4 **Biodiversidad**).

Además del desmonte o eliminación total de la cobertura vegetal silvestre de un terreno para dedicarlo a otros usos del suelo, otro proceso importante es la degradación de las comunidades naturales. De la década de los 1970's a 1993, los

bosques templados secundarios se incrementaron en poco más de 4 millones de hectáreas, una extensión ligeramente menor a la perdida por los bosques primarios durante el mismo periodo. Aunque la extensión de selvas secundarias aumentó en 3.2 millones de hectáreas, se perdieron 5.3 millones de hectáreas de selvas primarias, dando como resultado una pérdida neta global de 2 millones de hectáreas de selvas en ese periodo de 17 años. Más recientemente, en el periodo 1993 a 2002, la extensión de bosques templados aumentó en unas 2.2 millones de hectáreas, una superficie ligeramente menor a la perdida por los bosques primarios en el mismo periodo (2.7 millones de hectáreas). En contraste, las selvas tanto primarias como secundarias experimentaron una pérdida neta global de 835 mil hectáreas (Figura 2.2).

Por el contrario, los terrenos dedicados a la ganadería y la agricultura se han venido expandiendo continuamente a través de la historia. Hacia la década de los 1970's los pastizales dedicados a la ganadería ocupaban ya una superficie de más de 14 millones de hectáreas, en tanto que los terrenos agrícolas ocupaban unos 26 millones de hectáreas. De la década de los 1970's a 1993, este tipo de coberturas antrópicas aumentaron su extensión en 6.4 millones de hectáreas hasta cubrir una superficie total de 46.7 millones de hectáreas en 1993, a un ritmo de 376 mil hectáreas anuales. De 1993 al 2002, los pastizales cultivados o inducidos aumentaron su superficie en unas 117 mil hectáreas y, en conjunto, las áreas dedicadas a la agricultura y a pastizales destinados al ganado se incrementaron en casi 3 millones de hectáreas hasta alcanzar una extensión total de 49.7 millones de hectáreas en 2002.

La transformación de la vegetación hacia actividades agropecuarias es siempre más intensa si se trata de vegetación secundaria que de primaria. Este fenómeno de una primera degradación o alteración de la vegetación seguida por la eventual transformación a otros usos del suelo es, sin duda, responsable en gran medida de la elevada tasa de pérdida de la vegetación natural que se experimenta en México.



La dinámica de cambios entre diferentes usos puede visualizarse como un flujo de terrenos que pasan de una forma de uso o manejo a otra, como se ilustra esquemáticamente en la Figura 2.4. Utilizando como base este marco conceptual, es posible proyectar lo que podría suceder en el futuro de mantenerse o modificarse las tasas actuales de transformación. Los análisis muestran que si los procesos de cambio y transformación de la cobertura vegetal en el país siguiesen en el futuro mediato las mismas tendencias y ritmos que los observados durante el periodo 1993 a 2002 (que son las evaluaciones más recientes disponibles), entonces las superficies cubiertas por vegetación natural seguirían disminuyendo, la vegetación primaria se reduciría a menos de la mitad de la existente en 2002 y la superficie dedicada a actividades agropecuarias se duplicaría (Figura 2.5). Para lograr mantener en el mediano plazo una cobertura de vegetación silvestre con una extensión similar a la actual, sería menester que todas las tasas de deterioro (desmonte y alteración) ligadas a actividades humanas se redujeran en un 80% de sus valores actuales. Esta cifra no debe considerarse como un pronóstico exacto, sino como una aproximación teórica que ilustra lo alejadas que se encuentran las tendencias actuales de uso y transformación de la vegetación del país de aquellas que serían sustentables. Este análisis teórico revela también que no sólo la eliminación total de la cobertura vegetal de un terreno (desmonte o deforestación) es importante sino que también la alteración o degradación de la vegetación es un proceso clave que regula la dinámica de cambios en todo el sistema.

### **Procesos del cambio de uso del suelo**

De los diferentes procesos que determinan el cambio en el uso del suelo algunos han recibido especial atención. Tal es el caso de la **deforestación**, que es el cambio de una cubierta dominada por árboles hacia una que carece de ellos. La **alteración** (también llamada degradación) implica una modificación inducida por el hombre en la vegetación natural, pero no un reemplazo total de la misma, como en el caso de la deforestación. La **fragmentación** es la transformación del paisaje dejando pequeños

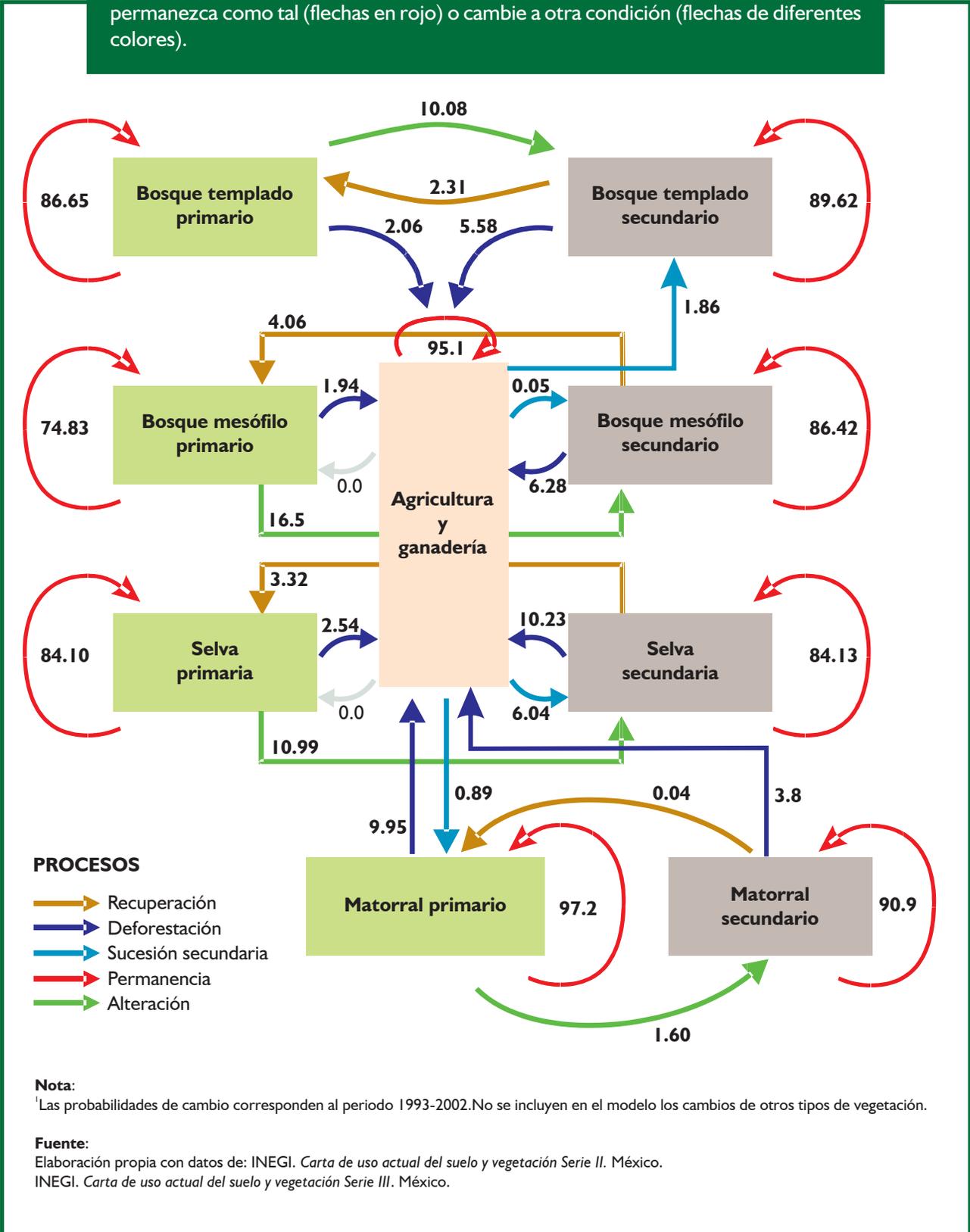
parches de vegetación original rodeados de superficie alterada. El cambio de uso de suelo en matorrales no ha recibido un nombre específico, aunque a veces se le incluye bajo el rubro de **desertificación** en el sentido de que se trata de “degradación ambiental en zonas áridas (aunque la desertificación también incluye zonas subhúmedas)”. De acuerdo con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, los matorrales de las zonas áridas y semiáridas del país son también vegetación forestal, por lo que bien se podría aplicar también el término deforestación, aunque para diversos órganos internacionales la deforestación se restringe a zonas arboladas.

### **Deforestación**

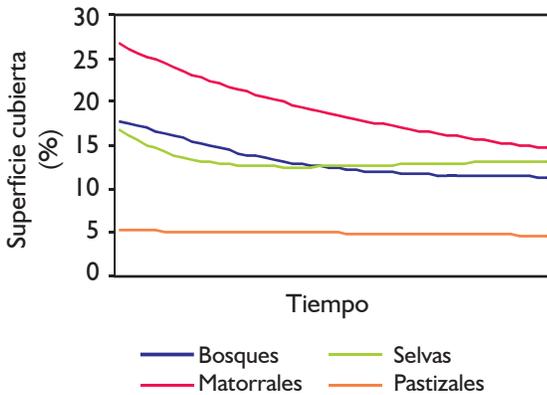
El principal motivo de preocupación mundial en torno a la deforestación se refiere al calentamiento global y a la pérdida de los servicios ambientales que prestan los bosques y selvas. Los bosques proporcionan servicios de gran importancia: forman y retienen los suelos en terrenos con declive evitando la erosión; favorecen la infiltración de agua al subsuelo alimentando los mantos freáticos y también purifican el agua y la atmósfera (ver **Cambios de uso del suelo y servicios ecosistémicos** en el Capítulo 5 **Aprovechamientos de los recursos forestales, pesqueros y de la vida silvestre**). Además, son fuente de bienes de consumo tales como madera, leña, alimentos y otros “productos forestales no maderables” (alimentos, fibras, medicinas), cuya importancia para la industria y para los campesinos es muy elevada en México (FAO, 2000; GEO 3, 2002). Las comunidades vegetales dominadas por formas de vida arbórea constituyen, además, enormes reservas de carbono en forma de materia orgánica. Estimaciones recientes muestran que los bosques del planeta almacenan unas 280 gigatoneladas de carbono en la biomasa de los árboles (FAO, 2005). Este mismo trabajo señala que la suma total del carbono retenido en la biomasa forestal, en los árboles muertos, la hojarasca y el suelo, supera en alrededor de 50% la cantidad total de carbono contenido en la atmósfera (FAO, 2005). Al emplear el fuego para eliminar la cubierta forestal, ese carbono es liberado a la atmósfera donde contribuye al efecto invernadero.



**Figura 2.4 Modelo del cambio<sup>1</sup> de uso del suelo.** Los valores corresponden a la probabilidad (expresada en %) de que la superficie cubierta por un uso de suelo permanezca como tal (flechas en rojo) o cambie a otra condición (flechas de diferentes colores).



**Figura 2.5 Cambio probable en el uso del suelo.** Si se mantienen las mismas tendencias que en el periodo 1993-2002



**Fuentes:**  
 Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie II.* México.  
 INEGI. *Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie III.* México.

En 1996 se estimó que las emisiones de bióxido de carbono asociadas al cambio de uso del suelo representaban alrededor del 30% de las emisiones totales del país (según el inventario nacional de gases de efecto invernadero de 1996 que es el único en el que se han hecho estimaciones para el componente de cambio de uso del suelo). En el sentido inverso, la vegetación secuestra carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis, proceso que se reduce fuertemente cuando se retira la vegetación. El factor que más contribuye al fuerte “déficit ecológico” en la Huella Ecológica calculada para México (ver Capítulo I **Población**) es la carencia de superficie forestal suficiente para absorber nuestras emisiones de gases de efecto invernadero, lo que pone de manifiesto la importancia de la cobertura vegetal para el desarrollo sustentable.

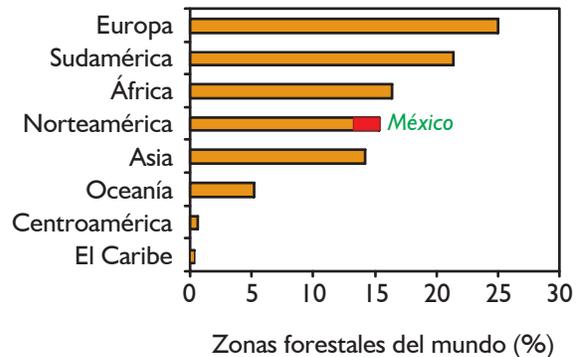
Un segundo motivo de preocupación en torno a la deforestación es su impacto negativo sobre la diversidad biológica del planeta. Al retirarse la cubierta forestal no sólo se elimina directamente a varias especies, sino que las condiciones ambientales locales se modifican seriamente. Bajo esas nuevas condiciones muchos organismos son incapaces de sobrevivir ya sea porque sus límites de tolerancia

son insuficientemente amplios, porque durante la deforestación se eliminan algunos de los recursos (e. g., alimenticios, refugios, sitios de anidación, etc.) que les son indispensables o bien, porque cambian las condiciones bajo las que interactúan con otras especies (e. g., a través de efectos de competencia específica) y pueden entonces ser desplazadas. En el caso de México, como país megadiverso, esta situación es particularmente importante.

De acuerdo con la definición de la FAO (que considera que una zona forestal es aquella que tiene al menos un 10% de su superficie cubierta por árboles), durante la última década del siglo XX hubo una pérdida neta anual de 8.9 millones de hectáreas de bosques y selvas en el mundo (la estimación de 9.4 millones de hectáreas publicada por la misma FAO en su reporte previo fue revisada y corregida considerando la nueva información disponible). Como resultado, hacia el año 2000 quedaban aún 3 mil 969 millones de hectáreas de bosques, de las cuales aproximadamente el 1.6% se conservaba en México (Figura 2.6).

A nivel mundial, África es la región donde se registran las mayores tasas de deforestación, seguida por América del Sur. Por el contrario, en Europa y Asia las existencias de bosques se están

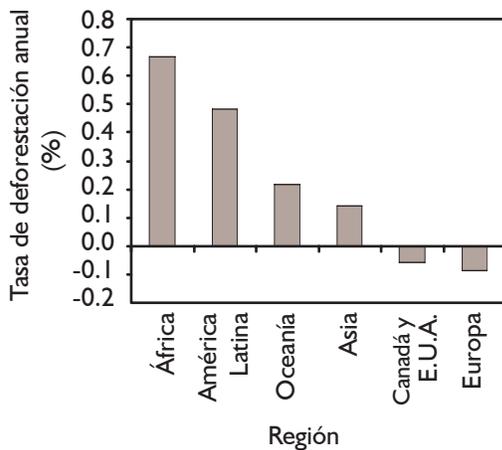
**Figura 2.6 Proporción de las zonas forestales remanentes en diferentes regiones del mundo, 2000**



**Fuente:**  
 FAO. *Global Forest Resources Assessment 2005.* FAO. 2005.

incrementando lentamente (Figuras 2.7 y 2.8). México es el único de los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) en el que los bosques siguen reduciéndose.

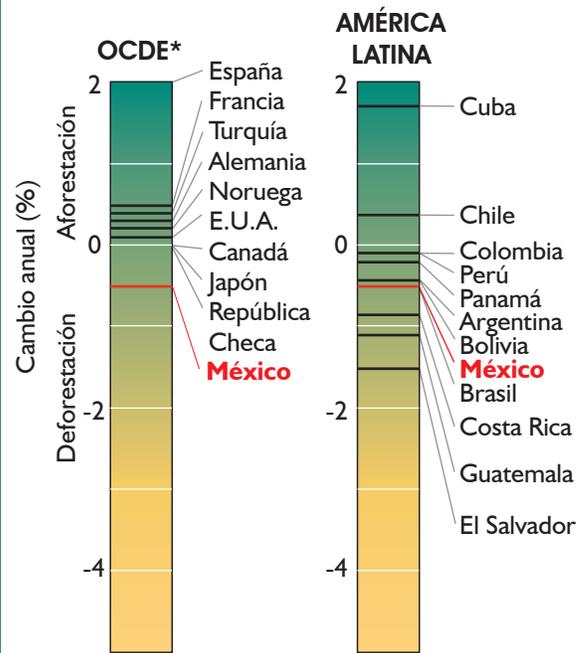
**Figura 2.7 Tasas de deforestación en diferentes regiones del mundo, 2000**



Fuente: FAO. *Global Forest Resources Assessment 2005*. FAO. 2005.

El tema de la deforestación en México se caracteriza por la gran disparidad en las estimaciones que diferentes fuentes arrojan sobre el tema. Tan sólo en la última década se han generado cifras que van desde 316 hasta cerca de 800 mil hectáreas al año (Figura 2.9). Las dos estimaciones más recientes de las tasas de cambio en el país son las obtenidas por el Instituto de Geografía de la UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México) para el periodo 1993-2000 (Velázquez *et al.*, 2002) y la elaborada recientemente por la Comisión Nacional Forestal (Conafor) para ser integrada a la FRA 2005 (FAO, 2005). La estimación de la UNAM se basó en comparar las existencias forestales hacia 1993 (de acuerdo con la *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie II* del INEGI) con las registradas en la *Carta de vegetación del Inventario Nacional Forestal 2000*, elaborada ex profeso por la misma UNAM con base en imágenes de satélite registradas en el año 2000. Por su parte, el reporte presentado por

**Figura 2.8 México en el mundo: tasas de deforestación 1990-2000 para diferentes regiones**



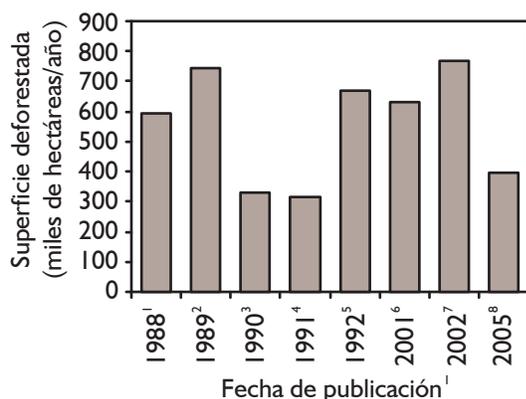
\* La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) es una institución internacional que reúne a los 30 países más industrializados del mundo, principalmente europeos.

Fuente: Elaboración propia con datos de: FAO. *Global Forest Resources Assessment 2005*. FAO. 2005.

la Conafor a la FAO se basó en una comparación espacialmente explícita de las áreas con vegetación forestal registradas también en la *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie II* del INEGI y en una versión preliminar de la *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie III* elaborada también por el INEGI con base en imágenes de satélite registradas en el año 2002.

La estimación de la UNAM indica que, durante el periodo 1993-2000, la pérdida de bosques y selvas en nuestro país ocurrió a razón de 776 mil hectáreas por año (1.14% anual). En contraste, la estimación hecha por la Conafor es de 348 mil hectáreas anuales para el periodo 1990-2000. Una diferencia muy importante entre estas dos

**Figura 2.9 Estimaciones de deforestación en México.** Las diferencias entre fuentes se deben sobre todo al empleo de diferentes criterios y métodos



**Nota:**

<sup>1</sup>Estas estimaciones sólo incluyen bosques y selvas, a pesar de que algunas fuentes reporten también superficies para matorrales.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: <sup>1</sup>Poder Ejecutivo Federal. Programa Forestal y de Suelo 1995-2000. México. 1996. Con base en la FAO, 1988; <sup>2</sup>Castillo et al., 1989; <sup>3</sup>SARH, 1990 (modificado para excluir bosques abiertos); <sup>4</sup>SARH, 1991; <sup>5</sup>Masera et al., 1992; <sup>6</sup>FAO. Global Forest Resources assessment 2000. Roma. 2001; <sup>7</sup>Velázquez, A., J. F. Mas, G. Bocco, y E. Ezcurra. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica* 62: 21-37. 2002; <sup>8</sup>FAO. *Global Forest Resources Assessment 2005*. FAO.

comparaciones es que la estimación de la Conafor se basó en el criterio de la FAO que considera a una superficie como deforestada sólo cuando ha sido transformada a otro uso del suelo tal como agricultura, pastura, reservorios de agua o áreas urbanas. Esta definición de deforestación es diferente a la utilizada en el estudio de la UNAM que se basa en la diferencia neta entre las superficies cubiertas por vegetación arbórea (e. g., bosques y selvas) en 1993 y el año 2000 (ver **Inventarios forestales y tasas de deforestación**). Dadas estas diferencias en las formas de estimación es importante considerar no sólo la cifra sino el contexto para interpretar adecuadamente la información. Las dos estimaciones anteriores indican que, a lo largo de la última década, en el país se perdieron entre 3.5 y 5.5 millones de hectáreas de bosques y selvas, siendo la vegetación primaria la que mostró las mayores pérdidas.

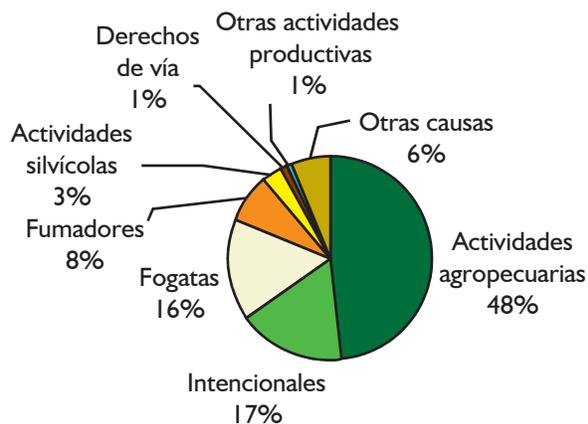
La deforestación depende de varios factores, pero uno muy importante es el económico, donde se favorecen las actividades que permiten la mayor ganancia a corto plazo. La explotación de madera para satisfacer el mercado impulsa la deforestación de bosques, principalmente los dominados por una sola especie, lo que hace rentable su explotación intensiva a pesar de que los precios sean relativamente bajos. Los modelos económicos predicen que los precios de la madera promueven el cambio de uso del suelo cuando son altos –pues entonces se deforesta para vender– o cuando son bajos –pues entonces no hay ningún incentivo para conservar el área forestal. Asimismo, el aumento de los precios de los productos agropecuarios provoca deforestación, pues entonces los usos no forestales del suelo son más redituables (Cemda-Céspedes, 2002).

Asimismo, un bosque tiene poco valor económico cuando la extracción selectiva lo ha desprovisto de los árboles más cotizados. Aunque esta actividad no retira de manera inmediata la cubierta forestal, su secuela sí es la deforestación ya que los productores pueden obtener un mayor beneficio económico al eliminar los bosques empobrecidos y emprender otras actividades productivas en estos predios. Esta lógica permite explicar porqué los bosques y selvas perturbados son luego desmontados y convertidos a terrenos dedicados a actividades agropecuarios en mayor proporción que la vegetación primaria. La alteración seguida por la deforestación es la ruta de cambio de uso del suelo más frecuente en México, especialmente cuando se trata de selvas (Cemda-Céspedes, 2002).

Igual como sucede a nivel mundial, en México las actividades agropecuarias han sido identificadas como las mayores responsables de la deforestación, seguidas en importancia por los desmontes ilegales (aunque las cifras sobre esta actividad son necesariamente incompletas y con grandes diferencias dependiendo de la fuente que se consulte). Los incendios forestales también son una causa importante que promueve la deforestación; de éstos prácticamente la mitad se relacionan con actividades agropecuarias tales como la roza, tumba y quema o

la renovación de pastizales por fuego. A menudo, una zona que ha sufrido un incendio no se recupera puesto que es inmediatamente ocupada para otros usos como el agropecuario o el urbano. Por esta razón, una fracción importante de los incendios son provocados clandestinamente para invadir zonas de bosques protegidas por la ley o por las instituciones locales. Los incendios accidentales que fogatas y fumadores provocan irresponsablemente generan un porcentaje importante de conflagraciones (Figura 2.10).

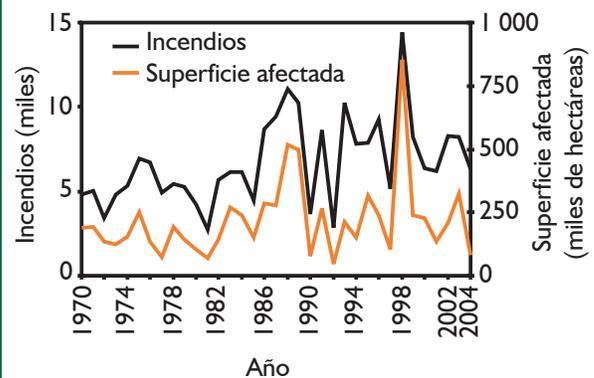
**Figura 2.10 Causas más frecuentes de los incendios forestales en México, 2001**



**Fuente:** Conafor. México. 2005. Disponible en: [http://www.conafor.gob.mx/programas\\_nacionales\\_forestales/incendios/#causas\\_incendio](http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/incendios/#causas_incendio). Revisada el 22 de noviembre de 2005.

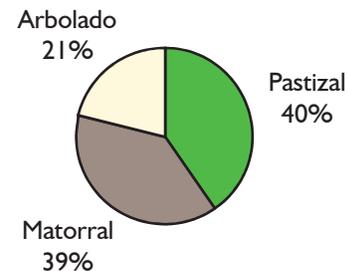
El número de incendios ocurridos en México y la superficie siniestrada por ellos han aumentado en forma sostenida a lo largo de los últimos treinta años (Cuadros D3 RFORESTA05 01 y D3 RFORESTA05 02, Figura 2.11). Del total de la superficie afectada cerca de una quinta parte es de bosques y selvas (Cuadro D3 RFORESTA05 03, Figura 2.12). La intensificación de los incendios se debe a una combinación de factores internos y externos. Por ejemplo, algunas prácticas de combate de incendios forestales buscan simplemente impedir la ocurrencia de toda clase de fuegos. Esto provoca que el material combustible (hojas, ramas secas, etc.) se acumule y, cuando finalmente se presenta un

**Figura 2.11 Incendios y superficie afectada, 1970-2004**



**Fuente:** Conafor. México. 2005.

**Figura 2.12 Superficie incendiada según tipo de vegetación en México, 1998-2004**



**Fuente:** Conafor. México. 2005.

incendio no controlable, la conflagración adquiere dimensiones mayores. También se ha observado que algunos fenómenos meteorológicos pueden estar relacionados con los incendios. En Yucatán, los huracanes de gran magnitud generalmente van seguidos por grandes siniestros, como sucedió en Sian Ka'an en 1989 tras el huracán Gilberto (López-Portillo et al. 1990) o como podría ocurrir tras los huracanes Stan y Wilma que afectaron extensas zonas boscosas de la Península de Yucatán y de Chiapas en el año 2005. También de gran importancia es el fenómeno oceánico y meteorológico conocido como "El Niño", que provoca sequías y aumento de la temperatura en México (ver *El Niño promueve los incendios forestales*).

## El Niño promueve los incendios forestales

Cada tres a siete años las corrientes oceánicas del Pacífico sufren alteraciones que modifican el clima mundial. Cuando en las costas de América el océano se calienta se dice que se presenta un año de El Niño.

Entre sus consecuencias más dramáticas se encuentra la sequía en el –típicamente–húmedo sudeste de Asia, y las lluvias torrenciales en la –también típicamente–hiperárida costa peruana. Este patrón invertido de lluvias tiene efectos importantes sobre los ecosistemas terrestres. Son los años en los cuales las plantas de los desiertos pueden establecerse, mientras que en los ecosistemas húmedos la reproducción se reduce. En estos últimos sitios es común que se presenten incendios debido a la sequía. La magnitud del cambio climático es tan grande que los incendios del sudeste asiático durante El Niño de 1997-1998 incrementaron sustancialmente la cantidad de bióxido de carbono en la atmósfera del planeta.

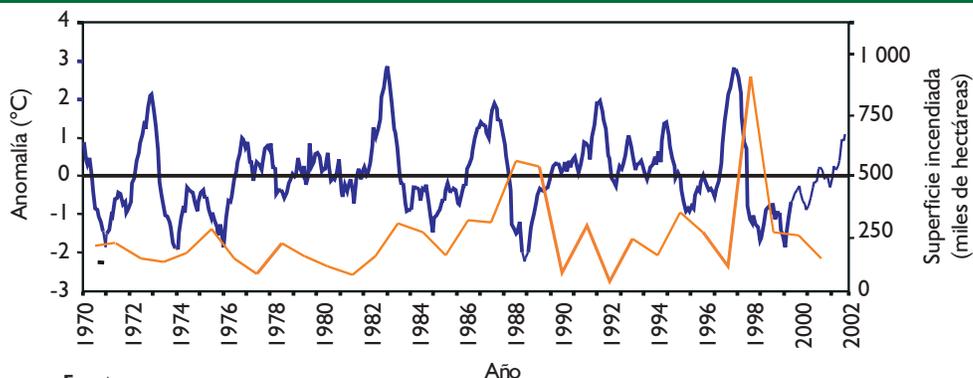
En México se ha sugerido que El Niño es uno de los factores causantes de los incendios forestales. Efectuando un análisis sencillo se encuentra que la intensidad de

este fenómeno (medida como la máxima anomalía mensual en la temperatura en el centro del Océano Pacífico) explica una buena parte de la superficie incendiada en México, sobretodo si se considera la intensidad del fenómeno durante dos años consecutivos (medida como el producto de las anomalías): El Niño es capaz de explicar casi la mitad de la variación en la frecuencia de incendios.

En los últimos 30 años, los episodios de incendios de enorme magnitud ocurrieron en 1988 y 1998, cuando el océano permaneció caliente durante los primeros meses del año tras un fuerte evento de El Niño en el año previo (**Figura a**). Esta coincidencia exagera la intensidad y duración de la sequía y puede provocar incendios de proporciones catastróficas. Algunos investigadores sostienen que el calentamiento global probablemente esté detrás de la frecuencia con la que se ha presentado El Niño en los últimos 20 años. De ser así, es previsible que México sufra sequías intensas en el futuro, con los consecuentes incendios forestales.

**Fuente:**  
Modificado de: *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales 2002*. México, 2003.

**Figura a Anomalía en la temperatura del Pacífico (en azul) y superficie incendiada en México (en rojo), 1970-2002.** Anomalías positivas indican que la temperatura del mar está por encima de lo normal y que se trata de un año de “El Niño”. Nótese como tras una anomalía prolongada e intensa se presentan fuertes incendios, especialmente en los últimos años.



**Fuentes:**  
Hasta 1998: Semarnap, Subsecretaría de Recursos Forestales. 1999. México.  
Para 1999-2001: Semarnat, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, 2002. México.



## Alteración de bosques y selvas

Un proceso menos visible pero tal vez igualmente importante por sus efectos ambientales y económicos es la degradación o alteración de los bosques y selvas. Aunque este proceso no implica la remoción total de la cubierta arbolada (como sucede en la deforestación), sí puede implicar cambios importantes tanto en la composición específica como en la densidad de las especies que ahí habitan lo que, a su vez, afecta la estructura y funcionamiento de estas comunidades naturales. La alteración de los ecosistemas naturales tiene también efectos negativos directos sobre los servicios ambientales y con ello, sobre la posibilidad de un aprovechamiento sostenible por parte de las sociedades.

De acuerdo con la evaluación global más reciente de los recursos forestales (FAO, 2005), sólo el 36% de los bosques remanentes en el mundo son primarios y se están perdiendo a una tasa de 6 millones de hectáreas anuales. El caso de México es también preocupante, ya que actualmente sólo el 44% de la superficie del país está cubierto por vegetación primaria o con poca perturbación apreciable (de acuerdo con la *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie III*), en tanto que la vegetación secundaria ha venido aumentando a ritmos superiores a las 170 mil hectáreas por año (durante el periodo 1993–2002), siendo los bosques templados los que han sufrido una degradación más intensa (superior a las 250 mil hectáreas anuales).

Tanto la deforestación como la alteración afectan negativamente a los bienes y servicios que proveen los ecosistemas naturales. El considerar de manera conjunta a la deforestación y la alteración permite obtener una evaluación aproximada del ritmo de “deterioro” global de la vegetación. De la década de los 1970's al 2002, la tasa anual de deterioro (deforestación + degradación) de los bosques y selvas fue de 518 mil hectáreas por año, tres veces superior a la tasa de deforestación *sensu stricto* (158 mil hectáreas por año). Esta cifra pone de manifiesto el impacto que los procesos de alteración tienen sobre nuestro territorio y, a pesar de ello, generalmente no se les da la importancia debida.

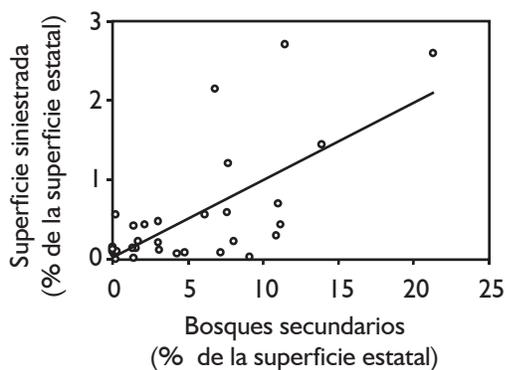
La vegetación secundaria que cubre actualmente grandes extensiones del territorio nacional es el resultado tanto de la regeneración de sitios que fueron previamente deforestados, como del deterioro (sin remoción completa de árboles) de la vegetación primaria. Sin embargo, no se cuenta con datos suficientes para cuantificar la importancia relativa de cada vía.

La forma de alteración más semejante a la deforestación es la extracción selectiva de maderas. A diferencia de los bosques templados, en cada hectárea de selva coexisten decenas de diferentes especies de árboles, la mayoría de las cuales carecen de mercado, por lo que su aprovechamiento no es redituable. Dispersas entre estos árboles crecen árboles de maderas preciosas como la caoba (*Swietenia*) y el cedro rojo (*Cedrela*), que son taladas sin aprovechar las plantas circundantes. Otra forma de explotación de la madera es la extracción de árboles o ramas para obtener leña. A pesar de que la prohibición local de cortar leña en pie es común en México, la práctica subsiste debido a la necesidad del combustible. Una quinta parte de los habitantes del país utilizan leña para cocinar y, aunque no se tiene una estimación precisa sobre la cantidad total de leña consumida, la superficie de la que ésta se extrae debe ser muy grande. Además del daño directo provocado por la extracción de leña y maderas preciosas, durante el proceso de tala de un árbol como la caoba se dañan entre el 30 y el 50% de los individuos adyacentes (Kartawinata, 1979 en Challenger, 1998), provocando su muerte o haciéndolos más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades.

Aunque la ganadería extensiva es más frecuente en matorrales, también tiene lugar en los bosques y selvas, afectando grandes superficies. El ganado ejerce un impacto directo a través del pisoteo y el consumo de plantas. Estas alteraciones perturban a su vez al ciclo hidrológico, al suelo y a la vegetación en su conjunto, trayendo como consecuencia mayor susceptibilidad a la erosión, pérdida de biodiversidad -o al menos cambios en la composición de las comunidades de plantas- y riesgo de incendios. La reducción de la cubierta vegetal provoca cambios

en el microclima –que se vuelve más seco y caliente– debido al incremento en la radiación solar hacia el interior del bosque y a una mayor facilidad para el paso del viento. Si a esto se suma que actividades como la obtención de leña que incrementa la cantidad de materia combustible en el suelo, las condiciones están dadas para los incendios forestales. Durante el evento de El Niño de 1997-1998 en Indonesia se pudo corroborar que la vegetación alterada se incendió espontáneamente con mucha mayor frecuencia que las selvas primarias (Page *et al.*, 2002). Lo mismo ocurrió en México. La superficie estatal afectada por incendios durante el evento de El Niño de 1997-1998 está estrechamente correlacionada con la extensión de bosques secundarios existentes en la entidad; de hecho, este factor explica (en sentido estadístico) 46.5% de las diferencias entre los estados en cuanto a la superficie siniestrada por incendios. Aquellos estados que carecían de bosques secundarios prácticamente no sufrieron los efectos de El Niño (Figura 2.13).

**Figura 2.13 Relación entre la alteración de los bosques y selvas y los incendios en México, 1998.** Los estados sin bosques o selvas alteradas apenas sufrieron los efectos de El Niño de 1998; por el contrario, las entidades con más vegetación secundaria fueron las más afectadas



## Cambios catastróficos en ecosistemas

El manejo de los ecosistemas, rehabilitación, restauración han significado todo un reto para los académicos y autoridades ambientales. En muchas ocasiones los resultados de los programas de restauración no sólo no son como se planearon sino que el resultado puede ser completamente distinto, ¿por qué sucede esto?

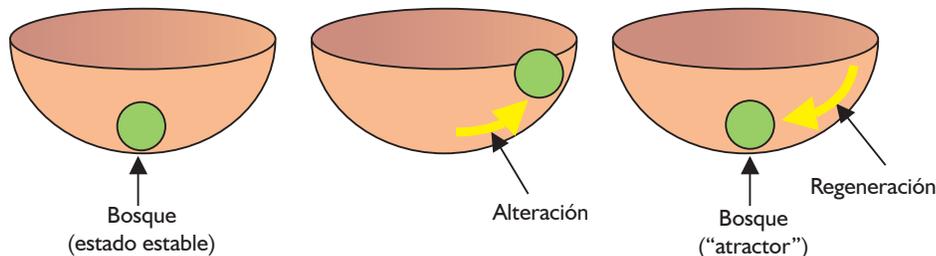
La respuesta quizás puede encontrarse en las propiedades de estabilidad de los ecosistemas. La estabilidad está compuesta por dos componentes: la *resiliencia* o rapidez con la que el sistema regresa a sus condiciones originales; y la *resistencia*, que es la capacidad del sistema para soportar disturbios (Wu y Loucks, 1995). Estas propiedades son parte de un concepto muy amplio conocido como *equilibrio*, que ha servido como marco de referencia obligado al estudiar ecosistemas.

A pesar de que la idea de que los ecosistemas pueden cambiar abruptamente de un estado a otro fue propuesta hace mucho, no existía evidencia empírica que lo sustentara. Ahora existe suficiente evidencia para reconocer que existen los llamados estados alternativos en los ecosistemas. Las comunidades biológicas pueden ser visualizadas como canicas en un cuenco.

Cuando están en el fondo del cuenco se encuentran en un estado estable. Este podría ser el caso de una comunidad estable (climax) como un bosque maduro, el cual no cambia sensiblemente a lo largo del tiempo. Alguna perturbación, como sería el caso de las actividades humanas, alteran a la comunidad y la sacan de su estado estable. Sin embargo, cuando la presión cesa, la canica regresa naturalmente a su estado inicial, que por ello se conoce como “atractor”. Así, la comunidad tiene un proceso de regeneración (sucesión secundaria) que se encarga de devolver la vegetación a su estado clímax de bosque maduro (**Figura a**).

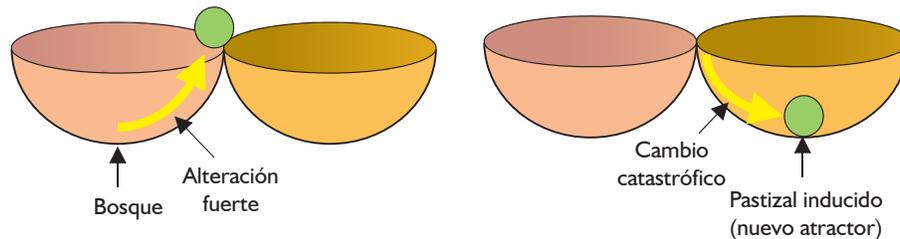
Una alteración sumamente fuerte es equivalente a alejar al ecosistema de su estado inicial. En estos casos se corre el riesgo de sacar la canica del cuenco y hacerla entrar en otro distinto. Una vez que esto sucede ya no importa si se sigue empujando la canica, ésta continuará desplazándose hasta llegar al nuevo atractor (**Figura b**). A este proceso se le conoce como cambio catastrófico, pues el ecosistema llega a un nuevo estado estable, totalmente diferente del original: tal vez un pastizal en vez de un bosque. Además, ya no importa si se suspenden las actividades que generaron la alteración en un principio: la canica no volverá por sí sola al cuenco original.

**Figura a Efecto de perturbaciones pequeñas y/o breves en la vegetación.** Tras una perturbación, la vegetación vuelve a su condición original de la misma manera que una canica en un cuenco regresa al fondo del mismo.



## Cambios catastróficos en ecosistemas (continuación)

**Figura b Efecto de una perturbación intensa o sostenida.** El ecosistema puede verse tan alterado que se degradará súbitamente y llegará a un nuevo estado del cual no se recuperará, a pesar de que el factor que provocó el disturbio desaparezca.



La respuesta de un ecosistema al disturbio en la realidad es un proceso más complejo que depende de las características del disturbio, pero también de las propiedades dinámicas de aquél. Puede suceder que las características de un ecosistema cambien de manera gradual como respuesta a cambios graduales de las condiciones externas a él, pero también puede ocurrir que el ecosistema se mantenga inalterado ante los cambios del entorno y repentinamente, al llegar las condiciones a algún valor umbral, el ecosistema se modifique de modo abrupto y sorpresivo (utilizando el ejemplo de los cuencos, significaría que éstos no son tan simétricos ni lisos). Estas “transformaciones catastróficas” (Sheffer *et al.*, 2001) pueden ocurrir en ecosistemas muy contrastantes, pero tienen algunas características compartidas: 1) el contraste entre estados del ecosistema se debe a desplazamientos en las dominancias relativas de organismos con formas de vida diferentes, 2) el cambio abrupto entre estados es disparado por eventos estocásticos, como incendios, condiciones climáticas extremas, o infestaciones de patógenos, 3) los ciclos retroalimentados que estabilizan a los estados alternos involucran mecanismos biológicos y físicos.

Regresando a la pregunta original, sobre el porqué generalmente no se logran resultados satisfactorios en los proyectos de restauración, la respuesta puede estar en el hecho de que los ecosistemas degradados también pueden ser estados estables, y tienen ciclos retroalimentados que los mantienen e impiden que se puedan transformar (Suding *et al.*, 2004). Paradójicamente, una posible solución para romper los ciclos que dan resiliencia a los ecosistemas degradados, puede ser perturbar fuertemente el sistema para que puedan entrar en actividad los ciclos que dan resiliencia a los estados del ecosistema que se desean fomentar (Suding *et al.*, 2004). En el caso del ejemplo de los cuencos, la solución sería perturbarlo hasta llevarlo nuevamente a la cuenca de atracción del estado base, aunque siempre existe el riesgo de que se lleve a otro estado diferente.

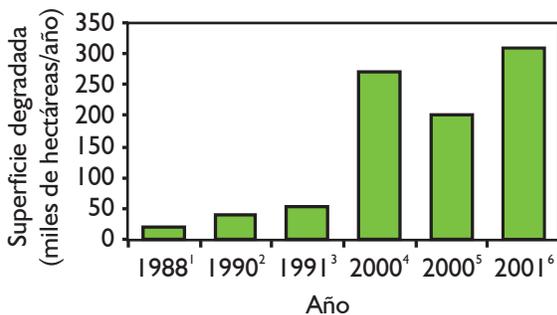
### Fuentes:

Scheffer, M., S. Carpenter, J.A. Foley, C. Folke y B. Walker. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* (4)413: 591-596. 2001.

Suding, K.N., K.L. Gross y G.R. Houseman. Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 19(1): 46-53. 2001.

Wu, J. y O.L. Loucks. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *The Quarterly Review of Biology* 70(4): 439-465. 1995.

**Figura 2.14 Estimaciones de las tasas de degradación de matorrales en México**



**Fuentes:**

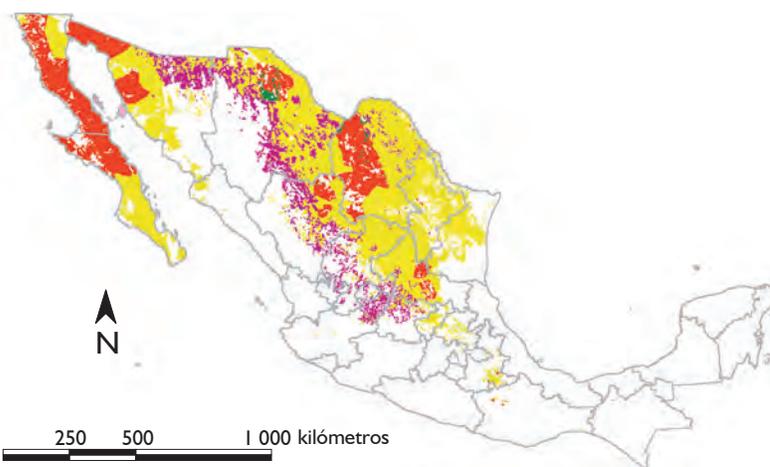
Elaboración propia con datos de: Poder Ejecutivo Federal. Programa Forestal y de Suelos 1998-2000. 1996, con base en la FAO, 1988; <sup>2</sup>SARH, 1990 y <sup>3</sup>SARH, 1991; <sup>4</sup>Semarnat. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México: compendio de Estadísticas Ambientales 2002. Semarnat. México. 2003; <sup>5</sup>FAO. Global Forest Resources Assessment 2005 FAO; <sup>6</sup>Velázquez, A., J. F. Mas, G. Bocco, y E. Ezcurra. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Gaceta Ecológica 62: 21-37. 2002.

nivel de degradación no es despreciable ya que los matorrales secundarios ocupan 41 mil kilómetros cuadrados, una extensión similar a la de Yucatán o Quintana Roo.

El matorral adquiere una gran diversidad de

formas aún dentro de un espacio reducido. La vegetación que es resultado de la alteración en un sitio puede ser perfectamente natural en otro. Por ello es sumamente difícil reconocer cómo debió ser la vegetación primaria de un sitio dado, o si se trata de una localidad con vegetación secundaria; la dificultad es aún mayor si las evaluaciones se hacen con base en métodos de percepción remota y no se cuenta con estudios directos en el campo. Considerando que la gran mayoría de los matorrales se emplean para la ganadería, un análisis realizado por el Instituto Nacional de Ecología (INE) utilizando técnicas alternativas para determinar la degradación, muestra que en muchos municipios del país el número de cabezas de ganado rebasa la capacidad máxima del ecosistema y que el 70% de los matorrales están sobreexplotados y, por tanto, en proceso de degradación. Esta cifra es muy diferente del 7% a 10% de matorrales secundarios que describen las *Cartas de Uso Actual del Suelo y Vegetación serie I* (para la década de los 1970's), *Serie II* (para 1993) y *Serie III* (para 2002). Según el estudio del INE, sólo los matorrales del oriente de Coahuila, el Desierto de Altar y de la porción central de la península de Baja California no se encuentran sobrepastoreados. El sobrepastoreo afecta también al 95% de los pastizales naturales de México, que predominantemente crecen en el norte árido de la república (Mapa 2.6). La Semarnat con base al

**Mapa 2.6 Intensidad del pastoreo en matorrales y pastizales naturales**



**Intensidad de pastoreo**

- Sin sobrepastoreo**
- Matorrales de zonas áridas
- Pastizal natural semidesértico
- Con sobrepastoreo**
- Matorrales de zonas áridas
- Pastizal natural semidesértico
- No pecuaria**
- Matorrales de zonas áridas
- Pastizal natural semidesértico

**Fuente:**

Semarnat-INE. Dirección General de Ordenamiento y Conservación de Ecosistemas. 2003.

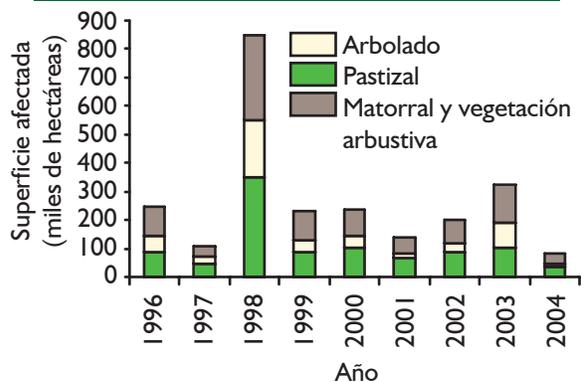


estudio de la degradación del suelo causada por el hombre (Semarnat-Colegio de Posgraduados, 2002) realizó una estimación del nivel de sobrepastoreo por entidad federativa del país (Mapa 2.7); el estudio señala que la superficie afectada por sobrepastoreo es de unas 47.6 millones de hectáreas ó 24% de la superficie nacional y aproximadamente 43% de la superficie dedicada a la ganadería en el país (ver Figura 3.18 en el Capítulo 3 **Suelos**).

Aunque el tema de los incendios generalmente evoca las imágenes de bosques en llamas que han difundido los medios, la mayor parte de la superficie afectada comúnmente corresponde a pastizales, matorrales y vegetación arbustiva. La superficie arbolada afectada no ha sobrepasado de 30% de la superficie total afectada por incendios en el país en los últimos años (Figura 2.15).

Los matorrales desérticos son ecosistemas sumamente frágiles. Los ritmos ecológicos de los desiertos son de los más lentos del mundo, razón por la que los efectos de las actividades humanas tardan mucho tiempo en ser borrados del ecosistema y van, por tanto, acumulándose a través del tiempo. Consecuentemente, la vegetación de las zonas secas es muy susceptible a los procesos de alteración y degradación, ya que los procesos de

**Figura 2.15 Superficie afectada por incendios según tipo de vegetación, 1996-2004**

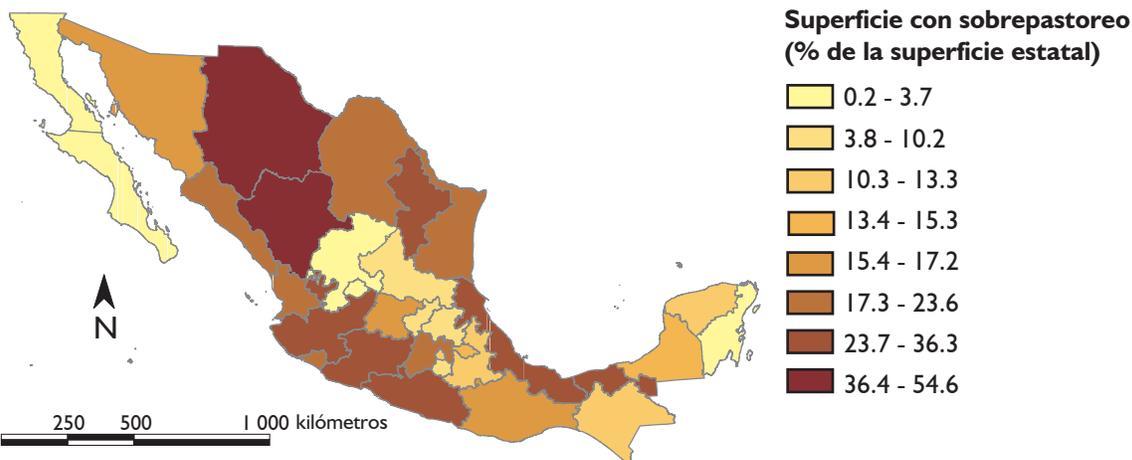


**Fuente:**  
Semarnat-Conafor. Gerencia de Incendios Forestales. México. 2005.

aceleración y sinergia típicos del disturbio crónico son muy intensos; de hecho reciben un nombre especial: desertificación.

Cuando se altera la cubierta vegetal de un desierto, las condiciones ambientales se vuelven aún más secas y las temperaturas máximas se tornan más altas. Las plantas y animales que pueden medrar en estos ambientes modificados corresponden

**Mapa 2.7 Superficie con sobrepastoreo con respecto a la estatal, 2002**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.



a zonas aún más áridas, por lo que el sitio parece aún más desértico que antes. De ahí el término desertificar, “hacer desiertos”. Este modelo se ha tratado de aplicar a otros ecosistemas. Por ejemplo, se ha propuesto que en buena medida los eriales libaneses son resultado de la desertificación. Es difícil saber hasta qué punto los proverbiales bosques de cedro del Líbano desaparecieron como producto de la actividad humana o bien debido a tendencias históricas naturales. La definición más aceptada de desertificación incluye estas posibilidades y señala que “la desertificación es la degradación ambiental en zonas áridas, semiáridas y sub-húmedas secas como resultado de diferentes factores, incluyendo las variaciones climáticas y las actividades humanas” (Conferencia de las Naciones Unidas para el Combate a la Desertificación). La degradación implica tanto a la cubierta vegetal como a los suelos que la soportan; el tema de degradación del suelo se analiza en el Capítulo 3 **Suelos**.

### **Fragmentación**

Cuando se elimina la vegetación original de una zona, con frecuencia quedan pequeños manchones intactos inmersos en una matriz sumamente degradada. Las barrancas y las cúspides de cerros y montañas constituyen los únicos remanentes de vegetación que quedan en muchas regiones de México. Cada una de estas “islas” de vegetación generalmente alberga a un número menor de sus especies nativas que una superficie equivalente embebida dentro de una gran extensión de vegetación ininterrumpida. Esto se debe a que varias de las especies nativas son incapaces de vivir en los fragmentos pequeños y a que numerosos procesos de degradación tienen lugar en los bordes (ver **La amenaza de la fragmentación**). Por estas razones, cuando se busca conservar la vida silvestre no basta conocer la superficie que abarca la vegetación. No es lo mismo contar con una gran masa selvática de 100 mil hectáreas que con cien fragmentos de mil hectáreas cada uno. Sin embargo, pocos esfuerzos se han hecho para reconocer la magnitud del problema. Un trabajo pionero ha elaborado las primeras estimaciones para selvas y bosques a nivel mundial. Las cifras son alarmantes: apenas el 35% de la superficie arbolada no está fragmentada (formando zonas continuas de más de

80 kilómetros cuadrados) ni sufre efectos de borde (se encuentra a más de 4.5 kilómetros de un borde). Si bien en Norte y Centroamérica la proporción es mayor (45%), tomando sólo los datos para los tipos de vegetación que hay en México, la cifra desciende a 33%. Las selvas constituyen los ecosistemas más fragmentados (Ritters *et al.*, 2000) (Figura 2.16).

Los datos más detallados sobre fragmentación para el caso de México proceden del Inventario Forestal Nacional Periódico de 1994. De acuerdo con dicha fuente, el 18% de las masas forestales mexicanas están fragmentadas (Mapa 2.8), y nuevamente son las selvas las más afectadas.

### **Factores relacionados al cambio de uso del suelo**

Se han propuesto diferentes hipótesis sobre qué factores son los responsables del cambio de uso del suelo. La más común y simple sostiene que el crecimiento de la población ocasiona una demanda cada vez mayor de recursos para satisfacerla y, como consecuencia, las superficies ocupadas por las comunidades naturales son sustituidas por terrenos dedicados al cultivo o a la ganadería. A pesar de que se acepta que el incremento de la población y sus necesidades son importantes para explicar el cambio de uso del suelo, la relación no es tan simple. Las tasas de crecimiento poblacional y de expansión de la frontera agropecuaria no crecen a la misma velocidad; en las últimas décadas, en términos generales, la superficie agropecuaria ha crecido más lentamente que la población mundial debido, en parte, a que la producción es más eficiente. Es necesario analizar con más detalle la relación entre el crecimiento de la frontera agropecuaria y los procesos de cambio de uso del suelo. Otros factores (también asociados con la población) como el crecimiento de las ciudades también contribuyen a las modificaciones en el uso del suelo, aunque en mucha menor magnitud.

### **Población**

Evidentemente, la población es determinante en lo que a la magnitud del territorio utilizado por el hombre se refiere. Existe una correlación significativa

## La amenaza de la fragmentación

A pesar de que los efectos negativos de la fragmentación fueron descritos hace más de 150 años por el ecólogo francés de Candolle, no se le había prestado mucha atención hasta hace relativamente poco tiempo, cuando se comenzaron a acumular las evidencias de los efectos negativos sobre muchas especies de la fragmentación del hábitat. Hoy en día, la fragmentación es considerada una de las principales amenazas para la diversidad biológica y no es para menos, ya que la mayoría de los ecosistemas de la Tierra están en algún grado divididos por caminos, campos de cultivo, ciudades, canales, líneas de transmisión de energía eléctrica y mallas que limitan o dificultan el libre movimiento de numerosas especies.

Como consecuencia de la fragmentación, los parches remanentes quedan rodeados por una matriz diferente que impide la continuidad del hábitat natural. Los fragmentos remanentes se convierten en islotes de ambiente benigno inmersos en un océano generalmente hostil de cubiertas diferentes como cultivos y potreros que afectan seriamente la viabilidad de la vida silvestre. Dada la semejanza con las islas “verdaderas”, para evaluar los efectos de la fragmentación se ha recurrido a un modelo ecológico desarrollado para las islas oceánicas conocido como “teoría de biogeografía de islas”. Una de las predicciones de este modelo es que el número de especies que habitan en una isla depende de su tamaño, siendo los sitios más grandes los que albergan mayor biodiversidad. Cuando una porción de vegetación queda aislada, el número de especies que habitan en ella declina hasta alcanzar el máximo que la nueva “isla” puede sostener dadas sus dimensiones reducidas.

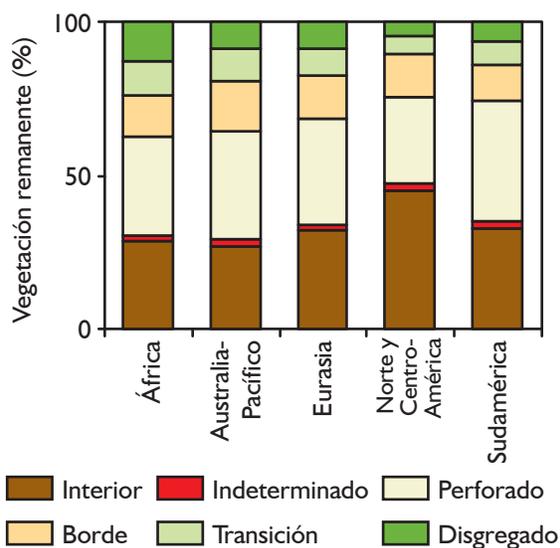
La eliminación de especies ocasionada por la reducción del tamaño del hábitat se debe a que algunas de ellas requieren áreas de vegetación muy grandes para subsistir. El caso típico es el de los grandes depredadores,

como el jaguar. Este felino patrulla territorios muy extensos (de unos 30 kilómetros cuadrados en la península yucateca, por ejemplo), los cuales le sirven como cotos de caza. La fragmentación del hábitat elimina por completo esta posibilidad. Además, la probabilidad de encontrar pareja para aparearse disminuye, lo cual puede provocar el empobrecimiento de la variabilidad genética de las poblaciones de estas especies. A pesar de que los ejemplos más conocidos involucran organismos grandes como el jaguar, la fragmentación también afecta a las plantas y animales pequeños. La fragmentación afecta las interacciones entre plantas y polinizadores y frecuentemente también reduce significativamente el reclutamiento de nuevos individuos de plantas, lo que compromete seriamente la regeneración. Un campo de cultivo de 100 metros puede ser una barrera infranqueable para numerosos insectos e invertebrados.

Otra consecuencia de la fragmentación es el denominado “efecto de borde”. En un paisaje fragmentado, un gran número de organismos se encuentra cerca del margen de los fragmentos, donde las condiciones son menos favorables y se establecen numerosas especies que estarían ausentes en la vegetación natural, lo que ocasiona fenómenos de competencia y desplazamiento. Para el caso de las selvas y bosques se ha documentado también que la probabilidad de caída y muerte de árboles es mayor mientras más cerca del borde se encuentran ya que, por ejemplo, están más expuestos a los efectos de vientos fuertes. También los fuegos empleados en varias prácticas agropecuarias aledañas a los fragmentos de bosque, a menudo se extienden metros adentro de la zona arbolada, matando a las plantas e insectos.

**Fuente:**  
Modificado de: *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales 2002*. México, 2003.

**Figura 2.16 Vegetación remanente que sufre diferentes formas<sup>1</sup> de fragmentación en diferentes regiones del mundo, 2000. Sólo los bosques del interior no sufren fragmentación o efecto de borde.**



**Notas:**

<sup>1</sup>Las superficies de bosques y selvas bajo estudio, se dividieron en cuadros de 9 x 9 km y cada cuadro se clasificó según la fragmentación de su vegetación remanente en seis categorías: 1) Bosque interno. Superficies forestales que cubren totalmente el cuadro, 2) Borde. La superficie forestal forma uno o pocos bloques bien concentrados, generalmente bordes de bosques mayores, 3) Bosque perforado. La masa forestal es continua con algunos claros abiertos en su interior, 4) Bosque disgregado. Superficies con bosque disperso en dos o más lotes, 5) Transición. Situación intermedia entre las tres categorías anteriores y 6) Indeterminado. Situación intermedia entre las condiciones de borde y perforado.

**Fuente:**

Ritters, K., J. Wickham, R. O'Neill, B. Jones y E. Smith. Global scale patterns of forest fragmentation. *Conservation Biology* 4(2): 3-13. 2000.

entre la densidad poblacional y la superficie dedicada a actividades agropecuarias; los estados más poblados tienden a dedicar más superficie a la producción (Figura 2.17). Esta relación es más intensa en la medida en que se tiene una mayor población rural dedicada a actividades primarias. Para el caso de México, la relación es más estrecha cuando se considera la población existente años atrás. De hecho, la mayor relación se encuentra con

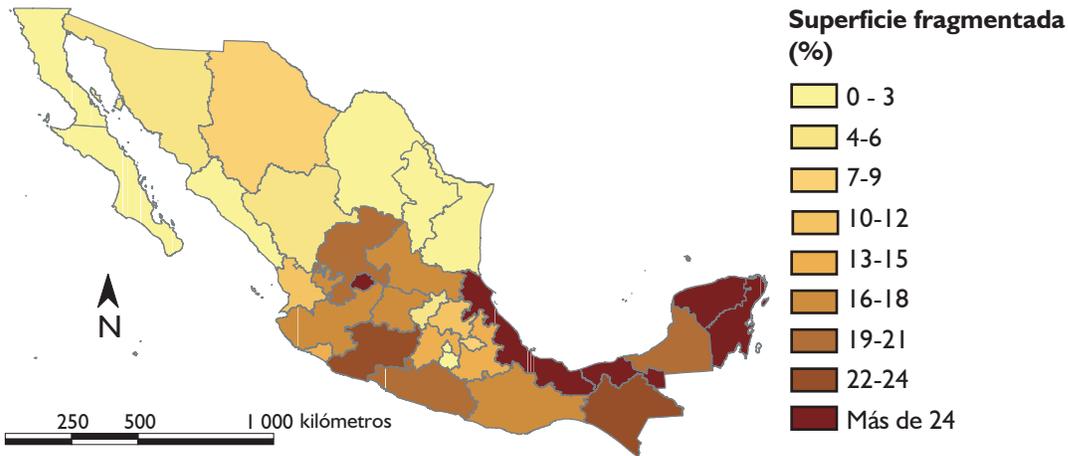
la población existente en los años 50. Este desfase histórico en el uso del suelo es, en parte, el resultado de los cambios en la estructura de la ocupación de la población. En la medida en que una mayor proporción de la población deja de dedicarse a las actividades primarias se va desvaneciendo la relación entre la densidad poblacional y la cantidad de suelo que se emplea para agricultura y ganadería. En este sentido, los movimientos migratorios y el abandono del campo tendrán efectos en el uso del suelo en el futuro. Más aún, este comportamiento significa que los cambios que hoy se den en las características de la población local (particularmente la dedicada a las actividades primarias) se manifestarán en el uso del suelo hasta varias décadas después.

**Crecimiento de la frontera agropecuaria**

La conversión de terrenos hacia usos agropecuarios es una de las causas más importantes de deforestación en América Latina y el mundo (FAO, 2000). De acuerdo con información de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), la superficie agrícola sembrada en México se ha mantenido relativamente constante en los últimos 20 años en alrededor de 20 millones de hectáreas. Para los últimos años la cifra fue de alrededor de 21.5 millones de hectáreas. Sin embargo, de acuerdo con la *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie III*, en el 2002 la extensión de terrenos agrícolas y pecuarios fue de casi 31 millones de hectáreas. Esto significa que en los últimos años unos 10 millones de hectáreas abiertas a la agricultura no se utilizan para esta actividad. Parte de esta superficie pudo estar en un breve descanso, o bien fue abandonada tiempo atrás pero no ha desarrollado vegetación secundaria. Este último fenómeno es más importante en las zonas áridas, donde los ritmos de recuperación de la vegetación son más lentos.

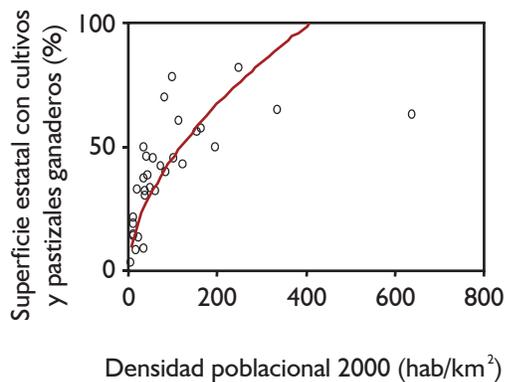
En muchos casos son los mismos agricultores quienes impiden que la vegetación se recupere. Una parcela desmontada es una forma de salvaguardar su posesión, darle valor (un terreno enmontado tiene menor valor que uno limpio en el mercado) y frecuentemente, desmontar un terreno también

**Mapa 2.8 Fragmentación de bosques y selvas por entidad federativa, 1994**



**Fuente:**  
SARH. *Inventario Forestal Nacional Periódico 1994*. México. 1994.

**Figura 2.17 Relación entre la densidad poblacional y la superficie dedicada a fines agropecuarios, 2000.** Los estados más poblados destinan más superficie a la producción ( $R^2 = 65\%$ ).



**Fuentes:**  
Elaboración propia con datos de: INEGI. *Censos de Población y Vivienda*. Varios años.  
INEGI. *Conteo de Población y Vivienda 1995*. México. 1996.  
Semarnat. *Inventario Forestal Nacional 2000*. México. 2001.

les permite el acceder a créditos o estímulos por parte del gobierno. Esto podría explicar la razón de que una tercera parte de la superficie agrícola no se cultiva, a pesar de que con ello se promueve la degradación del suelo, que reduce su potencial productivo.

Si se compara la superficie dedicada a actividades agropecuarias que se obtiene de las cartas de uso de suelo y vegetación de 1993 y 2002, la frontera agrícola productiva se incrementó en 2.8 millones de hectáreas. Parte de este crecimiento ha sido a costa de la vegetación natural primaria, pero una proporción mayor proviene de terrenos que estaban ocupados y que ya habían sido desmontados o, al menos perturbados con anterioridad,

Una de las prácticas agrícolas más frecuentes en los trópicos, que incluso se ha considerado como un modelo de agricultura sostenible es la roza, tumba, y quema o agricultura nómada. El sistema se basa en cultivar las tierras por uno a tres años, y posteriormente dejarlas descansar por un periodo de varios años para que se recupere la vegetación natural. En la actualidad, las diferentes presiones por incrementar la producción de alimentos ha propiciado que los tiempos de descanso se hayan



reducido sustancialmente ocasionando no sólo una baja en la productividad de los cultivos (los suelos no recuperan su fertilidad), sino que la vegetación natural no se recupera (ver **Efectos de la roza, tumba y quema sobre el uso del suelo**).

Laganadería se practica en todo el país, abarcando, según datos de la Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (Cotecoca) 1.09 millones de kilómetros cuadrados, o el 56% de la superficie total de la república. En los estados del norte y en Tabasco la superficie ganadera sobrepasa el 65% de la entidad (Mapa 2.9). Si se toma en cuenta que para el año 2002 sólo se tenía 15.3% de la superficie con pastizales naturales, inducidos y cultivados, la demás superficie dedicada a la ganadería debe ubicarse en la vegetación natural, esto es, el 68.5%. Si ésta abarca el 73% del territorio, podemos concluir que poco más del 27.8% de la vegetación natural está libre de ganado (Figura 2.18).

En el ámbito pecuario se ha observado una reducción importante en el número de cabezas de ganado durante las últimas dos décadas. En 1980 se registraron 50.7 millones de cabezas, y en 2002 se registraron sólo 46.93 millones (una disminución de -0.35% anual). El descenso fue más marcado en el ganado bovino que disminuyó de 34.6 millones de cabezas a 29.2 millones (0.8% anual); el número de ovejas y cabras prácticamente se mantuvo sin reducciones en este periodo (Figura 2.19). A pesar de ello, la superficie destinada a ganadería (medida como pastizales naturales e inducidos) creció al menos cuatro millones de hectáreas de 1993 a la fecha, un crecimiento superior al del ganado, lo que se traduce en una mayor superficie por animal. No obstante, aun con esta reducción en la densidad de ganado y considerando los coeficientes de agostadero, en 24 de los estados del país el número de cabezas de ganado supera la capacidad del ecosistema. La situación es particularmente grave en los estados de México, Sinaloa y Jalisco (Mapa 2.10). Cabe señalar que los estados con mayor sobrepastoreo no coinciden necesariamente con aquellos que tienen mayor densidad de cabezas de ganado. En una situación de sobreexplotación como ésta, aun cuando se reduzca el número de cabezas

de ganado es necesario seguir incrementando la superficie de pastizales para acomodar el exceso de animales o bien optar por sistemas de manejo intensivos para no presionar más a los ecosistemas naturales.

### **Urbanización**

Si bien es cierto que a escala nacional la superficie urbana es proporcionalmente muy pequeña (0.4% de territorio), se trata del uso del suelo que más rápido está creciendo en algunas regiones. En Quintana Roo, por ejemplo, la superficie urbanizada creció a una tasa superior al 8% anual entre 1993 y el año 2000. Para el año 2002 la superficie urbana en el país era de poco más de 1.1 millones de hectáreas, 0.6% de la superficie nacional. Por lo común se trata de tierras planas, aptas para la agricultura, que dejan de ser productivas. Mientras que el impacto directo de las ciudades es pequeño, indirectamente afectan los usos del suelo de grandes extensiones para satisfacer sus necesidades de alimentos, madera, recreación y disposición de residuos (ver **La huella ecológica** en el Capítulo I **Población**).

### **Gestión**

La urgencia por frenar y revertir la acelerada pérdida de la cobertura vegetal que históricamente se ha venido dando en México, con todas sus consecuencias ambientales, sociales y económicas, llevaron a la Presidencia de la República a declarar, al inicio de la presente administración, a los bosques -junto con el agua- como temas de seguridad nacional.

Un paso importante en este sentido fue la creación de la Comisión Nacional Forestal (Conafor) en abril de 2001. La misión de esta Comisión es instrumentar una política que haga realidad el desarrollo forestal sustentable, con base en la participación social y de los tres órdenes de gobierno. La creación de la Conafor llevó, a su vez, a la formulación de una nueva Ley General para el Desarrollo Forestal Sustentable (aprobada en febrero, 2003), que tiene entre sus objetivos principales: contribuir al desarrollo social, económico, ecológico y ambiental del país;

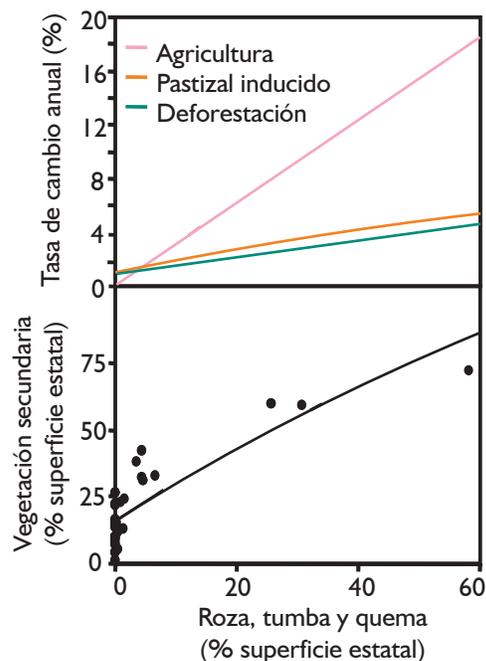
## Efectos de la roza, tumba y quema sobre el uso del suelo

La agricultura de roza, tumba y quema (también conocida como agricultura nómada o itinerante) se ha relacionado frecuentemente con la degradación del ambiente. El debate se centra en la idoneidad de este sistema dadas las condiciones ambientales de las selvas, que son los sistemas donde se emplea con mayor intensidad. La fertilidad de los suelos selváticos es por lo general reducida, lo que hace imposible lograr cosechas abundantes durante largo tiempo sin fertilizar el suelo. La productividad del suelo se recupera dejando que la parcela descansa por varios años, con la ventaja de no usar agroquímicos que representen un riesgo a la salud o al ambiente.

Sin embargo, en las últimas décadas la superficie destinada a esta forma de explotación ha crecido considerablemente, mientras que los ciclos de descanso se han acortado. Esto no sólo ha impactado negativamente a la producción que representa una amenaza al entorno. El uso del fuego para la agricultura es responsable de un importante número de incendios forestales. Resultado de ello, el suelo de la selva se degrada y numerosas especies típicas de la vegetación madura son incapaces de sobrevivir bajo un régimen de incendios constantes.

A nivel estatal, la superficie cubierta por vegetación secundaria está determinada en un 72% por la agricultura nómada. Un ejemplo es el estado de Yucatán, que cuenta con la mayor superficie cubierta tanto por agricultura de roza, tumba y quema, como por vegetación secundaria (58 y 72% del estado, respectivamente). Esto señala a dicha práctica de cultivo como una de las principales responsables del incremento de la vegetación perturbada en el país en las últimas décadas (*Figura a*).

**Figura a Efectos de la agricultura de la roza, tumba y quema sobre el uso del suelo**



**Notas:**

El más evidente resultado de la agricultura nómada es el incremento de la vegetación secundaria debido a los periodos de descanso (gráfica inferior,  $R^2 = 72\%$ ). En las entidades donde esta forma de agricultura es más importante, se observa que las tasas de deforestación, crecimiento de pastizales inducidos y de la agricultura son significativamente mayores (gráfica superior).

Las tasas se calcularon utilizando la fórmula:

$$r = \left( \frac{s_2}{s_1} \right)^{\frac{1}{t}} - 1$$

donde,  $r$  es la tasa de crecimiento,  $s_1$  y  $s_2$  son las superficies ocupadas por un uso de suelo al tiempo inicial y final respectivamente, y  $t$  es el tiempo transcurrido entre ambas fechas.

**Fuente:**

Tomado de: Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales 2002*. México. 2003.

## Efectos de la roza, tumba y quema sobre el uso del suelo (continuación)

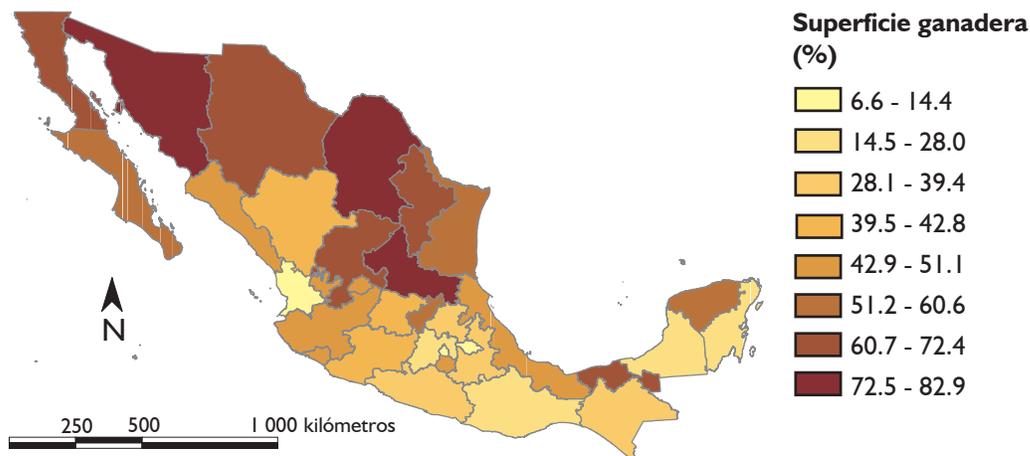
El crecimiento de las fronteras agrícola y pecuaria está determinado en un 75 y 25% por la agricultura itinerante, respectivamente. La superficie destinada a la agricultura y pastizales para la cría de ganado ha crecido más rápidamente en los estados con mayor tradición de agricultura de roza, tumba y quema. Esto podría ser resultado de la intensificación de las actividades productivas ante el colapso de la fertilidad de los suelos. Ello supondría que más superficie

se incorpora al sistema a partir de áreas arboladas (primarias o secundarias) y que más superficie se explota en un momento determinado. Como resultado, las tasas de deforestación son mayores en estas entidades (*Figura a*,  $R^2 = 36\%$ ).

**Fuente:**

Modificado de: *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales 2002*. México, 2003.

**Mapa 2.9 Superficie ganadera con respecto a la estatal, 2002**



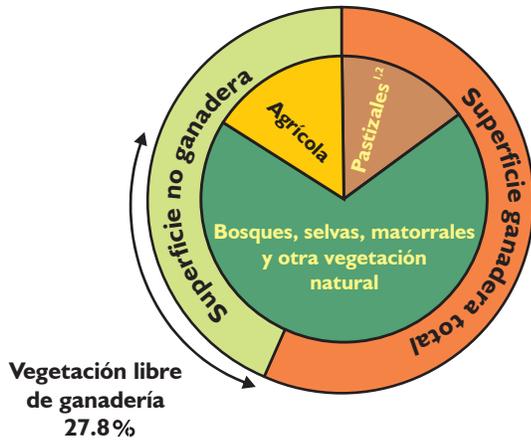
**Fuente:**

Sagarpa, Comisión Técnica Consultiva de Coeficientes de Agostadero. México, 2004.

impulsar la silvicultura y el aprovechamiento de los recursos forestales; desarrollar los bienes y servicios ambientales y proteger la biodiversidad de los bosques, respetando, en todos los casos, el derecho al uso y disfrute de las comunidades indígenas. Con el nuevo marco institucional y jurídico se logró fortalecer los programas forestales ya existentes que venían dando buenos resultados, así como crear algunos otros nuevos.

Una estrategia adoptada por el Gobierno Federal para detener y revertir el deterioro de la cubierta forestal del país ha sido la reforestación. Aunque la reforestación se ha venido realizando desde hace muchos años en el país, estos esfuerzos no dieron los resultados esperados. Entre las razones de esta ineficiencia se puede señalar las siguientes: i) frecuentemente la reforestación se planeaba y ejecutaba sin información suficiente o bajo criterios

**Figura 2.18 Superficie ganadera y usos del suelo en México, 2002**



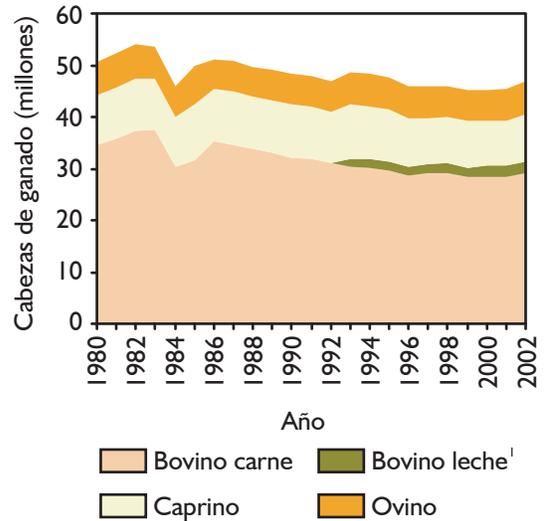
**Nota:**

<sup>1</sup>Se consideraron pastizales naturales, inducidos y cultivados.  
<sup>2</sup>Suponiendo que todos los pastizales son utilizados para criar ganado y que las zonas agrícolas se emplean para este fin, sólo un 27.8% de la vegetación restante estaría libre de ganado.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie III*. México. 2005. Comisión Técnica Consultiva de Coeficientes de Agostadero. México. 2004. Elaborado con base en *Monografías de Coeficientes de Agostadero, años 1972-1981*.

**Figura 2.19 Población de ganado bovino, caprino y ovino, 1980-2002**



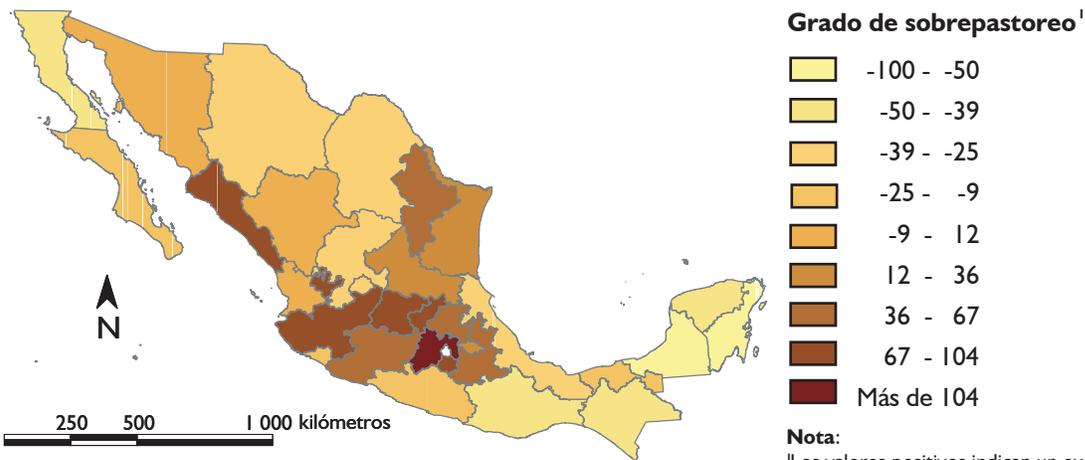
**Nota:**

<sup>1</sup>La información de ganado bovino lechero fue separada de la de ganado bovino para carne a partir de 1993.

**Fuentes:**

Sagarpa-SIAP. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON 2004). México. 2004. Sagarpa-SIAP. *Anuario estadístico ganadero 2002*. México. 2003. Disponible en: [www.sagarpa.gob.mx/Dgg/estadísticas/anuario](http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg/estadísticas/anuario)

**Mapa 2.10 Grado de sobrepastoreo por entidad federativa, 1999**



**Nota:**

<sup>1</sup>Los valores positivos indican un exceso de animales.

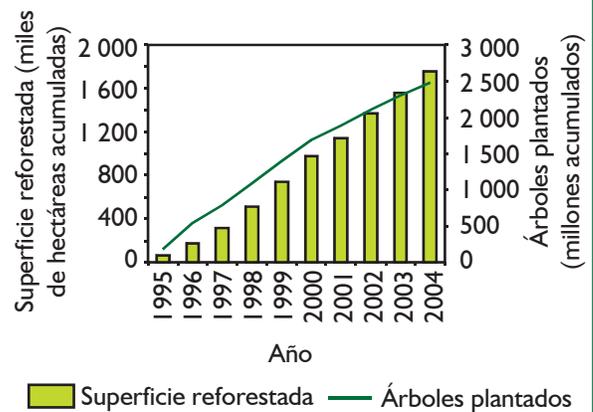
**Fuente:**

Cotecoca-Sagar, con base en: Cotecoca-SARH. *Monografías de coeficientes de agostadero, años 1972-1981*. México.

no ambientales; así la decisión de donde sembrar plantas se hacía, no con base en un diagnóstico sustentado sino a partir de la opinión y conveniencia de las autoridades responsables, ii) la selección de especies no se hacía con base en las características ambientales de la zona a reforestar o a partir de objetivos bien definidos (por ejemplo, retención de suelos o incrementar la fertilidad) sino en función de la disponibilidad de plantas en viveros y/o criterios estéticos y iii) los programas de reforestación no tenían el seguimiento adecuado, quizá bajo la esperanza de que para conseguir una reforestación exitosa sólo bastaba con sembrar árboles y no cuidar de ellos por un tiempo hasta alcanzar una supervivencia adecuada. Independientemente de la causa, el resultado final es que los programas de reforestación habían contribuido muy poco al mantenimiento de la cubierta forestal del país.

En 1995 se creó el Programa Nacional de Reforestación (Pronare), con objeto de resolver dichos problemas a través de una reforestación apropiada en sitios estratégicos. Para el año 2004 la superficie sembrada ya había alcanzado 1.75 millones de hectáreas (Cuadro D3 RFORESTA09 06), para lo cual se produjeron y sembraron 2 mil 476 millones de plantas (Cuadro D3 RFORESTA09 05, Figura

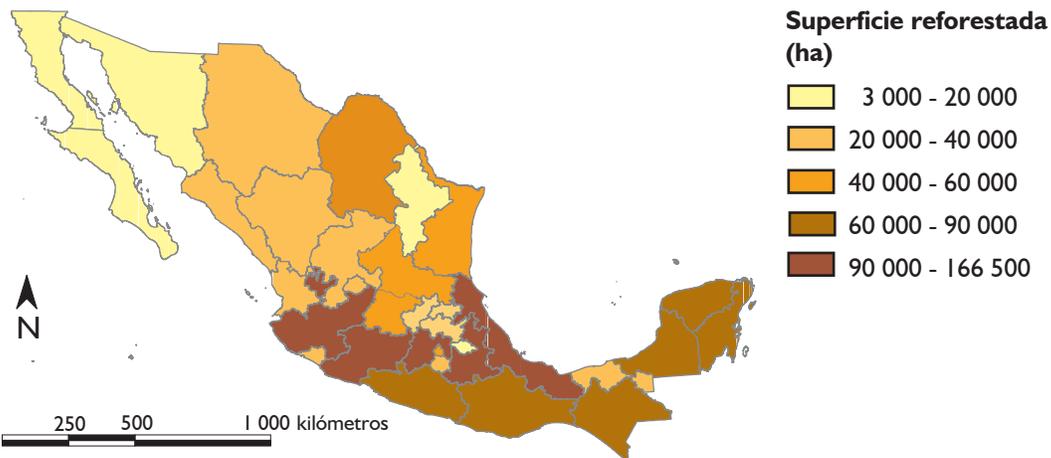
**Figura 2.20 Reforestación y número de árboles plantados, 1995-2004**



**Fuentes:**  
 Conafor. Coordinación General de Conservación y Restauración. México. 2005.  
 Conafor. México. 2005.  
 Semarnat, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Federalización y Descentralización de Servicios Forestales y de Suelo. México. 2002.

2.20). Los estados del país que habían reforestado una mayor superficie eran Veracruz, Estado de México, Michoacán y Jalisco (Mapa 2.11). Entre los cambios estructurales más importantes realizados

**Mapa 2.11 Reforestación (acumulada al 2004) por entidad federativa, 1993-2004**



**Fuente:**  
 Conafor. Coordinación General de Conservación y Restauración. Comisión Nacional Forestal. México. 2005.



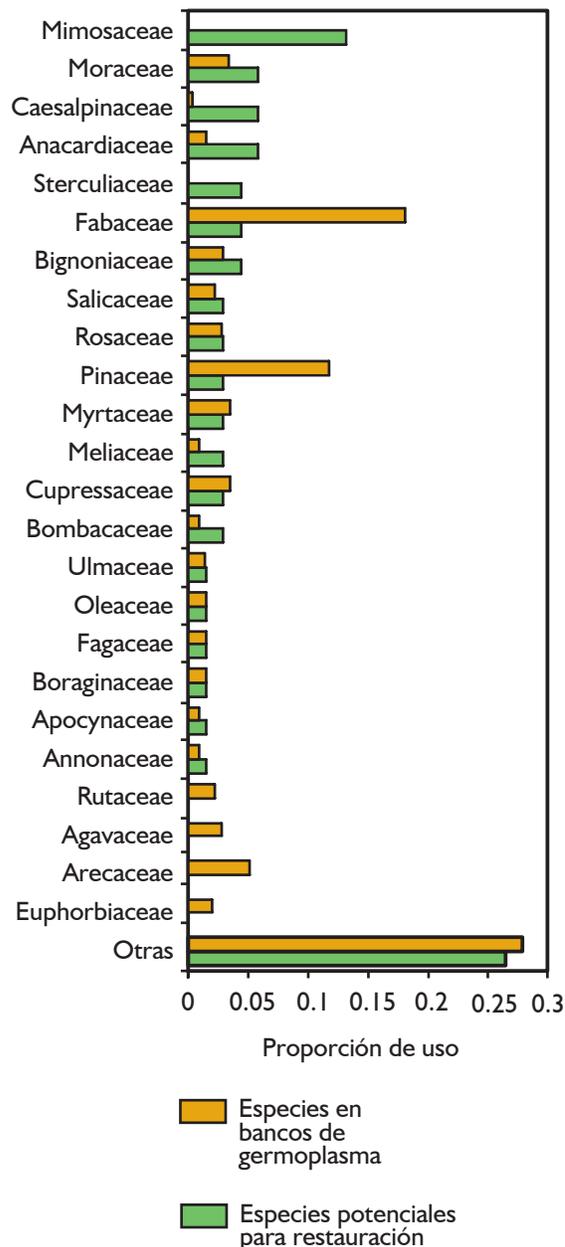
en este programa en los últimos años está su reorientación para privilegiar la producción y el uso de especies nativas del país, por encima de especies exóticas como el eucalipto, o de valor económico como los frutales. A partir de 2002, el programa ya no incluye al eucalipto ni a los frutales y, para el 2004 ya contaba con un banco de germoplasma de casi 150 diferentes especies adecuadas para las distintas condiciones climáticas y de suelo del país, muchas de ellas consideradas como de uso potencial para la restauración (Figura 2.21). De manera paralela se ha puesto más atención a las prácticas de protección y mantenimiento de las plantaciones con objeto de incrementar la supervivencia. A pesar de los avances logrados en estos últimos años, la brecha entre la superficie deforestada y reforestada sigue siendo muy grande, por lo que el balance en términos de la cubierta forestal sigue siendo negativo (Figura 2.22).

El lugar de la reforestación se ha modificado a lo largo del tiempo. Desde 1994 se comenzó a reforestar en mayor proporción en zonas rurales y menos en las urbanas (Figura 2.23); actualmente más del 90% de las plantas son ubicadas en el campo donde producen mayores beneficios ambientales. La reforestación rural restituye la cubierta forestal, retiene suelos y abastece los mantos acuíferos, por lo que el impacto de esta actividad en el medio ambiente es más favorable que la siembra en las ciudades, donde sirve principalmente para fines estéticos y de recreación.

Recientemente, el Pronare fue integrado, junto con otros programas para la conservación y restauración de suelos y sanidad forestal, en un nuevo programa general conocido como Programa de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales (Procoref).

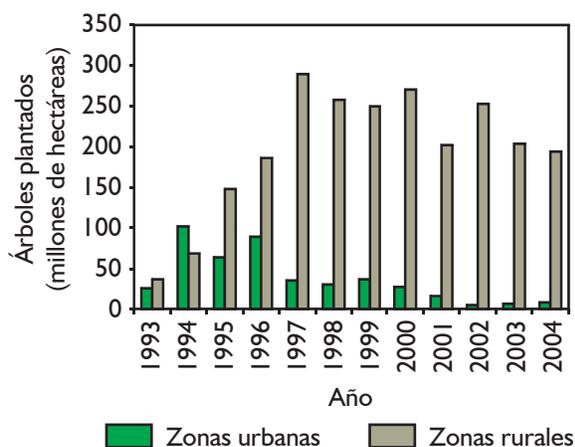
La presión sobre los ecosistemas forestales por la extracción de madera y productos no maderables contribuyen a disminuir la calidad de los bosques, pasando de bosques primarios con su biodiversidad y servicios ambientales en sus condiciones normales a bosques secundarios relativamente más pobres en especies. Una de las opciones para reducir las

**Figura 2.21 Especies de diferentes familias botánicas existentes en los bancos de germoplasma. Se comparan estas cifras con las especies que tienen potencial para la restauración según la Conabio.**



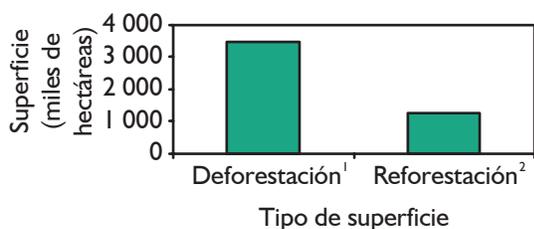
**Fuente:**  
Pronare-Conabio. Sistema de Información para la Reforestación (Sire). México. 2001.

**Figura 2.23 Árboles plantados en zonas urbanas y rurales, 1993-2004**



Fuente:  
Semarnat-Conafor. México. 2005.

**Figura 2.22 Superficie deforestada y reforestada en el periodo 1993-2002**



**Notas:**

<sup>1</sup>La superficie deforestada para bosques y selvas se estimó para el periodo 1993-2002 con base a las *Cartas de uso actual del suelo y vegetación Serie II y Serie III* del INEGI.

<sup>2</sup> Comprende la superficie reforestada (acumulada) durante el periodo 1993-2002.

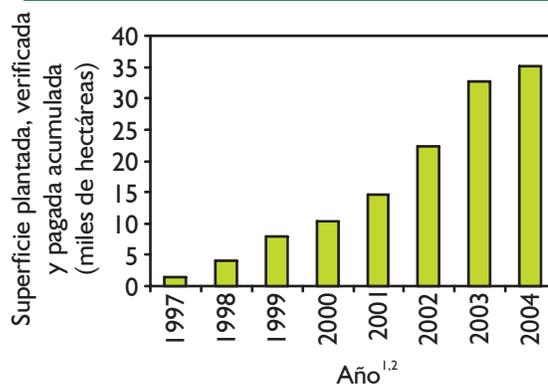
**Fuentes:**

INEGI. *Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie II*. México.  
INEGI. *Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie III*. México.  
Conafor. Coordinación General de Conservación y Restauración. México. 2005.

presiones sobre las comunidades vegetales del país es el establecimiento de sistemas manejados donde puedan obtenerse los productos que se extraen de la vegetación natural de manera fácil y rentable. En 1997 se puso en operación el Programa

para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales (Prodeplan), con objeto de apoyar el establecimiento (en terrenos no boscosos) y mantenimiento de plantaciones comerciales para alcanzar la autosuficiencia en productos forestales. Este programa ha producido resultados notables en los últimos años. Del año 2001 al 2004 se han apoyado plantaciones en poco más de 256 mil hectáreas, aunque a la fecha sólo 40 mil de ellas han sido ya verificadas y pagadas (Figura 2.24).

**Figura 2.24 Superficie plantada, verificada y pagada de Plantaciones Forestales Comerciales, 1997-2004**



**Notas:**

<sup>1</sup>Se refiere al año en que fue verificada y pagada la plantación.

<sup>2</sup> Por reglas de operación, los beneficiarios de este programa cuentan con doce meses para iniciar sus proyectos, contados a partir del año en que ingresan. Además, las plantaciones deben tener al menos seis meses de edad en el terreno y un 70% o más de porcentaje de supervivencia para ser objeto del pago comprometido, por lo que los proyectos que ingresaron en 1997 pueden haber sido verificados y pagados hasta 1999 ó 2000 y así sucesivamente.

**Fuentes:**

Conafor. Gerencia de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales. México. 2005.

Un programa de reciente creación y que resulta muy atractivo por sus efectos sobre la conservación de las comunidades naturales es el Programa de Pagos por Servicios Ambientales. Este programa constituye uno de los primeros ejemplos concretos de valoración económica y social de los recursos naturales y los servicios ambientales, como parte de los instrumentos de la política ambiental mexicana. Por los graves problemas que enfrenta México



respecto a la degradación de acuíferos, desastres en eventos de precipitación extrema y problemas derivados de la erosión del suelo, la primera etapa del programa se enfocó al mantenimiento de los Servicios Ambientales Hidrológicos prestados por bosques y selvas ubicados en zonas prioritarias; más recientemente el programa se amplió para incluir el pago por servicios de captura de carbono, protección de la biodiversidad y para el establecimiento y mejoramiento de sistemas agroforestales. Además de detonar el mercado de cobro y pago de servicios ambientales, el programa busca proteger la provisión de los servicios ambientales (ver **distintos aspectos de los Servicios ambientales** en los Capítulos 4 **Biodiversidad**, 5 **Aprovechamientos de los recursos forestales, pesqueros y de la vida silvestre** y 7 **Agua**), mediante el pago que se hace a los dueños y/o legítimos poseedores de terrenos forestales por los servicios que presta el buen estado de conservación de sus bosques y selvas. Los beneficiarios del programa tienen, como obligación principal, no cambiar el uso del suelo y la cobertura forestal de los predios y mantener vigilancia del predio para asegurar la conservación de su cobertura forestal. Para el año 2004 se habían apoyado un poco más de 184 mil hectáreas, que se traducen en la protección de 24 429 hectáreas de bosques mesófilos de montaña y 159 932 hectáreas de otros bosques y selvas (ver **Cambios de uso del suelo y servicios ecosistémicos** en el Capítulo 7 **Agua** ).

Otros programas, como el Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable de los Recursos Forestales (Procymaf), el Programa de Desarrollo Forestal (Prodefor) y otros más enfocados a hacer un manejo más adecuado de los bosques (ver Capítulo 5 **Aprovechamientos de los recursos forestales, pesqueros y de la vida silvestre**) buscan contribuir a reducir la presión de las actividades humanas sobre los ecosistemas naturales y, con ello, fomentar su conservación.

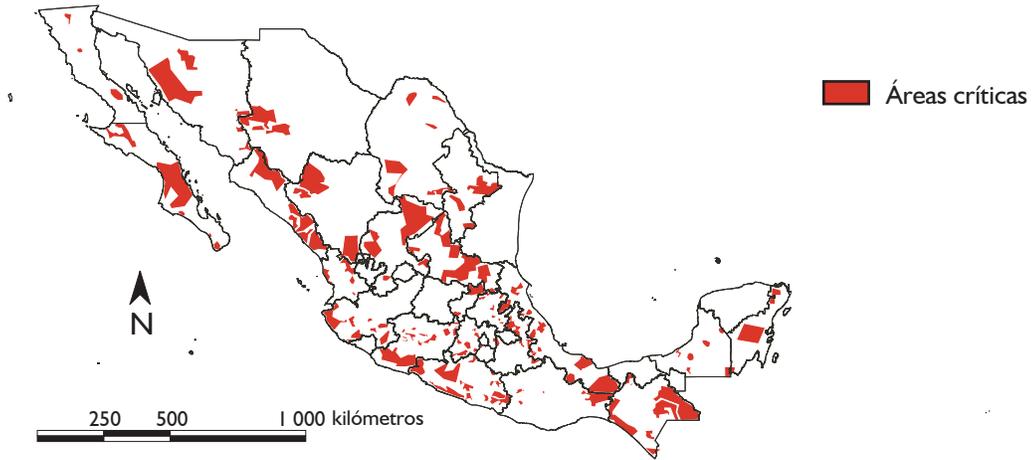
Las Áreas naturales protegidas (ANP) han sido el instrumento de política ambiental con mayor definición jurídica para la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad. Su evolución y características se describen ampliamente en el capítulo de **biodiversidad** de este informe. Sin

embargo, vale la pena señalar aquí que, con objeto de que se reconozca debidamente el valor de los servicios ambientales que proveen las áreas naturales protegidas, en 2001 se reformó la Ley Federal de Derechos para dar cabida al cobro por el uso, usufructo, y explotación en dichas áreas para financiar la conservación de los recursos biológicos. A partir de 2003, las áreas protegidas con infraestructura y capacidad administrativa para cobrar cuotas de entrada ya no están obligadas a transferir esos recursos a la Secretaría de Hacienda sino que podrán utilizarlos para promover el ecoturismo y otras actividades, que generan ingresos a los pobladores desmotivando así la destrucción y/o degradación de las comunidades naturales que ahí se encuentran.

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) inspecciona periódicamente algunas zonas consideradas como prioritarias para evitar la deforestación. Las zonas prioritarias incluyen a las áreas naturales protegidas, las zonas donde hay aprovechamientos forestales autorizados y aquellas zonas críticas donde la destrucción de la vegetación natural ha alcanzado tasas muy altas (Mapa 2.12). La Profepa a partir de 2001 realiza más de 6 mil inspecciones forestales en las áreas prioritarias (Figura 2.25).

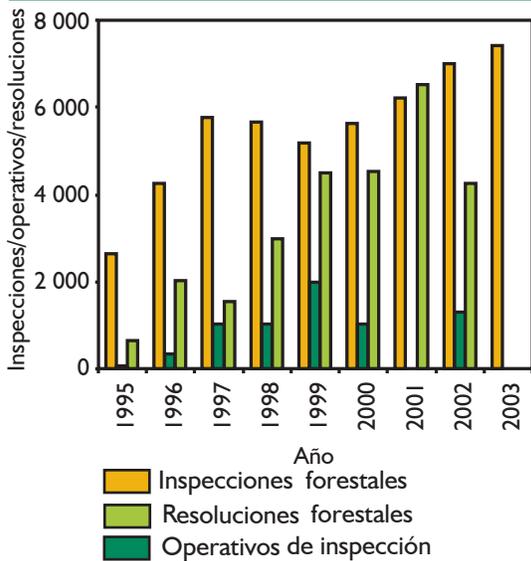
Otro frente de lucha contra la destrucción de la cobertura vegetal del país es el Programa para la Prevención y Combate de Incendios Forestales. Sus acciones incluyen la prevención, el pronóstico y el combate directo. Entre las prácticas de prevención se cuentan brechas cortafuego, quemas prescritas, educación ambiental y acciones legales. Para el pronóstico de incendios se cuenta con el apoyo del Servicio Meteorológico Nacional, que proporciona información sobre sequías y altas temperaturas. Mediante un acuerdo con el Ministerio de Recursos Naturales de Canadá se administra el Sistema de Información de Incendios Forestales de México. Por este medio se genera un índice de riesgo de incendios basado en datos meteorológicos, la cantidad de materia combustible y la topografía, entre otros criterios. A partir de esta información se genera una representación cartográfica que señala los puntos donde se pueden presentar incendios más severos. La detección de incendios en curso

**Mapa 2.12 Áreas críticas forestales sujetas a procesos de deforestación, 2001**



**Fuente:**  
Profepa. *Áreas Críticas*. Procuraduría Federal del Protección al Ambiente (Ed.). México. 2001.

**Figura 2.25 Inspecciones, operativos y resoluciones forestales, 1995-2003**

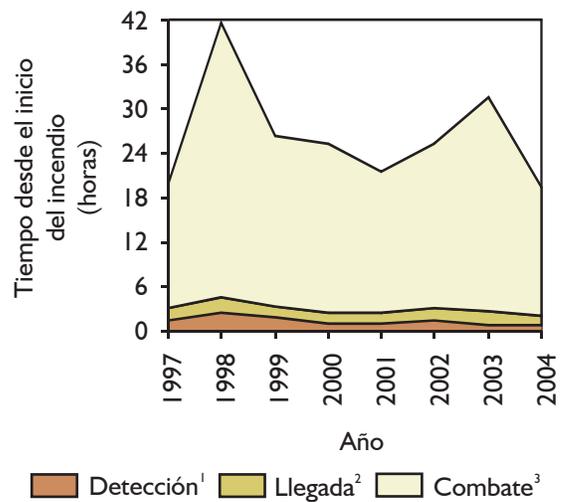


**Fuentes:**  
Profepa. *Informe 1995-2000*. México. 2001.  
Profepa. *Informe Anual. Años 2001, 2002 y 2003*. México 2002, 2003 y 2004.

tiene lugar mediante avistamientos desde torres, aviones, o vehículos terrestres. La Universidad de Colima y la Conabio monitorean constantemente vía satélite los “puntos de calor” del territorio, que son zonas donde tienen lugar los incendios. Todo esto permite acudir lo antes posible a los sitios afectados para combatir el fuego. Este programa

ha permitido reducir la duración promedio de los incendios forestales (Figura 2.26, Mapa 2.13).

**Figura 2.26 Duración promedio de los incendios forestales en México, 1997-2004**

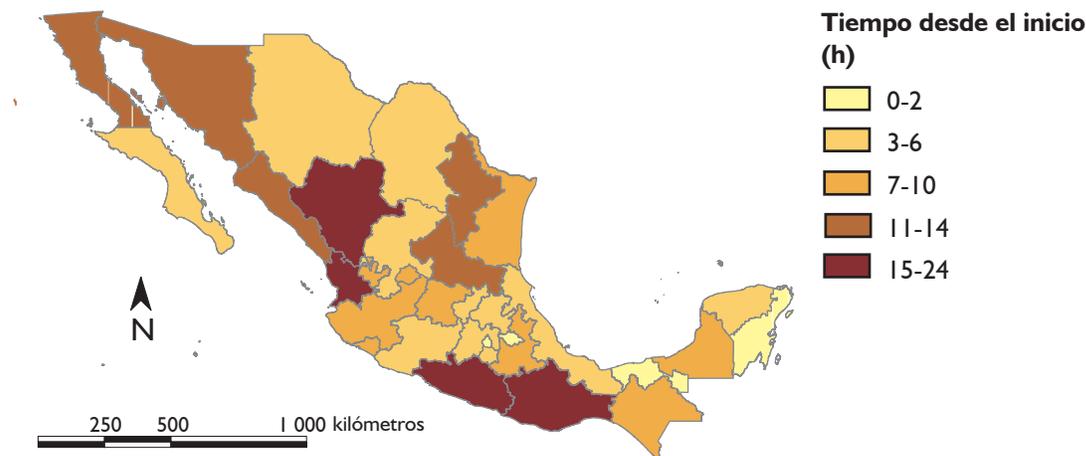


**Notas:**

- <sup>1</sup>Lapso estimado transcurrido entre el inicio del incendio y el momento en el que fue reportado.
- <sup>2</sup> Lapso en el que fueron movilizadas las brigadas e iniciaron el combate al incendio.
- <sup>3</sup> Tiempo en el que se realizó el combate, lográndose su control o eliminación.

**Fuente:**  
Semarnat, Conafor. México. 2005.

**Mapa 2.13 Tiempo transcurrido desde el inicio de un incendio hasta su extinción por entidad federativa, 2004**



Fuente:  
Semarnat-Conafor. México. 2005.

## Referencias

Cemda-Céspedes. *Deforestación en México: causas económicas incidencias en el comercio internacional en la Deforestación*. México. 2002.

Challenger, A. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*. Conabio-IB UNAM-Sierra Madre. México. 1998.

FAO. *Global Forest Resources Assessment 2005*. FAO. Roma. 2005.

INEGI. *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie I*. México.

INEGI. *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie II*. México.

INEGI. *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie III*. México.

Lambin, E. F., X. Baulies, N. Bockstael, G. Fischer, T. Krug, R. Leemans, E. F. Moran, R. R. Rindfuss, Y. Sato, D. Skole, B.L. Turner II y C. Vogel. *Land use and land*

*cover change implementation strategy*. IGBP report 48 IHDP report 10. Estocolmo, Suecia. 1999.

López-Portillo, J., J. M. Keyes, A. González, E. Cabrera y O. Sánchez. Los incendios de Quintana Roo: ¿Catástrofe ecológica o evento periódico? *Ciencia y Desarrollo* 16: 43-57. 1990.

Page, S. E., F. Siegert, J. O. Rieley, H. D. V. Boehm, A. Limin y S. Limin. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature* 420: 61-65. 2002.

PNUMA. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial 2002 GEO-3*. España. 2002.

Reid, W. V., H. A. Money, A. Cropper, D. Capistrano, S. R. Carpenter, K. Chopra, P. Dasgupta, T. Dietz, A. K. Duraiappah, R. Hassan, R. Karperson, R. Leemans, R. M. May, T.(A. J.) McMichael, P. Pingali, C. Samper, R. Scholes, R. T. Watson, A. H. Zakri, Z. Shidong, N. J. Ash, E. Bennett, P. Kummar, M. J. Lee, C. Raudsepp-Hearne, H. Simons, J. Thonell y M. B. Zurek. *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio:*



*Informe de Síntesis. 2004.*

Sagarpa, Comisión Técnica Consultiva de Coeficientes de Agostadero. México. 2004.

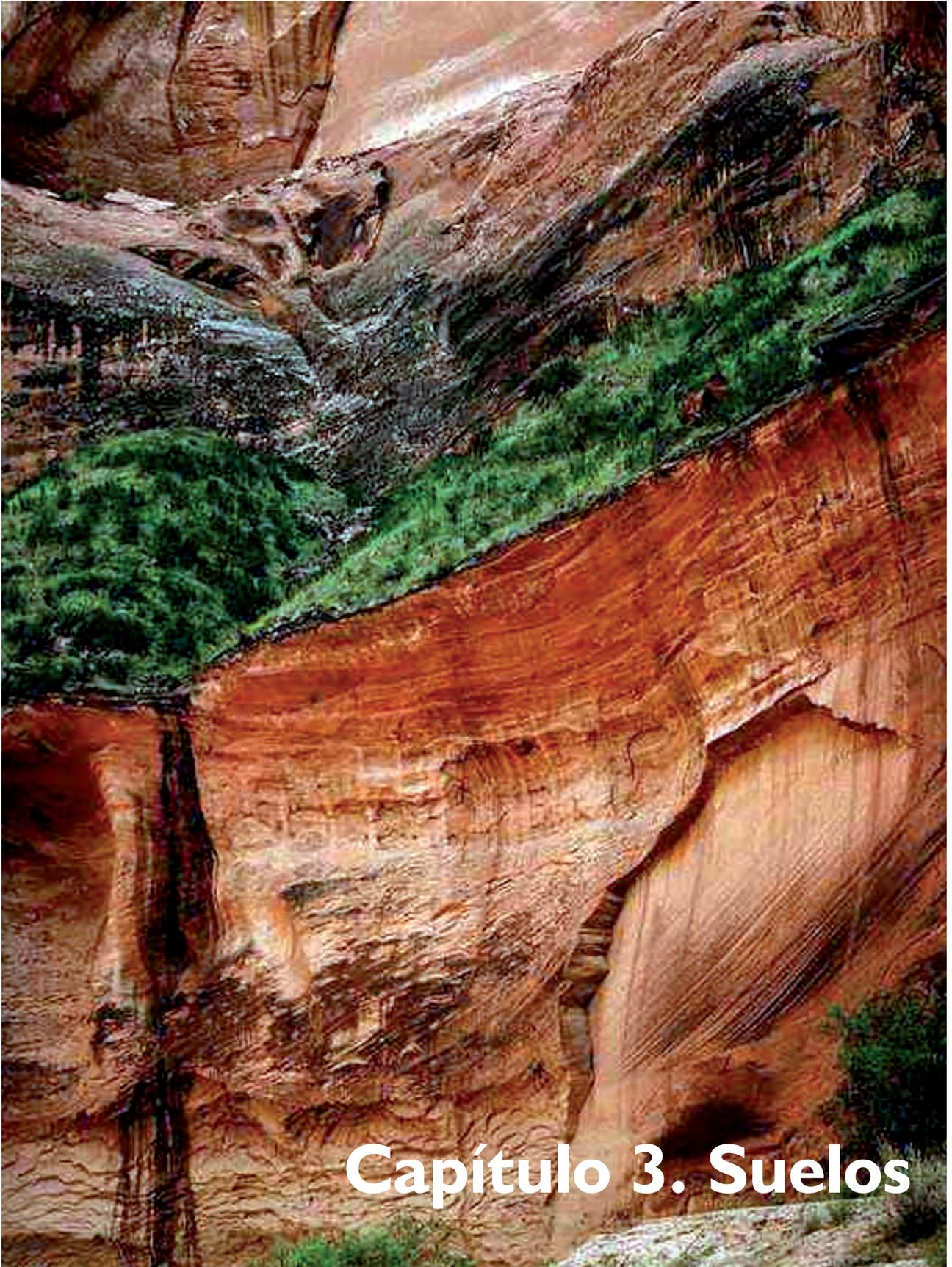
SARH. Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994. México. 1994.

Semarnat. *Inventario Forestal Nacional 2000. México. 2001.*

Semarnat, Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, a escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.*

Velázquez, A., J. F. Mas, G. Bocco y E. Ezcurra. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica* 62: 21-37. 2002.





# Capítulo 3. Suelos

## Capítulo 3. Suelos



El territorio que hoy es México ha sufrido una compleja historia geológica. Áreas considerables del territorio nacional emergieron del fondo oceánico, como casi todo el oriente del país; mientras que otras han sido conformadas, en gran medida, por la actividad volcánica, como el cinturón de volcanes que corre de Colima hacia el centro de Veracruz, así como la península de Baja California que ahora lentamente se separa del resto del territorio. En nuestro país coexisten rocas que datan de millones de años con suelos que no han cumplido una decena de años.

Producto de esta historia geológica es la alta diversidad de rocas, con características y orígenes distintos, que han interactuado de formas diferentes con el agua, el clima y la biota que habita en su región, dando como resultado una capa superficial muy importante para la vida conocida como suelo (véase **¿Qué es el suelo?**).

Hasta hace poco tiempo la protección del suelo no era considerada un asunto de mucha importancia. Sin embargo, recientemente se ha tomado conciencia del papel de este recurso y de las intensas presiones a las que se ha visto sometido. En 1992, durante la cumbre de Río, los países participantes, incluyendo México, firmaron una serie de declaraciones relacionadas con la protección del suelo; poco tiempo después, en 1994, se formó la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD, por sus siglas en inglés), que tiene entre sus objetivos evitar y reducir la degradación del suelo, rehabilitar terrenos parcialmente degradados y recuperar tierras desertificadas. Estas acciones

son, sin duda, un reconocimiento a la estrecha relación entre la degradación del suelo con otros problemas ambientales relevantes como la pérdida de la biodiversidad y el cambio climático.

En México se han derivado 25 de las 30 unidades de suelos reconocidas por la FAO/UNESCO/ISRIC en 1988. Sin embargo, la mayor parte del territorio nacional está dominado por cinco unidades: leptosoles (24% del territorio), regosoles (18.5%), calcisoles (18.2%), feozems (9.7%) y vertisoles (8.3%) (Figura 3.1, Cuadro D3 SUELO01 01).

Los leptosoles (del griego *leptos*, delgado) se caracterizan por su escasa profundidad (menor a 25 cm). Una proporción importante de estos suelos se clasifica como leptosoles líticos, con una profundidad de 10 centímetros o menos. Otro componente destacado de este grupo son los leptosoles réndzicos, que se desarrollan sobre rocas calizas y son muy ricos en materia orgánica. En algunos casos son excelentes para la producción agrícola, pero en otros pueden resultar muy poco útiles ya que su escasa profundidad los vuelve muy áridos y el calcio que contienen puede llegar a inmovilizar los nutrientes minerales. Los leptosoles son comunes en la Sierra Madre Oriental, la Occidental y la del Sur, así como en la vasta extensión del Desierto Chihuahuense (Mapa 3.1). En las montañas, también se encuentran los leptosoles, debido a que las pendientes y la consecuente erosión imponen una restricción a la formación del suelo, mientras que en los desiertos, la escasez de agua ocasiona una formación lenta del suelo. Los leptosoles dominan también la península de Yucatán, un territorio que

## ¿Qué es el suelo?

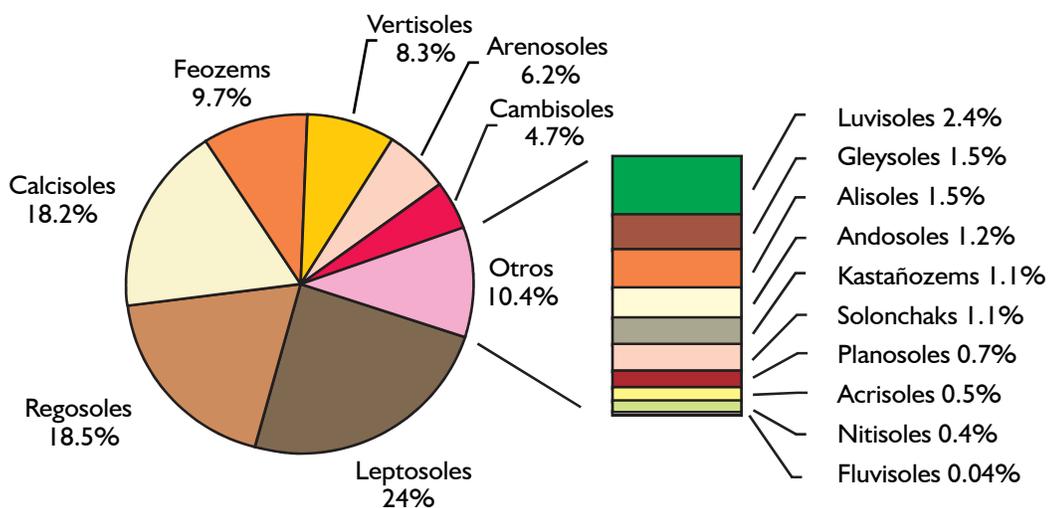
El suelo es la parte exterior de la corteza terrestre en donde las rocas se han desintegrado por efecto del intemperismo, formando una cubierta en la que vive una microbiota, una flora y una fauna microbianas que, actuando en conjunto, transforman materia mineral en alimento de las plantas, para que puedan ser utilizadas posteriormente por los animales y los seres humanos. El suelo está constituido por una capa más o menos gruesa de material fragmentario no consolidado que se conoce con el nombre de "regolita" y que se apoya en la roca subyacente. El suelo, junto con el agua en forma de lluvia o corrientes, permite el establecimiento de las actividades forestales, ganaderas y agrícolas. Así, el suelo es el resultado de

la interacción del clima, la roca madre, el drenaje, la topografía, los microorganismos y la vegetación a lo largo del tiempo. La calidad del suelo se refiere a su capacidad para sostener la productividad vegetal y animal, así como mantener o mejorar la calidad del aire y agua. Su importancia radica en su naturaleza no renovable en los tiempos de vida humana; en promedio el suelo tarda en formarse de 100 a 400 años por centímetro de cubierta fértil, a través de la interacción del clima, la topografía, organismos (plantas, animales y el hombre) y minerales (Doran, 1996).

**Fuente:**

Doran, J. W. Methods for assessing soil quality. En: J.W. Doran and Alice J. Jones (Eds.). SSSA Special Publ. 49. Soil Science Society of America Inc. Madison, WI. 1996.

**Figura 3.1 Superficie nacional cubierta por las principales unidades de suelos**



**Fuente:**

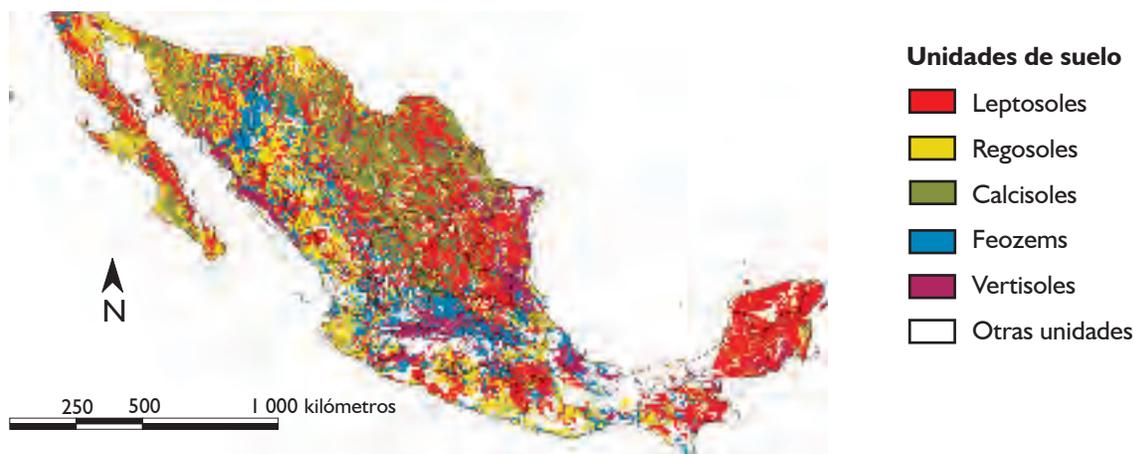
Elaboración propia con datos de: Semarnat. *Inventario Nacional de Suelos 2002*. México. 2002.

emergió del fondo oceánico en fecha relativamente reciente, por lo que sus suelos no han tenido tiempo suficiente para desarrollarse.

Los regosoles (del griego *reghos*, manto) son suelos muy jóvenes, generalmente resultado del depósito reciente de roca y arena acarreadas por

el agua; de ahí que se encuentren sobre todo en sierras, donde son acumulados por los ríos que descienden de la montaña cargados de sedimentos. Las extensiones más vastas de estos suelos en el país se localizan cercanas a la Sierra Madre Occidental y del Sur (Mapa 3.1). Las variantes más comunes en el territorio, los regosoles éutricos y calcáricos,

Mapa 3.1 Principales unidades de suelo en México



Fuente:

Elaboración propia con datos de: INEGI. *Edafología de la República Mexicana*, escala 1: 250 000. México, 2004.

se caracterizan por estar recubiertos por una capa conocida como «ócrica» que, al ser retirada la vegetación, se vuelve dura y costrosa impidiendo la penetración de agua hacia el subsuelo, lo que se vuelve un factor adverso para el establecimiento de las plantas. Esta combinación (poca cubierta vegetal y dificultad de penetración del agua al suelo) favorece la escorrentía superficial y con ello la erosión.

Los calcisoles (del latín *calx*, cal) se distinguen por presentar una capa dura de «caliche» (véase **Los suelos someros**) a menos de un metro de profundidad, una gran cantidad de calcio y, a menudo, una capa ócrica, características que los convierten en suelos secos e infértiles. Los calcisoles se desarrollan bajo climas áridos, por lo que se les encuentra fundamentalmente en el Desierto Chihuahuense (Mapa 3.1).

Los feozems (del griego *phaios*, oscuro y del ruso *zemlja*, suelo) son, a diferencia de los anteriores, muy fértiles y aptos para el cultivo, si bien son sumamente proclives a la erosión. Con frecuencia son suelos profundos y ricos en materia orgánica. Se desarrollan sobre todo en climas templados y húmedos, por lo que se encuentran recubriendo el Eje Neovolcánico Transversal y porciones de la Sierra Madre Occidental (Mapa 3.1).

Finalmente, los vertisoles (del latín *vertere*, invertir) son suelos sumamente arcillosos que se desarrollan en climas de subhúmedos a secos. Al igual que los feozems, son profundos, muy duros cuando están secos y lodosos al mojarse (debido a su alto contenido de arcillas), por lo que resulta difícil trabajarlos. Aunque no se consideran suelos fértiles, con prácticas tecnológicas adecuadas e insumos mantienen cultivos con alta productividad. No es coincidencia que algunas de las zonas consideradas «graneros», como el Bajío o Sinaloa, cuenten con grandes extensiones de vertisoles (Mapa 3.1).

Feozems y vertisoles representan el 18% de los suelos del país. Otros, como los cambisoles, arenosoles, luvisoles, andosoles o kastañozems (Figura 3.1) son igualmente adecuados para su explotación agrícola, aunque algunos se erosionan con facilidad (**Cuadro D3 SUELO01 01**). En total representan alrededor del tercio restante de la superficie nacional. En el **Cuadro D3 SUELO01 02** se desglosa la cobertura de suelos por entidad federativa.

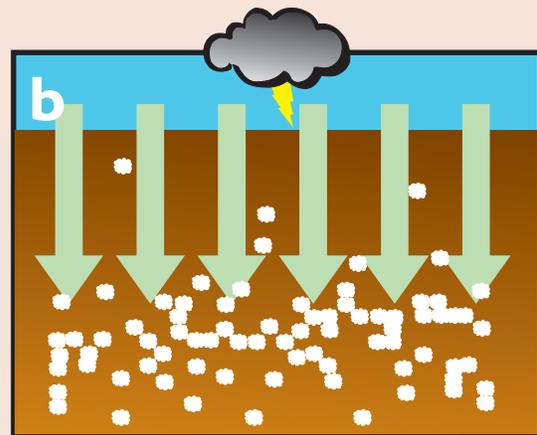
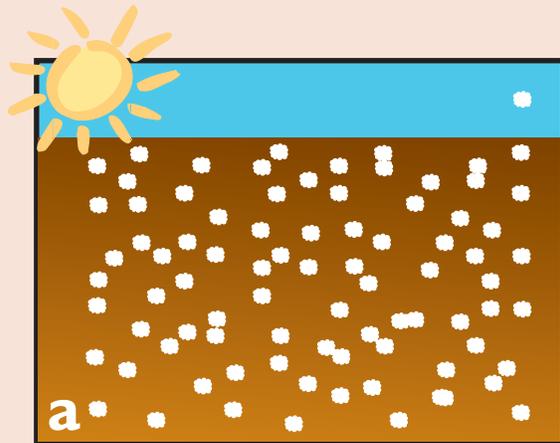
Existe una clara asociación entre el suelo y la vegetación. Los calcisoles y arenosoles están restringidos prácticamente a las zonas áridas y semiáridas, cubiertas por matorrales y pastizales.

## Los suelos someros

La mayor parte de los suelos de México son poco profundos, lo cual trae consigo numerosos problemas. Entre ellos, el agua que permanece cerca de la superficie se evapora rápidamente, lo que provoca que los leptosoles y otros suelos que tienen la roca madre a escasa profundidad impongan condiciones de aridez a las plantas, aun cuando el régimen de lluvia sea abundante. Un ejemplo de ello es el Pedregal de San Ángel, en el Distrito Federal, un derrame volcánico cubierto por escaso suelo. A pesar de que la precipitación es suficiente para mantener un bosque, la zona apenas soporta una vegetación de aspecto desértico. Por otro lado, cuando llueve, los suelos delgados se saturan rápidamente, de tal modo que el agua que no puede infiltrarse comienza a correr por la superficie, erosionándola. El suelo se vuelve cada vez más somero, más árido y más erosionable. Si a esto agregamos que muchos suelos de montaña son poco profundos y que su declive natural acelera la velocidad de los escurrimientos, es fácil darse cuenta que se trata de sistemas muy frágiles.

Los suelos, especialmente en las zonas áridas, pueden desarrollar un horizonte petrocálcico o «caliche». Cuando los suelos son jóvenes (**Figura a**), las sustancias que lo conforman suelen estar dispersas en todo su perfil. Éste puede ser el caso del calcio, representado en la figura por los puntos blancos. Cuando llueve, parte del calcio es acarreado por el agua que lo deposita en zonas más profundas (**Figura b**). Con el paso del tiempo se forma una zona, u horizonte, rica en calcio. Este elemento puede entonces reaccionar químicamente para producir carbonato de calcio, el cual se cementa firmemente formando una estrato más o menos continuo que asemeja a una roca: el

caliche (en blanco, **Figura c**). Esta capa es impermeable y frecuentemente se localiza a unos pocos centímetros de la superficie del suelo. Esta característica es típica de los calcisoles y de varios tipos de leptosoles.





Los feozems y andosoles son típicos de los bosques y pastizales templados. Los gleysoles y los alisoles son más frecuentes en las zonas cálidas y húmedas cubiertas por selvas (Figura 3.2).

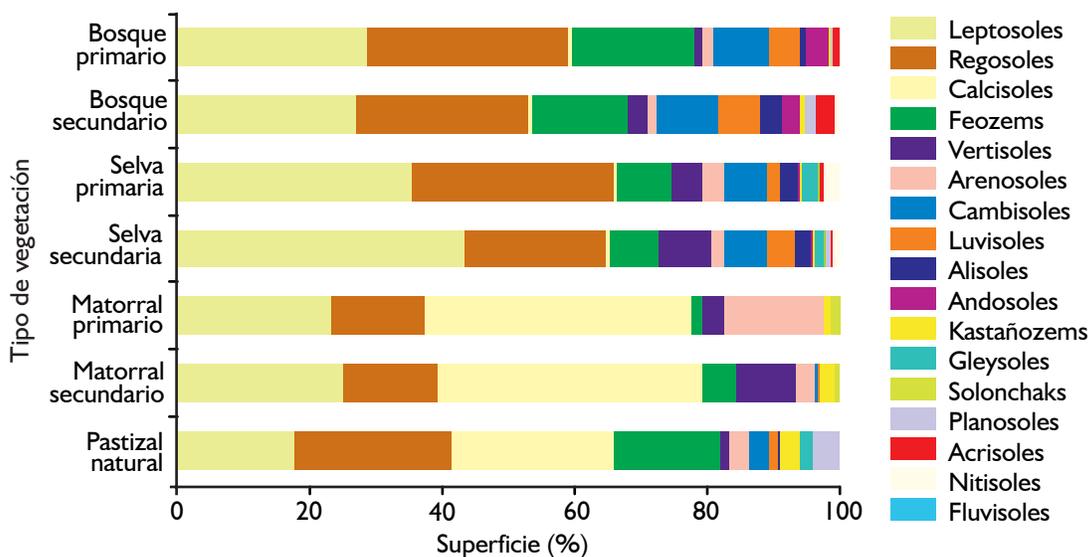
La frecuencia con la que se dan los cambios de uso de suelo depende del tipo de sustrato y del uso futuro que se le dará al terreno. La proporción de feozems, vertisoles o cambisoles empleados en la agricultura es superior a la media nacional para otros suelos, mientras que los leptosoles, regosoles y calcisoles son utilizados con menor frecuencia. Sin embargo, no siempre ocurre así, también es evidente el efecto de las dinámicas y características regionales. Por ejemplo, en el norte del país las condiciones de aridez hacen más común el uso del riego para los cultivos y, en consecuencia, los calcisoles son aprovechados de manera asidua en la agricultura de riego. En las selvas del golfo y sureste se han inducido extensos potreros, por lo que los gleysoles y alisoles son más comunes bajo la forma de pastizales inducidos de lo que es la media nacional (Figura 3.3). Dentro de los suelos cultivados hay una variabilidad considerable en

términos de su fertilidad. Mientras que Sinaloa es el estado con los suelos más fértiles del país, Tlaxcala tiene suelos muy pobres (su índice de fertilidad es la séptima parte que el sinaloense) (Mapa 3.2), aunque paradójicamente es el estado con mayor porcentaje de superficie cultivada en el país.

### Degradación de los suelos

El suelo es considerado un recurso natural frágil y no renovable, debido a que resulta difícil y costoso recuperarlo o, incluso, mejorar sus propiedades después de haber sido erosionado por las fuerzas abrasivas del agua y el viento o deteriorado física o químicamente. El suelo realiza un gran número de funciones clave tanto ambientales como económicas, sociales y culturales que son esenciales para la vida. Es indispensable para la producción de alimentos y el crecimiento vegetal, almacena minerales, materia orgánica, agua y otras sustancias químicas y participa en su transformación; sirve de filtro natural para las aguas subterráneas; es hábitat de una gran cantidad de organismos; proporciona materias primas para la construcción (arcilla, arenas, minerales, etc.) y es un elemento del paisaje y del patrimonio cultural.

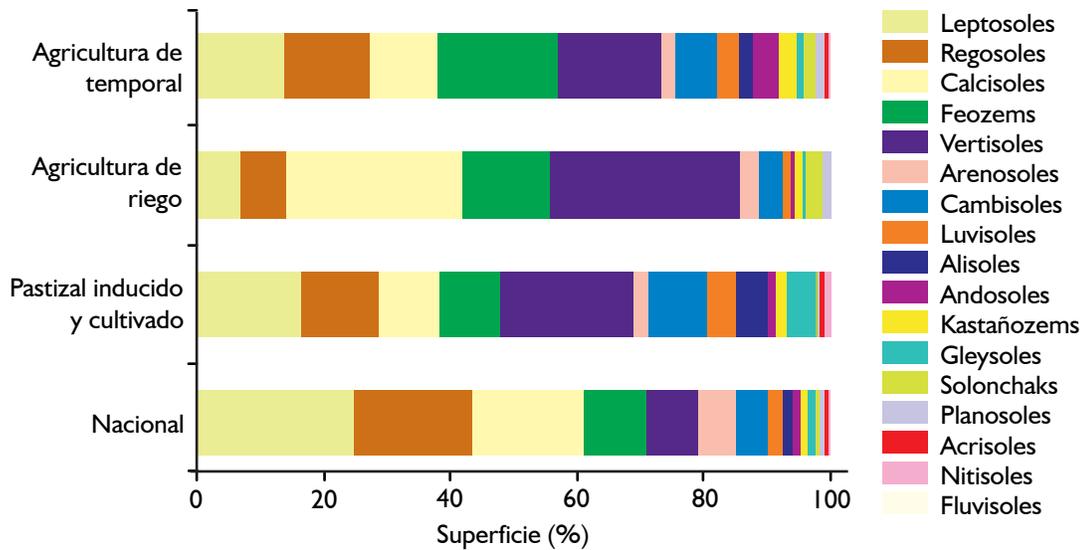
**Figura 3.2 Suelos asociados a los diferentes tipos de vegetación presentes en México**



Fuente: Elaboración propia con datos de: Semarnat. *Inventario Nacional de Suelos 2002*. México. 2002.

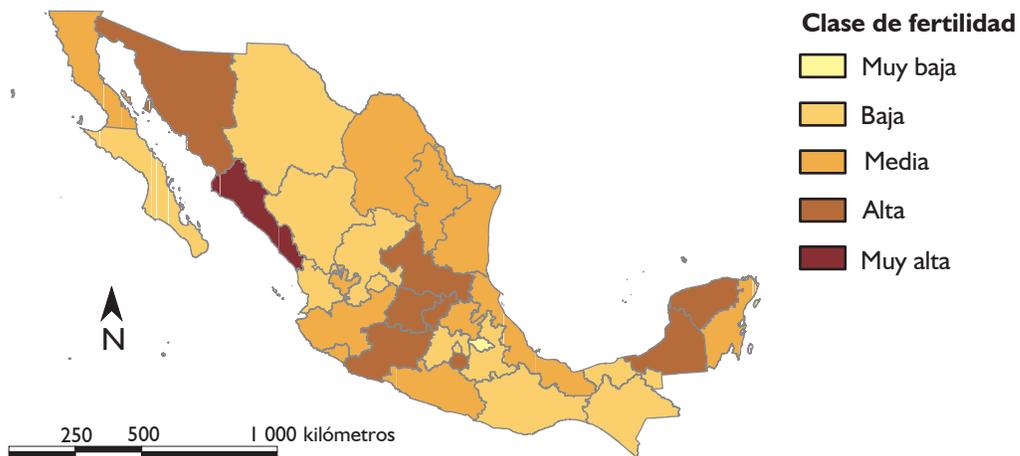


**Figura 3.3 Suelos con uso agropecuario según unidades de suelo en México**



Fuente: Elaboración propia con datos de: Semarnat. *Inventario Nacional de Suelos 2002*. México. 2002.

**Mapa 3.2 Fertilidad de suelos agrícolas por entidad federativa, 1996**



Fuente: Ojeda, D. y E. Ojeda T. *Suelos cultivados de la República Mexicana, contenido medio de nutrientes minerales aprovechables*. UACH. México. 1996.

La creciente demanda de alimentos para una población en crecimiento con patrones de consumo más intensos, constituye una enorme fuente de presión tanto sobre los ecosistemas naturales (para ser transformados en terrenos agrícolas o pecuarios), como sobre las tierras ya destinadas a

estas actividades productivas, lo que favorece el deterioro del suelo.

La degradación de los suelos se refiere básicamente a los procesos desencadenados por las actividades humanas que reducen su capacidad

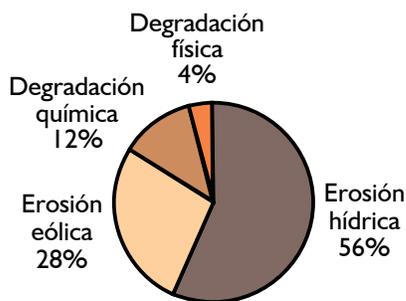


actual y/o futura para sostener ecosistemas naturales o manejados, para mantener o mejorar la calidad del aire y agua, y para preservar la salud humana. Se estima que alrededor de 2 mil millones de hectáreas (15% de la superficie terrestre) en el mundo sufren algún tipo de degradación edáfica.

La erosión provocada por el agua es la forma más común de degradación del suelo en el mundo (Figura 3.4). Cada año los ríos acarrean al océano más de 24 mil millones de toneladas de tierra cultivable; si se juntara todo el suelo que ha sido arrastrado por la erosión hídrica en el mundo en los últimos 20 años, equivaldría a toda la capa de suelo cultivable de los terrenos agrícolas de Estados Unidos. Las causas más frecuentes de dicha degradación son el sobrepastoreo, la deforestación y las malas prácticas agrícolas (Figura 3.5, PNUMA-Earthscan, 2002). Por lo general, la degradación de suelos es más severa en los países en vías de desarrollo, aunque algunos de los más prósperos también enfrentan graves problemas.

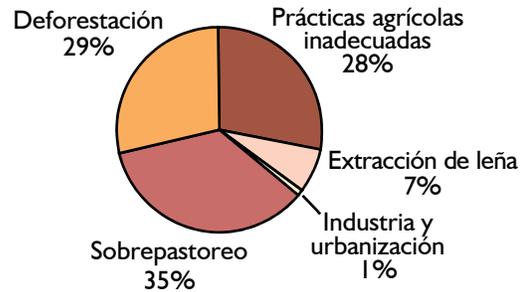
Las primeras estimaciones de la magnitud de la degradación de los suelos del país se remontan a mediados de los 1940's. Los primeros trabajos se enfocaron sólo a estimar la erosión, utilizaron métodos heterogéneos, con insuficiente trabajo de campo y, por tanto, llevaron a resultados muy divergentes. Los esfuerzos más recientes

**Figura 3.4 Principales procesos de la degradación de suelos en el mundo, 1994**



**Fuente:** Elaboración propia con datos de: GACGC. *World in transition: the threat to soils*. Annual report. Economica Verlag. Bonn. 1994.

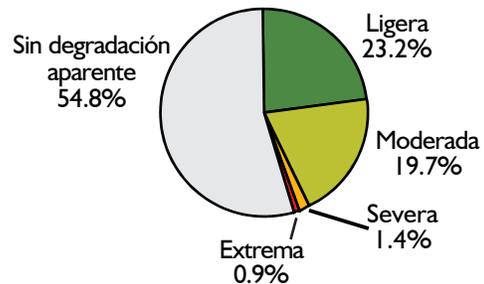
**Figura 3.5 Principales causas de degradación de suelos en el mundo, 1994**



**Fuente:** Elaboración propia con datos de: GACGC. *World in transition: the threat to soils*. Annual report. Economica Verlag. Bonn. 1994.

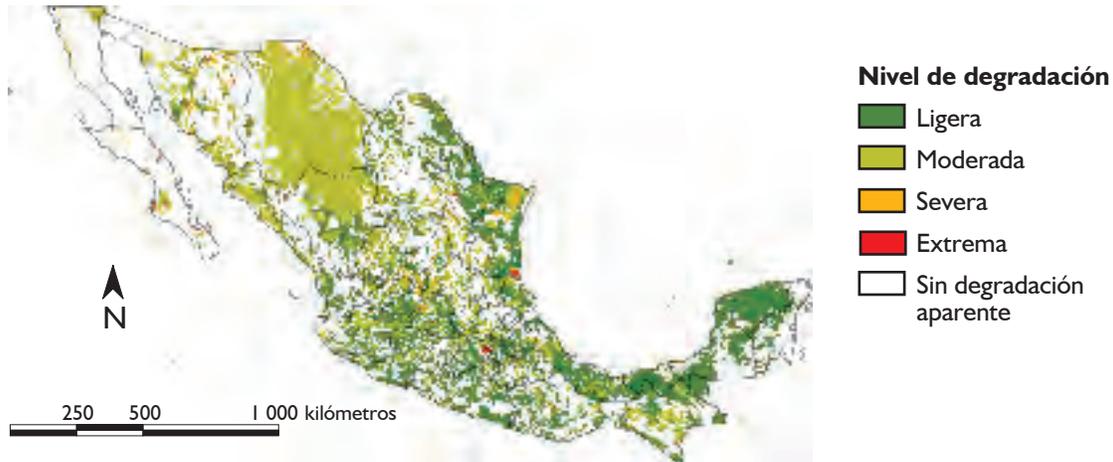
comenzaron en los 1990's y han incluido no sólo la erosión sino también los varios procesos, particularmente aquellos relacionados con las actividades humanas, que conducen a la degradación del suelo. En 1997, la Semarnap produjo una carta escala 1:4 000 000 como resultado de la Evaluación Nacional de Degradación de Suelos. Esa carta fue luego utilizada como la base para obtener una evaluación más detallada (a escala 1:1 000 000) en 1999, que mostró que el 64% de los suelos del país estaban afectados por varios tipos y niveles

**Figura 3.6 Degradación de suelos según nivel en México, 2002**



**Fuente:** Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

### Mapa 3.3 Degradación de suelos en México según nivel, 2002



**Fuente:** Elaboración propia con datos de: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

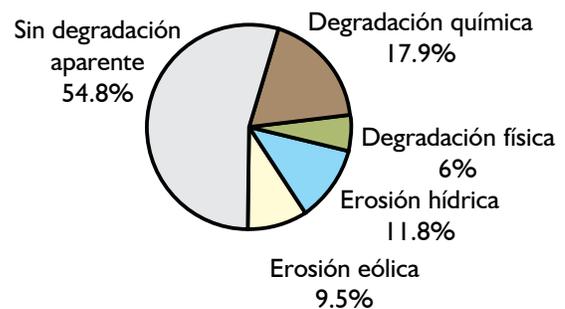
de degradación y que sólo el 23% del país estaba ocupado por suelos que, de manera estable, sostenían actividades productivas, sin degradación aparente.

Aunque la evaluación de 1999 aportó información muy valiosa, su pequeña escala la hacía inadecuada para la toma de decisiones y para diseñar programas de manejo o de restauración de suelos. Por esta razón, en 2001-2002, y como parte del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, la Semarnat comisionó la realización de una evaluación exhaustiva y más detallada (escala 1:250 000) de la degradación de los suelos inducida por el hombre.

Esta más reciente evaluación muestra que los suelos afectados por algún tipo de degradación<sup>1</sup> representan 45% de la superficie total del país; de esta superficie 5% presenta un deterioro severo o extremo y 95% queda ubicado dentro de los márgenes de ligero a moderado (Figura 3.6; Mapa 3.3).

En la degradación de suelos se reconocen dos procesos: 1) el que implica el desplazamiento del material del suelo, que tiene como agente causal a la erosión hídrica y la eólica y 2) el que se refleja en un detrimento de la calidad del suelo, tal como la degradación química y la biológica.

### Figura 3.7 Principales procesos de degradación de suelos en México, 2002

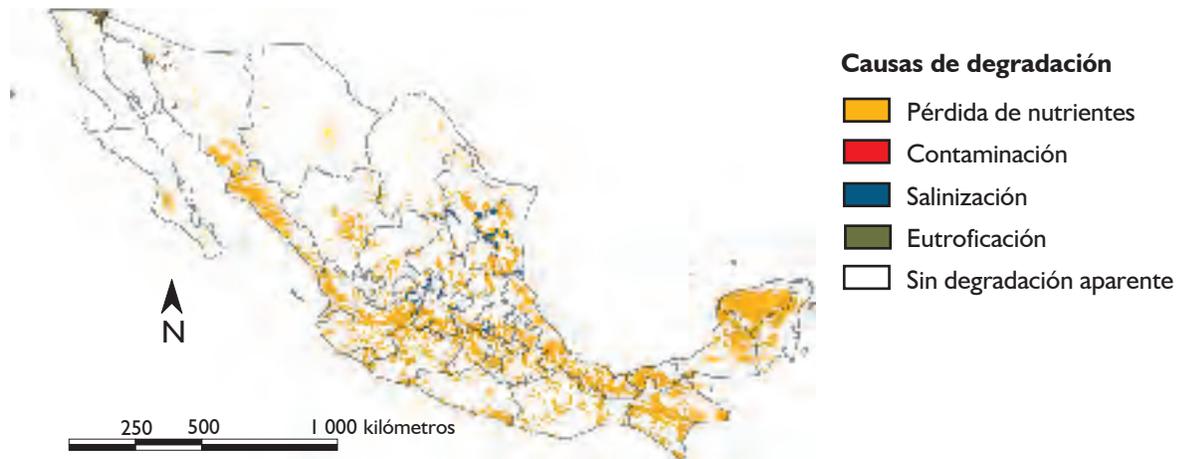


**Fuente:** Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

Los principales procesos causales de la degradación de los suelos en México son la degradación química, la erosión hídrica y la eólica, responsables en conjunto del 87% de la superficie afectada, con 34.9, 23 y 18.5 millones de hectáreas, respectivamente (Figura 3.7).

<sup>1</sup>El nivel de degradación se evalúa en términos de la productividad biológica de los terrenos: 1) Ligero: terrenos aptos para sistemas forestales, pecuarios y agrícolas locales con alguna reducción apenas perceptible en su productividad; 2) Moderado: terrenos que presentan una marcada reducción en su productividad; 3) Severo: los terrenos a nivel de predio o de granja con una productividad irrecuperable a menos que se realicen proyectos de restauración y 4) Extremo: su productividad es irrecuperable y su restauración materialmente imposible.

Mapa 3.4 Causas de la degradación química de suelos en México, 2002



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

La degradación química del suelo está muy asociada a la intensificación de la agricultura en los últimos años. En prácticamente todos los suelos del país que muestran degradación química ésta se debe a la reducción de su fertilidad por pérdida de nutrientes. La península de Yucatán y amplias zonas de las planicies de Sinaloa y Tabasco muestran de manera importante este tipo de degradación (Mapa 3.4). Otros procesos que llevan a la degradación química son la contaminación y la salinización. La primera, en muchos casos, es debida a la presencia de sustancias extrañas en el suelo provenientes de tiraderos de basura, derrames, residuos industriales y deposición de compuestos acidificantes. La acumulación de sales en el suelo se presenta principalmente en las zonas áridas, las cuencas cerradas y las costas que tienen suelos naturalmente salinos (Mapa 3.4). El riego, ya sea que utilice agua de mantos acuíferos o aguas tratadas, puede agravar la salinidad cuando tiene concentraciones altas de elementos como el sodio. También un riego excesivo puede elevar el manto freático, formando salitre en la superficie. Los terrenos con drenaje deficiente y/o alta evaporación son particularmente susceptibles a este problema. La salinización puede convertirse en un problema severo, ya que la mayoría de las plantas reducen su desempeño en suelos salinos, lo que abate los rendimientos de las cosechas.

La erosión hídrica es el desprendimiento de las partículas del suelo bajo la acción del agua, dejándolo desprotegido y alterando su capacidad de infiltración, lo que propicia el escurrimiento superficial. Este tipo de erosión presenta dos modalidades, la primera con pérdida de la capa superficial, que ocurre cuando el agua fluye en forma más o menos homogénea por una zona arrastrando la capa superior del suelo – que es la que contiene más nutrientes y materia orgánica –, reduciendo su fertilidad. La segunda se presenta cuando el flujo del agua se concentra en un cauce donde la erosión es más rápida, de modo que va abriendo una zanja cada vez más profunda, conocida como “cárcava”, en cuyo caso se dice que hay deformación del terreno. Las zonas afectadas por erosión hídrica alcanzan el 11.8% del territorio nacional (Tabla 3.1). Este tipo de erosión tiene lugar sobre todo en las zonas montañosas (ver **Zonas frágiles** dentro de este capítulo). Una excepción notable es la península de Baja California, que no muestra señales de erosión hídrica pesar de contar con importantes montañas (Mapa 3.5). Los estados que presentan una mayor proporción de su superficie afectada por este tipo de erosión son: Guerrero (31.5%), Michoacán (26.5%) y el Estado de México (24.7%). En contraste, los estados que no mostraron efectos de la erosión hídrica son: Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

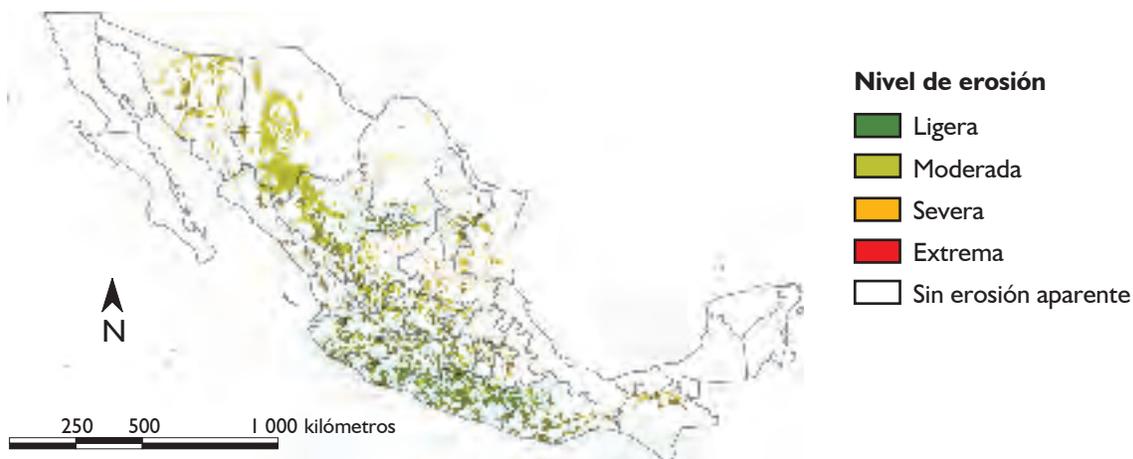
**Tabla 3.1 Erosión hídrica actual por entidad federativa, 2002**

Entidad federativa	Erosión hídrica actual					
	Deformación del terreno		Pérdida del suelo superficial		Superficie estatal afectada	
	Superficie (ha)	Proporción (%)	Superficie (ha)	Proporción (%)	Superficie (ha)	Proporción (%)
Aguascalientes	20 465	3.68	112 505	20.21	132 971	23.88
Baja California	3 136	0.04	4 203	0.06	7 339	0.10
Baja California Sur	1 065	0.02	1 188	0.02	2 253	0.03
Campeche	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Chiapas	42 903	0.58	325 862	4.43	368 764	5.01
Chihuahua	35 428	0.14	2 925 502	11.84	2 960 930	11.99
Coahuila	109 326	0.73	497 143	3.30	606 468	4.03
Colima	5 811	1.04	113 461	20.32	119 273	21.36
Distrito Federal	752	0.51	16 259	11.01	17 010	11.52
Durango	208 898	1.71	2 611 398	21.38	2 820 297	23.09
Guanajuato	105 375	3.47	605 018	19.94	710 394	23.41
Guerrero	351 919	5.53	1 652 607	25.99	2 004 527	31.53
Hidalgo	10 938	0.53	121 750	5.89	132 688	6.41
Jalisco	183 615	2.35	1 736 571	22.27	1 920 186	24.62
México	160 306	7.22	388 710	17.50	549 017	24.72
Michoacán	245 194	4.20	1 303 496	22.34	1 548 691	26.54
Morelos	12 506	2.57	52 028	10.67	64 534	13.24
Nayarit	5 052	0.18	486 318	17.57	491 369	17.76
Nuevo León	103 224	1.62	568 464	8.94	671 688	10.56
Oaxaca	232 105	2.51	1 443 216	15.60	1 675 321	18.11
Puebla	106 379	3.12	233 962	6.86	340 341	9.99
Querétaro	11 614	1.00	151 591	13.12	163 205	14.12
Quintana Roo	0	0.00	0	0.00	0	0.00
San Luis Potosí	80 292	1.33	355 451	5.87	435 743	7.20
Sinaloa	42 172	0.77	827 323	15.06	869 495	15.82
Sonora	162 450	0.90	2 157 706	11.96	2 320 156	12.86
Tabasco	592	0.02	56 559	2.30	57 151	2.33
Tamaulipas	120 321	1.56	498 290	6.47	618 611	8.03
Tlaxcala	21 239	5.35	51 461	12.96	72 701	18.31
Veracruz	2 933	0.04	57 381	0.81	60 314	0.85
Yucatán	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Zacatecas	290 611	3.89	760 137	10.19	1 050 748	14.08
<b>Nacional</b>	<b>2 676 622</b>	<b>1.38</b>	<b>20 115 562</b>	<b>10.38</b>	<b>22 792 184</b>	<b>11.77</b>

**Fuente:**

Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

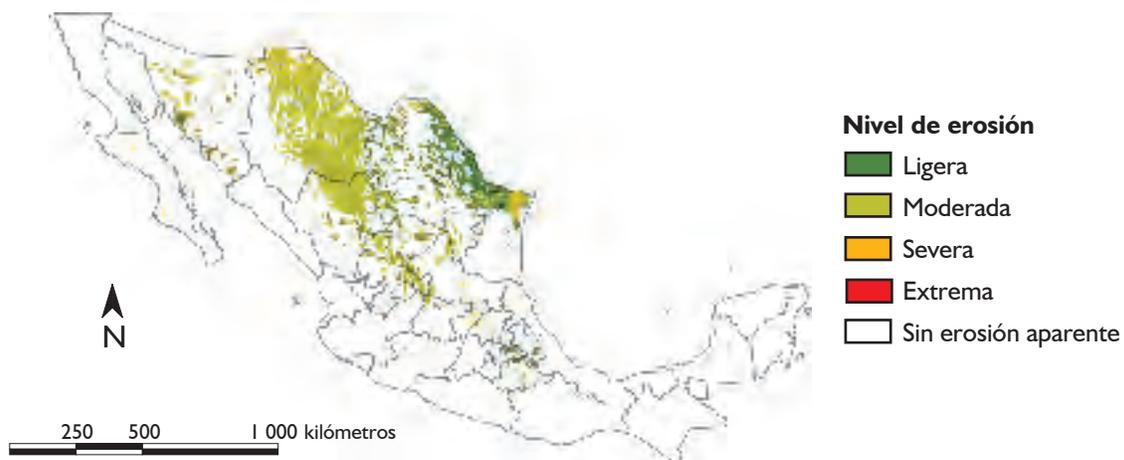
**Mapa 3.5 Erosión hídrica de suelos según nivel en México, 2002**



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

**Mapa 3.6 Erosión eólica de suelos según nivel en México, 2002**



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

Cuando el viento es el agente que provoca la erosión, ésta se conoce como erosión eólica y afecta poco más del 9% del territorio nacional (17.6 millones de hectáreas). Los estados con la mayor proporción superficial afectada son: Tlaxcala (26.1%), Chihuahua (25.9%) y Nuevo León (18.87%) (Tabla 3.2). Los estados que no registran este tipo de erosión son: Campeche, Chiapas y

Tabasco. Este tipo de erosión se presenta sobre todo en las zonas secas del norte del país, aunque se encuentran también pequeñas áreas dispersas a lo largo de todo el territorio nacional (Mapa 3.6), es nula o indetectable en aquellos lugares con abundante vegetación y donde la velocidad del viento es muy baja, como en una gran porción del estado de Chiapas, hacia las áreas selváticas de la península

**Tabla 3.2 Erosión eólica actual por entidad federativa, 2002**

Entidad federativa	Erosión eólica actual					
	Deformación del terreno		Pérdida del suelo superficial		Superficie estatal afectada	
	Superficie (ha)	Proporción (%)	Superficie (ha)	Proporción (%)	Superficie (ha)	Proporción (%)
Aguascalientes	0	0.00	69 350	12.45	69 350	12.45
Baja California	0	0.00	20 371	0.28	20 371	0.28
Baja California Sur	0	0.00	84 334	1.22	84 334	1.22
Campeche	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Chiapas	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Chihuahua	0	0.00	6 401 006	25.91	6 401 006	25.91
Coahuila	30 013	0.20	2 052 245	13.64	2 082 258	13.84
Colima	0	0.00	15 523	2.78	15 523	2.78
Distrito Federal	0	0.00	2 283	1.55	2 283	1.55
Durango	470	0.00	2 113 867	17.31	2 114 337	17.31
Guanajuato	0	0.00	247 150	8.14	247 150	8.14
Guerrero	0	0.00	54 803	0.86	54 803	0.86
Hidalgo	2 536	0.12	111 764	5.40	114 301	5.53
Jalisco	0	0.00	209 082	2.68	209 082	2.68
México	0	0.00	106 964	4.82	106 964	4.82
Michoacán	0	0.00	187 491	3.21	187 491	3.21
Morelos	0	0.00	21 865	4.49	21 865	4.49
Nayarit	0	0.00	10 160	0.37	10 160	0.37
Nuevo León	0	0.00	1 200 395	18.87	1 200 395	18.87
Oaxaca	0	0.00	44 719	0.48	44 719	0.48
Puebla	43 805	1.29	289 448	8.49	333 252	9.78
Querétaro	0	0.00	83 801	7.25	83 801	7.25
Quintana Roo	0	0.00	0	0.00	0	0.00
San Luis Potosí	0	0.00	454 523	7.51	454 523	7.51
Sinaloa	2 732	0.05	23 459	0.43	26 191	0.48
Sonora	1	0.00	1 284 953	7.12	1 284 954	7.12
Tabasco	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Tamaulipas	0	0.00	1 045 691	13.58	1 045 691	13.58
Tlaxcala	0	0.00	103 742	26.13	103 742	26.13
Veracruz	0	0.00	48 863	0.69	48 863	0.69
Yucatán	0	0.00	0	0.00		.00
Zacatecas	4 950	0.07	1 205 734	16.16	1 210 685	16.22
<b>Nacional</b>	<b>84 507</b>	<b>0.04</b>	<b>17 493 587</b>	<b>9.03</b>	<b>17 578 094</b>	<b>9.07</b>

**Fuente:**

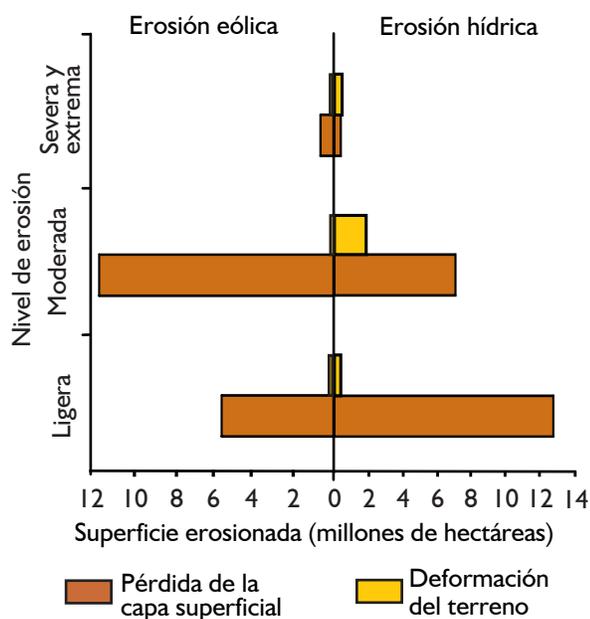
Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

de Yucatán, en una franja desde los Chimalapas en Chiapas hasta la región de la Huasteca Potosina, en la región de El Cielo en Tamaulipas y la Sierra de Nayarit principalmente.

Para la erosión eólica se reconocen las mismas dos

modalidades que para la erosión hídrica: pérdida de la capa superficial y deformación del terreno (cuando se forman dunas). Sin embargo, la deformación por viento no es un problema extendido en México (85 mil hectáreas), mientras que la que está asociada al agua comprende más de 2 millones de hectáreas. En

**Figura 3.8 Erosión hídrica y eólica de suelos en México, 2002**



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

el caso de la deformación por viento, predomina la ligera (Figura 3.8). La movilidad del sustrato es muy alta en las cárcavas y en las dunas, por lo que las pocas plantas que llegan a germinar en estas condiciones son arrastradas junto con el suelo cuando aún son pequeñas, lo que favorece que no se desarrolle vegetación que pueda retener el terreno y, con ello, frenar la degradación.

Por último, la degradación física se refiere principalmente a la pérdida de la capacidad del sustrato para absorber y almacenar agua. Esto ocurre cuando el suelo se compacta (por ejemplo, por el tránsito de vehículos o animales), se endurece (encostramiento) o es recubierto (urbanización). Aunque este tipo de degradación no afecta grandes extensiones del país, si es importante debido a su alto impacto, ya que es un proceso prácticamente irreversible. La superficie afectada deriva en la pérdida de la función productiva de estos terrenos.

## Evaluación de la erosión potencial en México

En el 2002 la Semarnat comisionó también la realización de una Evaluación de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica y Eólica en la República Mexicana (escala 1:1 000 000), con objeto de identificar los riesgos de erosión, y su magnitud, en el país. Para estimar la erosión potencial se utilizaron dos ecuaciones propuestas por la FAO: la ecuación universal de pérdida de suelo RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation, por sus siglas en inglés) para la erosión hídrica y la ecuación de erosión eólica WEE (Wind Erosion Equation, por sus siglas en inglés) para el otro caso. Es importante recalcar que este estudio busca evaluar la magnitud de la erosión que, potencialmente, podría ocurrir en un lugar y, por tanto, sus resultados no son comparables con los del estudio de degradación del suelo al que se hace mención en el presente trabajo (ver *Degradación de los suelos*).

De acuerdo con esta evaluación, a nivel nacional la superficie con riesgos de pérdida de suelo por erosión potencial hídrica es del 42%. A nivel estatal, 15 estados de la República presentan más del 50% de su superficie sin riesgo aparente de erosión hídrica, siendo los menos afectados Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Tabasco y Baja California Sur (Tabla 3.3). Los restantes 17 estados presentan riesgos de erosión potencial hídrica en más del 50% de su superficie, destacan entre ellos: Guerrero, Puebla, Morelos, Oaxaca y el Estado de México.

Los estados que presentan una mayor superficie donde la erosión potencial hídrica sería potencialmente muy severa (superior a 200 ton/ha/año) son Puebla (13.3%), Hidalgo y Chiapas (ambos con 10.6%), Distrito Federal (10.3%) y México (9.9%). La erosión hídrica potencialmente severa (entre 50 y 200 ton/ha/año) ocurriría en grandes áreas de los estados de Guerrero (22.1%), Oaxaca (20.7%), México (18.5%) y Chiapas (17.3%). Riesgos de erosión hídrica moderada (entre 10 y 50 ton/ha/año) se presentan en los estados de Tlaxcala (40.1%), Guerrero (37.4%), Aguascalientes (37.1%), Nayarit y Morelos (ambos con 35.5%).

**Tabla 3.3 Erosión hídrica potencial de suelos según nivel por entidad federativa, 2002**

Entidad federativa	Superficie (miles de hectáreas) y proporción (%)					
	Sin erosión aparente	Con erosión <sup>1</sup> hídrica potencial				Total
		Ligera	Moderada	Severa	Muy severa	
Aguascalientes	173 (32.87)	106 (20.17)	196 (37.09)	46 (8.73)	6 (1.14)	354 (67.13)
Baja California	5 605 (78.38)	697 (9.75)	739 (10.34)	104 (1.46)	5 (0.07)	1 546 (21.62)
Baja California Sur	5 891 (79.67)	539 (7.29)	764 (10.33)	189 (2.55)	12 (0.17)	1 504 (20.33)
Campeche	5 587 (97.97)	57 (1)	51 (0.89)	7 (0.13)	1 (0.02)	116 (2.03)
Coahuila	10 274 (68.21)	1 501 (9.97)	2317 (15.38)	825 (5.48)	145 (0.96)	4 787 (31.79)
Colima	196 (35.91)	75 (13.68)	172 (31.53)	70 (12.76)	33 (6.13)	350 (64.09)
Chiapas	2 701 (36.69)	714 (9.7)	1897 (25.76)	1 270 (17.25)	781 (10.6)	4 662 (63.31)
Chihuahua	16 009 (65.09)	2 881 (11.71)	4485 (18.23)	1 053 (4.28)	169 (0.69)	8 588 (34.91)
Distrito Federal	82 (53.89)	14 (9.49)	19 (12.49)	21 (13.79)	16 (10.34)	70 (46.11)
Durango	5 734 (46.7)	1 744 (14.2)	3575 (29.11)	1 089 (8.87)	137 (1.12)	6 545 (53.3)
Guanajuato	1 404 (45.24)	541 (17.43)	874 (28.17)	247 (7.96)	37 (1.2)	1 699 (54.76)
Guerrero	1 341 (20.7)	703 (10.85)	2424 (37.42)	1 430 (22.06)	581 (8.97)	5 138 (79.3)
Hidalgo	543 (26.29)	277 (13.41)	699 (33.82)	328 (15.86)	220 (10.63)	1 523 (73.71)
Jalisco	2 558 (32.34)	1 232 (15.57)	2772 (35.05)	1 071 (13.54)	276 (3.49)	5 351 (67.66)
México	562 (26.26)	273 (12.73)	698 (32.6)	397 (18.52)	212 (9.89)	1 579 (73.74)
Michoacán	1 796 (30.66)	858 (14.65)	1996 (34.07)	893 (15.24)	315 (5.37)	4 062 (69.34)
Morelos	123 (24.82)	66 (13.3)	176 (35.45)	85 (17.15)	46 (9.28)	373 (75.18)
Nayarit	889 (32.79)	374 (13.8)	962 (35.5)	380 (14.01)	106 (3.9)	1 822 (67.21)
Nuevo León	4 337 (66.99)	672 (10.38)	1061 (16.39)	326 (5.03)	78 (1.21)	2 137 (33.01)
Oaxaca	2 365 (25.39)	1 069 (11.47)	3113 (33.42)	1 926 (20.68)	842 (9.04)	6 949 (74.61)
Puebla	800 (23.42)	429 (12.55)	1113 (32.59)	619 (18.12)	455 (13.31)	2 616 (76.58)
Querétaro	431 (35.55)	195 (16.12)	411 (33.95)	133 (11)	41 (3.38)	781 (64.45)
Quintana Roo	3 875 (98.84)	19 (0.49)	23 (0.58)	3 (0.07)	1 (0.02)	46 (1.16)
San Luis Potosí	3 401 (53.33)	1 064 (16.68)	1483 (23.25)	338 (5.3)	92 (1.44)	2 977 (46.67)
Sinaloa	3 292 (56.41)	664 (11.37)	1342 (23)	432 (7.4)	106 (1.82)	2 544 (43.59)
Sonora	13 082 (72.43)	1 853 (10.26)	2481 (13.74)	581 (3.22)	63 (0.35)	4 979 (27.57)
Tabasco	2 254 (91.59)	86 (3.5)	82 (3.35)	28 (1.14)	10 (0.42)	207 (8.41)
Tamaulipas	6 221 (78.07)	683 (8.58)	822 (10.32)	203 (2.55)	39 (0.49)	1 748 (21.93)
Tlaxcala	108 (26.66)	69 (17.04)	163 (40.14)	54 (13.3)	12 (2.85)	297 (73.34)
Veracruz	3 894 (54.08)	656 (9.11)	1407 (19.54)	728 (10.11)	516 (7.16)	3 306 (45.92)
Yucatán	4 344 (99.7)	10 (0.23)	3 (0.06)	1 (0.01)	(0)	13 (0.3)
Zacatecas	3 692 (50.01)	1 329 (18.01)	1810 (24.52)	468 (6.33)	84 (1.13)	3 691 (49.99)
<b>Nacional</b>	<b>113 567 (58.0)</b>	<b>21 451 (10.9)</b>	<b>40 130 (20.5)</b>	<b>15 343 (7.8)</b>	<b>5 434 (2.8)</b>	<b>82 358 (42.0)</b>

<sup>1</sup>La pérdida de suelo por erosión se expresa en toneladas de suelo por unidad de superficie (hectáreas) en un determinado tiempo (normalmente un año): Sin degradación aparente 0 - 5 ton/ha/año, Ligera 5 - 10 ton/ha/año, Moderada 10 - 50 ton/ha/año, Alta 50 - 200 ton/ha/año, Muy alta > 200 ton/ha/año.

**Fuente:**

Semarnat-UACH. *Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1:1000 000.* México, 2002.

Finalmente, riesgos de erosión ligera (entre 5 y 10 ton/ha/año) se presentan en Aguascalientes (20.2%), Zacatecas (18%), Guanajuato (17.4%), Tlaxcala (17%) y San Luis Potosí (16.7%).

Los riesgos de pérdida de suelo por erosión potencial eólica se presentan en 89% del territorio

nacional, particularmente en la franja norte del país desde Zacatecas hasta el Norte de Chihuahua; asimismo, cubre la porción costera y el Desierto Sonorense, la costa del Golfo de California y la costa del Pacífico en Baja California Sur. Con excepción de los estados de Chiapas y el Distrito Federal, en el resto se presenta algún riesgo de erosión eólica

**Tabla 3.4 Erosión eólica potencial de suelos según nivel por entidad federativa, 2002**

Entidad federativa	Superficie (miles de hectáreas) y proporción (%)					
	Sin erosión aparente	Con erosión <sup>1</sup> eólica potencial				Total
		Ligera	Moderada	Severa	Muy severa	
Aguascalientes	0 (0)	40 (7.54)	131 (24.76)	344 (65.26)	13 (2.44)	527 (100)
Baja California	0 (0)	0 (0)	993 (13.89)	4 485 (62.72)	1 673 (23.39)	7 151 (100)
Baja California Sur	0 (0)	0 (0)	1 054 (14.26)	4 127 (55.81)	2 214 (29.93)	7 395 (100)
Campeche	1 923 (33.71)	386 (6.77)	1 886 (33.06)	1 509 (26.46)	0 (0)	3 781 (66.29)
Coahuila	0 (0)	0 (0)	1 798 (11.94)	8 911 (59.16)	4 352 (28.9)	15 062 (100)
Colima	99 (18.12)	19 (3.49)	238 (43.63)	190 (34.75)	0 (0)	448 (81.88)
Chiapas	5 202 (70.65)	362 (4.91)	1 556 (21.14)	243 (3.3)	0 (0)	2 161 (29.35)
Chihuahua	17 (0.07)	853 (3.47)	4 867 (19.79)	10 505 (42.71)	8 354 (33.96)	24 580 (99.93)
Distrito Federal	119 (78.16)	8 (5.01)	26 (16.83)	0 (0)	0 (0)	33 (21.84)
Durango	21 (0.17)	1 692 (13.78)	4 145 (33.75)	4 562 (37.16)	1 860 (15.14)	12 258 (99.83)
Guanajuato	218 (7.04)	346 (11.15)	2 440 (78.64)	98 (3.17)	0 (0)	2 885 (92.96)
Guerrero	220 (3.39)	533 (8.23)	2 363 (36.47)	3 158 (48.75)	205 (3.16)	6 259 (96.61)
Hidalgo	588 (28.44)	62 (2.98)	986 (47.69)	431 (20.88)	0 (0)	1 479 (71.56)
Jalisco	616 (7.79)	1 011 (12.79)	4 888 (61.81)	842 (10.65)	550 (6.96)	7 292 (92.21)
México	585 (27.29)	459 (21.44)	1 033 (48.23)	65 (3.04)	0 (0)	1 557 (72.71)
Michoacán	493 (8.41)	626 (10.68)	2 677 (45.69)	1 885 (32.17)	178 (3.05)	5 366 (91.59)
Morelos	65 (13.12)	6 (1.25)	370 (74.52)	55 (11.11)	0 (0)	431 (86.88)
Nayarit	703 (25.92)	624 (23.02)	1 382 (50.98)	2 (0.08)	0 (0)	2 008 (74.08)
Nuevo León	29 (0.45)	0 (0)	1 636 (25.26)	4 579 (70.73)	230 (3.55)	6 445 (99.55)
Oaxaca	1 947 (20.9)	958 (10.29)	3 490 (37.47)	2 342 (25.14)	578 (6.2)	7 368 (79.1)
Puebla	796 (23.3)	357 (10.46)	1 005 (29.42)	1 200 (35.14)	57 (1.68)	2 620 (76.7)
Querétaro	393 (32.47)	57 (4.68)	749 (61.82)	12 (1.03)	0 (0)	818 (67.53)
Quintana Roo	1 602 (40.88)	1 020 (26.01)	1 297 (33.1)	1 (0.02)	0 (0)	2 318 (59.12)
San Luis Potosí	305 (4.78)	134 (2.1)	1 575 (24.7)	2 501 (39.21)	1 863 (29.21)	6 073 (95.223)
Sinaloa	378 (6.48)	931 (15.96)	4 192 (71.84)	276 (4.72)	58 (1)	5 458 (93.52)
Sonora	0 (0)	4 (0.02)	3 457 (19.14)	6 381 (35.33)	8 218 (45.5)	18 061 (100)
Tabasco	570 (23.15)	323 (13.14)	1 297 (52.69)	271 (11.02)	0 (0)	1 891 (76.85)
Tamaulipas	1 357 (17.02)	292 (3.66)	3 008 (37.74)	2 629 (32.99)	684 (8.58)	6 612 (82.98)
Tlaxcala	116 (28.71)	115 (28.32)	63 (15.54)	111 (27.43)	0 (0)	289 (71.29)
Veracruz	1 836 (25.49)	820 (11.39)	2 490 (34.59)	2 055 (28.54)	0 (0)	5 365 (74.51)
Yucatán	1 384 (31.75)	715 (16.4)	2 010 (46.12)	250 (5.73)	0 (0)	2 974 (68.25)
Zacatecas	24 (0.33)	20 (0.27)	982 (13.3)	1 839 (24.91)	4 518 (61.19)	7 359 (99.67)
<b>Nacional</b>	<b>21 604 (11.0)</b>	<b>12 771 (6.5)</b>	<b>60 084 (30.7)</b>	<b>65 861 (33.6)</b>	<b>35 604 (18.2)</b>	<b>174 321 (89.0)</b>

<sup>1</sup>La pérdida de suelo por erosión se expresa en toneladas de suelo por unidad de superficie (hectáreas) en un determinado tiempo (normalmente un año): Sin degradación aparente 0 - 5 ton/ha/año, Ligera 5 - 10 ton/ha/año, Moderada 10 - 50 ton/ha/año, Alta 50 - 200 ton/ha/año, Muy alta > 200 ton/ha/año.

**Fuente:**

Semarnat-UACH. *Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1:1000 000.* México. 2002.

en más del 60% de sus superficies. Los estados de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Coahuila y Sonora presentan afectaciones de prácticamente 100% (Tabla 3.4). Los estados que

presentan una mayor superficie donde la erosión eólica sería potencialmente muy severa (superior a 200 ton/ha/año) son Zacatecas (61.2%), Sonora (45.5%), Chihuahua (34%), Baja California Sur



(29.9%), San Luis Potosí (29.2%), Coahuila (28.9%) y Baja California (23.4%). Erosión eólica potencialmente severa (entre 50 y 200 ton/ha/año) se presentaría en grandes áreas de los estados de Nuevo León (70.7%), Aguascalientes (65.3%), Baja California (62.7%), Coahuila (59.2%) y Baja California Sur (55.8%). Riesgos de erosión eólica moderada (entre 10 y 50 ton/ha/año) se presentan en los estados de Guanajuato (78.6%), Morelos (74.5%), Sinaloa (71.8%), Querétaro y Jalisco (ambos con 61.8%). Finalmente, riesgos de erosión ligera (entre 5 y 10 ton/ha/año) se presentan en los estados de Tlaxcala (28.3%), Quintana Roo (26.0%), Nayarit (23%), México (21.4%) y Yucatán (16.4%) (Tabla 3.4).

### Zonas frágiles

Por su importancia biológica y por las amenazas que se ciernen sobre ellas, las zonas secas y las de

montaña fueron explícitamente reconocidas como ecosistemas frágiles en la Agenda 21, adoptada en la Cumbre de la Tierra de 1992. Ambos sistemas están representados ampliamente en México.

### Las montañas: un patrimonio común

Las montañas proporcionan recursos vitales para el desarrollo social y económico mundial, suministran productos y servicios ambientales esenciales tanto a nivel local como regional, tales como provisión de agua dulce, riego, energía hidroeléctrica, control de inundaciones, conservación de la diversidad biológica y turismo (Tabla 3.5). Los declives y desniveles son zonas de alta energía capaces de ser aprovechadas por el hombre, por ejemplo, mediante plantas hidroeléctricas, pero también pueden representar riesgos y causar desastres como deslaves o erosión rampante. En las montañas se presentan variaciones climáticas y de vegetación importantes a lo largo de

**Tabla 3.5 Numeralia montañesa en el mundo**

Dato	Cifra
Agua dulce disponible en las zonas áridas que procede de las montañas	70-95%
Agua dulce disponible en las zonas húmedas que procede de las montañas	30-60%
Agua dulce que tiene su origen en las montañas	80%
Altura que se requiere ascender para observar una variación climática equivalente a la que se observa tras recorrer 100 km de terreno plano	100 m
Años que se requieren para destruir la capa arable del suelo cuando el declive del terreno es del 25%	10
Áreas de alto endemismo de aves que se presentan en montañas	131 de 247
Bosques cerrados en zonas de montaña	28% del total mundial
Cultivos principales que fueron domesticados en montañas	6 de 20 (el maíz entre ellos)
Especies vegetales y animales en la Sierra Nevada de California	10 a 15 mil
Población mundial que depende del agua de las montañas	Más de la mitad
Ríos importantes que nacen en zonas de montaña	Todos
Superficie terrestre en zonas de montaña	24%

**Fuentes:**

- The Panos Institute. *High Stakes: The future of mountain societies*. Londres. 2002.
- FAO. *Año Internacional de las montañas*. Roma. 2000.
- FAO. *Todos somos gente de montaña*. S/F.
- Denniston, D. Overview: People and mountains. *People and planet* 5: 1-3. 1996.



pocos kilómetros siguiendo el gradiente altitudinal. Por lo general, las alturas de las cordilleras son áridas, aunque también los ecosistemas más lluviosos del planeta se encuentran en zonas montañosas. Las sierras más elevadas tienen climas muy fríos, por lo que los procesos biológicos son más lentos, situación que debe tomarse en cuenta al extraer recursos como leña o provocar deterioro del suelo, ya que la recuperación de este ecosistema es lenta o, incluso, irreversible; también los desastres naturales como terremotos, erupciones volcánicas o avalanchas, son más frecuentes en las cordilleras que en las tierras bajas. Lo anterior es sólo una muestra de las muchas razones que hacen que las montañas sean consideradas como ecosistemas frágiles.

La explotación inadecuada de los recursos naturales inevitablemente conduce a la degradación de los ecosistemas montañosos; en estas circunstancias, los beneficiarios (empresas y comunidades) y la gente que habita estos sitios enfrentan los altos costos de la degradación. A medida que se remueve la vegetación y se secan los acuíferos y pozos, se reduce la sostenibilidad de los embalses para generar energía hidroeléctrica y sostener el riego. Las escorrentías agrícolas afectan negativamente la calidad del agua ocasionando que el abasto a la población e industrias que lo requieren se vea seriamente comprometido. En las cadenas montañosas deforestadas, las inundaciones pueden volverse incontrolables después de abundantes lluvias. México, como muchos otros países, ha sufrido de este tipo de catástrofes, cuyos daños están valuados en muchos millones de pesos.

Debido al gran número de microambientes que se encuentran en las cordilleras, diferentes porciones de una misma sierra son el hábitat de especies biológicamente distintas. El aislamiento en el que viven estas especies ha promovido que muchas sean endémicas de regiones muy pequeñas. Los pueblos que habitan las montañas son comunidades que durante siglos han logrado aprovechar los recursos de las diferentes regiones y, en ocasiones, han desarrollado técnicas muy sofisticadas para poder explotar esos frágiles ecosistemas durante largos periodos.

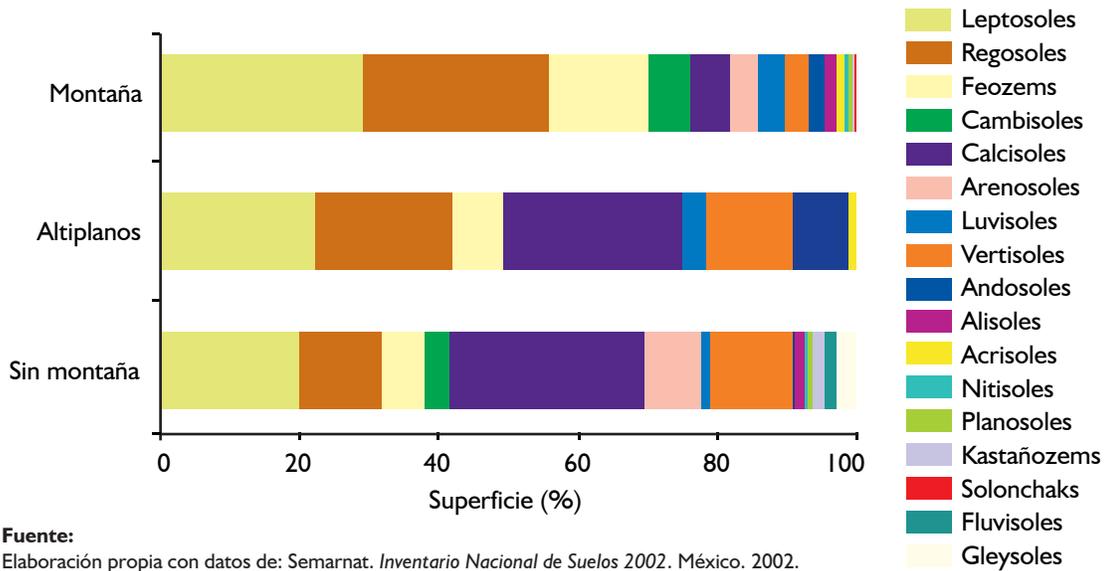
Las cordilleras poseen una infinidad de recursos. La construcción de obras de infraestructura como carreteras, túneles y puentes ha permitido que diferentes sociedades tengan acceso a inmensos almacenes de madera, agua (son la fuente de captación de agua más importante del planeta), electricidad, minerales (la mayor parte de las minas del mundo están en montes) y alimentos indispensables para su desarrollo (Denniston, 1996; FAO 2000; The Panos Institute, 2002).

En México, las montañas<sup>2</sup> cubren aproximadamente la mitad del territorio (cerca de 92 millones de hectáreas). Más de las tres cuartas partes del territorio de Guerrero, Oaxaca y Michoacán descansan en montes, aunque por su enorme extensión, los estados de Chihuahua y Durango dan cabida a más de una quinta parte de las montañas de México.

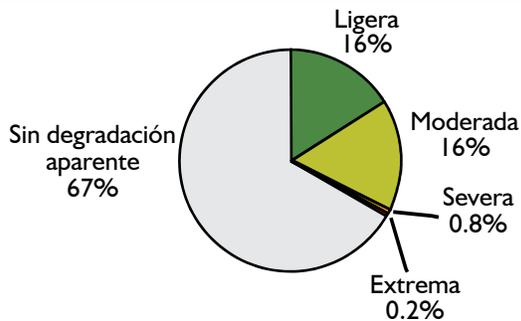
Los suelos que se encuentran en las montañas son principalmente leptosoles y regosoles. La causa principal de esto es el agua que fluye con gran energía por las laderas, lo que adelgaza los suelos de algunas zonas y los depositan en otras, formando leptosoles y regoles, respectivamente. El depósito de sedimentos también origina cambisoles y, cuando el sistema llega a estabilizarse, también feozems; ambas unidades de suelo se encuentran en mayor proporción en las montañas. Los andosoles, originados por erupciones, se restringen a las cercanías de los volcanes y son fácilmente erosionables, ya sea porque se trata de suelos muy someros, impermeables o poco consolidados (Figura 3.9).

En las montañas el 32% de las superficies presentan degradación ligera y moderada (Figura 3.10). Cerca del 67% de la erosión hídrica que ocurre en el país se presenta en las montañas (Mapa 3.7). Con respecto a la superficie de suelos degradados en las montañas, el 17% corresponde a erosión hídrica (con pérdida de suelo superficial, 15%; y con formación de cárcavas, 2%), el 12% a la degradación química y el 4% a la erosión eólica (Figura 3.11). El porcentaje de suelos sin degradación aparente (65%) es apenas menos que el porcentaje nacional (55%), quizá como resultado

**Figura 3.9 Unidades de suelo encontradas en montañas, altiplanos y zonas sin montaña en México**



**Figura 3.10 Degradación de suelos según nivel en las montañas de México, 2002**



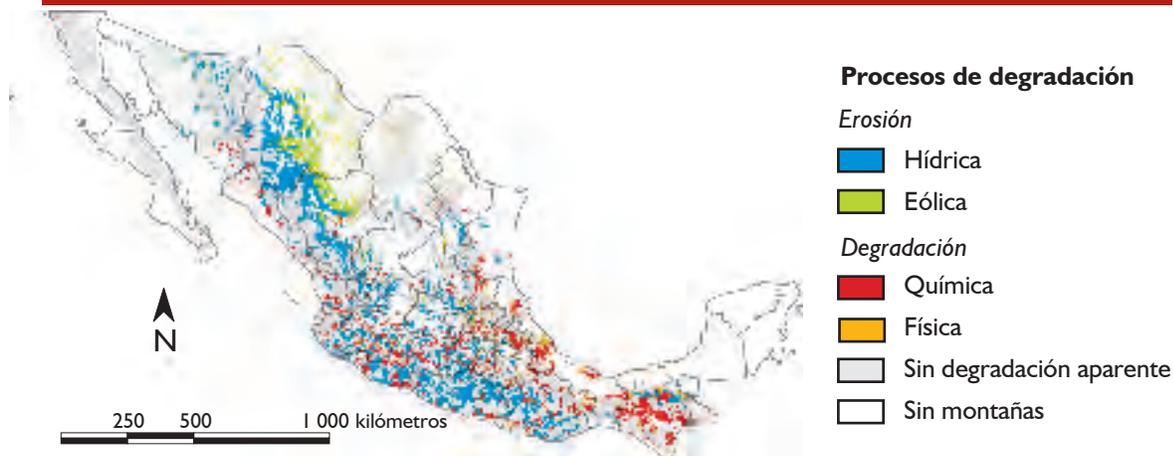
**Fuentes:**  
Elaboración propia con datos de: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003. INE. Dirección General de Investigaciones, Dirección General de Planificación, Desarrollo y Recuperación Ambiental y Dirección General de Investigaciones en Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. México. 2002.

En México, como en otros países, las montañas son consideradas sistemas prioritarios para la conservación, no sólo por su valor biológico y de recursos hídricos, sino por la riqueza cultural que albergan, ya que más de 60 etnias viven en ellas. La Comisión Nacional Forestal (Conafor), a través del “Programa de Manejo Sustentable de Ecosistemas de Montaña”, busca la conservación de las áreas boscosas que protegen las cuencas hidrográficas, a través de las cuales se abastecen más de 33 millones de personas que viven en casi 100 ciudades principales vinculadas con estas montañas. El programa, con un enfoque orientado al desarrollo social sustentable de las cuencas hidrológicas forestales, definió 60 montañas prioritarias para asegurar la producción de agua, así como la captura de carbono (Mapa 3.8). Las montañas prioritarias representan el 8.4% del total de montañas del país y cerca del 7% de sus suelos presentan algún tipo de degradación con respecto a las montañas a nivel nacional.

Para enfrentar los retos que implica el deterioro de las montañas, en 2002 se celebró el Año Internacional de las Montañas. En el marco de esta celebración se promovió la colaboración entre los sectores privado y público elaborando programas de acción comunes con las comunidades de aguas arriba y abajo para salvaguardar los ecosistemas montañosos.

de la inaccesibilidad y escasa precipitación en algunas regiones, como la península de Baja California, la Sierra Tarahumara y la Selva Lacandona. Todas estas cordilleras son las menos alteradas y se caracterizan por su baja densidad poblacional hasta tiempos muy recientes.

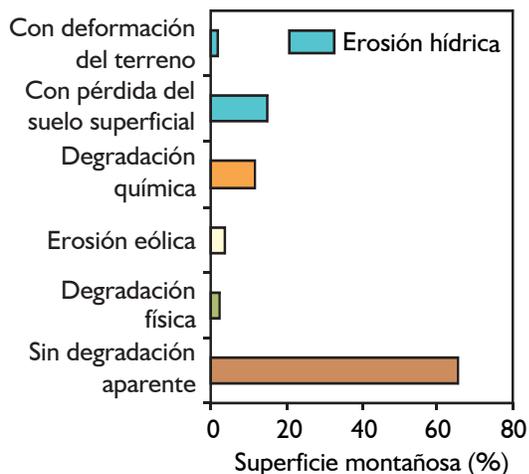
**Mapa 3.7 Procesos de degradación de suelos en las montañas de México, 2002**



**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.  
 INE. Dirección General de Investigaciones, Dirección General de Planificación, Desarrollo y Recuperación Ambiental, y Dirección General de Investigaciones en Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. México. 2002.

**Figura 3.11 Procesos de degradación de suelos en las montañas de México, 2002**



**Fuente:**

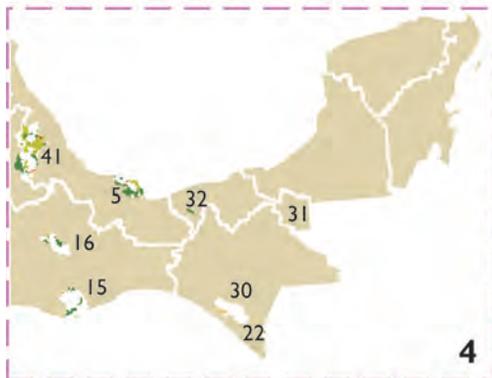
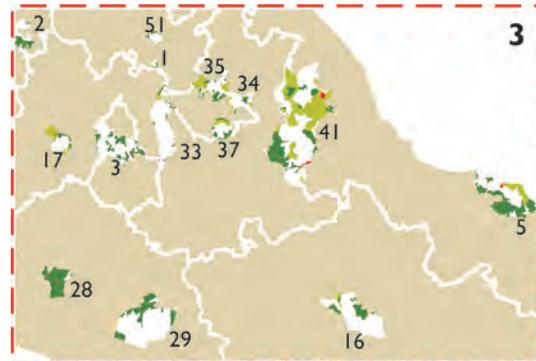
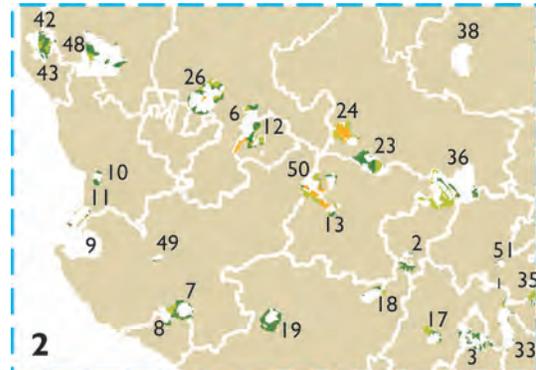
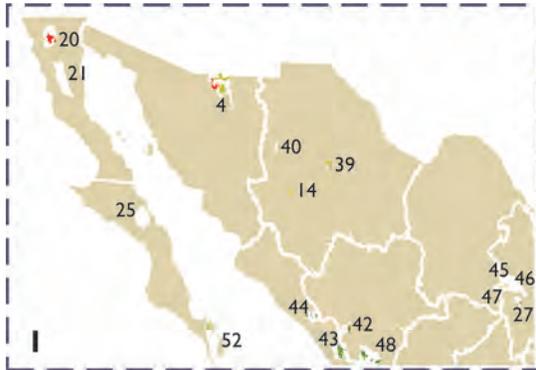
Elaboración propia con datos de: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.  
 INE. Dirección General de Investigaciones, Dirección General de Planificación, Desarrollo y Recuperación Ambiental y Dirección General de Investigaciones en Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. México. 2002.

**Zonas secas: la amenaza de la desertificación**

Al igual que los ambientes montañosos, los desiertos imponen condiciones sumamente difíciles para la vida. En este caso, las altas temperaturas y la falta de agua son los factores ambientales que deben sortear los seres vivos. La disponibilidad de agua de lluvia suele ser poco predecible, con años en los cuales no cae una gota de lluvia y otros con aguaceros torrenciales. De hecho, algunos desiertos americanos dependen para su mantenimiento de fenómenos climáticos como El Niño, que ocurre cada tres a siete años, y que acarrea la tan necesaria humedad hacia estas zonas. Durante los meses o años de sequía, muchos procesos biológicos se ven virtualmente detenidos. Los ritmos de la naturaleza son más bien pausados y no llegan a emparejarse con los acelerados tiempos del hombre. Antes de que el ecosistema pueda recuperarse de los impactos recibidos, nuevas actividades antrópicas se dan cita en el mismo lugar. Bajo estas condiciones extremas, no es extraño que las poblaciones ahí asentadas apenas consigan lo mínimo para sobrevivir. Cerca del 90% de los países con mayor superficie árida se encuentran en vías de desarrollo (ver **La amenaza de la desertificación a nivel mundial**).



**Mapa 3.8 Degradación de suelos en las montañas prioritarias de México bajo el Programa de Manejo Sustentable de Ecosistemas de Montaña, 2002**



**Degradación**

- Ligera
- Moderada
- Severa
- Sin degradación aparente
- Extrema

- |                           |                                 |                                    |
|---------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 1 Los Pitos               | 17 Nevado de Toluca             | 35 El Huintepetl                   |
| 2 Amealco                 | 18 San Andrés                   | 36 Cerro Grande                    |
| 3 Sierra de las Cruces    | 19 Tancitaro                    | 37 La Malinche                     |
| 4 La Calera-La Mariquita  | 20 Sierra de Juárez             | 38 El Cielo                        |
| 5 San Martín              | 21 San Pedro Mártir             | 39 La Tinaja Sierra Alta           |
| 6 Sierra Fría             | 22 Volcán Tacaná                | 40 El Cuatro                       |
| 7 Volcán Nevado de Colima | 23 El Sombrero                  | 41 Cofre de Perote-Pico de Orizaba |
| 8 Cerro Grande Manantlán  | 24 San Miguelito                | 42 El Huehuento                    |
| 9 Sierra del Cuale        | 25 San Fernando                 | 43 Copala                          |
| 10 Cerro Alto             | 26 Los Cardos                   | 44 Vado Hondo                      |
| 11 Sierra de Vallejo      | 27 Sierra del Potosí            | 45 Sierra de Arteaga               |
| 12 El Muerto              | 28 Yextla                       | 46 Cumbres de Monterrey            |
| 13 El Cubilete            | 29 La Uña-Xochiatengo           | 47 Zapaliname                      |
| 14 Situriachi             | 30 El Triunfo                   | 48 Cerro Gordo                     |
| 15 Quiexobee              | 31 Boca del Cerro               | 49 Sierra de Quila                 |
| 16 La Peña de San Felipe  | 32 Las Flores - Las Golondrinas | 50 Sierra de Lobos                 |
|                           | 33 Izta-Popo-Zoquiapan          | 51 El Chico                        |
|                           | 34 San Gabriel                  | 52 Sierra La Laguna                |

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

## La amenaza de la desertificación a nivel mundial

En las zonas secas, la cantidad de lluvia que cae es menor que la que potencialmente se evapora hacia la atmósfera. A partir de la razón entre la precipitación y la evapotranspiración potencial, puede clasificarse una zona como susceptible de desertificarse si el cociente se encuentra entre 0.05 y 0.65. Dentro de este intervalo están las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Alrededor de una tercera parte del planeta está dentro de estas categorías.

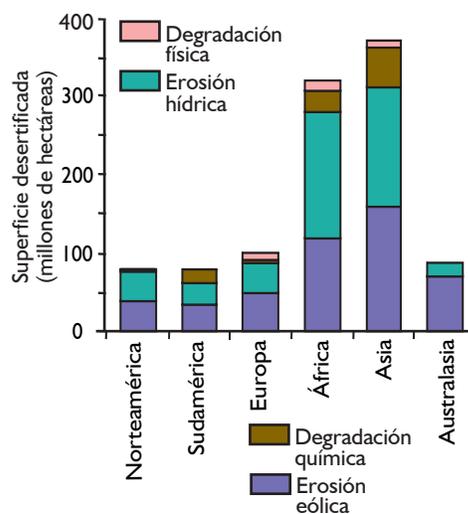
Las estimaciones sobre la magnitud de la desertificación son muy diferentes. El documento “Con los pies en la tierra”, publicado por el Secretariado de la Convención de Naciones Unidas contra la Desertificación (UNCCD), sugiere cifras que duplican o cuadruplican aquellas del Atlas mundial de la desertificación, elaborado por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Los datos que se presentan en la **Figura a** son algunos de los más conservadores.

El 20% de las zonas susceptibles a la desertificación en el mundo ya han sido degradadas, lo que equivale aproximadamente a la superficie de China. Alrededor del 70% de las tierras de cultivo en zonas secas se ha desertificado, dejando sin alimentación a millones de personas. Anualmente, 12 millones de hectáreas de campos agrícolas se pierden, dejando de producir millones de toneladas de granos que podrían aliviar de hambre a muchos países. Las hambrunas recurrentes en África son resultado de la degradación de los suelos agrícolas y de los periodos de sequía. Se estima que al menos unas 500 mil personas se han convertido en refugiados ecológicos y unos mil millones más están amenazadas en mayor o menor grado por la desertificación.

En el mundo, mil 35 millones de hectáreas sufren de la desertificación provocada por el hombre. De éstas, dos terceras partes se encuentran en África y Asia. Aunque las estimaciones para los países americanos son considerablemente menores, la diferencia se encuentra en que las zonas áridas no son tan extensas en el nuevo mundo. De acuerdo con la UNCCD, cuando se evalúa el deterioro en forma proporcional a la extensión de las zonas susceptibles, las zonas desertificadas en todos los continentes ocupan entre el 71 y 75% de las zonas secas.

Las causas más importantes de desertificación son la erosión hídrica (45% de los casos) y la eólica (42%). La primera se presenta en las zonas semiáridas y subhúmedas secas, mientras que la segunda es característica de las regiones áridas. La erosión química, predominantemente por salinización, es responsable de otro 10%.

**Figura a. Desertificación en los diferentes continentes según la forma de degradación del suelo**



**Fuente:**  
GEF-IFAD. *Tackling Land Degradation and Desertification*. Roma. 2002.



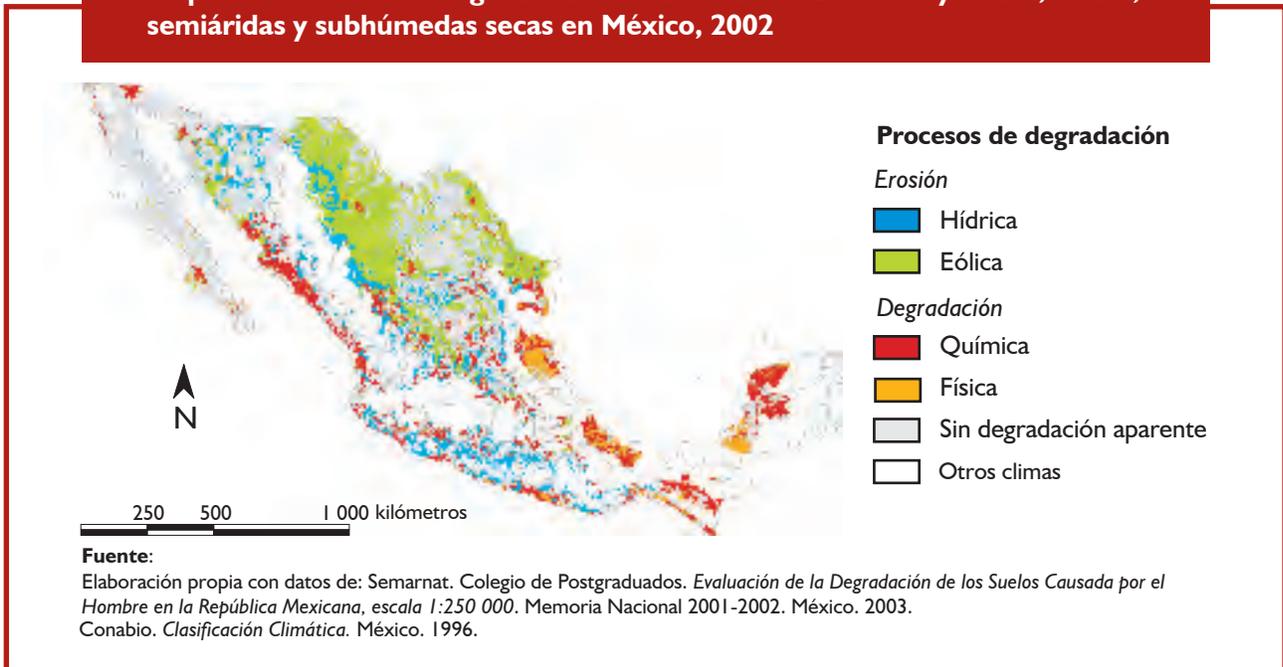
La variabilidad en la disponibilidad de agua y, con ello, biomasa vegetal, hacen que el mantenimiento de los sistemas productivos sea un problema. Las formas de explotación que pueden parecer adecuadas en un momento dado, se vuelven depredadoras en otro debido a la variabilidad climática. Típicamente, los pastores tienen tantos animales como se los permite el ambiente, pero cuando sobreviene una sequía natural, el mismo ganado ya no encuentra suficiente alimento y explota el poco que queda de manera excesiva. Si la sequía es prolongada, es muy probable que cuando regresen las lluvias, el sistema haya sido alterado tan fuertemente que ya no se recupere, dirigiendo inevitablemente el sistema a una situación de cada vez mayor degradación. Como resultado de estos factores puede producirse la desertificación, entendida como la degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas como resultado de diversos factores, incluyendo las variaciones climáticas y las actividades humanas. Aquí, la palabra «tierra» se refiere tanto a los suelos como a los organismos que habitan en ellos, además de comprender los ciclos hidrológicos y ecológicos que ahí tienen lugar (Convención de Naciones Unidas contra la Desertificación).

En México, las zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas ocupan cerca de 128 millones de hectáreas, es decir, más de la mitad del país. De esta superficie, alrededor del 44% presenta algún tipo de degradación en sus suelos (Mapa 3.9).

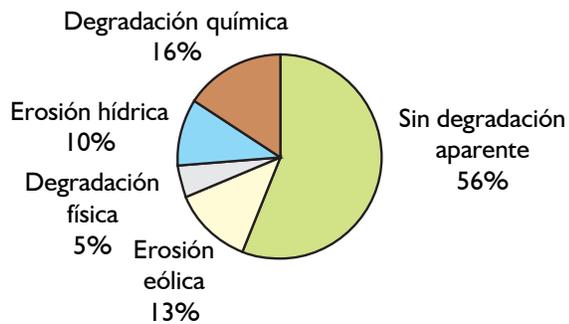
En las zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas, la degradación química abarca el 16%, le sigue la erosión eólica con el 13% y la erosión hídrica con un 10% (Figura 3.12). La degradación física corresponde sólo al 5% de la superficie de estas zonas. La mayor parte de los suelos de estas zonas muestran degradación ligera y moderada. (Figura 3.13).

Las zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas que no presentan problemas de desertificación se encuentran en el centro del Desierto Chihuahuense (cerca de la confluencia de los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango), el Gran Desierto de Altar, al noroeste de Sonora, y la península de Baja California. La erosión hídrica se concentra en las faldas de las serranías, mientras que la erosión eólica en las grandes planicies de Zacatecas, Durango y Chihuahua (Mapa 3.9).

**Mapa 3.9 Procesos de degradación de suelos en las zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas en México, 2002**



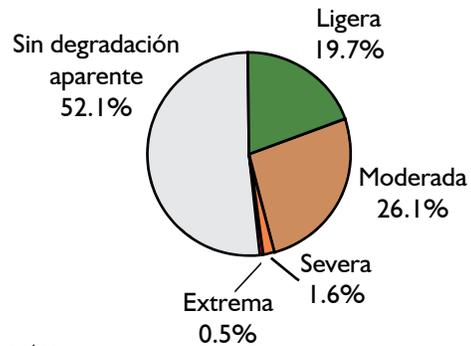
**Figura 3.12 Principales procesos de degradación de suelos en las zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas de México, 2002**



**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003. Conabio. *Clasificación Climática*. México. 1996.

**Figura 3.13 Degradación de suelos según nivel en las zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas de México, 2002**



**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003. Conabio. *Clasificación Climática*. México. 1996.

**Factores asociados a la degradación del suelo**

La cantidad y velocidad con la que el viento y el agua remueven el suelo depende de la vegetación que lo cubre. En un bosque denso, el aire se mueve mucho más despacio y las raíces forman una red que afianza la tierra contra el paso del agua. Las plantas y los animales que viven en el subsuelo remueven la tierra y la mantienen porosa, de modo que el agua se infiltra en vez de correr por la superficie provocando erosión. En otros casos, los árboles transpiran el agua excesiva contenida en el suelo que pudiera causar gleyzación o salinización. Por todo esto, la vegetación y el uso del suelo tienen una importancia capital para evitar que se generen procesos de degradación del mismo.

Las selvas en sus diferentes grados de conservación son el tipo de vegetación que se encuentra localizada en los suelos que presentan mayor deterioro; más del 50% de su superficie se encuentra afectada por la degradación química y física. Los suelos de pastizales naturales y matorrales al encontrarse primordialmente en regiones áridas, están más afectados por erosión eólica. Los bosques también sufren un deterioro importante en sus

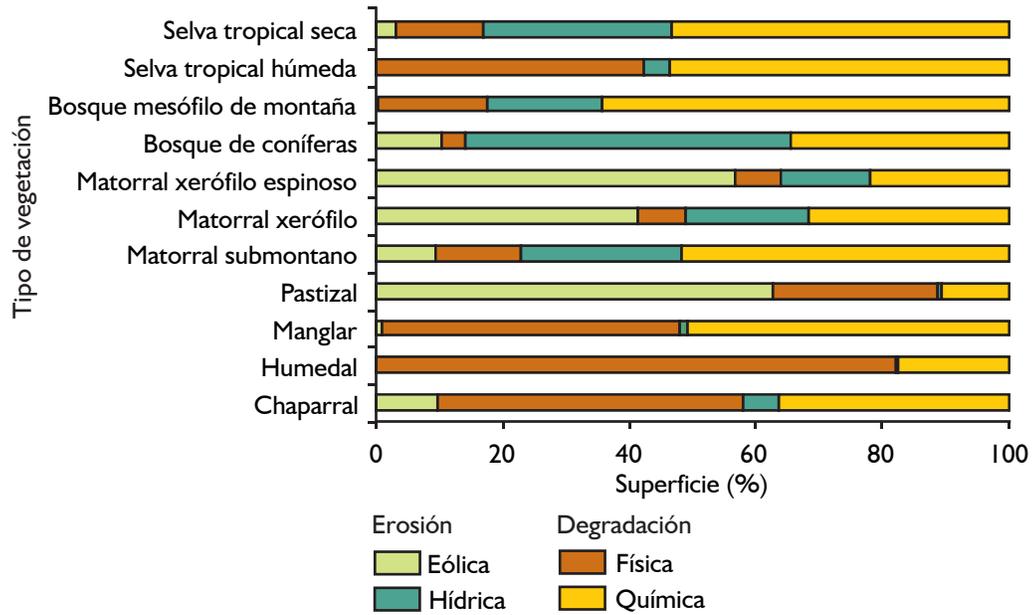
suelos, probablemente debido a que muchos de ellos se encuentran en zonas de montañas donde la erosión hídrica tiene un papel importante; 22.8% de los suelos cubiertos por bosques de coníferas tienen este problema, mientras que los bosques mesófilos remanentes están considerablemente menos afectados (5.6%). La degradación química también se presenta en una proporción importante en los suelos de bosques (Figura 3.14).

El deterioro de los suelos es más grave conforme se intensifican las actividades humanas. En los terrenos donde se sustituyó la vegetación primaria con secundaria frecuentemente se encuentran más superficies degradadas y con mayor intensidad; de acuerdo con los datos de degradación del suelo y cobertura vegetal del año 2002, 80% de la superficie donde están asentados los bosques secundarios presentan degradación. Las tierras empleadas de manera intensiva por el hombre –aquellas que se destinan a actividades agropecuarias, incluyendo a los pastizales naturales que son agostaderos casi en su totalidad– también presentan suelos muy degradados (Figura 3.15).

Las tierras de agricultura de temporal son las más afectadas por la degradación (Figura 3.15). Quizá

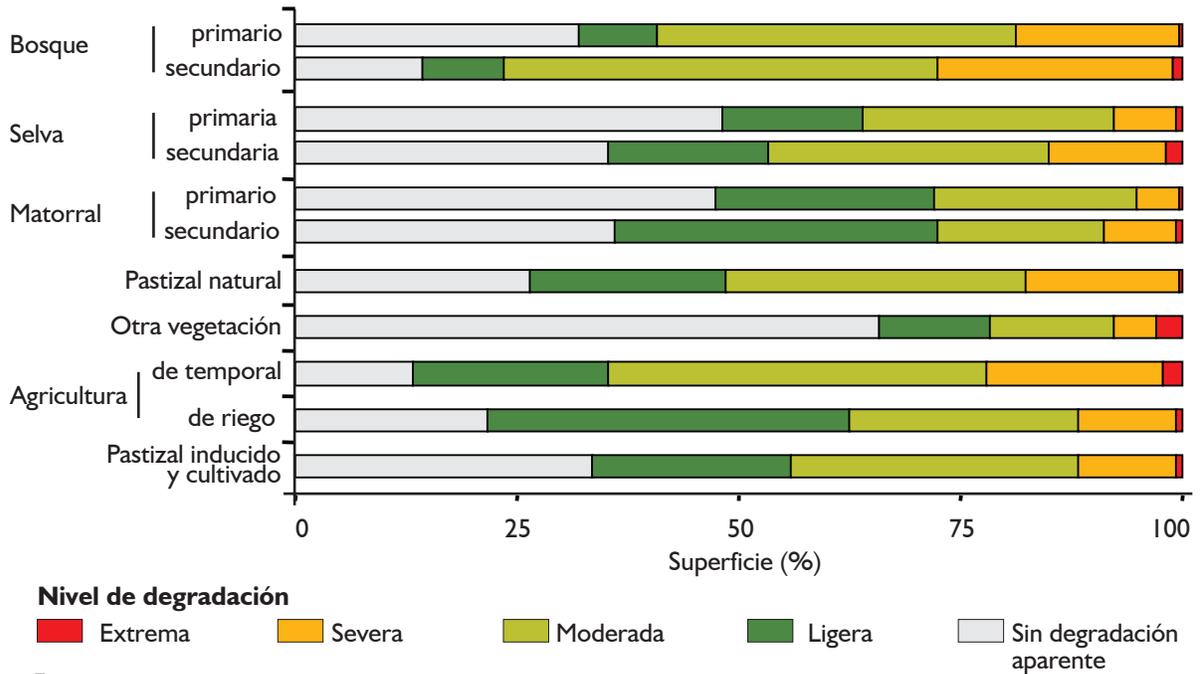


**Figura 3.14 Degradación de los suelos por tipo de vegetación en México, 2002**



**Fuente:** Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

**Figura 3.15 Degradación de suelos según su uso en México**

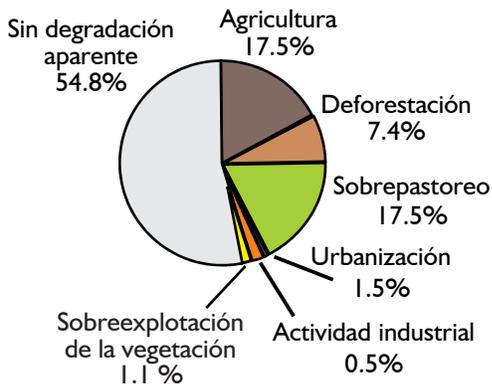


**Fuente:** Semarnat. *Inventario Nacional de Suelos 2002*. México. 2002.



esto se debe a fenómenos inherentes al sistema, como el lapso en el cual el suelo permanece sin vegetación en la temporada de secas. Además, en muchos casos la agricultura de temporal se practica en sitios con fuertes pendientes, lo que no ocurre en el caso de la de riego.

**Figura 3.16 Principales procesos de degradación de suelos en México, 2002**



**Fuente:**

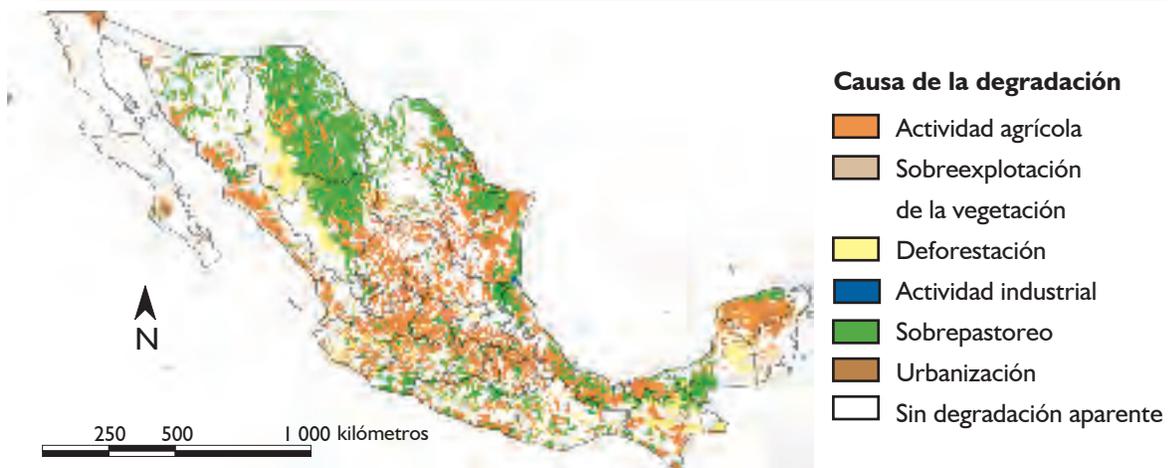
Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003

Las principales causas de degradación en México son el cambio de uso del suelo hacia la agricultura y el sobrepastoreo (ambas con 17.5%). La deforestación ocupa el tercer lugar con 7.4%, seguida de la urbanización (1.5%) (Figura 3.16, Mapa 3.10). Todos estos procesos tienen que ver con la reducción de la cubierta vegetal, responsable de la conservación del suelo. En el decenio de 1993 a 2003, la superficie agrícola creció 8.5% (Figura 3.17), agravando los procesos de degradación. La superficie ganadera con sobrepastoreo correspondió al 24% de la superficie nacional (Figura 3.18).

Diferentes áreas sufren procesos característicos. Por ejemplo, en las montañas el crecimiento de la deforestación (9.47%) es más importante que a escala nacional (7.4%) (Figura 3.19). Las diferencias en la ocupación se manifiestan en el sur campesino por el crecimiento de la frontera agropecuaria y en el norte industrial por la deforestación. En los desiertos, el sobrepastoreo (23.9%) es la principal causa de deterioro del suelo (Figura 3.20)

La degradación del suelo es el resultado de factores ambientales, sociales y económicos (e. g., topografía, uso del suelo, sobrepastoreo,

**Mapa 3.10 Principales causas de la degradación de suelos en México, 2002**

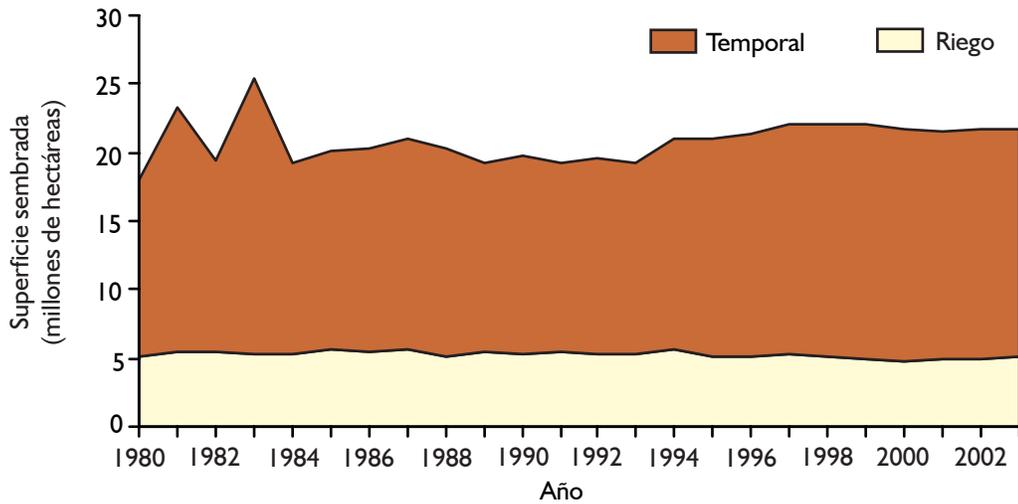


**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

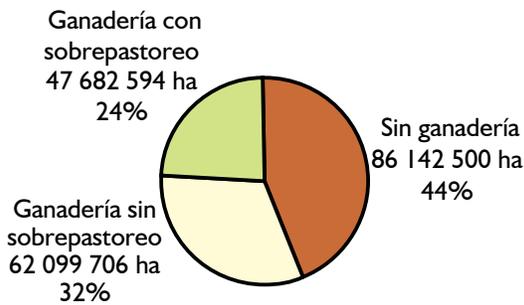


**Figura 3.17 Superficie agrícola sembrada en México, 1980-2003**



Fuente: Sagarpa-SIAP. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON 2004). México. 2004.

**Figura 3.18 Sobrepastoreo en México, 2002**



Fuente: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003

densidad poblacional, pobreza de sus habitantes, etc.). Las entidades con mayor desarrollo tienen menos suelos deteriorados. El cambio de uso del suelo genera deterioro, pero éste se acelera en montañas o en presencia de sobrepastoreo. Así, la degradación del suelo en las montañas podría incrementarse en el futuro. La población rural se está reduciendo y la emigración es particularmente alta en varias regiones de la Sierra Madre del Sur.

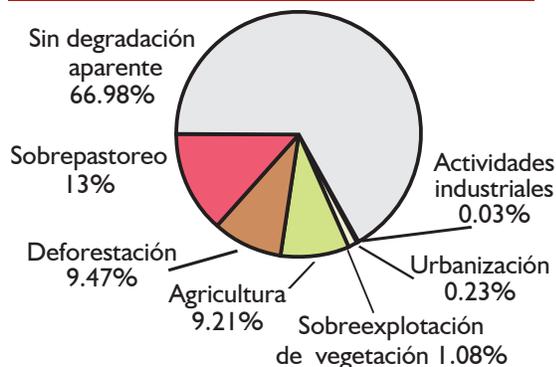
Sin embargo, la inercia histórica del uso del suelo sugiere que la frontera agropecuaria (por lo menos tierras que se desmontan aunque no se cultiven permanentemente) podría seguir creciendo a pesar de la disminución de la población en el campo.

### Gestión

#### Conservación y restauración de suelos

Para hacer frente al deterioro de los recursos naturales, sin duda la mejor alternativa es utilizarlos bajo el enfoque del desarrollo sustentable, el cual, además de la satisfacción de las necesidades humanas, implica la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, hacerlo realidad y llevarlo a la práctica no es fácil, ya que además del componente ambiental, existen una serie de factores sociales, económicos y políticos que hacen difícil eliminar las causas socioeconómicas que promueven la degradación de los suelos (por ejemplo, la pobreza). Impulsar el desarrollo del sector rural, fortalecer una ética de la tierra, mejorar los servicios de divulgación y del acceso a tecnología adecuada y asequible, asistencia en la comercialización y la superación de los obstáculos al comercio son algunas de los elementos necesarios para lograr un manejo sostenible del

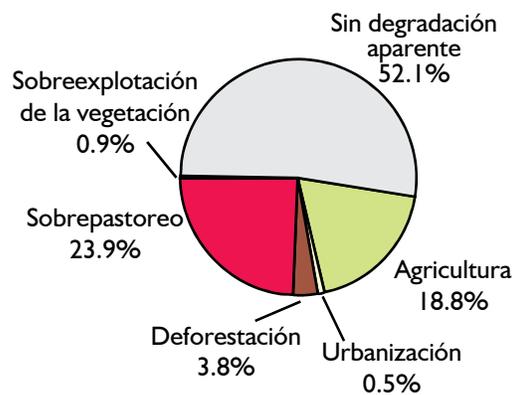
**Figura 3.19 Principales causas de degradación de suelos en las montañas de México, 2002**



**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003. INE. Dirección General de Investigaciones, Dirección General de Planificación, Desarrollo y Recuperación Ambiental, y Dirección General de Investigaciones en Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. México. 2002.

**Figura 3.20 Principales causas de degradación de suelos en las zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas de México, 2002**



**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: Semarnat. Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003. Conabio. *Clasificación Climática*. México. 1996.

suelo. No obstante, es importante enfatizar que para lograr un manejo adecuado de los suelos, los programas de conservación de suelos deberán estar formulados con base en las premisas que imponen las condiciones específicas de cada región del país.

Como parte del acceso a la información sobre la situación de nuestras tierras, en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable está contenida, la elaboración de inventarios de suelos, además de un conjunto de normas para ello. Esta Ley permite la compatibilidad entre inventarios y con ello, la posibilidad de hacer comparaciones temporales está garantizada, ya que los procedimientos para medir algunas propiedades del suelo (e.g., fertilidad y salinidad) están bien establecidos. El marco normativo también contempla algunas acciones para la conservación y restauración de suelos.

El deterioro de los suelos en México afecta a numerosos componentes del medio social y natural, por lo que su gestión involucra varias instancias: Semarnat, Sagarpa, Sedesol, CNA, además de algunas organizaciones internacionales como la FAO e instituciones académicas y civiles. La larga

experiencia acumulada en los esfuerzos por proteger los suelos alrededor del mundo ha dado como resultado que los enfoques sobre la conservación de los suelos hayan cambiado de esquemas. Antes solían concentrarse en las protecciones mecánicas, tales como bordos y terrazas, en buena medida para reducir la escorrentía mientras que ahora se prefiere una aproximación que enfatiza el uso de métodos biológicos de conservación que incluyen la integración de la conservación del agua y la protección del suelo a través del manejo de las relaciones suelos-planta-agua, así como la reducción de la alteración del suelo a través de la labranza (PNUMA-Earthscan, 2002).

México poco a poco se ha incorporado a esta tendencia. Tomando en cuenta que el uso del suelo y la cobertura vegetal están vinculados estrechamente con el deterioro del suelo, varios de los programas reseñados en el Capítulo 2 **Vegetación y uso del suelo** tienen componentes ligados a la protección del terreno. De la misma manera, los programas orientados para atender el problema de la degradación de los recursos edáficos contemplan acciones relacionadas con el uso del suelo y su

## Programas Institucionales para la Conservación y Rehabilitación de Suelos

Programa	Objetivos	Acciones
Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente	Promover actividades que permitan la recuperación y conservación de los suelos a través del establecimiento de sistemas productivos acordes a la vocación natural de cada región. Esto implica la transformación de plantíos de plantas anuales hacia cultivos perennes, forestales, silvo-agropecuarios y de integración agropecuaria. Se da especial énfasis a los sistemas con sequía recurrente y se otorga financiamiento a proyectos.	Conservación de suelos y agua, cultivos de cobertura y abonos verdes, enriquecimiento de acahuales, agroforestería, mejoramiento de agostaderos, prevención y combate a los incendios forestales.
Programa de Manejo de Tierras en la modalidad de proyectos ecológicos	Promover los programas de manejo de tierras (PMT) como instrumento de planeación de manejo sustentable del suelo a nivel de parcela, así como cambios en los sistemas productivos que combinen la optimización de los ingresos y rendimientos con la conservación, mejoramiento y restauración de los suelos.	Aplicación de prácticas previamente validadas en centros piloto y en microcuencas.
Restauración Compensatoria por Cambio de Uso del Suelo	Contribuir a recuperar e incrementar la capacidad productiva de las áreas degradadas por prácticas agropecuarias, mediante la restauración y conservación.	Concretar compromisos con los promovedores de autorizaciones de uso de suelo para la restauración y la conservación de suelos en áreas degradadas.
Programa Nacional de Suelos Forestales (superficie restaurada y protegida)	Diseñar e impulsar políticas y acciones que contribuyan a prevenir y frenar la degradación de los suelos forestales, mediante la instrumentación de obras y prácticas para la protección, conservación, restauración y mejoramiento de los suelos forestales en beneficio de los dueños y poseedores de la tierra en particular y del país en general.	Ejecución de programas que permitan evitar el deterioro del suelo, rehabilitarlos y aprovecharlos según lo dicte su capacidad de uso con base a la información disponible en sistemas modernos y eficientes de manejo de información sobre suelos forestales.

### Fuentes:

- Sagarpa. Dirección de incentivos a la inversión rural. México. 2004.  
 Sagarpa. *Cuarto Informe de Labores*. México. 2004.  
 Semarnat. Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental. Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables. Dirección de Agricultura y Ganadería. México. 2004.  
 Semarnat. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. México. 2004.  
 Semarnat. Conafor. Gerencia de Suelos. México. 2004.

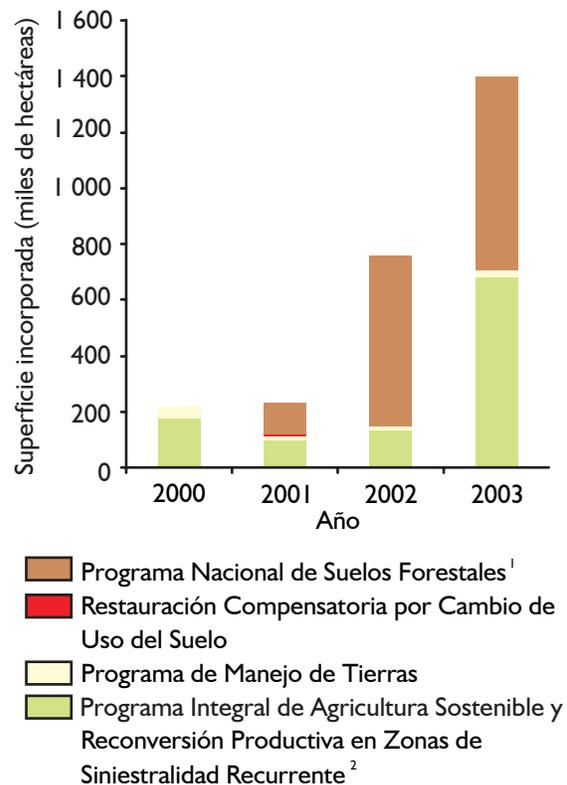


reconversión. El objetivo de los programas es básicamente lograr la reorientación de la producción hacia sistemas que preservan una cubierta vegetal perenne (ver **Programas Institucionales para la Conservación y Rehabilitación de Suelos**). Los programas contemplan simultáneamente instrumentos mecánicos, como las terrazas, bordos y drenes, métodos biológicos, como el control de la deforestación, la reforestación, la revegetación o la reconversión productiva hacia sistemas acordes con la vocación natural del terreno.

Dentro de los Programas Institucionales, el Programa de Suelos Forestales y el Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente (Piasre) han sido los más importantes en términos de la superficie atendida. En el periodo 2000-2003, el primero incorporó poco más de 1.2 millones de hectáreas, mientras que el segundo casi 1.1 millones. El resto de los programas atendió una superficie considerablemente menor (Figura 3.21).

Considerando que las tierras de temporal son las más degradadas en el país, desde hace más de 20 años se desarrolla un Programa dirigido a los Distritos de Temporal Tecnificado (DTT, también llamados Distritos de Drenaje). Estos Distritos son terrenos donde se practica la agricultura de temporal y han sido objeto de obras hidráulicas para frenar la acción erosiva del agua, ya que están localizados en zonas de alta precipitación o bien en las cuencas medias y altas que aportan grandes cantidades de sedimentos. Tradicionalmente los DTT han dependido de manera importante de drenes, represas y bordos que encauzan la escorrentía; en la actualidad se da paso a los métodos biológicos. En el país existen 16 DTT establecidos por el poder federal más 2 estatales (en Chiapas, por ejemplo, en conjunto suman una superficie de 2.45 millones de hectáreas y benefician a 83 mil 723 productores). La mayoría de los DTT están localizados a lo largo de la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre de Chiapas y la Península de Yucatán (Mapa 3.11).

**Figura 3.21 Programas Institucionales para la Conservación y Rehabilitación de Suelos, 2000-2003**



**Notas:**

<sup>1</sup> Este programa inició en 2001, por lo que se presenta vacía la celda correspondiente en 2000.

<sup>2</sup> Este programa en el 2003 cambió de nombre de "sequía" a "siniestralidad", con el fin de ampliar la cobertura a los daños ocasionados por fenómenos climatológicos como lluvias, heladas, sequías, huracanes, etc.

**Fuentes:**

Sagarpa. Dirección de incentivos a la inversión rural. México. 2004.

Sagarpa. *Cuarto Informe de Labores*. México. 2004.

Semarnat. Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental. Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables. Dirección de Agricultura y Ganadería. México. 2004.

Semarnat. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. México. 2004.

Semarnat. Conafor. Gerencia de Suelos. México. 2004.

Las zonas secas también han sido objeto de atención por diferentes instancias y programas. México fue el primer país en ratificar la Convención de Naciones Unidas para la Lucha Contra la Desertificación (UNCCD) en 1995, año en el cual



**Mapa 3.11 Ubicación de los distritos federales de temporal tecnificado (DTT), 2001**



**Tabla 3.6 Diferentes instituciones e instancias que participan en la lucha contra la desertificación**

Instituciones e instancias	Acciones
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat)	Concientización y comunicación
Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa)	Conservación de suelos y aguas
Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol)	Lucha contra la pobreza
Comisión Nacional del Agua (CNA)	Reconversión productiva
Conafor (Programa de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales; (Procoref)	Diversificación de la producción
Conafor (Programa Nacional de Plantaciones Forestales Comerciales; (Prodeplan)	Descentralización
Fideicomiso de Riego Compartido (Firco)	Rehabilitación de praderas Tratamiento de suelos salinos

ya se contaba con un Plan Nacional de Acción contra la Desertificación (PACD). Alrededor de este Plan se congregaron diferentes instancias de gobierno, la comunidad internacional y la sociedad civil. A pesar de ello, diversas limitantes presupuestales han impedido implementar plenamente los objetivos del PACD, por lo que se ha decidido trabajar a través de otras iniciativas para ver cumplidas sus metas:

el Programa de Suelos Forestales y el Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente (Piasre), por ejemplo, tiene programas especiales para la reconversión productiva en zonas áridas. Otras instancias han dado lugar a la lucha contra la desertificación a través de diferentes acciones (Tabla 3.6).



## Referencias

Denniston, D. Overview: people and mountains. *People and planet* 5: 1-13. 1996.

Doran, J. W. Methods for assessing soil quality. En: J.W. Doran and Alice J. Jones (Eds.). *SSSA Special Publ.* 49. Soil Science Society of America Inc. Madison, WI. 1996.

FAO. *Año Internacional de Montañas*. FAO. Roma. 2000.

GACGC. *World in transition: the threat to soils. Annual report*. German Advisory Council on Global Change. Economica Verlag. Bonn. 1994.

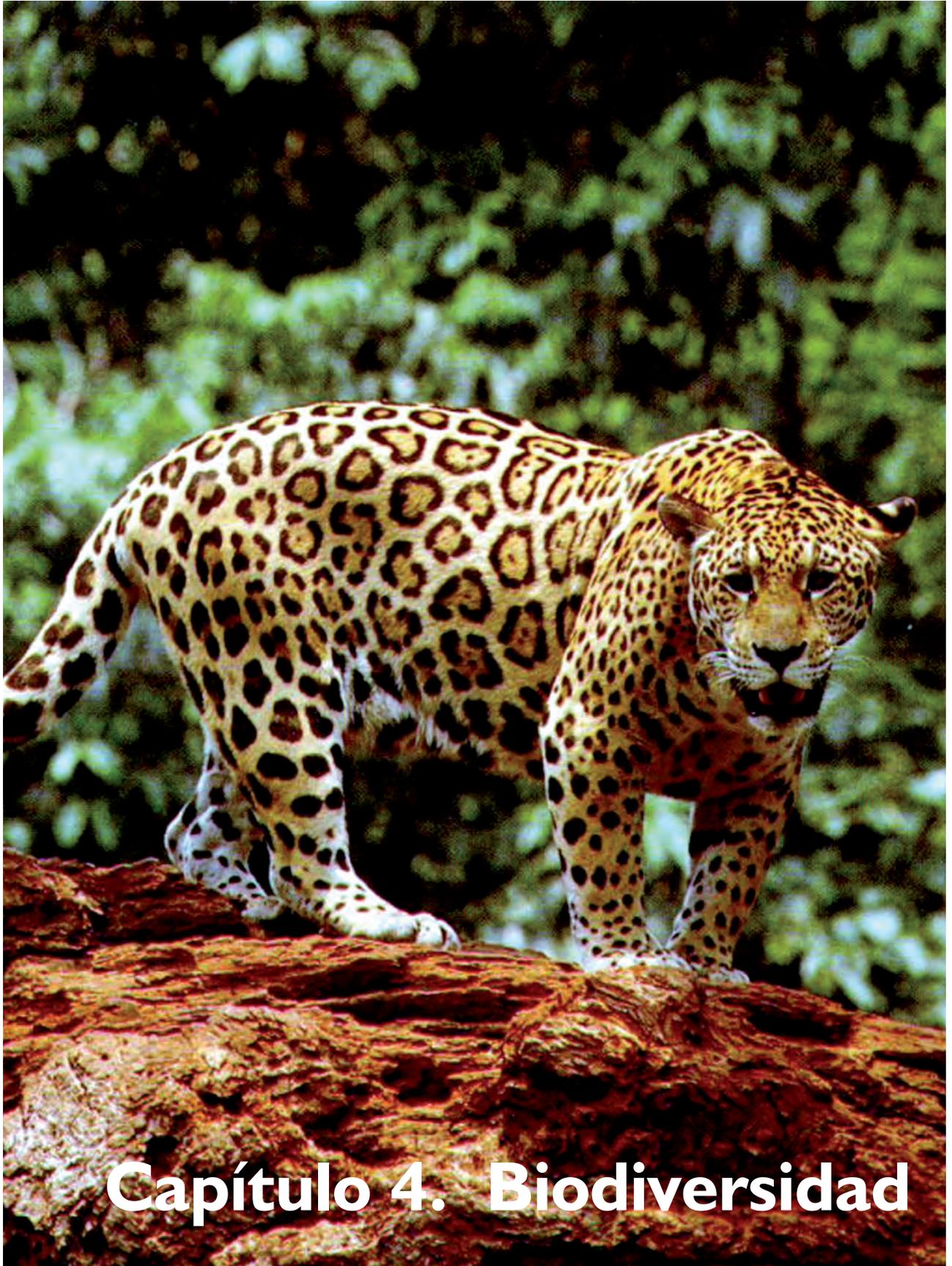
GEF-IFAD. *Tackling land degradation and desertification*. GEF. Roma. 2002.

PNUMA-Earthscan. *Global Environment Outlook 3*. PNUMA. Nairobi. 2002.

Semarnat, Colegio de Postgraduados. *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

Semarnat, UACH. *Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana a escala 1: 1000 000*. Semarnat. México. 2002.

The Panos Institute. *High-Stakes: the future of mountain societies*. The Panos Institute. Londres. 2002.



## Capítulo 4. Biodiversidad

## Capítulo 4. Biodiversidad



### México, un país megadiverso

La situación geográfica de México, su variedad de climas, topografía e historia geológica han producido una de las riquezas biológicas más impresionantes del mundo. Se calcula que alrededor del 10 por ciento de la diversidad global de especies se concentra en el territorio mexicano, lo que lo convierte junto con Colombia, Brasil, Indonesia, Perú, China, Congo e India en uno de los llamados países “megadiversos”. En cuanto al número de especies, México es el quinto lugar en plantas, cuarto en anfibios, segundo en mamíferos y primero en reptiles (WCMC, 1994; Groombridge y Jenkins, 2002) (Figura 4.1).

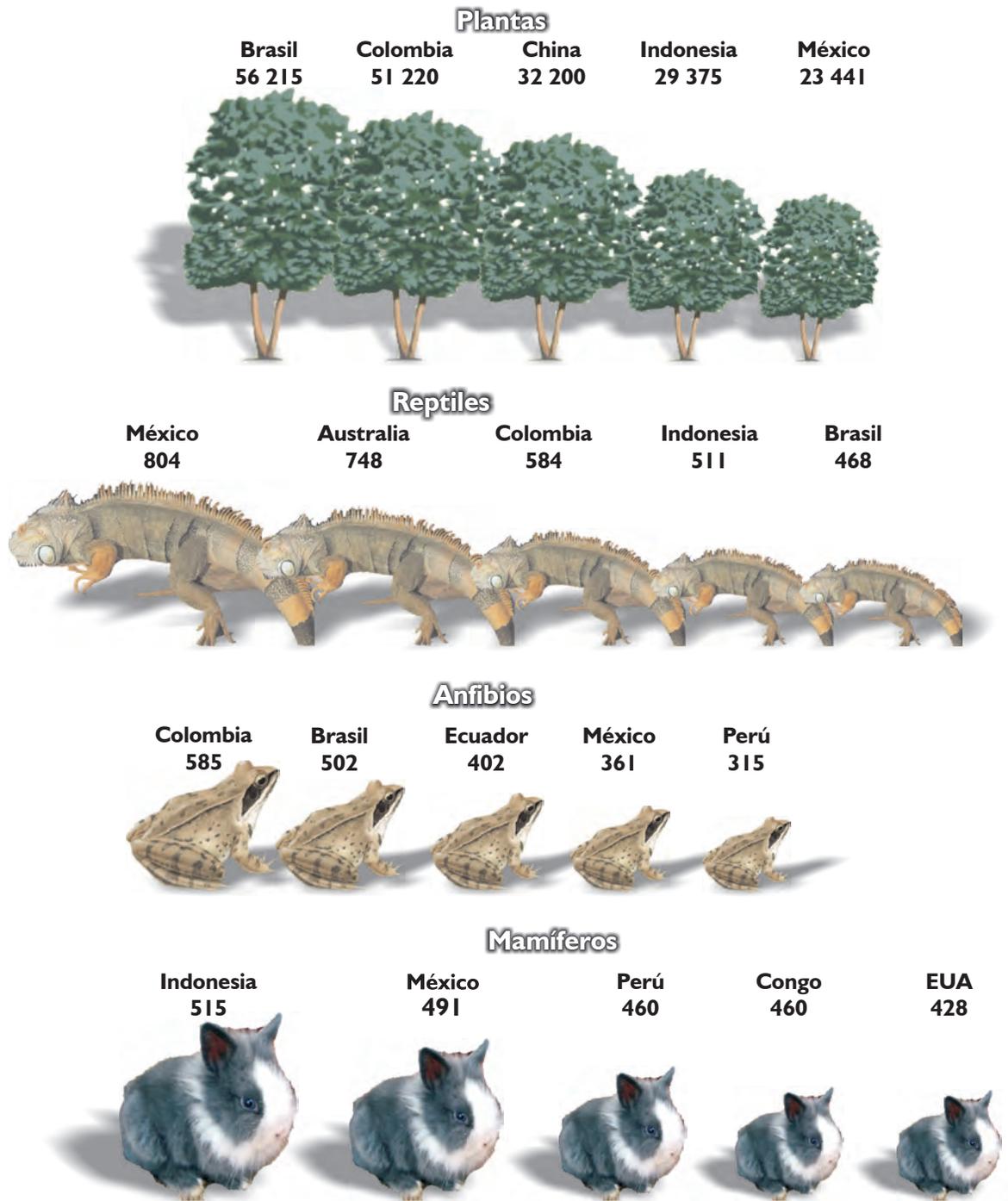
El número total de especies descritas en el país se acerca a las 65 mil, cifra muy por debajo de las más de 200 mil especies que, en una aproximación conservadora, se estima habitan en el país (Tabla 4.1). La fauna la integran aproximadamente 171 mil especies de invertebrados, en su mayoría artrópodos (cerca de 86 mil especies) e insectos (78 mil especies), además de cerca de 5 mil especies de vertebrados, mayormente peces (2 mil 122 especies) y aves (mil 250 especies).

La flora mexicana, por su parte, consta de poco más de 23 mil especies, en su mayoría angiospermas (poco más de 22 mil especies), con un nivel de endemismo superior al 40 por ciento. Destacan por sus niveles de endemismo la familia de las cactáceas (con 850 especies, 84% de ellas endémicas) y la de las orquídeas (920 especies, 48% endémicas), así como el género *Pinus* (con 48 especies, 43% endémicas).

El inventario completo de la riqueza biológica de México y su nivel de endemismo es una tarea aún incompleta. Esto se debe a que existen todavía numerosos grupos biológicos que no han sido completamente estudiados o colectados (p. e., los hongos, los invertebrados terrestres y acuáticos y otros organismos microscópicos), así como zonas geográficas en las que la colecta y el estudio de la flora y la fauna no han sido considerables. En este sentido, es muy probable que las cifras para muchos grupos taxonómicos aumenten en la medida en la que se profundice en el estudio de la diversidad y la geografía del país.

El esfuerzo más importante para conocer y sistematizar la información biológica de México está a cargo de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), a través del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). El SNIB integra la información taxonómica, ecológica, geográfica y bibliográfica de las especies de México en un sistema que permite el análisis de la biodiversidad en sus tres niveles (genético, de especies y de ecosistemas) y en diversas escalas espaciales (local, nacional y regional). Actualmente, el sistema cuenta con información de alrededor de 6.1 millones de registros curatoriales. De acuerdo con la información contenida en el SNIB (sin incluir los peces), los biomas con más especies son las selvas perennifolias y subperennifolias, los bosques de coníferas y encinos y los matorrales xerófilos (Figura 4.2), aunque si se considera la extensión de cada bioma (Tabla 4.2), los bosques mesófilos de montaña son los que tienen mayor número de especies por unidad de área.

**Figura 4.1 Riqueza de especies de los países megadiversos para distintos grupos taxonomicos<sup>1</sup>**



Nota: <sup>1</sup> Considérese que los datos para México (2005) son más recientes que los de los restantes países, por lo que las posiciones relativas actuales podrían ser distintas.

**Fuentes:**

México: Conabio. México. 2005.

Resto de los países: Groombridge, B. y M. D. Jenkins World Atlas of Biodiversity. UNEP-WCMC. University of California Press. USA. 2002.

**Tabla 4.1 Riqueza de especies para distintos grupos taxonómicos en México**

Grupo taxonómico	Especies en México
<b>Invertebrados</b>	
Artrópodos	≈ 85 740
Crustáceos	≈ 4 600
Insectos	≈ 77 900
Arácnidos	≈ 3 240
<b>Subtotal</b>	<b>≈ 171 480</b>
<b>Vertebrados</b>	
Peces	2 122
Anfibios	361
Reptiles	804
Aves	1 250
Mamíferos	491
<b>Subtotal 5</b>	<b>015</b>
<b>Plantas</b>	
Angiospermas	22 351
Gimnospermas	145
Pteridofitas	1 026
Briofitas (musgos y hepáticas)	1 480
Algas (macroalgas)	945
<b>Subtotal</b>	<b>25 947</b>
<b>Hongos</b>	<b>6 000 - 120 000</b>

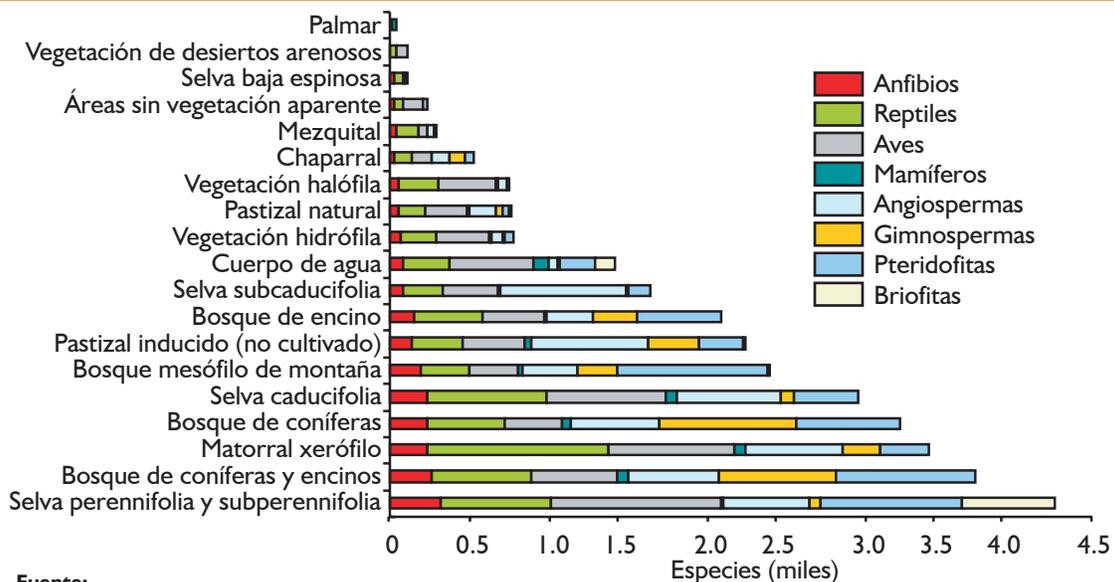
Fuente:  
Conabio. México. 2005.

En diversidad de ecosistemas, México y Brasil son los países más ricos de Latinoamérica y la región del Caribe, seguidos por Colombia, Argentina, Chile y Costa Rica. Sin embargo, si se toma en cuenta tan sólo el número de hábitats o ecorregiones, México es el país más diverso de la región (Dinerstein et al., 1995). A nivel mundial, tan sólo China e India rivalizan con México en la diversidad de su cubierta vegetal.

En la porción terrestre del país pueden encontrarse casi todos los biomas existentes en el mundo, desde las selvas cálido-húmedas, los bosques templados y los bosques mesófilos de montaña, hasta los variados matorrales xerófilos, los pastizales naturales que se desarrollan por arriba de los límites de la vegetación arbórea en las montañas y la vegetación halófila y gipsófila. Se piensa que algunos tipos de vegetación, como los pastizales gipsófilos del altiplano central o los izotales dominados por plantas de los géneros *Dasyliirion*, *Yucca* o *Nolina*, son exclusivos a nuestro país (González Medrano, 2003).

En las aguas nacionales (tanto continentales como costeras y oceánicas) también pueden contarse una gran diversidad de ecosistemas. Dentro de los

**Figura 4.2 Especies de flora y fauna en los ecosistemas de México según el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad**



Fuente:  
Conabio. *La Diversidad Biológica de México: Estudio de País*. México. 1998.



**Tabla 4.2 Tipo y superficie de los principales ecosistemas en México, 2002**

<b>Gran bioma</b>	<b>Bioma</b>	<b>Tipo de vegetación</b>	<b>Superficie (ha)</b>
<b>Bosque</b>	Bosque de coníferas	Bosque de táscate	333 895
		Bosque de oyamel	142 269
		Bosque de pino	7 453 237
		Bosque de ayarín	40 008
		Bosque de cedro	2 314
		Matorral de coníferas	975
	Bosque de coníferas y encinos	Bosque de pino-encino	8 809 048
		Bosque de encino-pino	4 306 491
	Bosque de encino	Bosque de encino	11 242 271
	Bosque mesófilo de montaña	Bosque mesófilo de montaña	1 825 205
	<b>Subtotal</b>		
<b>Selva</b>	Selva perennifolia y subperennifolia	Selva alta perennifolia	3 440 928
		Selva mediana perennifolia	636
		Selva baja perennifolia	46 774
		Selva alta subperennifolia	160 883
		Selva mediana subperennifolia	5 805 224
		Selva baja subperennifolia	11 456
	Selva subcaducifolia	Selva mediana subcaducifolia	4 661 031
		Selva baja subcaducifolia	70 770
		Selva caducifolia	14 506 027
	Selva caducifolia	Selva mediana caducifolia	1 109 638
		Matorral subtropical	1 349 324
		Selva baja espinosa	749 295
	Selva baja espinosa	Selva baja espinosa caducifolia	749 295
		Selva baja espinosa subperennifolia	1 024 229
	<b>Subtotal</b>		
<b>Matorral</b>	Matorral xerófilo	Matorral crasicaule	1 560 151
		Matorral sarcocrasicaule	2 321 649
		Matorral sarcocrasicaule de neblina	568 972
		Matorral sarcocaule	5 313 642
		Matorral desértico micrófilo	21 575 964
		Matorral desértico rosetófilo	10 559 438
		Matorral rosetófilo costero	475 066
		Matorral espinoso tamaulipeco	3 413 721
		Matorral submontano	2 826 820
	Mezquital	Mezquital	2 940 221
Chaparral	Chaparral	2 097 199	
<b>Subtotal</b>			<b>53 652 844</b>
<b>Pastizal</b>	Pastizal inducido (no cultivado)	Pastizal inducido	6 336 240
		Pastizal natural	45 318
	Pastizal natural	Pastizal halófilo	1 975 150
		Pastizal natural	10 299 346
		Pradera de alta montaña	16 587
<b>Subtotal</b>			<b>18 672 642</b>

**Tabla 4.2 Tipo y superficie de los principales ecosistemas en México, 2002 (continuación)**

Gran bioma	Bioma	Tipo de vegetación	Superficie (ha)
<b>Otros tipos de vegetación</b>	Vegetación de desiertos arenosos	Vegetación de desiertos arenosos	2 167 072
		Vegetación de dunas costeras	155 485
	Vegetación halófila	Vegetación gipsófila	46 035
		Vegetación halófila	2 971 203
		Manglar	924 806
		Popal	131 665
		Tular	935 761
		Vegetación de galería	138 031
		Bosque de galería	21 488
		Selva de galería	4 940
		Vegetación de petén	45 005
		Palmar	Palmar natural
	Palmar inducido		105 098
	Sabana	Sabana	207 541
Sabanoide		144 090	
	<b>Subtotal</b>		<b>8 012 001</b>
<b>Plantaciones</b>		Bosque inducido	4 825
		Áreas sin vegetación aparente	954 378
<b>Áreas sin vegetación aparente</b>			
<b>Total</b>			<b>148 388 619</b>

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie III*. México. 2005

lagos y ríos y en sus márgenes pueden observarse bosques y selvas de galería, popales, tulares y ciertos tipos de vegetación acuática sumergida. Entre ellos existen ecosistemas únicos en su género tanto por su composición biológica como por su grado de endemismo, como son los casos de los humedales de Cuatrociénegas, en el estado de Coahuila y los lagos de Chapala y la Media Luna en Jalisco y San Luis Potosí, respectivamente.

En lo que se refiere a ecosistemas marinos o con la influencia del agua salada, en las costas del Pacífico, Atlántico y Mar Caribe pueden encontrarse grandes áreas dominadas por manglares, lagunas costeras, estuarios, comunidades de pastos marinos y, de manera muy especial, por arrecifes de coral. Dentro de los arrecifes de coral son notables por su riqueza los del Golfo de México, Banco de Campeche y el

Caribe, estos últimos considerados dentro de los más diversos del continente y los cuales forman la segunda barrera arrecifal más grande del mundo, después de la Gran Barrera Australiana.

Es importante mencionar que asociado al valor que tienen los ecosistemas como reservorios de una gran riqueza biológica y como proveedores de muchos de los alimentos y materias primas de los que se ha valido la sociedad para su desarrollo, también brindan una serie de servicios ambientales importantes que, no obstante, permanecen desconocidos o poco valorados por la sociedad (ver recuadro de *Servicios ambientales de la biodiversidad*). Entre ellos están la captación y purificación del agua que tomamos, la conservación y formación del suelo del cual obtenemos muchos de nuestros alimentos, la captación del excesivo

## Servicios ambientales de la biodiversidad

Para un gran número de personas, los ecosistemas naturales tan sólo representan atractivos paisajes accesibles por programas de televisión o revistas de entretenimiento. Pocos quizás estarán conscientes de que muchos de los bienes y servicios de los que gozan en sus casas o lugares de trabajo son consecuencia, en gran parte, de la existencia de muchas especies de plantas, animales y microorganismos y de sus interacciones con el medio ambiente en los ecosistemas terrestres, de agua dulce y de las zonas marinas y costeras del planeta.

Entre los bienes que obtenemos directamente de la biodiversidad están los alimentos que consumimos (carnes, frutos, verduras y condimentos), la madera que empleamos para muebles, leña y papel, las fibras para telas, los principios activos de muchos medicamentos, las resinas empleadas en solventes, pinturas y barnices, así como las ceras, tintes y esencias que se emplean en distintas industrias, entre muchos otros. Sin embargo, sólo hasta hace unos cuantos años se ha empezado a hacer conciencia de que este tipo de bienes son tan sólo una fracción del universo de beneficios que obtenemos de la naturaleza. Los llamados “servicios ecosistémicos”, o simplemente, los “servicios ambientales”, son ese otro gran conjunto que apenas empezamos a reconocer. En realidad, estos últimos constituyen los beneficios indirectos de la biodiversidad, opuestos a los directos que se han mencionado anteriormente. Los servicios ambientales se refieren básicamente a un amplio espectro de condiciones y procesos por los cuales los ecosistemas naturales y las especies que los integran ayudan a sostener y satisfacer las necesidades de la sociedad humana (Myers, 1996; Daily *et al.*, 1997). Entre ellos están la purificación del aire y agua, la mitigación de las sequías e inundaciones,

la generación y conservación de los suelos, la descomposición de los desechos, la polinización de los cultivos y de la vegetación natural, la dispersión de semillas, el reciclaje y movimiento de nutrientes, el control de las plagas agrícolas, la protección de las costas ante la erosión del oleaje, la estabilización parcial del clima y el amortiguamiento de los climas extremos y sus impactos. Si se estimara económicamente el valor de estos servicios en el mundo, podrían alcanzar varios trillones de dólares por año (Daily *et al.*, 1997). En la **Tabla a** se muestran estimaciones del valor de los servicios ambientales que brindan algunos ecosistemas en el mundo.

Desafortunadamente, la transformación y degradación de los ecosistemas naturales también ha llevado al deterioro de la calidad de sus servicios ambientales. En una isla de Filipinas a mediados de los años ochenta, por ejemplo, la remoción del bosque en ciertas zonas montañosas incrementó cerca de 235 veces la erosión del suelo, lo cual promovió el asolvamiento de los arrecifes coralinos y redujo las ganancias pesqueras en aproximadamente 50%. Ejemplos como este, pueden citarse muchos.

Podría decirse que las amenazas a los servicios ambientales provienen, en última instancia, de dos importantes factores: por un lado, del desmedido crecimiento de las necesidades de la sociedad humana (dados por el creciente tamaño poblacional y el consumo per cápita, así como por los impactos ambientales que producen las tecnologías que generan y abastecen los productos) y por otro, por la falta de congruencia entre las políticas de incentivos económicos que benefician a unos cuantos en el corto plazo y perjudican la visión del bienestar social de las generaciones futuras en el largo plazo.

## Servicios ambientales de la biodiversidad (continuación)

Tabla a Estimaciones del valor económico de los servicios ambientales prestados por algunos ecosistemas o por la flora o fauna en el mundo

Ecosistema /Flora/Fauna	Servicio ambiental	País/Región	Valor económico anual (dólares americanos)
Bosque tropical	Almacenamiento de carbono	Amazonía, Brasil	46 000 000 000
Humedales	Protección contra inundaciones	Boston, Estados Unidos	72 000 por hectárea
Abejas	Polinización de cultivos	Estados Unidos	30 000 000 000
Ballenas	Ecoturismo	65 países	504 000 000
Arrecifes de coral	Ecoturismo	Florida, Estados Unidos	1 600 000 000

**Fuente:**

Myers, N. Environmental services of Biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 93: 2764-2769. 1996.

Sumado a lo anterior, debe mencionarse que los servicios ambientales que aportan los ecosistemas y su biodiversidad no se valoran económicamente de manera adecuada: muchos de ellos no se comercializan o cotizan en los mercados, otros tantos ofrecen beneficios a la sociedad pero no son redituables para los dueños de las tierras donde se producen y, en muchas ocasiones, los subsidios estimulan la conversión de los terrenos hacia otros usos con actividades económicas más rentables. Debe agregarse que muchas de las actividades productivas que afectan los servicios ambientales por medio de la transformación de los ecosistemas o la utilización de la biodiversidad no pagan directamente por los costos de los servicios ambientales que perturban.

En este sentido, es fundamental la definición y asignación del valor económico justo a los servicios ecosistémicos y a la biodiversidad que los produce. De lograrse esta tarea podrían obtenerse beneficios altamente significativos a la sociedad, entre los que podemos citar dos: i) que muchos de los ecosistemas y su biodiversidad se coticen a precios cada vez mayores en el mercado, lo que podría convertirlos en bienes más

atractivos para la inversión que los usos del suelo alternativos que comúnmente los reemplazan (agropecuarios, por ejemplo) y ii) que el pago por los servicios ambientales que brindan los ecosistemas podría favorecer que la inversión en su recuperación sea más atractiva, lo que propiciaría la recuperación de la cubierta vegetal y su biodiversidad, particularmente en las zonas rurales.

En México se han desarrollado distintos programas que buscan preservar los servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas y sus especies. Destacan el Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH, detallado en el capítulo de **Agua**) y el Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad y para Fomentar el Establecimiento y Mejoramiento de Sistemas Agroforestales (PSA-CABSA, detallado en el capítulo de **Aprovechamiento de los recursos forestales, pesqueros y de la vida silvestre**). Paralelamente, existen estrategias que aunque no están encaminadas directamente a la preservación de los servicios ambientales, lo hacen por medio de la conservación y el uso sustentable de la

## Servicios ambientales de la biodiversidad (continuación)

biodiversidad, tales como las áreas naturales protegidas (descritas en este capítulo), las unidades para la conservación de la naturaleza (UMA) y el Programa de Desarrollo Forestal (Prodefor), referidos éstos últimos en el Capítulo 5 de **Aprovechamiento de los recursos forestales, pesqueros y de la vida silvestre**.

### Fuentes:

Daily, G. C. , S. Alexander, P. R. Ehrlich, L. Goulder, J. Lubchenco, P. A. Matson, H. A. Mooney, S. Postel, S. H. Schneider, D. Tilman y G. M. Woodwell. Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology*. Number 2. 1997.

Myers, N. Environmental services of biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*. 93: 2764-2769. 1996.

Salvin, S. *Developing a market in biodiversity credits*. 2000.

carbono que producen las actividades productivas, el control de las inundaciones, la protección de las zonas costeras, entre muchos otros. De ahí que la conservación de muchos de los ecosistemas nacionales (tanto terrestres como marinos y acuáticos continentales) sea prioritaria para asegurar el futuro de las siguientes generaciones. Sin los servicios ambientales que brindan los ecosistemas, el bienestar de la sociedad y el crecimiento nacional estarían seriamente comprometidos.

Además del alto número de especies, la diversidad de México es relevante porque muchas de las especies de importancia agrícola a nivel mundial (e. g., maíz, frijol y jitomate) tuvieron su origen en nuestro territorio. De hecho, México es el único de los países megadiversos que se encuentra en lo que se conoce como la “faja génica” que circunda al globo entre los trópicos de Cáncer y Capricornio. Este

hecho se refleja en la gran diversidad de especies y variedades de plantas cultivadas.

La diversidad genética (el tercer nivel en el cual se estudia la biodiversidad, junto a los niveles de especies y ecosistemas que se han mencionado en los párrafos anteriores) ha sido utilizada ampliamente en los procesos de selección artificial que han llevado a la domesticación de numerosas especies de plantas y animales. México es uno de los centros de origen y domesticación más importantes del mundo, en el que al menos 120 especies de plantas han sido domesticadas (Hernández-Xolocotzi, 1998) (**Cuadro D3 BIODIV05 01**). Por ejemplo, de la especie de chile *Capsicum annuum* se conocen en México cerca de 10 variedades (entre ellas los chiles guajillo, mirasol, piquín, de árbol y manzano), además de las restantes cuatro especies nativas al territorio. De igual modo, el género *Phaseolus* (dentro del que se incluye al frijol común) está representado por 35 especies en México, y del de la calabaza (género *Cucurbita*) se conocen 21 especies en el territorio, cuatro de las cuales se cultivan ampliamente en todo el país. Destaca también el pariente silvestre del maíz (*Zea diploperennis*), el cual posee genes que le confieren resistencia a las distintas enfermedades que afectan a su pariente cultivado, lo que lo convierte en la única fuente de genes disponible para mejorar este importante cultivo (Ramamoorthy *et al.*, 1998).

En el caso de las especies de animales domesticadas en el territorio nacional, el número es mucho menor, reconociéndose apenas 12 razas (cuatro de ovejas, dos de caballos, tres de cerdos, una de cabras y dos de ganado vacuno) (Loftus y Scherf en Conabio, 1998; **Cuadro D3 BIODIV05 02**), de las aproximadamente 4 mil razas que pueden contarse en el mundo (Conabio, 1998).

## Las amenazas a los ecosistemas mexicanos

### Ecosistemas terrestres

La superficie remanente de muchos de los ecosistemas terrestres está bajo grandes presiones. El desarrollo de las sociedades y su inherente



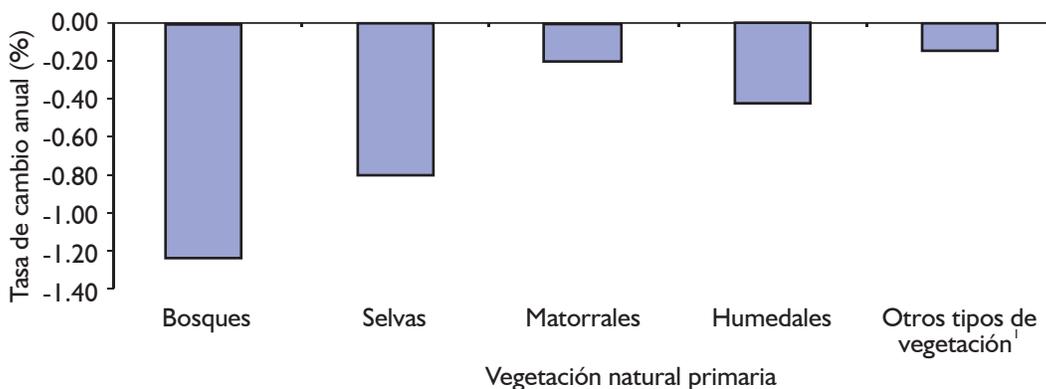
necesidad de generar bienes y servicios han transformado o degradado grandes extensiones, calculándose que esta cifra podría alcanzar entre 33 y 50% de la superficie terrestre mundial (Vitousek *et al.*, 1997). Se considera que las principales fuerzas que amenazan a los ecosistemas terrestres, tanto en México como en el resto del mundo, son el cambio del uso del suelo (impulsado principalmente por la expansión de la frontera agropecuaria y urbana), el crecimiento demográfico y de infraestructura (e. g., por la construcción de carreteras, redes eléctricas y represas), los incendios forestales, la sobreexplotación de los recursos naturales, la introducción de especies invasoras, el aprovechamiento ilegal y el cambio climático global.

En México, de acuerdo con la Cartografía de uso del suelo y vegetación del 2002, en ese año la vegetación natural del país (tanto primaria como secundaria) ocupaba poco más de 148 millones de hectáreas, es decir, cerca del 75 por ciento de la superficie nacional. El bioma más extenso en esa fecha fue el matorral xerófilo, el cual se extendía en cerca de 54 millones de hectáreas (23.7% del territorio), seguido por los bosques templados (poco más de 34 millones de hectáreas, 17.8% del país) y las selvas (cerca de 33 millones de hectáreas, 16.8% del territorio) (Tabla 4.2).

Con respecto al cambio de uso del suelo, durante el periodo 1993-2002, el ecosistema que mayor superficie de vegetación primaria perdió en el país fue el bosque (tanto templado como mesófilo de montaña, en cerca de 2.5 millones de hectáreas a un tasa anual de 1.24%), seguido por matorral xerófilo (cerca de 837 mil hectáreas al 0.2%) y por las selvas (que perdieron aproximadamente 836 mil hectáreas al 0.8% anual) (Figura 4.3). En el mismo periodo, los humedales nacionales redujeron su extensión en 95 mil hectáreas (0.42% anualmente) y en conjunto la vegetación halófila y gipsófila, la vegetación de galería y el pastizal natural perdieron cerca de 201 mil hectáreas, a una tasa anual del 0.15%. En general, el principal destino de las superficies deforestadas es el de convertirse a terrenos agrícolas y/o de pastoreo. Sin embargo, la superficie agrícola no ha aumentado de manera significativa en los últimos años, lo que parece mostrar que la destrucción de los ecosistemas naturales no se ha traducido en un incremento real de las áreas productivas. Para mayores detalles respecto al cambio en el uso del suelo en el país, consultar el Capítulo 2 **Vegetación y uso del suelo**.

En el año 2000, México era el undécimo país más poblado, el tercero del continente americano (después de Estados Unidos y Brasil) y el duodécimo

**Figura 4.3 Cambio de uso del suelo en los principales ecosistemas terrestres en México, 1993-2002**



Nota: <sup>1</sup> Incluye la vegetación halófila y gipsófila, vegetación de galería y pastizal natural.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie II*. México. INEGI. *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie III*. México. 2005



por su contribución al crecimiento de la población del planeta. Su acelerado crecimiento demográfico, la distribución asimétrica de su población en el territorio, los fenómenos migratorios y el establecimiento de nuevas comunidades en zonas deshabitadas han repercutido de manera importante en el estado de los ecosistemas terrestres nacionales. El crecimiento demográfico, por ejemplo, daña indirectamente a estos ecosistemas por la presión que ejercen las poblaciones humanas sobre los recursos naturales, por la construcción de infraestructura y por el incremento en la generación de residuos municipales e industriales que se disponen de manera inadecuada; todo ello con importantes consecuencias en la estructura y función de muchos ecosistemas terrestres y en su biodiversidad. Debe señalarse que el impacto que ejerce la población difiere entre los sectores urbano y rural. Los impactos que produce la población rural son generalmente menores (en virtud de sus patrones de consumo, destino de sus desechos, etc.), en el caso de la población urbana los impactos pueden ser sustancialmente mayores dado su elevado nivel de consumo y demanda de servicios y producción de desechos.

La infraestructura nacional, y en particular la red de carreteras, creció en 107 mil kilómetros durante el periodo 1991-2003, pasando de alrededor de 242 mil a 350 mil kilómetros durante ese periodo. Aunque el crecimiento de la infraestructura es fundamental para el desarrollo de una nación, puesto que facilita el transporte de productos y personas entre regiones, puede también dañar a los ecosistemas. Destacan entre sus efectos la pérdida y alteración del hábitat, la fragmentación de las áreas remanentes de vegetación natural y la mortalidad de los animales (en su mayoría mamíferos) que se desplazan entre los parches cruzando los caminos. Los estados del país que entre 2000 y 2003 incrementaron más velozmente su red de carreteras fueron el Estado de México (al 12.54% anual), Veracruz (12.45% anual), Guerrero (8.78% anual) e Hidalgo (6.62% anual). Es muy probable que los efectos de la fragmentación de los ecosistemas terrestres por el crecimiento de la red carretera sean mayores en el centro del país, donde algunos

de sus estados registran las mayores densidades de caminos (considérese que la densidad nacional en carreteras es de 0.18 kilómetros por kilómetro cuadrado): Estado de México (0.66 kilómetros por kilómetro cuadrado), Tlaxcala (0.60) e Hidalgo (0.54). En contraste, los estados del norte del país son los que podrían tener menores efectos por la expansión de este tipo de infraestructura, registrando densidades de carreteras muy bajas: Chihuahua (0.05 kilómetros por kilómetro cuadrado), Coahuila (0.06), Baja California Sur (0.07), Durango (0.11) y Nuevo León (0.12). En el Capítulo 2 **Vegetación y uso del suelo** se desarrolla con mayor amplitud el tema de fragmentación de los ecosistemas.

Adicionalmente, cada año los incendios forestales son responsables de la pérdida de vegetación natural en todo el país, principalmente durante la época de sequía. En el periodo 1996-2004 se presentaron en promedio al año 8 mil 279 incendios forestales, con una superficie afectada promedio de cerca de 268 mil hectáreas por año. Debe mencionarse que 1998 fue un año particularmente destructivo en materia de incendios forestales en el país, registrándose 14 mil 445 conflagraciones (57.3% más que el promedio para el periodo 1996-2004) y una superficie afectada cercana a las 850 mil hectáreas. La mayor parte de la superficie afectada en ese año correspondió a pastizales, vegetación herbácea y arbustos; sólo 21% de la superficie afectada fueron zonas arboladas. Los incendios forestales ocurren de manera natural y constituyen un factor importante para la dinámica de muchos ecosistemas forestales del mundo, sobre todo en los bosques templados. Los incendios influyen en los procesos que determinan la disponibilidad de los nutrientes en el suelo y promueven los procesos de sucesión ecológica que ayudan al mantenimiento de la biodiversidad. Sin embargo, en la actualidad y debido en gran parte a las actividades y control humanos, los patrones naturales de ocurrencia de incendios han cambiado. Ahora muchos de los incendios forestales ocurren en zonas que anteriormente no sufrían de fuegos, mientras que se han suprimido en zonas que presentaban regímenes periódicos. Este cambio puede ser particularmente nocivo para muchas de las especies de flora y fauna sensibles



de ciertos ecosistemas (e. g., selvas perennifolias y bosques mesófilos de montaña).

Los efectos del fuego sobre los ecosistemas son diversos y dependen de su intensidad y frecuencia. Su mayor consecuencia es la eliminación de la biomasa vegetal que, junto con la eliminación de los renuevos de las poblaciones de las especies arbóreas, retrasa o interrumpe la regeneración natural, además de que propicia la invasión de plagas y enfermedades forestales. En el caso de la fauna, muchos individuos de ciertas especies (sobre todo aquellas con bajas capacidades de movimiento) sucumben en los incendios, lo que puede causar reducciones importantes en los tamaños de sus poblaciones e incluso, en situaciones extremas, ocasionar su extinción local en ciertas zonas geográficas.

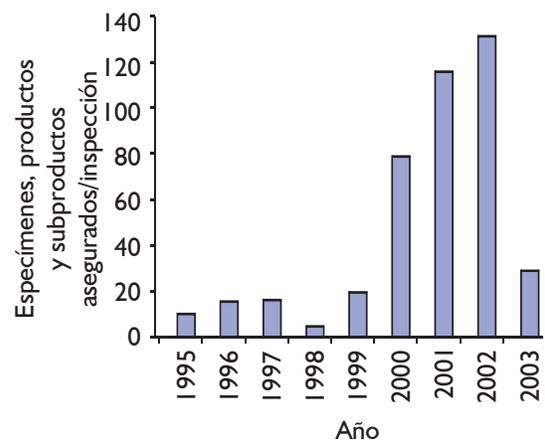
A pesar de que el movimiento de especies de una región a otra puede ser un fenómeno natural, la actividad humana ha incrementado enormemente la frecuencia con la que ocurre, debido en gran parte al movimiento global de productos (por el comercio de alimentos, madera, plantas y flores de ornato, entre otros). Las especies invasoras son aquellas que se establecen fuera de su área de distribución natural y que pueden tener un impacto negativo, ya sea ecológico, social o económico en el sitio al que arriban. Actualmente se reconoce que la introducción de especies invasoras, ya sea de manera accidental o intencional, es una de las principales causas de pérdida de la biodiversidad en el planeta. Algunos detalles respecto al número e identidad de las especies invasoras en el país pueden consultarse en el cuadro **Especies invasoras en México**.

El aprovechamiento ilegal de la biodiversidad también es una de las actividades que mayormente amenaza a la biodiversidad, principalmente a la de los ecosistemas terrestres. Esta práctica incluye la cacería furtiva, captura, colecta, transporte y comercio no autorizado de ejemplares de la vida silvestre. Por los ingresos que genera, se considera que a nivel internacional es la tercera de las actividades ilícitas (después del tráfico de drogas y armas) que más ganancias produce (Conabio, 1998).

En el caso de México, entre 1995 y 2003, el número de especímenes, productos y subproductos de la vida silvestre asegurados mantuvo una tendencia creciente. Aunque entre 1995 y 1998 se conservó estable alrededor de las 13 piezas en promedio por operativo, para el año 2000 había alcanzado las 79 piezas y el máximo registrado en el periodo (en el año 2002) fue de 131 piezas (Figura 4.4). Debe mencionarse que estos datos tan sólo representan el tráfico mínimo detectable, siendo desconocido el volumen total de piezas que se trafican ilegalmente dentro y fuera del país

Finalmente, el cambio climático global también es un factor de presión muy importante para la distribución y eventual existencia de muchos ecosistemas y sus especies en México y el mundo. Los cambios en la temperatura y en los patrones de precipitación afectarán la distribución y extensión de distintos biomas y, por ende, de las especies que los integran. Considerando los cambios en la temperatura y precipitación que se pronostican, en México los ecosistemas terrestres más afectados serán los bosques templados, las selvas tropicales y los bosques mesófilos de montaña (ver el recuadro de **El cambio climático y la biodiversidad**).

**Figura 4.4 Aprovechamiento ilegal de la biodiversidad en México, 1995-2003**



**Fuentes:**

Semarnap-Profepa. *Informe Trienal 1995-1997*. México. 1998.  
Semarnat-Profepa. México. 2002.  
Semarnat-Profepa. *Informe Anual. Años 2002 y 2003*. México. 2003 y 2004.

## Especies invasoras en México

Uno de los fenómenos más espectaculares de la naturaleza es la migración de grandes poblaciones de animales entre regiones geográficas distantes entre sí. El viaje de la mariposa monarca desde el norte de los Estados Unidos y sur de Canadá hasta la zona central de México y los de las numerosas especies de aves que migran desde la zona del Ártico hacia las tierras tropicales y subtropicales de África y América en el invierno, son buenos ejemplos de ello.

Si bien el movimiento de especies de una región a otra puede ser un fenómeno natural causado por distintos factores (e. g., los cambios en la temperatura de sus hábitats, la disponibilidad del alimento o por el inicio de la época de reproducción), los seres humanos han transportado, desde milenios atrás, muchas especies lejos de sus áreas de distribución natural, motivados en la gran mayoría de los casos por su valor comercial, económico u ornamental.

Aun cuando muchas de las especies introducidas no pueden sobrevivir de manera natural y permanente en sus nuevos destinos, algunas pueden conseguirlo con efectos negativos importantes. Actualmente se reconoce que la introducción de especies, ya sea de manera accidental o intencional, es una de las principales causas de pérdida de la biodiversidad del planeta (EPA-Australia, 2003). Se sabe que pueden alterar las trayectorias evolutivas de las especies, así como la dinámica y los procesos de las comunidades naturales, y que han causado grandes pérdidas económicas y constituyen amenazas para la salud humana y el desarrollo sustentable (Money, 2000).

Como buen ejemplo de los efectos que una especie invasora puede tener en la biodiversidad y la economía de una región está el caso de la medusa de Leydi (*Menopsis leidy*), la cual fue introducida accidentalmente (por

medio del agua de lastre de embarcaciones) desde el Atlántico Occidental hacia el Mar Negro en 1982 (Groombridge y Jenkins, 2002). Seis años más tarde, esta especie, la cual no encontró depredadores naturales en su nuevo hábitat, constituía cerca del 95% de la biomasa total del Mar Negro (cerca de mil millones de toneladas métricas). Entre sus efectos más importantes pueden citarse el agotamiento de las reservas naturales de plancton en el cuerpo de agua, el cual provocó explosiones de algas y la subsecuente caída de la actividad pesquera de dicho mar, con importantes consecuencias económicas y sociales en la región.

En México, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) se ha encargado de obtener información sobre la situación de las especies invasoras en el país, llevando a cabo talleres con expertos de los sectores académico, gubernamental, organizaciones no gubernamentales y comerciales para identificar los problemas que generan las especies invasoras acuáticas y terrestres en el país, así como las acciones necesarias para resolver esta problemática en aspectos relativos a la prevención, detección temprana, erradicación, manejo y control, difusión y educación, regulación, normatividad, política y legislación e investigación.

La Conabio reconoce en 2005 un total de 780 especies invasoras: 647 especies de plantas, 75 de peces, 2 de anfibios, 8 de reptiles, 30 de aves, 16 de mamíferos y 2 de invertebrados (*Figura a*). Los ecosistemas terrestres son los que registran un mayor número de especies invasoras (con 683), seguido por los ecosistemas acuáticos continentales (85) y los ecosistemas marinos (8). Las especies invasoras provienen prácticamente de todos los continentes del globo y se han introducido en muchos de los ecosistemas nacionales, involucrando a todos los estados de la república.

## Especies invasoras en México (continuación)

La amenaza de las especies invasoras constituye un gran reto para la salvaguarda de la biodiversidad mexicana. Es muy probable que con el aumento en los movimientos comerciales globales el número de potenciales especies invasoras en el territorio nacional también crezca. Sus efectos adversos sobre los ecosistemas serán difícilmente identificables en el corto plazo y es muy factible que muchas especies de invasoras (principalmente microorganismos e insectos) desarrollen respuestas que reduzcan la eficacia de los programas de control. En este sentido, la generación de información básica (respecto a los hábitats y las condiciones en las cuales se establecen, sus vectores, sus mecanismos de degradación de los hábitats y sus efectos en los ecosistemas) será fundamental para su prevención, control y erradicación. Todo ello podría ser útil tanto

para el desarrollo de programas de control (baratos y amigables con el ambiente) capaces de realizar la erradicación o control de las especies invasoras, como para establecer mecanismos de control al flujo de potenciales especies invasoras.

### Fuentes:

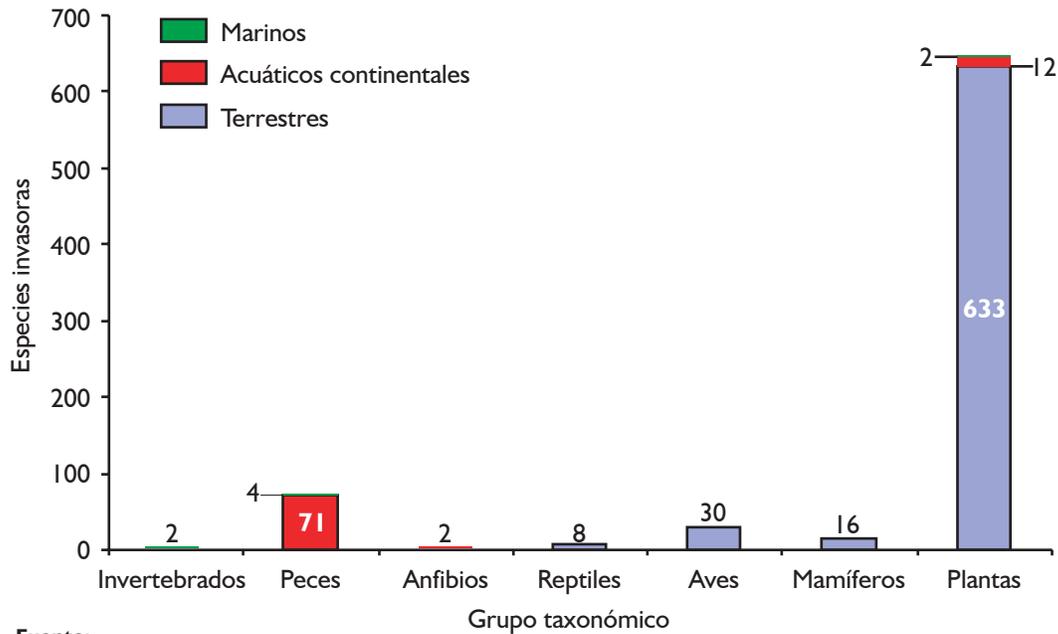
Conabio. Programa de especies invasoras de México. 2005. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/especies\\_invasoras/doctos/especiesinvasoras.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/especies_invasoras/doctos/especiesinvasoras.html)

EPA. *State of the Environment Report for South Australia 2003*. Adelaide, Australia. 2003.

Groombridge, B. y M. D. Jenkins. *World Atlas of Biodiversity*. UNEP-WCMC. University of California Press. USA. 2002.

Money, H. Invasive alien species- the nature of the problem. En: SCBD. *Assessment and management of alien species that threaten ecosystems, habitats and species*. Abstracts of keynote addresses and posters presented at the sixth meeting of the Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice. Montreal, Canada. SCBD, CBD Technical Paper 1. 2000.

Figura a Especies invasoras en los ecosistemas nacionales por grupo taxonómico y ambiente



### Fuente:

Conabio. Programa de Especies Invasoras de México. 2005. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/especies\\_invasoras/doctos/especiesinvasoras.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/especies_invasoras/doctos/especiesinvasoras.html)

## El cambio climático y la biodiversidad

En las últimas décadas, uno de los problemas ambientales que más ha atraído la atención de las sociedades y los gobiernos de todo el mundo es el cambio sin precedente en el clima global. Los científicos reportan el incremento de la temperatura terrestre y marina, el cambio en los patrones temporales y espaciales de la precipitación, el ascenso del nivel del mar, la reducción de la superficie de los casquetes polares y el aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos de El Niño, por citar sólo los más importantes. El ciudadano común ha percibido este problema en forma de veranos secos y calientes cada vez más comunes, en inundaciones y desbordamientos de ríos, así como en frecuentes huracanes y tifones de gran intensidad y en la mortalidad masiva de corales alrededor del mundo.

El origen del cambio climático (antropogénico versus natural) estuvo en debate durante muchos años, sin embargo, actualmente se reconoce que las actividades humanas han tenido gran influencia en este fenómeno. Los principales factores asociados han sido el constante incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (cuyo nivel es actualmente 35% mayor que el de la época preindustrial), derivado fundamentalmente de la combustión de los combustibles fósiles y el cambio de uso del suelo en el planeta.

Sin embargo, el cambio climático no sólo ha alterado el clima del mundo, sino también ha tenido importantes consecuencias sobre su biodiversidad. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) con base en 44 estudios publicados (los cuales incluían cerca de 500 taxa), pudieron concluir que el cambio climático ha afectado la biodiversidad por:

- *Cambios en los eventos biológicos (fenología).* Entre estos destacan modificaciones en las épocas de emergencia, crecimiento, reproducción y migración de invertebrados, anfibios, aves e insectos, así como también en los tiempos de floración y crecimiento en plantas.

- *Cambios en la morfología, fisiología y conducta.* En algunas especies se han observado alteraciones de los tamaños y la edad a la madurez sexual: mientras que en algunos reptiles el tamaño es mayor y la madurez sexual se alcanza tempranamente en periodos de años calientes, en algunos mamíferos la tendencia es opuesta. Por otro lado, la conducta reproductiva de algunos anfibios es susceptible a la temperatura: en años calientes las hembras de algunas especies de anfibios atraen más tempranamente con su canto a los machos, lo cual puede influir notablemente en el éxito de su progenie.

- *Expansión o contracción de las áreas geográficas de distribución.* Cambios en la distribución y abundancia de especies animales asociadas al cambio en el clima han sido observados en todos los continentes en insectos, anfibios, aves y mamíferos. Como ejemplo: un estudio con 35 especies de mariposas europeas no migratorias señaló que 60% de ellas cambiaron su área de distribución entre 35 y 240 kilómetros hacia el norte durante el siglo XX como consecuencia del cambio en el clima.

- *Cambios en la cantidad y calidad de los servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas.* Las alteraciones en el ciclo hidrológico (e. g., en la fecha de deshielo, duración de la época de sequía y en la frecuencia y distribución de la lluvia) han afectado la calidad de los servicios ambientales que ofrecen ríos, lagos, lagunas

## El cambio climático y la biodiversidad (continuación)

y humedales en muchas partes del mundo. En muchas de las zonas áridas y semiáridas del mundo, los lagos y otros reservorios se han secado permanentemente o sufren de profundas variaciones en su capacidad de almacenamiento, lo cual ha tenido importantes consecuencias sobre las especies de fauna que dependen de ellos.

• *Eventos de blanqueamiento en los arrecifes de coral.* Las crecientes temperaturas del agua superficial del mar han provocado importantes, aunque en algunas ocasiones reversibles, eventos de blanqueamiento del coral, predominantemente durante los eventos de El Niño. El episodio más notable ocurrió entre 1997 y 1998, cuando importantes zonas coralinas fueron afectadas en todo el mundo.

Las predicciones para el futuro destacan un aumento en la temperatura de la superficie terrestre de entre 1.4 y 5.8°C para finales del siglo XXI, así como un ascenso en el nivel del mar de entre 9 y 88 centímetros. Por su parte, la precipitación es probable que se incremente en las latitudes altas y en el ecuador, y que a su vez disminuya en las zonas subtropicales del planeta. Bajo estas condiciones, es probable que la distribución de muchas especies y ecosistemas cambie en el futuro, migrando hacia otras latitudes y/o altitudes a través de paisajes fragmentados por las actividades humanas. La composición de los ecosistemas actuales cambiará, en virtud de que muchas especies serán incapaces de migrar y superar los cambios ambientales, sobre todo aquellas consideradas como vulnerables. En este sentido, el riesgo de extinción se incrementará para aquellas especies con requerimientos climáticos específicos o pequeñas poblaciones, tales como las especies de las zonas montañosas o

las restringidas a islas, penínsulas o ambientes costeros (e.g., manglares, humedales costeros o arrecifes coralinos). La magnitud del impacto no dependerá exclusivamente de los cambios en la temperatura o en los patrones de precipitación, sino también en su interacción y sinergia con otros factores, tales como la pérdida, fragmentación y degradación de los hábitats y la introducción de especies invasoras.

México es un país vulnerable al cambio climático. Se pronostican para el futuro modificaciones del régimen y la distribución espacial y temporal de las precipitaciones, cambios en la humedad de suelos y aire, con alteraciones de los procesos de evapotranspiración y recarga de acuíferos, agudización de las sequías, la desertificación del territorio, mayor incidencia de incendios forestales, lo que profundizará la deforestación, la erosión y la liberación de carbono. Así mismo, es probable la alteración de la dinámica de las cuencas hidrológicas, así como del régimen y distribución de los escurrimientos superficiales e inundaciones. Con este ambiente como marco, se predice que los tipos de vegetación mayormente afectados por el cambio climático serán los bosques templados, las selvas y los bosques mesófilos de montaña, lamentablemente algunos de los ecosistemas más diversos en especies del país.

### Fuentes:

IPCC. *Climate change and biodiversity*. IPCC technical paper V. WMO y UNEP. 2002.

Magaña, V. O. y C. Gay. Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. *Gaceta Ecológica* 65: 7-23. 2002.



## Ecosistemas costeros y oceánicos

Los ecosistemas costeros del mundo también sufren de una presión intensa. En 1995, cerca del 29% de la población mundial estaba asentada dentro de los 50 kilómetros adyacentes a la costa (Burke et al., 2000). Las actividades económicas y sociales en esas zonas han traído consigo un desarrollo y crecimiento demográfico acelerado, todo ello a costa de impactos adversos sobre los ecosistemas oceánicos y costeros. Los impactos que genera el crecimiento poblacional en los litorales sobre los ecosistemas marinos provienen principalmente de la construcción de infraestructura (principalmente a través de muelles, diques y rompeolas, entre otros), la sobreexplotación de sus recursos naturales y por la disposición de los residuos municipales sin tratamiento en sus aguas.

México posee un litoral de poco más de 11 mil kilómetros, bañado por las aguas de tres grandes cuencas marinas: el Océano Pacífico, el Golfo de México y el Mar Caribe. Su gran extensión (cerca de 315 millones de hectáreas en su zona económica exclusiva) y la compleja historia geológica de la región han producido una gran diversidad en ecosistemas marinos ricos en especies. De entre los ecosistemas costeros más importantes en el país se encuentran los manglares, lagunas costeras, marismas, esteros, planicies de marea, islas de barrera, comunidades de pastos marinos y los arrecifes de coral (ver los cuadros **Ecosistemas anfibios: un tesoro amenazado** y **Arrecifes de coral**).

La población de las zonas costeras creció en México, durante el periodo 1995-2000, a una tasa anual del 1.63%, pasando de los 19 a los 20.7 millones de habitantes. Las zonas costeras de Quintana Roo y Baja California (regiones naturalmente ricas en especies marinas y poseedoras de ecosistemas únicos en el mundo) fueron las que crecieron más aceleradamente durante este periodo (con tasas anuales de 5.37 y 4.11% anual, respectivamente), resultado probablemente de la intensa actividad turística y la migración hacia el norte, respectivamente.

La pesca es una de las actividades humanas que más impacto ejerce sobre la biodiversidad costera y oceánica. Afecta tanto por la captura directa de los animales de las especies objetivo, como por la captura incidental de otros organismos (la llamada “fauna de acompañamiento”) y por los métodos tradicionales de pesca. En el caso de la primera de ellas, su efecto más importante es la reducción del tamaño de las poblaciones que se pescan, lo cual afecta su estructura poblacional, su potencial y características reproductivas y su composición genética. Cuando la extracción es intensiva, las poblaciones pueden reducirse drásticamente y recuperarse muy lentamente, o en un caso extremo, extinguirse local o globalmente. Casos de colapsos en las poblaciones naturales por sobrepesca en el mundo son numerosos, como los de la anchoveta *Engraulis ringens* en las costas de Perú y del bacalao *Gadus morua* en Terranova. La pesca también afecta indirectamente a las comunidades marinas modificando los hábitats y alterando el flujo y la dinámica de la cadena trófica. Sin embargo, es muy difícil conocer con precisión las consecuencias que la actividad pesquera ha dejado en los ecosistemas de las costas y de mar abierto mexicanos. Podemos adelantar, no obstante, que algunos datos sugieren que numerosos sistemas costeros están afectados por las actividades pesqueras. Según la actualización de la Carta Nacional Pesquera de 2004, 33 de los 42 principales sistemas lagunares costeros del país están afectados por las actividades pesqueras, 27 de ellos en la costa del Pacífico y los restantes 6 en el Golfo y el Caribe. Desde la perspectiva de las pesquerías nacionales, la misma carta establece que entre 10 y 15% de ellas se encuentran en condiciones de deterioro.

Uno de los problemas más graves de la pesca es la falta de selectividad de las artes de pesca tradicionales, lo que conlleva a la captura de ejemplares de muchas especies que carecen de valor comercial. Además de numerosas clases de peces e invertebrados, se capturan especies amenazadas, entre las que se encuentran cetáceos, tiburones y tortugas marinas. Se ha estimado que tan sólo en el año 2000 la flota palangrera mundial mató accidentalmente alrededor de 200 mil tortugas caguamas y 50 mil

## Ecosistemas anfibios: un tesoro amenazado

Los manglares son los “ecosistemas anfibios” por excelencia de la naturaleza: son comunidades de árboles y arbustos que viven en las zonas costeras dentro de las zonas intermareales, es decir, en las áreas de transición entre el mar y la tierra firme. Se les puede ver ocupando los deltas en las desembocaduras de los ríos, en estuarios, lagunas costeras e incluso, en los bordes de islas en el mar abierto. Estos ecosistemas constituyen complejos ensamblajes de especies que, aunque no son muy diversos, reúnen numerosas especies de plantas epífitas, parásitas, crustáceos, moluscos, aves y peces.

Para poder sobrevivir en estos ecosistemas, muchas plantas deben tolerar, entre otras condiciones, la alta salinidad de las aguas, la inundación permanente del suelo (con la falta de oxígeno que ocasiona en la zona de las raíces) y los embates del oleaje y las mareas. En este sentido, distintas adaptaciones a estas condiciones han evolucionado en muchas especies. La exclusión de la sal en las raíces, su secreción y cristalización en la superficie de las hojas, los sistemas aéreos de raíces y las lenticelas en su superficie (estructuras que facilitan la absorción del oxígeno cuando bajan las mareas), son sólo algunas de las más importantes (NOAA, 2002). Al menos 20 familias de plantas en el mundo tienen manglares dentro de sus listas y se reconocen actualmente 62 especies, siendo las zonas del Océano Índico y la parte occidental del Pacífico las más diversas en especies (Groombridge y Jenkins, 2002).

Los manglares, además de su intrínseca belleza natural, también han abastecido a las sociedades humanas con distintos productos. La madera que se extrae de ellos sirve como material para construcción de casas y embarcaciones, como materia prima para la

elaboración de papel y como combustible. El follaje de los mangles se emplea en algunas comunidades como forraje para ganado, particularmente en la época seca cuando otros tipos de plantas no están disponibles. De la corteza de los mangles se obtienen también taninos, compuestos químicos útiles como tintes y como conservadores en la industria peletera. Aunado a lo anterior, son una rica fuente de alimento de origen marino. Se sabe que gran parte de las especies comerciales de camarón son dependientes, en alguna etapa de su ciclo de vida, de las zonas de manglar (Groombridge y Jenkins, 2002).

Debe mencionarse que, además de proveer de una gama importante de bienes a las sociedades, los manglares también realizan un conjunto de servicios ambientales que, en la mayoría de los casos, no son ni reconocidos ni valorados. Destacan la protección de las costas, principalmente por la reducción de la velocidad y la fuerza del oleaje, en especial durante eventos meteorológicos extremos como huracanes y tormentas tropicales; sirven como sitios de refugio y alimentación de las especies marinas de consumo humano (e. g., camarones, cangrejos, ostiones y almejas) y mantienen la calidad del agua, esto debido a la captura de sedimentos en las raíces y a la absorción de compuestos orgánicos e inorgánicos directamente de la columna de agua (Groombridge y Jenkins, 2002; NOAA, 2002).

Las estimaciones de la superficie que ocupan los manglares en el mundo varían entre los 170 mil y los 240 mil kilómetros cuadrados (Groombridge y Jenkins, 2002; NOAA, 2002; FAO, 2003). Su distribución está determinada principalmente por la temperatura, lo que los restringe a las zonas tropicales y subtropicales entre los 25 y los 30 grados de latitud en ambos hemisferios.

## Ecosistemas anfibios: un tesoro amenazado (continuación)

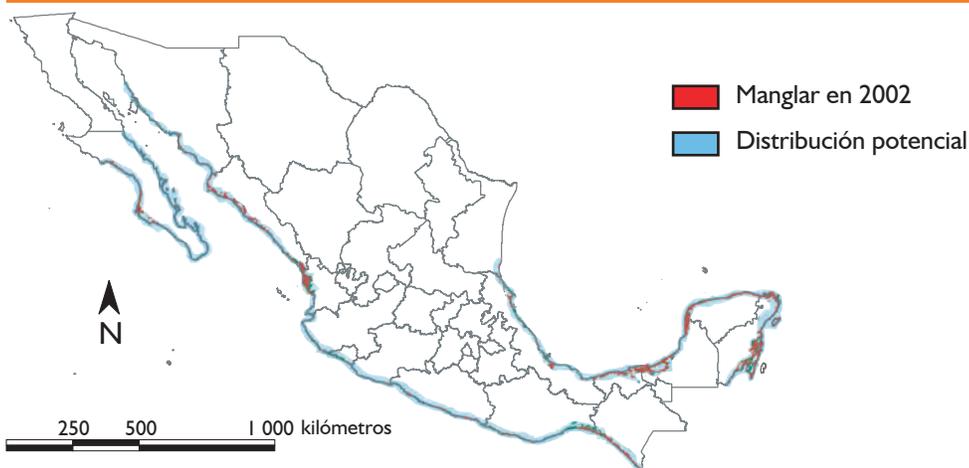
Aproximadamente cien países poseen estos ecosistemas en sus costas, sin embargo, tan sólo Indonesia, Brasil, Australia y Nigeria albergan cerca del 40 por ciento del área total de este tipo de ecosistema (Groombridge y Jenkins, 2002).

En México, los manglares están distribuidos, tanto en el Pacífico como en el Golfo de California y el Atlántico (Golfo de México y el Caribe), ocupando el interior de lagunas costeras, sistemas deltáicos e incluso frente a las barreras arrecifales. En ellas habitan seis especies de mangle: el negro (*Avicennia germinans* y *A. bicolor*), el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y el mangle rojo (*Rhizophora mangle* y *R. harrisonii*). La superficie de manglares en el país es difícil de conocer con precisión. Las estimaciones varían entre los 5 mil 300 y los 14 mil 200 kilómetros cuadrados (diversos autores en López-Portillo y Ezcurra, 2002) siendo Nayarit, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Sinaloa y Tabasco algunos de los estados que

destacan por sus extensiones de manglares (*Mapa a*).

Desafortunadamente, al igual que muchos otros ecosistemas terrestres y marinos, los manglares han estado y continúan sujetos a fuertes presiones de origen humano que los han eliminado de muchas zonas de México y el mundo. Adicionalmente, diversos fenómenos meteorológicos naturales, como son las tormentas, huracanes y tifones también pueden devastar grandes regiones de manglares. Las principales actividades humanas que los afectan son la deforestación, principalmente como resultado de la demanda por tierras para asentamientos humanos, zonas turísticas, infraestructura carretera y petrolera, actividades agropecuarias y marícolas; la modificación de la hidrología de lagunas costeras y esteros por la apertura de bocas y barras; la reducción del flujo de agua por obras de riego y la contaminación de las aguas por agroquímicos, metales pesados, nutrimentos y derrames de petróleo (López-Portillo y Ezcurra, 2002; NOAA, 2002).

Mapa a Distribución de los manglares en México



**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie III*. México. 2005

## Ecosistemas anfibios: un tesoro amenazado (continuación)

La estimación de la pérdida de superficie de estos sistemas es compleja, debido a distintos problemas metodológicos, lo que hace difícil obtener datos confiables respecto a las superficies perdidas y las tasas de cambio con las que ocurren. Según la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), entre 1990 y el año 2000 se perdió en el mundo una superficie cercana de un millón 708 mil hectáreas cuadrados de manglares, a una tasa anual cercana al uno por ciento (**Tabla a**). La región que mayor superficie perdió en este periodo fue Asia (con cerca de 850 mil hectáreas), seguida por Norte y Centroamérica (con 328 mil hectáreas) y Sudamérica (228 mil hectáreas).

Para el caso particular de México, no existen cifras definitivas acerca de la magnitud de la pérdida de este tipo de ecosistemas. Según la FAO (2003), entre 1990 y el año 2000, México perdió alrededor de 103 mil hectáreas, esto a una tasa anual del 1.9 por ciento. En la **Figura a** se muestra un ejemplo de la pérdida de manglares sufrida en la costa norte del estado de Nayarit entre 1993 y

el año 2002. Si se considera la superficie original que estos ecosistemas cubrían en el país, México ha perdido a la fecha alrededor del 36 por ciento de sus manglares, cifra menor a la reportada para Panamá (67%) y similar a la de otros países de Latinoamérica (Guatemala, 32%; Jamaica, 30% y Perú, 25%). Los valores más altos de destrucción de manglares reportados en el mundo corresponden a Tailandia (84%), Paquistán (78%) y Malasia (74%).

Ante el grado de amenaza, pérdida y degradación de estos valiosos ecosistemas, México ha adoptado diversas medidas encaminadas a su protección y conservación. Una de las más importantes ha sido su salvaguarda por medio de la creación de áreas naturales protegidas (ANP). En 2004, la superficie protegida de manglar dentro de las áreas naturales protegidas ascendía a cerca de 550 mil hectáreas, en un total de 14 áreas. De esa superficie, 65% se encontraba en dos áreas naturales protegidas: en el área de protección de flora y fauna de Laguna de Términos, en Campeche (268 mil hectáreas,

**Tabla a Pérdida de manglares en el mundo, 1990-2000**

Región	Superficie (miles de ha)		Pérdida 1990-2000 (miles de ha)	Tasa de cambio anual (%)
	1990	2000		
África	3 470	3 351	119	-0.3
Asia	6 689	5 833	856	-1.2
Norte y Centroamérica	2 296	1 968	328	-1.4
Oceanía	1 705	1 527	178	-1.0
Sudamérica	2 202	1 974	228	-1.0
Mundial	16 361	14 653	1 708	-1.0

**Fuente:**

FAO. *State of the World's Forests 2003*. FAO. Roma. 2003.

## Ecosistemas anfibios: un tesoro amenazado (continuación)

48.2%) y en la reserva de la biosfera de Sian ka'an (cerca de 95 mil hectáreas, 17%), en el estado de Quintana Roo. Destacan también por su extensión de manglares las reservas de la biosfera de La Encrucijada, en Chiapas (cerca de 49 mil hectáreas) y Los Petenes, en Campeche (cerca de 47 mil hectáreas).

México también protege a sus manglares por medio de la inscripción de algunos de ellos a la Convención Ramsar, a la cual se adhirió el 4 de julio de 1986. Este es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en favor de la conservación y uso racional de los humedales de importancia mundial (Ramsar Convention, 2004). Actualmente México cuenta con 51 sitios dentro de la convención, de los cuales 29 protegen zonas de manglar.

En cuestión de normatividad, la Semarnat emitió la NOM-022-SEMARNAT-2003, que establece las especificaciones para la

preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. Así mismo, la NOM-059-SEMARNAT-2001, que especifica las categorías de riesgo de las especies nativas de México de flora y fauna silvestres, protege a cuatro de las especies de mangle que habitan el territorio nacional: *Avicennia germinans*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*, todas ellas dentro de la categoría de protección especial.

### Fuentes:

FAO. *State of the World's Forests 2003*. FAO. Roma. 2003.

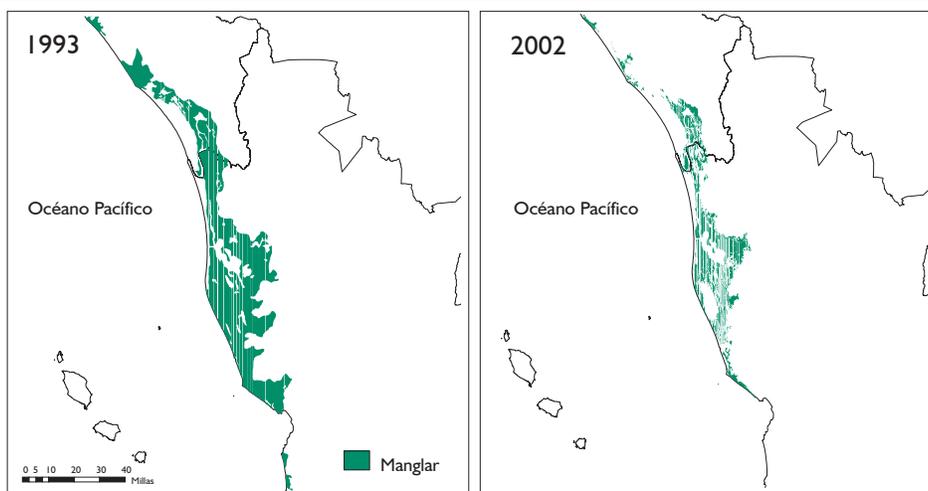
Groombridge, B. y M. D. Jenkins. *World Atlas of Biodiversity*. UNEP-WCMC. University of California Press. USA. 2002.

López-Portillo, J. y E. Ezcurra. Los manglares en México: una revisión. *Madera y bosques*. Número especial: 27-51. 2002.

NOAA. *Oil spills in mangroves. Planning & Response Considerations*. NOAA. USA. 2002.

Ramsar Convention. *¿Qué son los humedales?* Documento Informativo Ramsar No. 1. Ramsar Convention. 2004. Disponible en: [http://www.ramsar.org/about\\_infopack\\_1s.htm](http://www.ramsar.org/about_infopack_1s.htm)

Figura a Pérdida de manglares en la costa norte de Nayarit, 1993-2002



### Fuentes:

Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie II*. México. INEGI. *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie III*. México.



laúd (Lewison *et al.*, 2004). Los efectos de la pesca incidental en los ecosistemas oceánicos y costeros dependerán, además de la intensidad de la captura, de las características biológicas de cada especie y del estado de sus poblaciones. No obstante, resulta muy difícil estimar con precisión el daño que la pesca incidental ha ocasionado en las aguas nacionales. Podemos decir, sin embargo, que no debe ser insignificante. Tan sólo en el año 2000, el descarte de fauna de acompañamiento alcanzó cerca de 176 mil toneladas en el Pacífico, mientras que en el Golfo de México registró 15 mil toneladas (**Cuadro D2 PESCA04 01**).

Algunas artes de pesca también perturban el medio y destruyen el hábitat de muchas especies. Las redes de arrastre barren el lecho marino en busca de camarones y otras especies de peces del fondo, lo que causa que pastos marinos, esponjas, corales y erizos, entre otros organismos, sean capturados, lastimados o desprendidos del lecho oceánico. Con la pérdida de los microhábitats creados por esponjas y corales, se pierden además los sitios de reclutamiento y alimentación para otras especies, lo que afecta sus poblaciones y el flujo y dinámica de las cadenas tróficas. Aun cuando no se tienen datos periódicos del área que anualmente se barre en la búsqueda del camarón y otras especies de peces del fondo en México, se ha calculado que en el año 2000, tan sólo en el Pacífico, la superficie arrastrada alcanzó los 550 mil kilómetros cuadrados (es decir, cerca de dos veces el estado de Chihuahua), mientras que en el Golfo de México pudo sumar los 187 mil kilómetros cuadrados (es decir, la superficie estatal de Sonora) (**Cuadro D2 PESCA04 01**).

El turismo es uno de los sectores de más rápido crecimiento en la economía global y el de las zonas costeras resulta estratégico para muchos países, incluido México. Sin embargo, a pesar de las ganancias económicas que produce, también puede impactar negativamente a los ecosistemas marinos principalmente por la presión en la construcción de infraestructura (diques, marinas y muelles), por la explotación de los recursos naturales, la contaminación del agua y los impactos físicos directos. En México esta industria ha crecido

notablemente en las últimas décadas, especialmente en ciertas zonas, como la costa este de la península de Yucatán, debido en gran parte a la belleza de sus playas y a las zonas de arrecifes de coral ideales para la práctica del buceo. Cancún y Cozumel son los destinos turísticos nacionales que más turistas atraen cada año, con alrededor de 3 millones, lo cual constituye una fuerte presión para los sistemas arrecifales de la zona, entre los que se cuentan algunos de los más diversos del continente.

Otros factores que pueden afectar a los ecosistemas de las regiones marinas y costeras son las actividades petroleras, las de transporte y carga marítima, las especies invasoras y el cambio climático global. En el caso de las dos últimas, se tratan con mayor detalle en los recuadros **Especies invasoras en México** y **El cambio climático y la biodiversidad**.

### **Ecosistemas acuáticos continentales**

En el país existen más de 70 cuencas fluviales; los ríos que drenan hacia el Pacífico son generalmente pequeños, de flujo rápido y con pendientes pronunciadas, mientras que los que desembocan en el Golfo de México y el Caribe son, por lo general, grandes, caudalosos y con pendientes suaves. Los ríos más importantes por su volumen medio anual son, en la vertiente del Pacífico, el Colorado, Yaqui, Fuerte, Culiacán, Lerma-Santiago, Balsas, Papagayo, Ometepec, Verde, Tehuantepec y Suchiate; en la vertiente del Golfo, el Bravo, Pánuco, Tuxpan, Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva y Usumacinta y, para la vertiente del Mar de las Antillas, el Hondo. Los ríos del interior más importantes son el Nazas, Aguanaval, Santa María, Casas Grandes y El Carmen.

Dentro de los cuerpos de agua lénticos existen alrededor de 70 lagos de tamaño muy diverso que, en conjunto, cubren una superficie cercana a las 371 mil hectáreas. El mayor número de lagos en el país se localiza en la zona del Eje Volcánico Transversal, asociados principalmente al sistema Lerma-Santiago; la zona centro-occidente (que incluye los estados de Jalisco y Michoacán) es la más importante, ya que

## Arrecifes de coral

Los arrecifes coralinos constituyen uno de los ecosistemas más espectaculares del planeta. Son las comunidades más diversas, productivas y vulnerables de los mares, rivalizando en diversidad biológica tan sólo con las selvas tropicales y los bosques de niebla, dos de los ecosistemas terrestres más diversos. Se reconocen desde el espacio, ya sea como barreras que bordean cientos de kilómetros de costas continentales (como la Gran Barrera Australiana), o como atolones y pequeños cayos de múltiples tonalidades verdes y azules. Por debajo de la superficie del mar forman atractivos paisajes submarinos, dominados por corales duros y blandos de diversas formas y por una infinidad de especies de peces, crustáceos, equinodermos, moluscos e invertebrados.

Sin embargo, los arrecifes de las aguas cálidas tropicales y subtropicales no son los únicos que prosperan en los mares. La exploración en décadas recientes de la profundidad oceánica ha traído consigo el descubrimiento de extensas áreas de coral a grandes profundidades, en aguas frías, oscuras y ricas en nutrimentos. Aunque a la fecha se desconocen muchos aspectos de su diversidad biológica y ecología, se sabe que por su complejidad, tamaño y estructura bien podrían rivalizar en múltiples aspectos con sus contrapartes de aguas cálidas.

Además del valor estético que ofrecen, los arrecifes coralinos de aguas cálidas y frías brindan un gran número de bienes y servicios ambientales a la sociedad. Son lugares importantes para la reproducción y cría de muchas de las especies comerciales de consumo, sirven como protectores de las líneas de costa ante los embates de tormentas y huracanes, además de que han abastecido a las comunidades costeras durante largo

tiempo de materiales de construcción. No debe olvidarse también su valor estético, como sitio de recreo y científico.

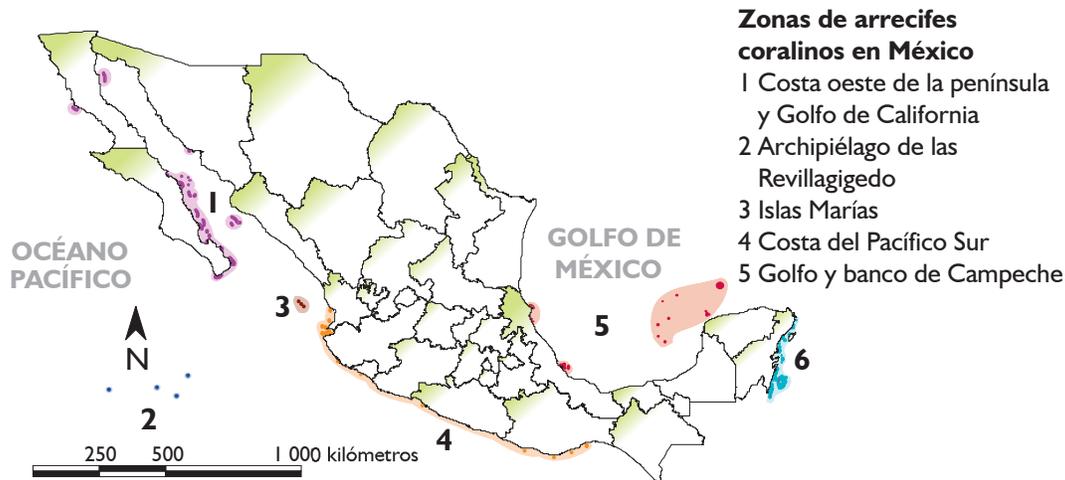
En México se reconocen tres zonas de arrecifes coralinos: la costa del Pacífico (que incluye algunos de los estados costeros, además de las Islas Marías y Revillagigedo), las costas de Veracruz y Campeche en el Golfo de México y la costa este de la Península de Yucatán (desde Isla Contoy hasta Xcalak, incluyendo al atolón de Banco Chinchorro) (*Mapa a*). Se estima que el área que ocupan los arrecifes coralinos de aguas cálidas en el país asciende a cerca de mil 780 kilómetros cuadrados, es decir, cerca del 0.63% del área total de este tipo de arrecifes en el mundo (Spalding *et al.*, 2001).

En el caso de los arrecifes de aguas frías, poco se sabe de su distribución geográfica en el país. Los registros provienen fundamentalmente de colectas de ejemplares de algunas de sus especies en el Golfo de México, aunque no debe descartarse su presencia en las aguas territoriales del Pacífico. *Lophelia pertusa*, una de las especies de corales formadoras de arrecifes de aguas frías más importantes, se ha identificado en ciertas zonas del norte del Golfo de México y el Mar Caribe. De igual modo, *Madrepora oculata*, otra especie de coral de aguas frías, también se ha colectado en las aguas del Golfo de México.

En cuanto a su diversidad de especies, la riqueza de corales hermatípicos o formadores de arrecifes en México se ha estimado entre 63 y 81 especies, lo cual representa entre el 8 y el 10 por ciento de las especies conocidas globalmente (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993; Spalding *et al.*, 2001). En la *Figura a* se muestra la diversidad de estas especies

## Arrecifes de coral (continuación)

### Mapa a Distribución geográfica de los arrecifes coralinos en aguas cálidas en México



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: Oliver, J., M. Noordeloos, Yusuf, Y., M. Tan, N. Nayan, C. Foo y F. Shahriyah. ReefBase: A Global Information System on Coral Reefs. 2004. Disponible en: <http://www.reefbase.org>.

de coral en México para diferentes zonas geográficas. Como puede apreciarse, la zona con mayor diversidad corresponde al Caribe (45-56 especies), seguida por los arrecifes de las costas de Veracruz y Campeche (45 especies). En contraste, las zonas con menor número de especies son las Islas Marías y el Golfo de California (entre 7 y 13 y 12 especies, respectivamente). Con respecto a la diversidad de otros grupos presentes en los arrecifes, se han documentado cerca de 346 especies de peces asociados, de las cuales 245 habitan el Atlántico: 68% en el Golfo de México y 92% se encuentra a lo largo de la península de Yucatán.

Debe subrayarse que a pesar de no poseer una gran diversidad en especies de corales, México posee una valiosa riqueza en endemismos asociados a sus arrecifes. Roberts y colaboradores (2002), con base en el estudio de la distribución geográfica de diversas especies de peces, corales, caracoles

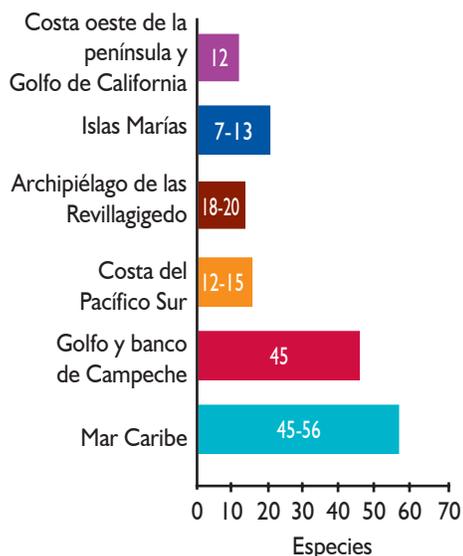
y langostas, reconocieron a las zonas del Golfo de California y al Caribe occidental como dos de los 18 centros de endemismo de especies arrecifales más importantes en el mundo.

### *Presiones sobre los arrecifes coralinos*

La riqueza natural de estos ecosistemas está en grave riesgo en México y el mundo. Las actividades antropogénicas que se llevan a cabo en la zona costera pueden tener fuertes impactos sobre estos ecosistemas. Se ha sugerido que la pesca es una de las actividades antropogénicas que más impactan a los arrecifes coralinos, tanto aquellos de zonas cálidas como a los de profundidad. La sobreexplotación de las especies comerciales y las artes de pesca que barren y destruyen el lecho marino son algunas de las prácticas más nocivas. Además de disminuir los tamaños poblacionales de las especies objetivo, afectan a los pastos marinos, esponjas, corales y erizos, entre otros muchos tipos de

## Arrecifes de coral (continuación)

**Figura a Riqueza de especies de corales duros en los arrecifes coralinos de aguas cálidas en México**



**Fuentes:**

Carricart-Ganivet, J. P. y G. Horta-Puga. Arrecifes de coral de México. En: *Biodiversidad Marina y Costera*. Conabio-CIQRO. México. 1993.

Salding, M. D., C. Ravilious y E. P. Green. *World Atlas of Coral Reefs*. WCMC-UNEP. University of California Press. Berkeley, USA. 2001.

organismos. De igual modo, la sobrecolecta de especies ornamentales de coral (negro y rojo, por ejemplo), peces, anémonas y otros invertebrados como ejemplares de acuarios también daña a los arrecifes, alterando su estructura y dinámica.

La construcción de infraestructura (principalmente en lo que se refiere a puertos, marinas y diques para la navegación), la extracción de material de construcción (arena y piedra caliza para producir cemento o bloques) y el dragado de puertos y canales son algunos de las actividades más dañinas que genera la expansión urbana en las zonas costeras. Todas ellas remueven o dañan irreversiblemente la cubierta de los arrecifes y a sus especies asociadas, lo que, en el

mediano o largo plazo puede causar la muerte de los corales y de toda su fauna asociada.

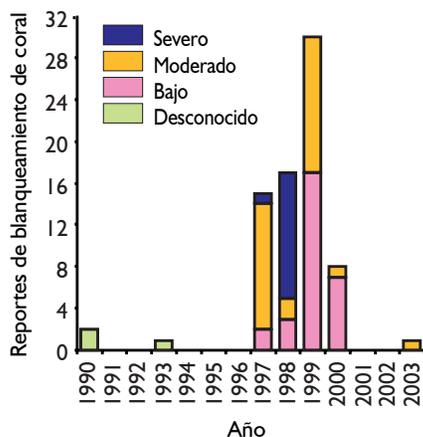
También las actividades turísticas afectan a estos ecosistemas, tanto por la demanda de infraestructura y de recursos naturales que requiere para su mantenimiento y crecimiento, como por las actividades recreativas que practican los turistas, tales como el buceo, que promueve el pisoteo y/o colecta de partes o ejemplares de coral y otros organismos cuando no está adecuadamente regulado. En México, esta industria ha crecido notablemente en las últimas décadas, especialmente en la costa este de la península de Yucatán. Cancún y Cozumel son dos de los destinos turísticos nacionales que más turistas atraen cada año, con alrededor de 3 millones, lo cual constituye una fuerte presión para los sistemas arrecifales de la zona.

El cambio climático global, identificado por el calentamiento global del planeta registrado en los últimos cincuenta años, constituye otra fuerte presión sobre los sistemas coralinos. El sobrecalentamiento del agua del mar, aunque también la contaminación y la exposición al aire, producen el llamado “blanqueamiento del coral”, resultado de la pérdida de las algas (zooxantelas) que viven como simbiosis en el interior de los pólipos coralinos, lo que produce que pierdan su coloración natural y adquieran un aspecto blanquecino. Aunque los corales pueden recuperarse si el estrés no es prolongado, en algunas ocasiones causa su debilitamiento, enfermedad y muerte. La temporada 1997-1998 (asociada con el fenómeno de El Niño) registró un evento masivo de blanqueamiento en el mundo, siendo más notable en el Océano Índico, en donde hasta 90% de los corales murieron a lo largo de miles de kilómetros cuadrados, incluyendo prácticamente todos los arrecifes de las islas Maldivas, el archipiélago de Chagos

## Arrecifes de coral (continuación)

y las Seychelles (Spalding *et al.*, 2001). En México, en el periodo 1990-2003, el 95% de los reportes de blanqueamiento de coral se registró entre 1997 y 2000, siendo 1999 el año con mayor número de registros. El 61% de los reportes en el mismo periodo provienen de los arrecifes del Caribe, 34% del Pacífico y tan sólo 4% de los arrecifes del Golfo. Los únicos años en los cuales los reportes muestran daños severos (blanqueamiento en 30% o más de los corales del sitio) fueron 1997 y 1998. En este último año, 71% de los reportes mostraron daños severos en los arrecifes (**Figura b**).

**Figura b** Reportes de blanqueamiento de coral en los arrecifes mexicanos, 1990-2003



**Fuente:**

Oliver, J., M. Noordeloos, Y. Yusuf, M. Tan, N. Nayan, C. Foo, y F. Shanhriyah. ReefBase: A Global Information System on Coral Reefs. 2004. Disponible en: <http://www.reefbase.org>

### Conservación y protección de los arrecifes coralinos

El conocimiento del estado de conservación de la mayoría de los arrecifes mexicanos de aguas cálidas es escaso y fragmentario. Sin

embargo, algunos esfuerzos internacionales encaminados a conocer el estado de los arrecifes del mundo han incluido a México. En 1998, el World Resources Institute (WRI), a través de la formación de un grupo en el que participaron diversos expertos y organizaciones (UNEP-WCMC y WorldFish Center, entre otras), intentó identificar el grado de amenaza de los arrecifes coralinos en el mundo. El estudio se basó en cuatro impactos antropogénicos de los que dispuso de información global: desarrollo costero, contaminación marina, sobreexplotación y pesca no sustentable y erosión y contaminación de origen continental (Bryant *et al.*, 1998). Cabe señalar que el análisis de riesgo no incluyó otros factores importantes como la destrucción física directa de los arrecifes y el cambio climático global.

Los resultados permitieron calcular las áreas de riesgo de los arrecifes a nivel global, regional y de país según su grado de riesgo (alto, medio y bajo). Para el caso de México, el análisis estimó que cerca del 39% de sus arrecifes se encuentran en alguna condición de riesgo (Spalding *et al.*, 2001). El **Mapa b** muestra el grado de riesgo de los arrecifes mexicanos. El estudio muestra que los arrecifes de la costa del estado de Veracruz (Tuxpan y el Sistema Arrecifal Veracruzano), los cercanos a los centros turísticos más importantes de Quintana Roo (especialmente los de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc) y los de La Paz, en Baja California Sur y Cayo Arcas en Campeche, son los más amenazados.

Entre los arrecifes con grado de amenaza medio, el estudio señala a los de Cabo Pulmo en la costa oriental de Baja California Sur, la zona occidental de Arrecife Alacranes y Bajo Sisal en la costa yucateca, los arrecifes de la

## Arrecifes de coral (continuación)

Mapa b Grado de riesgo de los arrecifes coralinos de aguas cálidas en México



Fuente:

Oliver, J., M. Noordeloos, Yusuf, Y., M. Tan, N. Nayan, C. Foo, and F. Shahriyah. ReefBase: A Global Information System on Coral Reefs. 2004. Disponible en: <http://www.reefbase.org>. 2004.

costa occidental de Cozumel y, en el sur de Quintana Roo, los cercanos a Xcalak. Debe mencionarse que, aunque este estudio no es definitivo en cuestión de la salud actual de los ecosistemas coralinos mexicanos, permite avanzar hacia la identificación de zonas susceptibles al impacto de algunos de los factores antropogénicos que afectan estos ecosistemas.

Con el objeto de proteger la riqueza en arrecifes coralinos que posee el país, la creación de áreas naturales protegidas (ANP) que incluyen arrecifes coralinos ha sido una de las estrategias de política ambiental más importantes. Actualmente, existen 13 ANP que protegen zonas con arrecifes de coral, nueve de ellas localizadas en el Golfo de México y el Mar Caribe y las restantes cuatro en la costa del Pacífico. También dentro del marco de la Convención de Humedales de Importancia Internacional Ramsar se han protegido zonas con arrecifes de coral. De los 51 sitios mexicanos inscritos dentro de la Convención, 11 tienen dentro de sus áreas zonas con arrecifes de coral.

Existen también leyes y normas mexicanas encaminadas a la protección de estos ecosistemas, algunas de las cuales actúan directamente o indirectamente como mecanismos de protección de los arrecifes o de las especies que los habitan. Entre ellas pueden citarse la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Áreas Naturales Protegidas, la Ley de Pesca, la NOM-059-SEMARNAT-2001 (que enlista a las especies de flora y fauna en alguna condición de riesgo), la NOM-022-SEMARNAT-2003 (que establece las especificaciones para la preservación, conservación y restauración de los humedales costeros), la NOM-006-PESC-1993 (establece la regulación para el aprovechamiento de todas las especies de langosta), la NOM-008-PESC-1993 (ordena el aprovechamiento de las especies de pulpo), la NOM-013-PESC-1994 (establece la regulación para el aprovechamiento de las especies de caracol) y la NOM-029-PESC-2000 (que regula la pesca responsable del

## Arrecifes de coral (continuación)

tiburón y especies afines). En materia de ecoturismo, existe la NOM-05-TUR-1998, que establece los requisitos mínimos de seguridad a que deben sujetarse las operadoras de buceo para garantizar la prestación del servicio y vigilar que las actividades se lleven a cabo sin dañar la flora y fauna silvestre acuática.

### Fuentes:

Bryant, D., L. Burke, J. McManus y M. Spalding. 1998. *Reefs at risk. A Map – Based Indicator of Threats to the World's Coral Reefs*. WRI, ICLARM, WCMC y UNEP. U.S.A. 1998.

Carricart-Ganivet, J. P. y G. Horta-Puga. Arrecifes de coral de México. En: *Biodiversidad Marina y Costera*. CONABIO-CIQRO. México. 1993.

Oliver, J., M. Noordeloos, Yusuf, Y., M. Tan, N. Nayan, C. Foo y F. Shahriyah. ReefBase: A Global Information System on Coral Reefs. 2004. Disponible en: <http://www.reefbase.org>.

Roberts, C.M., C. J. McClean, J. E. N. Veron, J. P. Hawkins, G. R. Allen, D. E. McAllister, C. G. Mittermeier, F. W. Schueler, M. Spalding, F. Wells, C. Vynne y T. B. Werner. Marine Biodiversity Hotspots and Conservation Priorities for Tropical Reefs. *Science* 295: 1280-1284. 2002.

Spalding, M. D., C. Ravilious y E. P. Green. *World Atlas of Coral Reefs*. WCMC-UNEP. University of California Press. Berkeley, USA. 2001.

alberga los lagos más grandes: Chapala, Cuitzeo y Pátzcuaro. Los embalses artificiales también son notables, ya que las más de 4 mil obras de almacenamiento que existen actualmente cubren una superficie mayor a la de los embalses naturales. Los embalses artificiales más grandes del país son las presas La Amistad, Falcón, Vicente Guerrero, Álvaro Obregón, Infiernillo, Cerro del Oro, Temascal, Caracol, Requena y Venustiano Carranza.

En números absolutos, los ecosistemas acuáticos continentales tienen relativamente pocas especies, pero su número por unidad de área es ligeramente superior a lo encontrado en ecosistemas terrestres y más de 15 veces superior a los ecosistemas marinos (Arriaga *et al.*, 2000). A nivel mundial, cerca del 12 por ciento de las especies animales y el 41 por ciento de todas las especies de peces viven en los ríos y lagos dulceacuícolas. En México, aun cuando las aguas continentales ocupan relativamente una superficie muy pequeña del país, albergan una gran variedad de grupos taxonómicos.

La descripción de la diversidad de los ecosistemas acuáticos en México está basada fundamentalmente en el grupo de los peces, del cual se tiene la información más completa y que puede reflejar, de manera indirecta, la magnitud de la diversidad en otros taxa. A la fecha se han descrito alrededor de 384 especies de peces dulceacuícolas, cantidad que duplica lo registrado en países como Japón (186 especies), Canadá (177) o Turquía (152), aunque es inferior a la riqueza de Estados Unidos, que registra más de 800 especies.

Los ríos con más diversidad de peces son el Pánuco (75 especies, 30% endémicas), Lerma-Santiago (57 especies, 58% endémicas), Coatzacoalcos (53 especies, 13% endémicas) y Papaloapan (47 especies, 21% endémicas) (Miller, 1986). Algunos de los sistemas lacustres más importantes por su biodiversidad y alto número de endemismos conocidos son el lago de Chapala, los lagos-cráter de la Cuenca de Oriental, el lago de Catemaco, la laguna de Chichankanab y el lago de la Media Luna. Cuatro Ciénegas, en el estado de Coahuila, es un sitio particularmente importante, ya que en esta



pequeña zona viven 12 especies de crustáceos (la mitad endémicas), 33 de moluscos, 16 de peces (la mayoría endémicas y en peligro de extinción: *Dionda episcopa*, *Cyprinodon atrorus*, *Lucania interioris* y *Cichlasoma minckleyi*, entre otras), una herpetofauna de 70 especies y 61 aves acuáticas (Arriaga et al., 2000).

Sin embargo, la fuerte dependencia de las sociedades humanas por los bienes que ofrecen los cuerpos de agua continentales ha deteriorado y puesto en serio peligro la permanencia de muchas de sus especies, y con ello la integridad y el funcionamiento adecuado de sus ecosistemas. Su condición y grado de amenaza es aún mayor que el que sufren los ecosistemas forestales o costeros (Revenge et al., 2000). Es importante subrayar que una parte de la presión a la que están sujetas las comunidades acuáticas continentales tiene su origen en las actividades humanas que se realizan en las cuencas que habitan. Dicha presión se ejerce en dos frentes distintos: por un lado, a través del impacto directo, el cual actúa por la modificación o reducción de las áreas de estos ecosistemas y la extracción e introducción de ejemplares, y, por otro, a través del cambio en la cantidad y calidad del agua de la que dependen para su funcionamiento.

La expansión de las zonas urbanas y turísticas, la sobreexplotación de los recursos pesqueros y la introducción de especies exóticas son algunas de las principales actividades que impactan de manera directa a la biodiversidad acuática continental, mientras que la modificación de los cauces por presas y embalses, la sobreexplotación del agua y su contaminación por descargas agrícolas, municipales e industriales son las más importantes fuentes de deterioro de la calidad de su hábitat.

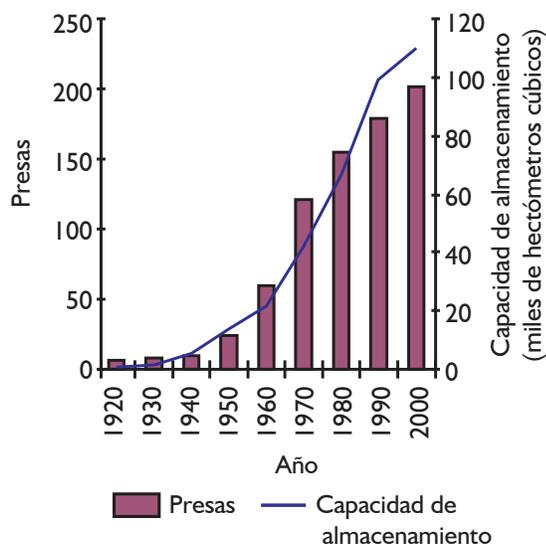
Las presas y embalses son uno de los factores que más han afectado a la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos continentales en todo el mundo. Modifican la calidad del agua, causan cambios en la temperatura y características químicas, entre otros efectos. Además, disminuyen el volumen, duración y frecuencia de los flujos de agua de los ríos, provocando que las cascadas, rápidos, la

vegetación riparia y los humedales sean los hábitats de más pronta desaparición. Igualmente, afectan los patrones migratorios de algunas especies de peces y crean los hábitats ideales para las especies invasoras. Aunque resulta muy difícil estimar el impacto que estas obras han tenido en la biodiversidad acuática continental del país, es probable que muchos ecosistemas hayan sufrido serios efectos dado el volumen de captación total de los vasos presentes en el país. De las 4 mil presas existentes, 667 están clasificadas como grandes presas de acuerdo con los criterios de la Comisión Internacional de Grandes Presas, todas ellas en conjunto tienen una capacidad de almacenamiento de cerca de 150 kilómetros cúbicos, es decir, del 37% del escurrimiento promedio anual del país (Figura 4.5).

Un gran número de grupos taxonómicos presentes en los ecosistemas acuáticos continentales son susceptibles a los cambios en la calidad del agua presente en su hábitat. La calidad del agua puede reducirse debido a las descargas residuales de distintas actividades, tales como la agropecuaria, industrial y por los desechos residuales de las ciudades. En el caso de la agricultura, el uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos propicia que se incorporen a los cuerpos de agua superficiales disueltos o suspendidos en la escorrentía, adheridos a partículas de suelo, por deposición atmosférica o directamente por su aplicación en los cuerpos de agua. En la vida silvestre ocasionan daños celulares y del ADN, cáncer, lesiones en peces y otros animales, deformidades físicas (como los picos en forma de gancho en aves), fallas en la reproducción y deterioro del estado de salud de peces. En el caso de nuestro país, la presión sobre la biodiversidad de los cuerpos de agua por el consumo de plaguicidas podría haberse incrementado en la última década, puesto que tan sólo entre 1992 y 2002 el consumo aparente de estas sustancias creció en media tonelada por hectárea cultivada, pasando de las 1.3 a 1.8 toneladas, siendo los herbicidas y defoliantes los que mayores consumos registraron en el periodo.

Las descargas industriales hacia los cuerpos de agua no se han incrementado de manera notable en los últimos años en el país. Entre 1998 y 2002

**Figura 4.5 Grandes presas y capacidad de almacenamiento en México, 1920-2000**



Nota: Los datos incluyen a las 234 de las 667 grandes presas principales del país, que en conjunto abarcan el 65% de la capacidad útil total de las presas construidas.

**Fuentes:**

CNA. *Estadísticas del Agua en México 2004*. México. 2004.  
 IMTA. *Banco Nacional de datos de Aguas Superficiales. Vol. 7: Hidrometría y Sedimentos hasta 1999*. CNA. México. 2000.

el volumen de la descarga creció en tan sólo once metros por segundo, lo que significó un incremento del 7 por ciento del volumen registrado en 1998. Estas descargas que contaminan los cuerpos de agua continentales provienen principalmente de las industrias química, azucarera, minera, petrolera, del hierro y acero, celulosa, papel y textil, entre otras. Incluyen metales pesados (e. g., plomo, cromo y mercurio), compuestos orgánicos (benceno, tolueno, xileno y otros sintéticos como las dioxinas, furanos, fenoles policlorados e hidrocarburos aromáticos polinucleares), plaguicidas, petróleo, grasas y aceites. Dado que algunos de estos compuestos se acumulan en los tejidos de los organismos, sus efectos se extienden a la totalidad de la cadena trófica, repercutiendo finalmente en la dominancia, abundancia y diversidad natural de los ecosistemas acuáticos continentales.

Las aguas de origen urbano que contaminan los

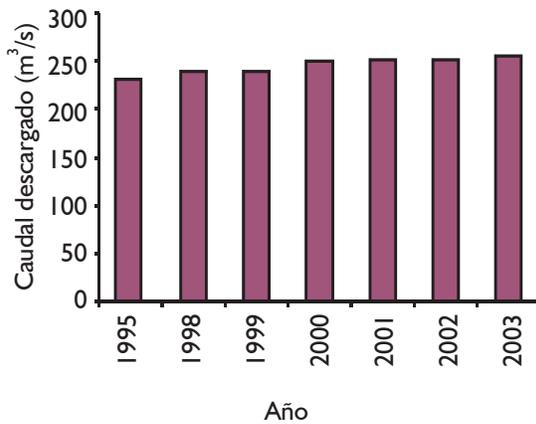
cuerpos de agua continentales provienen de las viviendas y edificios públicos y de la escorrentía urbana que se colecta en el drenaje. Sus principales contaminantes son los nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo), organismos patógenos (bacterias y virus), metales pesados, materia orgánica biodegradable, químicos orgánicos sintéticos, hormonas y productos farmacéuticos (Silk y Ciruna, 2004). Todos ellos pueden acumularse en los organismos acuáticos, afectando la cadena trófica, la abundancia de las especies y la estructura de sus comunidades. Entre 1995 y 2003, la generación de aguas residuales de los centros urbanos se ha incrementado de 231 a 255 metros cúbicos por segundo. Este crecimiento es equivalente a 10%, pero según el comportamiento de los últimos cuatro años parece estar frenándose (Figura 4.6).

Las especies invasoras también han colonizado los sistemas acuáticos continentales. Se han introducido de manera intencional para la acuicultura, la pesca deportiva o el control biológico y accidentalmente por escapes de la acuicultura. Estas especies afectan a la fauna y flora nativas por la degradación del hábitat, depredación, competencia, parasitismo, introducción de enfermedades, y por la reducción y contaminación del acervo genético. El número de especies invasoras registradas en los ecosistemas acuáticos continentales del país asciende actualmente a 85: 2 son anfibios, 71 peces y 12 corresponden a especies de plantas. Su distribución abarca prácticamente todo el territorio nacional.

**Especies en riesgo**

Como resultado de las presiones mencionadas, una de las consecuencias más importantes en la biodiversidad ha sido el efecto negativo sobre las poblaciones de muchas especies silvestres en todos los ecosistemas. La disminución de los tamaños poblacionales producto de la reducción de sus áreas de distribución o de su fragmentación puede comprometer su permanencia en los ecosistemas o, simplemente, provocar su extinción en el corto o mediano plazo. Casos particularmente graves son los de las especies con áreas de distribución muy restringidas (en ocasiones a tan sólo unas cuantas

**Figura 4.6 Descarga de aguas municipales en México, 1995-2003**



**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: Semarnap-INEGI. *Estadísticas del Medio Ambiente 1999*. Semarnap, INEGI. México. 2000.  
 CNA. *Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento*. CNA. México. Años 1995, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003.  
 CNA. *Estadísticas del Agua en México 2004*. CNA. México. 2004.

hectáreas o cuerpos de agua), las que tienen tamaños poblacionales reducidos o aquellas que poseen ciclos de vida particularmente sensibles a los cambios ambientales.

De acuerdo con la “lista roja” que publicó la Unión Mundial para la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) en 2004, existían 15 mil 589 especies en condición de riesgo. De ellas, 5 mil 188 correspondían a vertebrados, mil 192 a invertebrados y 8 mil 321 a plantas (incluyendo musgos, helechos, hepáticas, gimnospermas y angiospermas) (Tabla 4.3). La mayor parte de las especies amenazadas, según el mismo reporte, ocurre en los trópicos (en los bosques tropicales y subtropicales de Centro y Sudamérica y sur de África y sureste de Asia), especialmente en zonas montañosas e islas. Caso particularmente grave es el de los anfibios, que según dicha organización es el más amenazado dentro de los vertebrados y el que tiene una mayor proporción de especies al borde de la extinción (21% del total de las especies descritas; UICN, 2004).

En el caso particular de México, de acuerdo a la

NOM-059-SEMARNAT-2001, el grupo taxonómico con un mayor número de especies en condiciones de riesgo es el de las plantas (tanto angiospermas como gimnospermas), con 939 especies. Dentro de ellas, las familias con mayores números de especies en riesgo son la de las cactáceas (285 especies), orquídeas (181 especies), palmas (64 especies) y magueyes (39 especies). Dentro de los animales, los grupos con más especies en riesgo son los reptiles (466 especies, es decir, 58% de las especies conocidas en el país), las aves (371, 30% de las especies), los mamíferos (295, 62% de las especies), los anfibios (297, 55% de las especies) y los peces (185, 9% de las especies).

A pesar de que la extinción de especies es un proceso natural, durante los últimos años la tasa de extinción registrada en el mundo es más de mil veces mayor que las estimadas a partir del registro fósil (Wilson, 1988; Gentry, 1996). El número de especies consideradas extintas en el mundo desde 1600 a la fecha es de aproximadamente 800, muchas de las cuales se extinguieron en el último siglo. En el caso de nuestro país, según la norma oficial que señala a las especies en riesgo, el total de especies probablemente extintas en la vida silvestre suma a la fecha 41 (19 de aves, 11 de peces, 7 de mamíferos y 4 especies de plantas).

### **La conservación de la biodiversidad**

Ante la alarmante pérdida y degradación de la superficie de los ecosistemas naturales y las especies que los habitan, en México y el mundo se han implementado distintas estrategias tendientes ya sea a eliminar o reducir las presiones que los amenazan, a mitigar sus efectos, e incluso, a revertir su deterioro. Tales estrategias se han dirigido básicamente a dos de los niveles de la biodiversidad: el de especies y el de ecosistemas. Como ejemplo de los esfuerzos en el primer nivel, se han desarrollado, entre otros, los Programas de Recuperación de Especies Prioritarias (PREP) y se han impulsado los Centros de Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CPCTM) (ver recuadro **Viajeros milenarios en riesgo**). También se han encaminado los esfuerzos a la protección de otros grupos, como

**Tabla 4.3 Especies amenazadas en el mundo según la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), 2004**

Grupo taxonómico	Especies amenazadas	Especies amenazadas/ especies descritas (%)
<b>Vertebrados</b>		
Mamíferos	1 101	20
Aves	1 213	12
Reptiles	304	4
Anfibios	1 770	21
Peces	800	3
<b>Subtotal</b>	<b>5 188</b>	<b>9</b>
<b>Invertebrados</b>		
Insectos	559	0.06
Moluscos	974	1
Crustáceos	429	1
Otros	30	0.02
<b>Subtotal</b>	<b>1 992</b>	<b>0.17</b>
<b>Plantas</b>		
Musgos	80	0.5
Helechos	140	1
Gimnospermas	305	31
Dicotiledóneas	7 025	4
Monocotiledóneas	771	2
<b>Subtotal</b>	<b>8 321</b>	<b>2.89</b>
<b>Otros</b>		
Líquenes	2	0.02
<b>Subtotal</b>	<b>2</b>	<b>0.02</b>
<b>Total<sup>1</sup></b>	<b>15 503</b>	

Nota:<sup>1</sup> El total de especies presentado en esta tabla no coincide con el total de especies amenazadas reportadas por la UICN en su reporte de 2004, sin embargo, así se recoge del resumen de estadísticas de la misma fuente.

**Fuente:**

IUCN. *UICN Red list of threatened species*. UICN Species Survival Commission. 2004. Disponible en: [http://www. redlist.org/](http://www.redlist.org/)

el de los cetáceos que habitan o visitan los mares mexicanos (ver recuadro **Los gigantes de los mares**). Mientras tanto, en el caso del segundo nivel, destacan los esfuerzos en materia de la preservación de la integridad de los ecosistemas y de los servicios ambientales que brindan a través de la creación de las áreas naturales protegidas, tanto a nivel federal como estatal.

Existen además otros programas cuyos objetivos centrales, aunque no han sido directamente la preservación de la biodiversidad, promueven su conservación, como es el caso del Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), detallado en el capítulo de **Agua** en la presente publicación. También se han implementado programas encaminados al



aprovechamiento sustentable de la biodiversidad (e. g., el Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre, SUMA) que, de manera indirecta, conservan los ecosistemas donde habitan las especies-objetivo. En esta línea existen también programas de otros sectores (forestal, principalmente) que hacen posible el uso racional de la biodiversidad de los bosques nacionales, como son el Programa de Desarrollo Forestal (Prodefor) y el Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable de Recursos Forestales (Procymaf). Detalles de estos programas pueden encontrarse en el Capítulo 5 ***Aprovechamiento de los recursos forestales, pesqueros y de la vida silvestre.***

También pueden destacarse los esfuerzos orientados a la recuperación de la cubierta vegetal, principalmente por medio de la reforestación, la cual se ha promovido a través del Programa de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales (Procoref); éste también beneficia la biodiversidad a través de la recuperación de zonas que reducen los efectos negativos asociados por la proximidad a sitios carentes de vegetación. Este programa se ha desarrollado dentro del Capítulo 2 ***Vegetación y uso del suelo.***

### ***Especies prioritarias***

Ante el enorme reto de conservar el elevado número de especies de flora y fauna mexicanas, y considerando la dificultad de contar con programas individualizados para todas ellas, el Programa de Conservación de la Vida Silvestre y Diversificación Productiva en el Sector Rural 1997-2000 propuso una serie de proyectos para un conjunto de plantas y animales que, a juicio de los especialistas, deberían ser consideradas como especies prioritarias. Algunos de los criterios que se tomaron en cuenta para seleccionar a estas especies fueron su riesgo de extinción, la factibilidad de recuperarlas y manejarlas, los posibles efectos adicionales que produciría su conservación directa (por ejemplo, la conservación de otras especies o hábitat) y su valor por ser especies carismáticas o bien poseer un alto grado de interés cultural o económico. La parte medular de dichos proyectos consistió en la

creación de santuarios y la formación de subcomités para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de las Especies Prioritarias, encargados de organizar y reunir intereses de todas aquellas instituciones y personas involucradas e interesadas en la conservación de estas especies. Para el año 2002 se habían registrado un total de 26 de estos comités, siendo los últimos cuatro años (1999-2002) los que mayor número de subcomités consolidados registraron. Hasta 2005, se han elaborado y publicado doce programas de manejo para distintos grupos y especies (Tabla 4.4).

### ***Áreas naturales protegidas***

La creación de zonas protegidas ha sido la principal respuesta a la destrucción acelerada del hábitat experimentada desde el siglo pasado. En los últimos 30 años ha habido un crecimiento importante de las zonas protegidas en el mundo: en 1972 existían 16 mil 394 áreas protegidas con una superficie total de 4.1 millones de kilómetros cuadrados, mientras que en el año 2003 se registraron 102 mil 102 sitios con una superficie total de 18.8 millones de kilómetros cuadrados (Figura 4.7). En México, la creación de zonas protegidas también ha sido la estrategia de conservación más utilizada. El proceso de creación de estas zonas se inició formalmente en 1876 con la protección de los manantiales del Desierto de los Leones en el Distrito Federal y posteriormente, en 1898, con la primera área natural protegida en el bosque del Mineral del Chico en el estado de Hidalgo. La entrada formal de México a la corriente internacional de parques nacionales comenzó durante el periodo de Venustiano Carranza, con el decreto para constituir al Desierto de los Leones como el primer parque nacional en 1917 (Semarnap-Conabio, 1995).

Las áreas naturales protegidas (ANP) son porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional representativas de los diversos ecosistemas, en donde el ambiente original no ha sido alterado significativamente por la actividad humana y que proporcionan servicios ambientales de diversos tipos. El decreto presidencial que formaliza la creación de ANP especifica el uso del suelo y las

## Viajeros milenarios en riesgo

México es un país privilegiado por su diversidad de tortugas marinas. Siete de las ocho especies reconocidas en el planeta anidan en sus playas, tanto en las del Pacífico como en las del Golfo de México y El Caribe: la caguama (*Caretta caretta*), la blanca o verde (*Chelonia mydas*), la prieta (*Chelonia agassizii*), la carey (*Eretmochelys imbricata*), la lora (*Lepidochelys kempii*), la golfina (*Lepidochelys olivacea*) y la

tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) (Conabio, 1995). Dos de ellas, la tortuga lora y la prieta se reproducen exclusivamente en playas mexicanas (*Mapa a*).

Las tortugas marinas son especies importantes para los ecosistemas marinos y costeros: han contribuido por millones de años a la salud y al mantenimiento de los

### Mapa a Ubicación de las playas de anidación y los campamentos tortugueros en México



Especies de tortugas con distribución en playas mexicanas:

- |  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  | <i>Lepidochelys olivacea</i> (golfina) |  | <i>Lepidochelys kempi</i> (lora)       |
|  | <i>Dermochelys coriacea</i> (laúd)     |  | <i>Chelonia mydas</i> (blanca o verde) |
|  | <i>Caretta caretta</i> (caguama)       |  | <i>Eretmochelys imbricata</i> (carey)  |
|  | <i>Chelonia agassizii</i> (negra)      |  |  |

**Nota:** Las playas indicadas con cada una de las especies de tortugas corresponden a las playas de anidación más importantes.

**Fuente:**

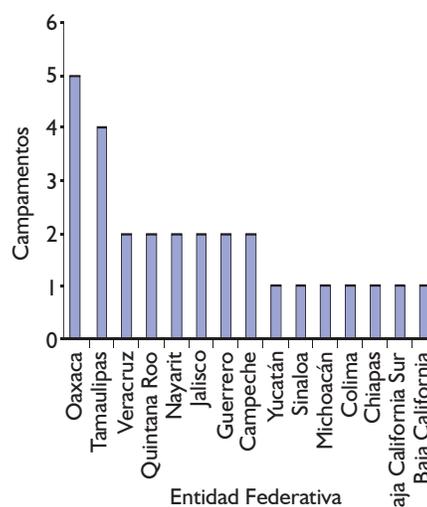
Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2002.

## Viajeros milenarios en riesgo (continuación)

arrecifes coralinos, las praderas de pastos marinos, los estuarios y las playas arenosas (Bouchard y Bjorndal, 2000). Estas especies han sido aprovechadas desde muchos siglos atrás en todo el mundo para obtener diversos productos, entre los que destacan su carne, huevos, piel y el carey de sus caparazones. Sin embargo, la explotación excesiva de sus poblaciones ha puesto en peligro de extinción a varias especies. Las principales actividades humanas que amenazan a estos quelonios son la degradación de sus hábitats de anidación y alimentación, la pesca incidental, el saqueo ilegal de sus nidos y el sacrificio de las hembras que salen a anidar en las playas (PNUMA, 2004; Traffic, 2004).

En México, la protección y conservación de las tortugas marinas se lleva a cabo principalmente en los llamados campamentos tortugueros (**Cuadro D3 RBIODIV04 05**). Desde 1966, el Instituto Nacional de Pesca (INP) estableció Programas Nacionales de Investigación de Tortugas Marinas y de Protección, Conservación, Investigación y Manejo de Tortugas Marinas. En 1991, este último programa determinó la instalación permanente de campamentos tortugueros para las siete especies de tortugas que habitan en mares mexicanos (**Mapa a**). Una de las funciones de dichos campamentos es la protección y conservación de las tortugas mediante recorridos en las playas para recolectar y trasplantar nidos, sembrar huevos en corrales de incubación y liberar crías. Actualmente existen 28 campamentos tortugueros denominados Centros de Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CPCTM), 8 en el Golfo de México (Tamaulipas, Veracruz y Campeche), 3 en el Caribe (Yucatán y Quintana Roo) y 17 en el Pacífico (Baja California, Baja California Sur, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán,

**Figura a** Campamentos tortugueros operados por la Dirección General de Vida Silvestre por entidad federativa, 2004



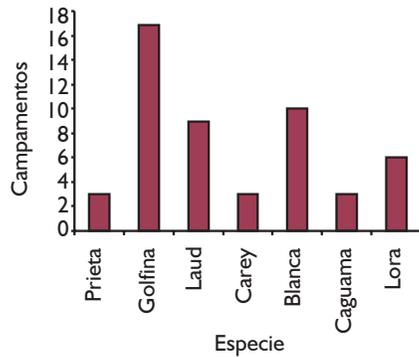
**Fuente:** Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2004.

Guerrero, Oaxaca y Chiapas), incluido el Centro Mexicano de la Tortuga, ubicado en Mazunte, Oaxaca (**Figura a**).

En estos campamentos, la especie que cuenta con la mayor atención es la golfina (con 17 campamentos), seguida por la tortuga blanca (10 campamentos) y la laúd (9 campamentos). Las tortugas que se atienden en un menor número de ellos son la carey y la prieta (tres campamentos cada una) (**Figura b**). Además de los CPCTM, existen otros 174 campamentos tortugueros, tanto fijos como temporales, que también llevan a cabo acciones de protección y conservación y son operados bajo convenios de colaboración por organismos no gubernamentales, dependencias de gobiernos estatales y centros de investigación.

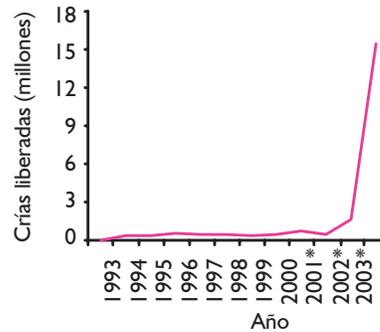
## Viajeros milenarios en riesgo (continuación)

**Figura b Campamentos tortugueros operados por la Dirección General de Vida Silvestre por especie, 2004**



**Fuente:**  
Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2004.

**Figura c Crías de tortugas marinas liberadas en los campamentos tortugueros en México, 1993-2003**



\*Datos sujetos a cambios por el área

**Fuente:**  
Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2004.

Algunas de las medidas que dan idea del esfuerzo de protección y conservación gubernamentales en materia de tortugas marinas son los valores promedio de nidos protegidos, los huevos sembrados y las crías producidas de las distintas especies que anidan en el país. Considerando todas las especies, el número crías liberadas entre 1993 y 2001 se mantuvo, a pesar de ligeras fluctuaciones, relativamente constante alrededor de 412 mil crías por año en promedio (*Figura c*). En 2002 y 2003 se mostró un fuerte incremento, liberándose en este último año cerca de 15 millones 500 mil tortugas. Este incremento fue resultado de que se recabaron datos de un mayor número de campamentos, entre ellos algunos de los operados por el Instituto Nacional de la Pesca de la Sagarpa.

En el periodo 1998-2003, la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) fue, con mucho, la especie que más presencia tuvo en los campamentos tortugueros. El total de nidos protegidos en el periodo fue de cerca de 548 mil (con un promedio anual de poco

más de 91 mil), de los cuales el 95 por ciento se concentraron entre 2002 y 2003. Para la misma especie, el promedio de huevos sembrados alcanzó poco más de 9 millones y las crías producidas casi 3 millones, lo que equivale a una eficiencia promedio de cerca del 33%.

Le sigue en importancia por el número de nidos protegidos la tortuga lora (*Lepidochelys kempii*), de la que se protegieron al año un promedio de 3 mil 341 nidos, se sembraron también en promedio cerca de 410 mil huevos y se produjeron 125 mil crías. Por su parte, de la tortuga blanca o verde (*Chelonia mydas*) se protegieron 820 nidos, se sembraron cerca de 84 mil huevos y se obtuvieron cerca de 50 mil crías en promedio. En el caso de la tortuga caguama (*Caretta caretta*) en promedio se protegieron 302 nidos, se sembraron cerca de 35 mil huevos y se produjeron cerca de 28 mil 900 crías al año. Cabe señalar que esta especie es la que ha registrado el mayor éxito en términos del número de crías producidas con respecto al número de huevos sembrados, con una eficiencia del 82%.

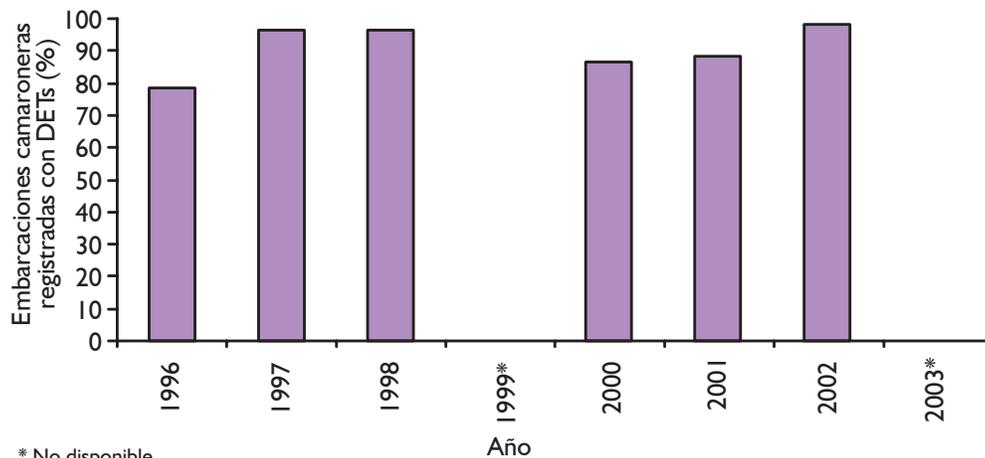
## Viajeros milenarios en riesgo (continuación)

En cuanto a la tortuga negra (*Chelonia agassizzi*), es la especie de la cual se protegen menos nidos en promedio (12 nidos al año), se siembran menos huevos (780 en promedio) y se producen menos crías (461 en promedio), lo que equivale a una eficiencia de 59 por ciento. Finalmente, la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) se registró en nueve playas incluyendo a Mexiquillo, considerado como uno de los sitios de anidación más importantes de esta tortuga en el mundo. A pesar de que el número de nidos que se protege al año es relativamente alto comparado con las demás especies (263), el número de crías que se liberaron fue pequeño: tuvo una eficiencia de producción de 45% durante el periodo 1998-2003.

También se han hecho diversos esfuerzos para reducir la mortalidad de las tortugas marinas por efecto de la pesca incidental. Uno de los esfuerzos más importantes es la

implementación de los llamados Dispositivos Excluidores de Tortugas (DETs) iniciada en 1993 en los barcos de la flota camaronera del Golfo de México y en 1996 en la del Caribe y Pacífico. Las especies mayormente beneficiadas por esta iniciativa son las que se distribuyen en el Golfo de México (tortuga blanca). Estos dispositivos consisten en aparejos que se adaptan a la entrada de la bolsa de la red camaronera para permitir la salida de las tortugas atrapadas. Sin embargo, estos dispositivos no evitan la mortalidad de todos los animales que entran en ellos. El U.S. National Marine Fisheries Service (NMFS) estima que los DET han reducido en cerca del 67% la tasa de mortalidad anual de tortugas marinas atrapadas en las redes de arrastre en las aguas norteamericanas desde su implementación en 1998. La implementación de los DETs en la flota camaronera nacional se muestra en la **Figura d**. Puede decirse que entre 86 y 98% de las

**Figura d Embarcaciones camaroneras con dispositivos excluidores de tortugas (DETs) certificados, 1996-2003**



\* No disponible

**Fuentes:**

Semarnat. *Anuario Estadístico de Pesca*. Años 1996, 1997, 1998 y 1999. México. 1997, 1998, 1999 y 2000.

Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca*. Años 2000, 2001 y 2002. México. 2001, 2002 y 2003.

Semarnat-Profepa. *Informe anual*. México. 2003.

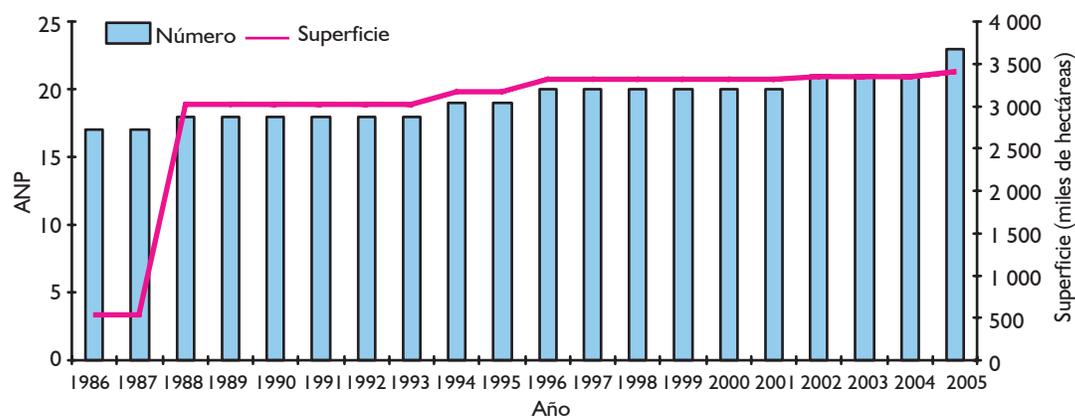
## Viajeros milenarios en riesgo (continuación)

embarcaciones camaroneras del país cuentan con estos dispositivos. El crecimiento en el número de embarcaciones entre 1996 y 1997 debe interpretarse con cautela, puesto que el cambio en el número de embarcaciones se debe al Inventario Nacional de Embarcaciones y no a un aumento en el número de embarcaciones con DETs.

Otra de las estrategias que ha servido directa o indirectamente para la protección de las tortugas marinas ha sido la creación de áreas naturales protegidas (ANP). Aunque

algunas de ellas han sido creadas directamente para la protección de estos animales, otras las han incluido paralelamente dentro de sus objetivos. Para el año 2005, la superficie de áreas naturales protegidas federales decretadas que tenían entre sus objetivos la protección de las tortugas marinas totalizaba cerca de 3 millones 410 mil hectáreas, en un conjunto de 23 áreas (Figura e). El enorme crecimiento de la superficie entre 1987 y 1988 se debe al decreto de la Reserva de la Biosfera “El Vizcaíno”.

**Figura e Áreas naturales protegidas federales decretadas para la protección de tortugas marinas, 1986-2005**



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: Conanp. México. 2005.

**Fuentes:**

Bouchard, S. y K. A. Bjorndal. Sea turtles as biological transporters of nutrients and energy from marine to terrestrial ecosystems. *Ecology* 81(8): 2314–2330. 2000.

PNUMA. *Las tortugas del Caribe, próximas a extinción, alerta estudio*. 2004. Disponible en: <http://www.pnuma.org/maillinglist.html>.

Traffic. *Priority Species: Marine Turtles*. 2004. Disponible en: <http://www.traffic.org/seaturtlesfile.html>.



**Tabla 4.4 Proyectos de conservación y recuperación de especies prioritarias publicadas, 1999-2005**

Proyecto	Año de publicación
Proyecto de protección, conservación y recuperación del Águila Real	1999
Proyecto de recuperación del lobo mexicano ( <i>Canis lupus baileyi</i> )	1999
Proyecto para la conservación y manejo del oso negro ( <i>Ursus americanus</i> ) en México	1999
Proyecto para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable del berrendo ( <i>Antilocapra americana</i> ) en México	2000
Proyecto para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable del borrego cimarrón ( <i>Ovis canadensis</i> ) en México	2000
Proyecto para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de los <i>Crocodylia</i> en México	2000
Protección, conservación y recuperación de la familia <i>Zamiaceae</i> (Cycadales) de México	2000
Proyecto para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de los pinnípedos en México y aguas de jurisdicción nacional	2000
Programa nacional de protección, conservación, investigación y manejo de tortugas marinas	2000
Proyecto para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de los psitácidos en México	2000
Proyecto de conservación, recuperación y manejo del manatí ( <i>Trichechus manatus</i> ) en México	2001
Proyecto de protección, conservación y recuperación del perrito llanero ( <i>Cynomys mexicanus</i> )	2002

**Fuente:**

Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre 2005. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/vs/public.shtml>.

actividades que pueden llevarse a cabo en ellas. Las ANP están sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo, según categorías establecidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), es responsable de las ANP en México.

La función principal de las ANP es la protección y conservación de los recursos naturales de importancia especial, ya sean especies de fauna o flora o bien de ecosistemas representativos a niveles local, regional e internacional. Además, las ANP generan diversos servicios ambientales, como la protección de cuencas, captación de agua, protección contra erosión, el mantenimiento de la

biodiversidad y el control de sedimentos. Asimismo, son utilizadas con fines de recreación, turismo y para la investigación científica. Aunque existen dudas sobre la eficiencia de las ANP para conservar la diversidad biológica, análisis recientes de zonas protegidas en distintas partes del mundo muestran que la mayoría detienen, en cierto grado, el avance de la deforestación y disminuyen la presión sobre las poblaciones de flora y fauna silvestres (PNUMA, 2002).

Durante los últimos años se ha realizado un esfuerzo considerable para incrementar el número de áreas protegidas en México. En 1996 existían 107 áreas con una superficie total de alrededor de 11.7 millones de hectáreas, cubriendo el 5.9% del territorio nacional. Para el año 2005 existen 154 ANP (Cuadro D3 BIODIV04 12 y Cuadro D3 BIODIV04

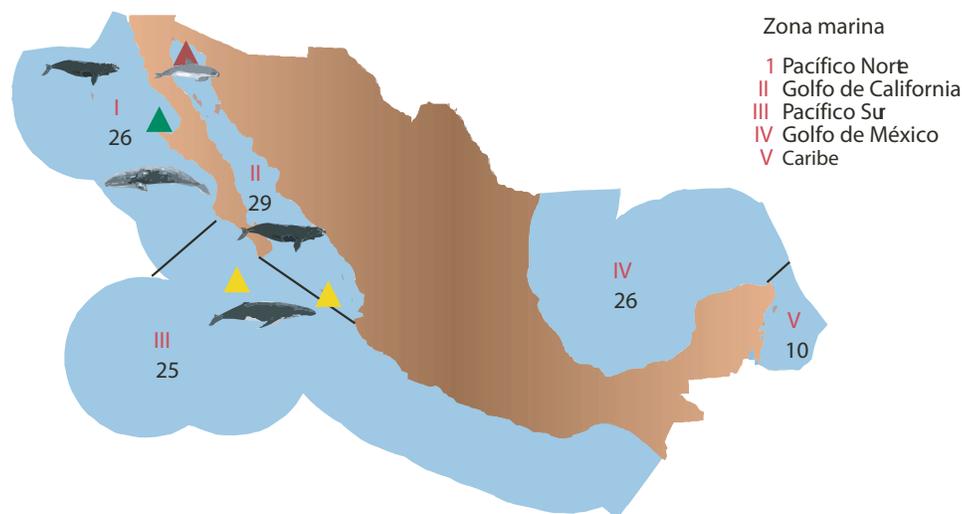
## Los gigantes de los mares

El grupo de mamíferos más diversificado en los mares y océanos del planeta es el de los cetáceos, que agrupa a las ballenas, marsopas y delfines. Cosmopolita en su distribución, tiene especies residentes o que visitan periódicamente los mares mexicanos. De las 80 especies de cetáceos registradas en el mundo, entre 37 y 39 han sido identificadas en las aguas nacionales, es decir, cerca del 50% del total de las especies conocidas (Urbán, 2000, Urbán *et al.*, 2004). Desde el punto de vista geográfico, la zona del Golfo de California es la más rica en cetáceos en nuestro país, con 29 especies; seguida por el

Pacífico Norte y el Golfo de México con 26 especies cada una (Semarnat, 2003)(*Mapa a*).

Los cetáceos enfrentan múltiples amenazas en México y el mundo, las que han colocado a muchas de las especies en las principales listas de riesgo. Treinta y siete de las especies que habitan o visitan las aguas nacionales están en la NOM-059-SEMARNAT-2001, dos de ellas en peligro de extinción (la ballena franca, *Eubalaena glacialis*; y la vaquita marina, *Phocoena sinus*) y las restantes 35 en la categoría de protección

### Mapa a Riqueza específica de cetáceos en México por zona marina



 Vaquita marina (*Phocoena sinus*)
  Ballena franca (*Eubalaena glacialis*)
  Ballena gris (*Eschrichtius robustus*)
  Ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*)

-  Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Hábitat de la vaquita marina
-  Reserva de la Biosfera El Vizcaíno. Lugar de reproducción de la ballena gris.
-  Principales puntos de reproducción de la ballena jorobada

#### Fuentes:

Elaboración propia con datos de: Kinosawa, M. *Dolphins, porpoises and whales of the world*. The IUCN Red Data Book. 1991.

Reeves, R. R. y S. Leatherwood. *Dolphins, porpoises and whales: 1994-1998. Action Plan for the conservation of cetaceans (SSC Species Action Plan)*. IUCN-The World Conservation Union. 1994.

Reeves, R. R., B. S. Stewart, P. J. Clapham, J. A. Powell y P. A. Folaken. *Guide to marine mammals of the world*. National Audubon Society. EUA 2002.

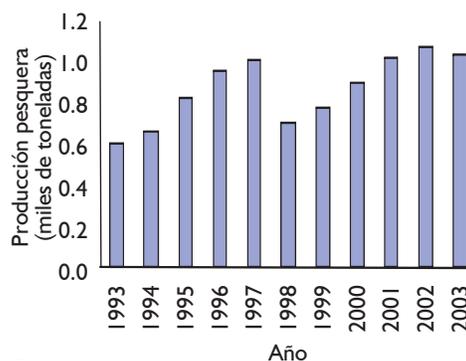
Grupo de Mastozoología Marina. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

## Los gigantes de los mares (continuación)

especial. La Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), por su parte, incluye a la ballena azul, la ballena franca y la vaquita marina dentro de la categoría de especie en peligro de extinción; además clasifica al cachalote, la ballena piloto, la marsopa de Dall y a la ballena jorobada en la categoría de especie vulnerable. Las principales amenazas para los cetáceos, en México y el mundo son, además de la cacería ilegal, la captura incidental producto de prácticas pesqueras inadecuadas, la contaminación de las aguas, las colisiones con embarcaciones y las actividades turísticas (WWF, 2001; Urbán *et al.*, 2004).

Una de las principales amenazas para los cetáceos es la captura incidental por las pesquerías costeras y de mar abierto. Se ha estimado que cada año en el mundo mueren accidentalmente por esta actividad más de 300 mil cetáceos (entre ballenas, delfines y marsopas), lo que pone en serio peligro la conservación de muchas especies (Ross e Isaac, 2004). La captura incidental de cetáceos se ha observado en una amplia diversidad de pesquerías (anchoa, macarela, arenque, atún y merluza, entre otras), así como con muy diversos tipos de redes (e. g., demersales y pelágicas de arrastre y redes agalleras) (Ross e Isaac, 2004), provocándoles lesiones que van desde hematomas, desgarres musculares, rasgaduras, cortes o amputaciones de aletas, hasta la muerte por asfixia (Kuiken *et al.*, en Ross e Isaac, 2004). Aun cuando no se tienen los datos del número de estos animales que mueren por la pesca en México, la productividad de la actividad aporta evidencia indirecta de la presión a la que pueden estar sujetas las poblaciones de estas especies. En general, la producción pesquera en la zona costera con presencia de ballenas creció en el país durante el periodo 1993-2003 (**Figura a**). A pesar de la caída de la producción en

**Figura a Producción pesquera en la zona costera nacional con presencia de ballenas, 1993-2003**



**Fuentes:**

Semarnap. *Anuario Estadístico de Pesca. Años 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998 y 1999.* México. 1998, 1999 y 2000.

Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca 2000 y 2002.* México. 2001 y 2003.

Sagarpa. *Indicadores de la Actividad Pesquera.* Datos preliminares a diciembre de 2003. México. 2004.

Disponible en: [http://www.sagarpa.gob.mx/conapesca/planeacion/boletin/INDICADOR\\_DICIEMBRE.xls#C3ab!A33](http://www.sagarpa.gob.mx/conapesca/planeacion/boletin/INDICADOR_DICIEMBRE.xls#C3ab!A33)

1998, el volumen capturado en 2003 fue 72% mayor al registrado en 1993.

El transporte marítimo, ya sea pesquero, de carga o de pasajeros, puede afectar negativamente a las poblaciones de cetáceos de una región. Indirectamente, la navegación impacta por la alteración de la calidad del agua, principalmente por las descargas al mar de residuos líquidos, sólidos y peligrosos sin tratamiento, lo cual además de deteriorar la calidad del hábitat, ocasiona la incorporación de compuestos químicos peligrosos al tejido de las ballenas (WDCS, 2005). De manera directa, los cascos y propelas de los buques pueden colisionar con los animales, provocándoles desde lesiones superficiales y fracturas, hasta la muerte. Las colisiones ocurren fundamentalmente con buque-

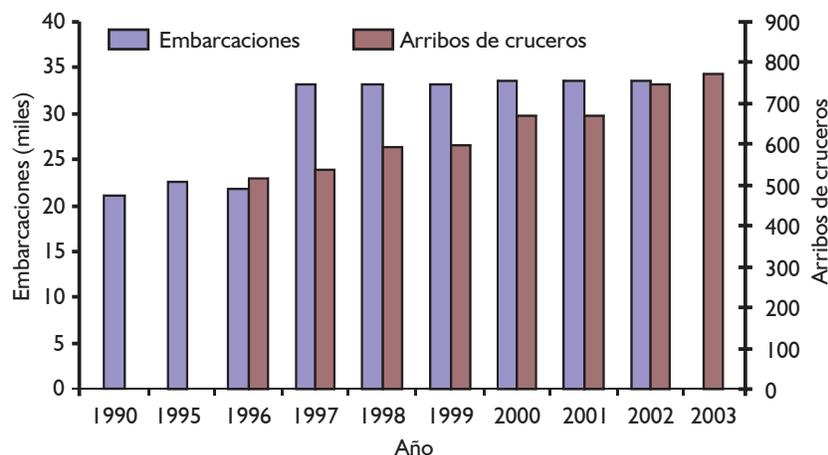
## Los gigantes de los mares (continuación)

tanques, cargueros, buques militares y transoceánicos recreativos (Medrano y Urbán, 2002). En nuestro país, el número de embarcaciones pesqueras en las principales zonas costeras con presencia de ballenas se ha mantenido relativamente constante en el periodo 1997-2003, mostrando un incremento de 1.3% con respecto al 2002 (*Figura b*). En lo que se refiere a arribos de cruceros, el número incrementó en un 49% en el periodo 1996-2003. Cabo San Lucas y Ensenada fueron los destinos con mayor número de arribos de cruceros dentro de los destinos turísticos costeros con presencia de ballenas.

El turismo en la zona norte del Pacífico mexicano tiene gran demanda debido a la belleza natural y al atractivo que le concede la visita invernal de las ballenas migratorias gris y jorobada. Sin embargo, el turismo puede afectar a las poblaciones de estos

cetáceos por alterar la calidad del agua y por las colisiones y perturbaciones que causan los barcos turísticos de observación (UNEP, 2002; PNUMA, 2003). La observación de ballenas es una de las actividades ecoturísticas más importantes en el norte del Pacífico mexicano en la época invernal. La Secretaría de Turismo la cataloga como una de las tres actividades ecoturísticas más rentables en el país, con cerca del 7.5% de la derrama económica de dicho rubro (Sectur, 2001). Desafortunadamente, el crecimiento no regulado de esta actividad turística puede causar impactos negativos en el corto, mediano y largo plazos en las poblaciones de estos animales. Sus principales efectos en las poblaciones de ballenas son: cambios en los patrones de actividad, conductas sociales aberrantes, cambios en la dieta, bajo éxito reproductivo y deserción de los ámbitos hogareños, entre otros (INP, 2001; Farmer, 2002; Medrano y Urbán, 2002; Lusseau,

**Figura b Embarcaciones pesqueras y arribos de cruceros en zonas costeras con presencia de ballenas, 1990-2003**



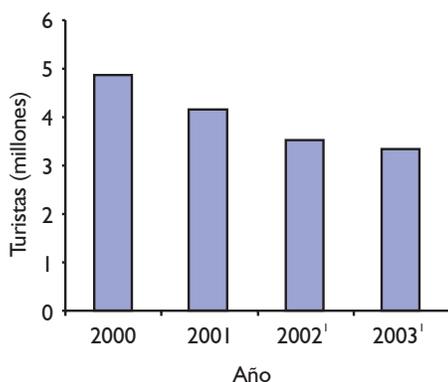
**Fuentes:**

Secretaría de Pesca. *Anuario Estadístico de Pesca 1990*. México. 1991.  
Semarnap. *Anuario Estadístico de Pesca. Años 1996, 1997, 1998 y 1999*. México, 1997, 1998, 1999 y 2000.  
Sagarpa. *Anuarios Estadístico de Pesca. Años 2000, 2001 y 2002*. México. 2001, 2002 y 2003.  
SCT. Dirección General de Puertos. En: Sectur. *Indicadores Turísticos. Principales Indicadores en Movimiento de Cruceros por Centro Turístico*. 2005. Disponible en: <http://datatur.sectur.gob.mx/jsp/index.jsp>

## Los gigantes de los mares (continuación)

2004). Por otro lado, las embarcaciones turísticas de observación perturban el hábitat y, en ocasiones, colisionan con las ballenas produciéndoles heridas (Constantine, 1999; Urbán *et al.*, 2004). Aun cuando no se tienen los datos precisos del número de observadores de ballenas en las aguas nacionales, el volumen de turistas visitando los destinos turísticos con presencia de ballenas sugiere la importancia de la presión que esta actividad puede tener en las poblaciones de estos cetáceos. El número de turistas en los principales destinos turísticos donde pueden observarse las ballenas gris y jorobada mostró una tendencia decreciente durante el periodo

**Figura c Turistas en zonas costeras con presencia de ballenas gris y jorobada, 2000-2003**

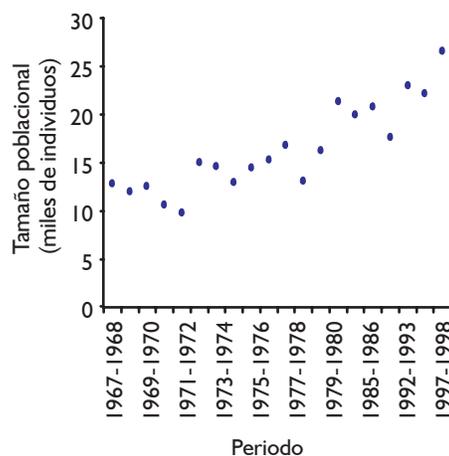


Nota:<sup>1</sup> Información preliminar

Fuente: SECTUR, con base en información generada a través del Sistema Nacional de Información Turística (SNIT)- Sistemas de Información Turística Estatal (SITE). México. 2004.

2000-2003 (**Figura c**). La entidad que más visitantes recibió durante dicho periodo fue Jalisco (Costalegre y Puerto Vallarta, 37.8%), seguido por Baja California (Rosarito y Ensenada, 30.2%), Sinaloa (Mazatlán, 20.9%) y Baja California Sur (La Paz, Loreto y Los Cabos, 11.1%).

**Figura d Tamaño poblacional de la ballena gris en la Reserva de "El Vizcaíno", 1967-1998**



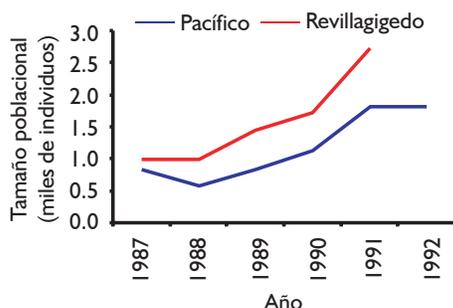
Fuente: Semarnap. Instituto Nacional de la Pesca. México. 1999.

A pesar de que las actividades humanas continúan presionando a las poblaciones de cetáceos en las aguas nacionales, los tamaños poblacionales de algunas especies muestran signos alentadores. Las estimaciones de los tamaños poblacionales de la ballena gris en la Reserva de la Biosfera el Vizcaíno registran una clara tendencia de recuperación, duplicándose la población visitante durante el periodo 1967-1998 (**Figura d**).

Las poblaciones de la ballena jorobada en el Pacífico y las Revillagigedo mostraron también una tendencia creciente en el periodo 1987-1992 (en el Pacífico se duplicó la población en dicho periodo) (**Figura e**). En el caso de la vaquita marina, los datos no permiten establecer una tendencia clara del comportamiento de sus poblaciones, tan sólo puede decirse que probablemente las poblaciones no suman más de mil ejemplares (**Tabla a**).

## Los gigantes de los mares (continuación)

**Figura e Tamaño poblacional de la ballena jorobada en el Pacífico norte mexicano, 1987-1992**



**Fuente:**

Urbán, J., C. Álvarez, M. Salinas, J. Jacobsen, K. C. Balcomb, A. Jaramillo, P. Ladrón de Guevara y A. Aguayo. Population size of *Megaptera novaeangliae*, in waters off the Pacific coast of México. *Fishery Bulletin* 97:1017-1024. 1999.

**Tabla a Tamaño poblacional de la vaquita marina en el Golfo de California, 1976, 1986, 1989, 1991 y 1997**

Año	Población estimada (individuos)
1976	200-300 <sup>1</sup>
1986 y 1989	300-500 <sup>2</sup>
1991	Pocos cientos <sup>3</sup>
1997	567 (Intervalo de confianza de 95%, 177-1073) <sup>4</sup>

**Fuentes:**

<sup>1</sup>Villa R., B. Report on the status of *Phocoena sinus*, Norris and McFarland 1958, in the Gulf of California. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología* 47 (2): 203-208. 1976.

<sup>2</sup>Silver, G. K. *The vaquita, Phocoena sinus, working paper*. Institute of Marine Sciences, University of California, Santa Cruz, California. 1990.

<sup>3</sup>Urbán R. J., L. Rojas-Bracho, M. Guerrero-Ruiz, A. Jaramillo-Legorreta y L. T. Findley. Cetacean diversity and conservation in the Gulf of California. En: Cartron, E., G. Cevallos y R. Felger (Eds.). *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*. En prensa.

<sup>4</sup>Jaramillo L., A., L. Rojas B. y T. Gerrodette. A new abundance estimate for vaquitas: first step for recovery. *Marine Mammal Science* 15:957-973. 1999.

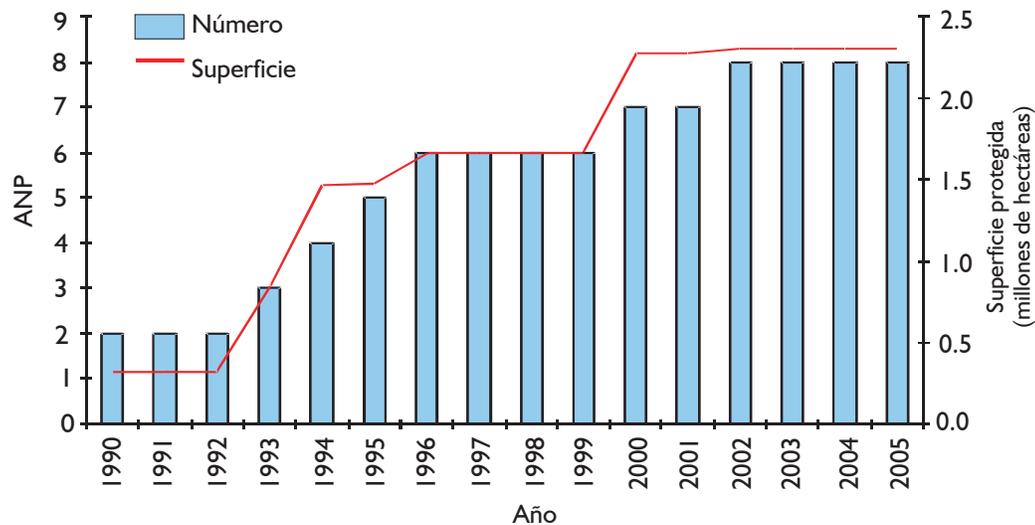
México ha sido uno de los países con mayor interés en la conservación de los cetáceos y otros mamíferos marinos. La declaración gubernamental del mar territorial mexicano como área de Refugio de ballenas, los esfuerzos para reducir la mortalidad de delfines asociada a la pesca del atún, la creación de áreas naturales protegidas encaminadas a su protección y la expedición de normatividad específica son claros ejemplos de las acciones gubernamentales encaminadas a la protección de estos animales.

En mayo del 2002, el Gobierno de México declaró Área de Refugio de Ballenas a todo el mar territorial y la zona económica exclusiva de nuestro país, que abarcan en conjunto aproximadamente 3 millones de kilómetros cuadrados en los océanos Pacífico y Atlántico y Mar Caribe. En esta zona, de acuerdo con la adición del artículo 60 Bis a la Ley General de Vida Silvestre, ningún ejemplar de mamífero marino, cualquiera que sea la especie, podrá ser sujeto de aprovechamiento extractivo, ya sea de subsistencia o comercial, con excepción de la captura que tenga por objeto la investigación científica y la educación en instituciones acreditadas.

Hasta el inicio de los esfuerzos internacionales encaminados a la protección de los delfines en los años setenta, la pesca del atún trajo consigo una gran mortalidad de estos animales en todo el mundo. En México, en 1991 se inició el Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines (PNAAPD), cuyo principal objetivo ha sido complementar los esfuerzos para desarrollar y consolidar la pesquería mexicana del atún, reduciendo al mínimo los efectos sobre las especies asociadas. La mortalidad de delfines asociada a la pesca del atún ha descendido notablemente desde

## Los gigantes de los mares (continuación)

Figura f Áreas naturales protegidas marinas en las zonas de distribución de las ballenas gris y jorobada y la vaquita marina, 1990-2005



Fuente:  
Elaboración propia con datos de: Conanp. México. 2005.

1993. Mientras que en 1992 murieron 9 mil 562 animales a una tasa de 1.91 delfines muertos por lance; en 2001 la tasa fue de 0.16 delfines muertos por lance (ver capítulo de **Aprovechamiento de los recursos forestales, pesqueros y de la vida silvestre**).

Por su parte, la superficie de las áreas naturales protegidas marinas con presencia de ballenas mostró un crecimiento importante desde el establecimiento de la primera reserva en 1973, cuando se protegieron 3 mil 788 hectáreas, hasta el año 2005, cuando la superficie total protegida asciende a cerca de 2 millones 300 mil hectáreas (*Figura f*). Esta superficie la integran ocho áreas naturales protegidas federales, entre las que destacan la Reserva de la Biosfera del Vizcaíno (sitio de reproducción de la ballena gris) y la Reserva del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado (el hábitat de la vaquita marina).

La preocupación por la conservación de los cetáceos en México también se ve reflejada en las normas oficiales mexicanas. Las normas que están relacionadas con la protección de los cetáceos en México son:

- 1) NOM-012-PESC-1994, que establece restricciones específicas en el uso de redes agalleras o de enmalle pasivas para contribuir con la conservación de la vaquita marina;
- 2) NOM-EM-074-SEMARNAT-1996, que regula las actividades de observación de la ballena gris y su hábitat;
- 3) NOM-SEMARNAT-131-1998, que establece lineamientos y especificaciones para el desarrollo de actividades de observación de ballenas;
- 4) NOM-SEMARNAT-059-2001, que establece la categoría de riesgo de las especies de flora y fauna de México;
- 5) NOM-EM-PESC-2001, que establece los lineamientos para la captura incidental de organismos juveniles de atún y delfines;
- 6) NOM-EM-135-SEMARNAT-2001,

## Los gigantes de los mares (continuación)

que establece los lineamientos regulatorios para la captura, transporte, manejo y condiciones de cautiverio de mamíferos marinos, principalmente delfines y 7) NOM-SEMARNAT-136-2002, que especifica las regulaciones existentes para los mamíferos marinos en cautiverio.

México ha suscrito además, una serie de convenios que protegen a los cetáceos y a su hábitat; entre los más importantes están el Convenio Internacional para la Reglamentación de la Caza de la Ballena, al que México se integró en 1938, la Comisión Ballenera Internacional (CBI) en la que México participa desde 1949, el Acuerdo Internacional para la Conservación de la Fauna y la Vida Silvestre (CITES) al que México se unió en 1991, la Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos del Mar, el Acuerdo Internacional para la Región del Gran Caribe, así como el Convenio sobre Biodiversidad de la ONU. Además, promovió el Código de Conducta para la Pesca Responsable, formulado en el seno de la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) donde se comprometió a conservar los ecosistemas acuáticos y a promover prácticas de pesca de forma responsable y ambientalmente seguras. También en el seno de la Convención Ballenera Internacional se prohibió la cacería de la ballena jorobada en el Pacífico Norte.

### Fuentes:

Constantine, R. Effects of tourism on marine mammals in New Zealand. *Science for Conservation* 106. Wellington, New Zealand. 1999.

Farmer, T. Whales. *UN Atlas of the Oceans*. 2002. Disponible en: <http://www.oceansatlas.org>

INP. *Sustentabilidad y Pesca responsable en México evaluación y manejo 1999-2000*. México. 2001.

Lusseau, D. The Hidden Cost of Tourism: Detecting Long-term Effects of Tourism Using Behavioral Information. *Ecology & Society* 9(1): 2. 2004.

Medrano, G. L. y R. J. Urbán. *La ballena jorobada (Megaptera novaeangliae) en la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2001*. Informe final del Proyecto W024. Conabio. México. 2002.

PNUMA. *GEO América Latina y el Caribe. Perspectivas del medio ambiente 2003*. Costa Rica. 2003.

Ross, A. y S. Isaac. *The Net Effect? A review of cetacean bycatch in pelagic trawls and other fisheries in the north-east Atlantic*. WDCS Report. United Kingdom. 2004.

Sectur. *Estudio estratégico de viabilidad del segmento de ecoturismo en México*. México. 2001.

Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales, 2002*. México. 2003.

UNEP. *Tourism's three main impact areas*. 2002. Disponible en: <http://www.unep.org/pc/tourism/sust-tourism/env-3main.htm>.

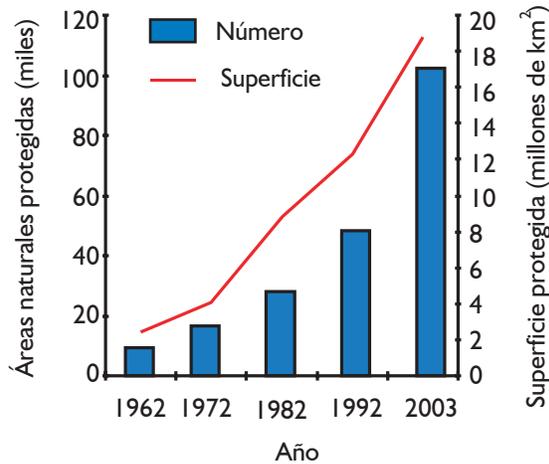
Urbán, R. J. *Ecología y genética poblacional de la ballena gris Eschrichtius robustus en la Península de Baja California*. Informe final del Proyecto L229. Conabio. México. 2000.

Urbán, R. J., L. Rojas-Bracho, M. Guerrero- Ruiz, A. Jaramillo-Legorreta y L. T. Findley. Cetacean diversity and conservation in the Gulf of California. En: Cartron, E., G. Ceballos y R. Felger (Eds). *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern México*. En prensa. 2004.

WDCS. *Chemical Pollution*. Whale and Dolphin Conservation Society. 2005. Disponible en: <http://www.wdcs.org/dan/publishing.nsf/allweb/B117236C9DE5962980256890005770A0>.

WWF. *New Threats Endanger Great Whales*. 2001. Disponible en: <http://www.actionbioscience.org/biodiversity/wwf.html>.

**Figura 4.7 Áreas naturales protegidas en el mundo, 1962-2003**



**Fuente:**  
Chape, S. S. Blyth, L. Fish, P. Fox y M. Spalding (Comps.) 2003 *United Nations List of Protected Areas*. UICN, Gland, Switzerland y Cambridge, UK y UNEP-WCMC, Cambridge, UK. 2003.

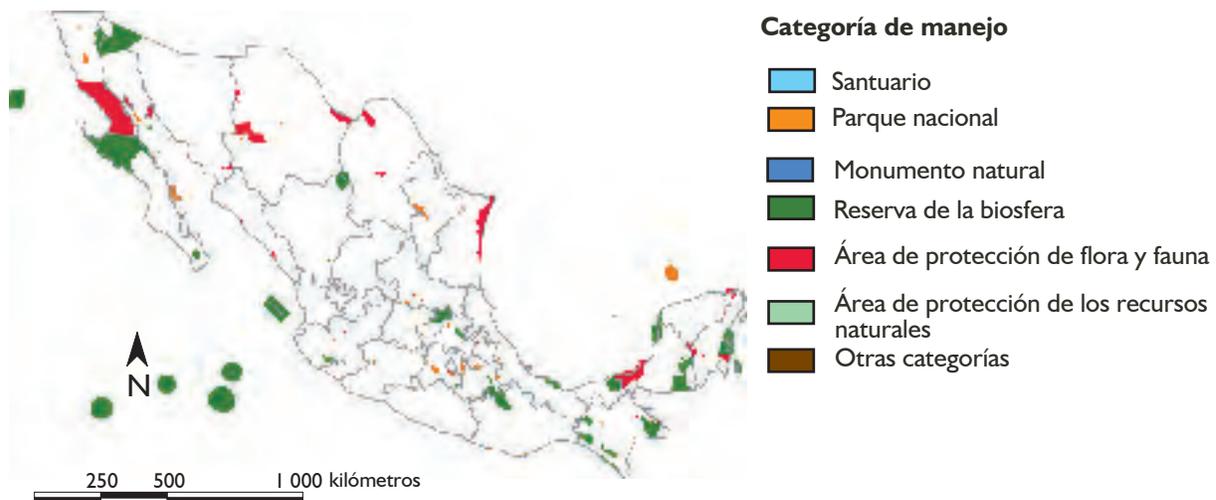
13) con una superficie total acumulada de alrededor de 18.7 millones de hectáreas (Mapa 4.1, Tabla 4.5, Figura 4.8), de las cuales poco más de 4 millones de hectáreas corresponden a zonas marinas. Para el año 2005, el área conjunta de las ANP representa el

9.5% de la superficie del país, proporción superior a la que tiene África central y occidental (8.8%) y el sur de Asia (6.9%), aunque está por debajo del promedio de los países miembros de la OCDE (14.6%) (Tabla 4.6) (IUCN, WCPA, UNEP y WMC, 2003; OECD, 2004).

La mayoría de los principales ecosistemas del país están representados dentro de los límites de las ANP, siendo los matorrales xerófilos de zonas áridas (35.1 %), los bosques templados (12.4 %) y las selvas húmedas (9.4 %) los que ocupan la mayor proporción (Figura 4.9).

De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), existen siete categorías de manejo: Reservas de la biosfera (RB), Parques nacionales (PN), Monumentos naturales (MN), Áreas de protección de los recursos naturales (APRN), Áreas de protección de flora y fauna (APFF) y Santuarios (S) (Figura 4.10). Además, existen los Parques y Reservas Estatales (PyRE) y las Zonas de preservación ecológica de los centros de población (ZPE). En el año 2005, la categoría con mayor número de áreas decretadas es la de Parque nacional con 67 áreas, sin embargo, tan sólo representan el 7.9% de la superficie total protegida

**Mapa 4.1 Áreas naturales protegidas en México, 2005**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: Conanp. México. 2005.

**Tabla 4.5 Áreas naturales protegidas, superficie decretada, categoría de manejo y superficie calculada en México, 2005**

ANP	Entidad federativa	Categoría de manejo <sup>1</sup>	Superficie calculada (ha)	
			Terrestre	Marina
Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa	PUE	APRN	39 557	0
Las Huertas	COL	APRN	167	0
Tutuaca	CHIH	APFF	365 000	0
Cabo San Lucas	BCS	APFF	208	3 788
Islas del Golfo de California	BC, BCS, SON y SIN	APFF	321 631	0
Cascada de Agua Azul	CHIS	APFF	2 580	0
La Primavera	JAL	APFF	30 500	0
Valle de los Cirios	BC	APFF	2 521 776	0
El Jabalí	COL	APFF	5 179	0
Sierra de Álvarez	SLP	APFF	16 900	0
Sierra la Mojonera	SLP	APFF	9 362	0
Sierra de Quila	JAL	APFF	15 193	0
Corredor Biológico del Chichinautzin	MOR, MÉX y DF	APFF	37 302	0
Chan-Kin	CHIS	APFF	12 185	0
Cañón de Santa Elena	CHIH	APFF	277 210	0
Cuatrociénegas	COAH	APFF	84 347	0
Laguna de Términos	CAMP	APFF	548 166	157 982
Maderas del Carmen	COAH	APFF	208 381	0
Uaymil	QROO	APFF	89 118	0
Yum Balam	QROO	APFF	53 900	100 152
Sierra de Álamos-Río Cuchujaquí	SON	APFF	92 890	0
Metzabok	CHIS	APFF	3 368	0
Naha	CHIS	APFF	3 847	0
Meseta de Cacaxtla	SIN	APFF	50 862	0
Ciénegas del Lerma	MÉX	APFF	3 024	0
Otoch Ma ax Yetel Kooh	QROO	APFF	5 367	0
Campo Verde	CHIH	APFF	108 069	0
Papigochic	CHIH	APFF	243 643	0
Bal'an K'aax	QROO	APFF	128 390	0
Laguna Madre y Delta del Río Bravo	TAMS	APFF	572 807	0
Cerro de la Silla	NL	MN	6 039	0
Bonampak	CHIS	MN	4 357	0
Yaxchilán	CHIS	MN	2 621	0
Yagul	OAX	MN	1 076	0
Desierto de los Leones	DF	PN	1 529	0
Iztaccíhuatl-Popocatepetl	MÉX, PUE y MOR	PN	90 284	0
Cerro de Garnica	MICH	PN	968	0
Cumbres del Ajusco	DF	PN	920	0
El Potosí	SLP	PN	2 000	0
Fuentes Brotantes de Tlalpan	DF	PN	129	0

Nota:<sup>1</sup> Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: Área de protección de los recursos naturales (APRN), Área de protección de flora y fauna (APFF), Monumento natural (MN), Parque nacional (PN), Reserva de la biosfera (RB), Santuario (S) y Otras Categorías (OC).

**Tabla 4.5 Áreas naturales protegidas, superficie decretada, categoría de manejo y superficie calculada en México, 2005 (continuación)**

ANP	Entidad federativa	Categoría de manejo <sup>1</sup>	Superficie calculada (ha)	
			Terrestre	Marina
Gogorrón	SLP	PN	25 000	0
Grutas de Cacahuamilpa	GRO	PN	1 600	0
Insurg. Miguel Hidalgo y Costilla	MÉX y DF	PN	1 580	0
Lagunas de Zempoala	MÉX y MOR	PN	4 790	0
Los Mármoles	HGO	PN	23 150	0
Nevado de Colima	JAL y COL	PN	9 600	0
Nevado de Toluca	MÉX	PN	46 784	0
Benito Juárez	OAX	PN	2 737	0
Cerro de las Campanas	QRO	PN	58	0
Cofre de Perote	VER	PN	11 700	0
El Tepeyac	DF	PN	1 500	0
El Tepozteco	MOR y DF	PN	23 259	0
Lagunas de Chacahua	OAX	PN	14 187	0
Molino de Flores Netzahualcoyotl	MÉX	PN	49	0
Pico de Orizaba	VER y PUE	PN	19 750	0
Xicontenatl	TLAX	PN	680	0
Barranca del Cupatitzio	MICH	PN	362	0
Cañón del Río Blanco	VER	PN	55 690	0
Cerro de la Estrella	DF	PN	1 100	0
El histórico Coyoacán	DF	PN	584	0
El Sabinal	NL	PN	8	0
Lomas de Padierna	DF	PN	670	0
Los Remedios	MÉX	PN	400	0
Malinche o Matlalcueyatl	TLAX y PUE	PN	45 711	0
Cumbres de Majalca	CHIH	PN	4 772	0
Insurg. José María Morelos	MICH	PN	4 325	0
Sacromonte	MÉX	PN	45	0
Bosencheve	MÉX y MICH	PN	10 432	0
Los Novillos	COAH	PN	42	0
Pico de Tancítaro	MICH	PN	23 154	0
Laguna de Camécuaro	MICH	PN	10	0
Desierto del Carmen o de Nixongo	MÉX	PN	529	0
Sierra de San Pedro Mártir	BC	PN	72 911	0
Rayón	MICH	PN	25	0
Lagunas de Montebello	CHIS	PN	6 022	0
Constitución de 1857	BC	PN	5 009	0
General Juan N. Álvarez	GRO	PN	528	0
Cañón del Sumidero	CHIS	PN	21 789	0
El Veladero	GRO	PN	3 617	0
Isla Isabel	NAY	PN	194	0

Nota:<sup>1</sup> Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: Área de protección de los recursos naturales (APRN), Área de protección de flora y fauna (APFF), Monumento natural (MN), Parque nacional (PN), Reserva de la biosfera (RB), Santuario (S) y Otras Categorías (OC).

**Tabla 4.5 Áreas naturales protegidas, superficie decretada, categoría de manejo y superficie calculada en México, 2005 (continuación)**

ANP	Entidad federativa	Categoría de manejo <sup>1</sup>	Superficie calculada (ha)	
			Terrestre	Marina
Cascada de Basaseachic	CHIH	PN	5 803	0
Palenque	CHIS	PN	1 772	0
Tula	HGO	PN	100	0
Tulum	QROO	PN	664	0
El Chico	HGO	PN	2 739	0
El Cimatario	QRO	PN	2 448	0
Dzibilchantún	YUC	PN	539	0
Sistema Arrecifal Veracruzano	VER	PN	0	52 239
Arrecife Alacranes	YUC	PN	53	333 716
Cabo Pulmo	BCS	PN	0	7 111
Arrecifes de Cozumel	QROO	PN	0	11 988
Bahía de Loreto	BC	PN	22 870	183 711
Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc	QROO	PN	0	8 673
Arrecife de Puerto Morelos	QROO	PN	0	9 067
Huatulco	OAX	PN	7 214	4 677
Isla Contoy	QROO	PN	227	4 899
Arrecifes de Xcalak	QROO	PN	4 521	13 428
Cumbres de Monterrey	NL	PN	177 396	0
Sierra de Órganos	ZAC	PN	1 125	0
Archipiélago de San Lorenzo	BC	PN	0	58 442
Islas Marietas	NAY	PN	73	1,310
Complejo Lagunar Ojo de Liebre	BC y BCS	RB	60 343	0
Montes Azules	CHIS	RB	331 200	0
La Michilia	DGO	RB	9 325	0
Sian Ka'an	QROO	RB	374 956	153 192
Sierra de Manantlán	JAL y COL	RB	139 577	0
El Vizcaíno	BCS	RB	2 175 963	317 128
Calakmul	CAMP	RB	723 185	0
El Triunfo	CHIS	RB	119 177	0
Lacan-Tun	CHIS	RB	61 874	0
Pántanos de Centla	TAB	RB	302 707	0
Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado	BC y SON	RB	407 867	526 889
Chamela-Cuixmala	JAL	RB	13 142	0
El Pinacate y Gran Desierto de Altar	SON	RB	714 557	0
Archipiélago de Revillagigedo	COL	RB	15 766	620 919
Sierra de Abra Tanchipa	SLP	RB	21 464	0
Sierra de la Laguna	BCS	RB	112 437	0
La Encrucijada	CHIS	RB	115 652	29 216
La Sepultura	CHIS	RB	167 310	0
Banco Chichorro	QROO	RB	582	143 778

Nota:<sup>1</sup> Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: Área de protección de los recursos naturales (APRN), Área de protección de flora y fauna (APFF), Monumento natural (MN), Parque nacional (PN), Reserva de la biosfera (RB), Santuario (S) y Otras Categorías (OC).

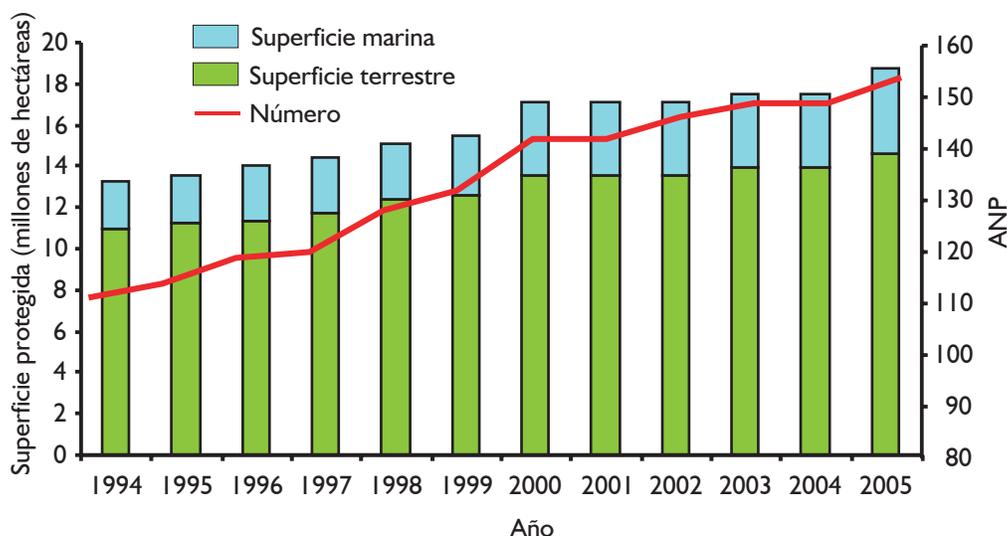
**Tabla 4.5 Áreas naturales protegidas, superficie decretada, categoría de manejo y superficie calculada en México, 2005 (continuación)**

ANP	Entidad federativa	Categoría de manejo <sup>1</sup>	Superficie calculada (ha)	
			Terrestre	Marina
Sierra Gorda	QRO	RB	383 567	0
Arrecifes de Sian Ka'an	QROO	RB	1 361	33 566
Los Tuxtlas	VER	RB	155 122	0
Tehuacán-Cuicatlán	PUE y OAX	RB	490 187	0
Los Petenes	CAMP	RB	100 939	181 910
Ría Lagartos	YUC	RB	60 348	0
Sierra de Huautla	MOR	RB	59 031	0
Barranca de Meztitlán	HGO	RB	96 043	0
Islas Marías	NAY	RB	29 375	611 910
Mapimí	DGO, CHIH y COAH	RB	342 388	0
Mariposa Monarca	MICH y MÉX	RB	56 259	0
Ría Celestún	YUC y CAMP	RB	62 137	19 345
Selva del Ocote	CHIS	RB	101 288	0
Isla San Pedro Mártir	SON	RB	273	29 892
Volcán Tacaná	CHIS	RB	6 378	0
Isla Guadalupe	BC	RB	24 254	452 717
Playa Ceuta	SIN	S	77	0
Playa Cuixmala	JAL	S	4	0
Playa de Escobilla	OAX	S	30	0
Playa de la Bahía de Chacahua	OAX	S	0	0
Playa de la Isla Contoy	QROO	S	0	0
Playa de Maruata y Colola	MICH	S	33	0
Playa de Mismaloya	JAL	S	168	0
Playa de Puerto Arista	CHIS	S	63	0
Playa de Rancho Nuevo	TAMS	S	30	0
Playa de Tierra Colorada	GRO	S	54	0
Playa El Tecuán	JAL	S	17	0
Playa Verde Camacho	SIN	S	63	0
Playa Mexiquillo	MICH	S	25	0
Playa Piedra de Tlacoyunque	GRO	S	29	0
Playa Ría Lagartos	YUC	S	0	0
Playa Teopa	JAL	S	12	0
Islas de Chamela	JAL	S	84	0
Sierra de Ajos Bavispe	SON	OC	186 734	0
<b>Total</b>			<b>14 656 206</b>	<b>4 071 645</b>

Nota:<sup>1</sup> Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: Área de protección de los recursos naturales (APRN), Área de protección de flora y fauna (APFF), Monumento natural (MN), Parque nacional (PN), Reserva de la biosfera (RB), Santuario (S) y Otras Categorías (OC).

**Fuente:**  
Conanp. México. 2005.

**Figura 4.8 Crecimiento histórico de las áreas naturales protegidas en México, 1994-2005**



Fuente:  
Elaboración propia con datos de: Conanp. México. 2005.

del país; muchas de ellas (31.3%) no alcanzan las mil hectáreas, superficie considerada como la mínima para garantizar la conservación de los ecosistemas según la IUCN (Ordóñez y Flores, 1995) e incluso, algunas han perdido por completo su vegetación original (Conabio, 1998).

En las 35 Reservas de la biosfera actuales se concentra la mayor superficie protegida del país (59.3%). La principal función de las reservas de la biosfera es la de constituirse como espacios de investigación y concertación para la conservación y el desarrollo regional sostenible (Conabio, 1998). En ellas se albergan especies representativas de la biodiversidad nacional, incluyendo las consideradas endémicas, amenazadas o en peligro de extinción.

Las áreas de protección de flora y fauna (APFF) abarcan el 31.5% del total de la superficie protegida nacional. Las 28 APFF se encuentran ubicadas tanto en zonas con una considerable riqueza de flora o fauna como donde se presentan especies, subespecies o hábitats de distribución restringida (Conanp, 2002). Las cuatro áreas decretadas

como monumento natural comprenden el 0.08% de la superficie protegida; contienen uno o varios elementos naturales y por su carácter único estético, valor histórico y científico, están incorporadas a un régimen de protección absoluta (Conanp, 2002). Actualmente sólo dos áreas están decretadas como de protección de los recursos naturales: Las Huertas, en Colima, y la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, en el estado de Puebla. Además, existe un área natural protegida que se encuentra en proceso de recategorización: la de Sierra de Ajos-Bavispe, en Sonora.

Durante el periodo 1995-2001 se tramitaron 2 mil 23 permisos para realizar actividades en las ANP (Figura 4.11), de los cuales el 87.1% correspondieron a actividades turísticas, acuático-recreativas, de campamento y de educación ambiental y el 12.9% a actividades de filmación y fotografía.

### **Regiones prioritarias**

La regionalización (división de un territorio en áreas menores con características comunes) es una

**Tabla 4.6 Superficie protegida de algunos países de la OCDE, 2004**

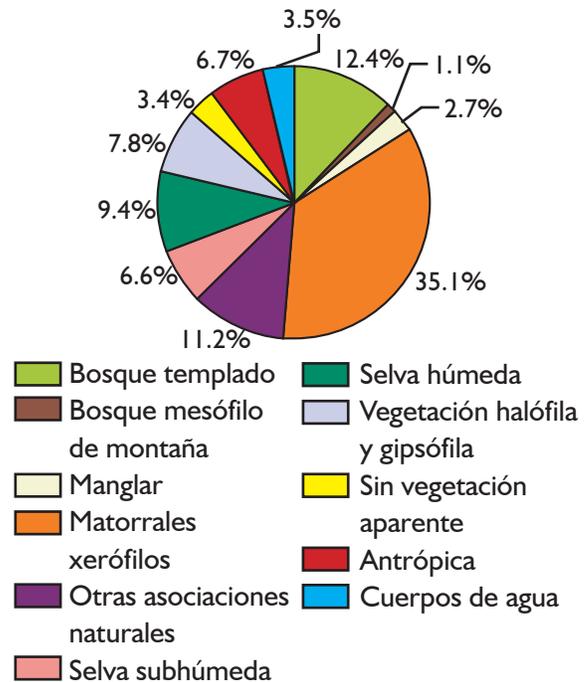
País	Superficie protegida (% del área total del país)
Australia	9.9
Canadá	9.9
Francia	13.3
Alemania	35.7
Japón	17.2
México	9.5
Turquía	4.1
Reino Unido	10.9
Estados Unidos	24.9
OCDE promedio	14.6

**Fuente:**

OECD. *OECD Environmental Data Compendium 2004*. Francia. 2004.

herramienta metodológica básica en la planeación ambiental. Por ello, en los últimos años la Conabio desarrolló un programa con talleres de expertos con el objetivo de identificar y diagnosticar las regiones prioritarias para la conservación. Los requisitos básicos para considerar un área como prioritaria son su alta diversidad e integridad ecológica. Como

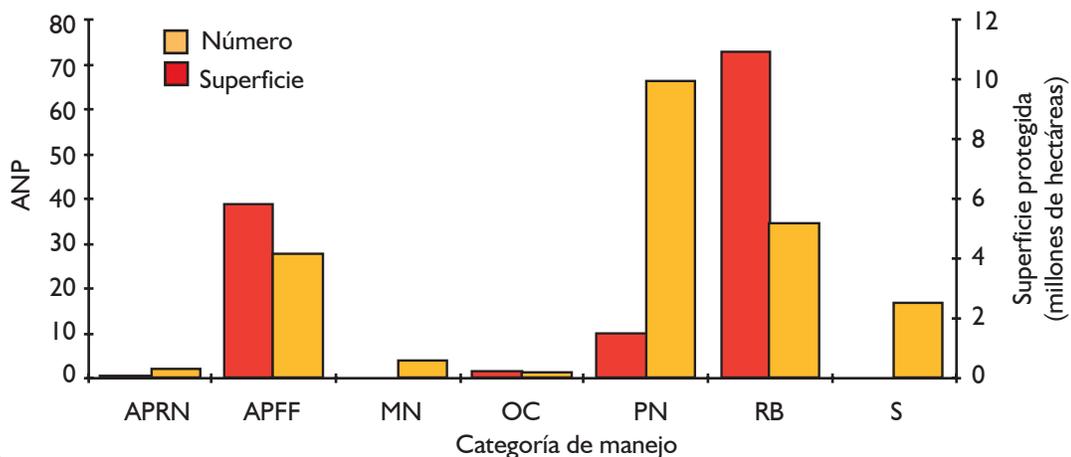
**Figura 4.9 Superficie relativa de los principales ecosistemas en las áreas naturales protegidas, 2005**



**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: Conanp. México. 2005  
INEGI. *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie III*. México. 2005.

**Figura 4.10 Áreas naturales protegidas por categoría de manejo en México, 2005**



**Nota:**

Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: área de protección de los recursos naturales (APRN), área de protección de flora y fauna (APFF), monumento natural (MN), parque nacional (PN), reserva de la biosfera (RB), santuario (S) y otras categorías (OC).

**Fuente:**

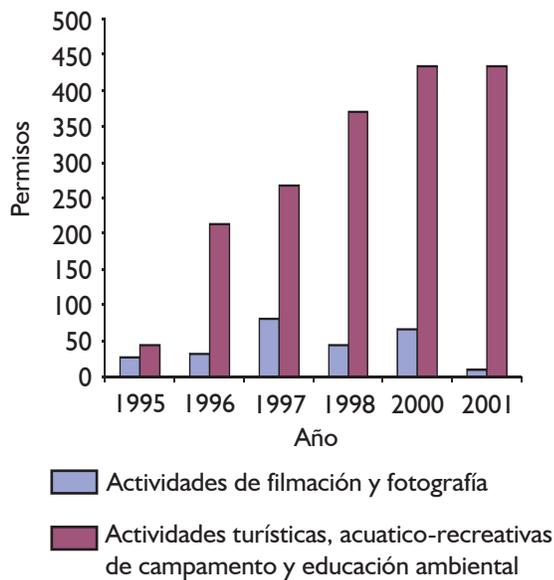
Elaboración propia con datos de: Conanp. México. 2005.



resultado de este programa se han identificado en México 151 regiones prioritarias terrestres, 70 marinas y 110 hidrológicas (en aguas continentales).

Las regiones terrestres prioritarias cubren una superficie aproximada de 504 mil 796 kilómetros cuadrados, predominando los bosques templados de coníferas y encinos (con cerca de 11.3 millones de hectáreas, es decir, el 22% de la superficie de las RTP), los matorrales xerófilos (10.8 millones de hectáreas, 21.1 de las RTP) y las selvas húmedas (7.5 millones, 14.5% de las RTP) (Figura 4.12). Debe considerarse, sin embargo, que una proporción importante de la cubierta vegetal de las RTP es

**Figura 4.11 Permisos autorizados para realizar actividades en áreas naturales protegidas en México, 1995-2001**



Fuente:  
Conanp. México. 2002.

vegetación secundaria (cerca de 11.6 millones de hectáreas, 22.5% de la superficie de las RTP), siendo el tipo con mayor proporción de vegetación secundaria la selva húmeda (62.4% de su superficie en las RTP) y el bosque mesófilo de montaña (50.8% de la superficie en RTP).

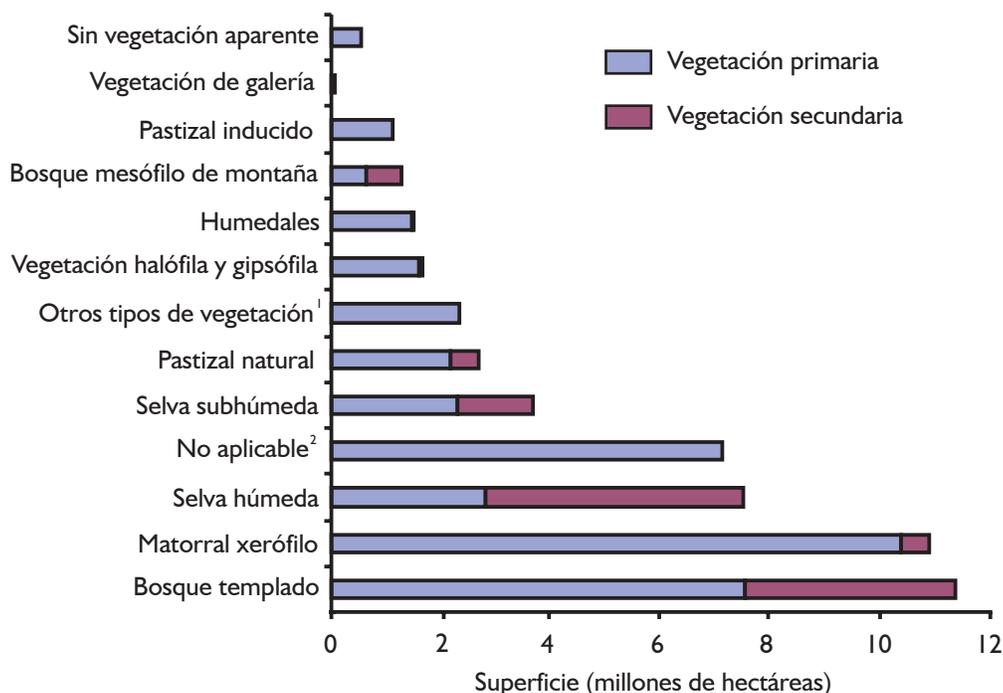
La mayor superficie de las RTP se encuentra en los estados de Sonora, Chihuahua y Coahuila; mientras que Oaxaca y Quintana Roo tienen, considerando tan sólo sus áreas estatales, la mayor superficie relativa. Es importante mencionar que cerca del 95% de las áreas naturales protegidas federales del país se superponen con las RTP.

En relación con las regiones prioritarias marinas (RPM), se tienen identificadas 70 áreas costeras y oceánicas, de las cuales 43 se localizan en el Pacífico y 27 en el Golfo de México y el Mar Caribe, aunque si se compara la superficie total, las regiones prioritarias definidas para el Pacífico abarcan apenas el 40% de la superficie de las RPM. De las regiones prioritarias definidas, 23 son áreas litorales, 33 nerítico-litorales, 9 oceánicas (incluyendo islas) y 5 nerítico-oceánicas. En poco más del 60% de las RPM identificadas se pudo definir con claridad la existencia de amenazas sobre la biodiversidad (Figura 4.13). A pesar de que se reconoce que la información de la biodiversidad marina es menor a la de los biomas terrestres, 58 de las regiones marinas se consideran sitios de alta diversidad; en contraste, en 8 de las regiones definidas se reconoció su importancia biológica, aunque no existe información suficiente sobre su biodiversidad. Cuarenta y tres de las ANP están contenidas total o parcialmente en 34 de las RPM definidas. La sobreposición también es grande en los casos de las islas y los archipiélagos, pero mínima en las zonas costeras y oceánicas, lo que muestra claramente la necesidad de identificar las zonas más importantes en costas y mar abierto a fin de implementar mecanismos para su adecuada protección.

Para el caso de aguas continentales, se tienen identificadas 110 regiones hidrológicas prioritarias (RHP; Figura 4.13), de las cuales 75% son áreas de alta riqueza biológica. En cerca del 70 por ciento de las RHP existen serias amenazas a la biodiversidad, mientras que en el 26 por ciento la información es limitada. La principal problemática detectada es la sobreexplotación del agua, la desertificación, el deterioro de los sistemas acuáticos, su contaminación, eutrofización y la introducción de especies exóticas.



Figura 4.12 Tipos de vegetación en las regiones prioritarias terrestres en México, 2002

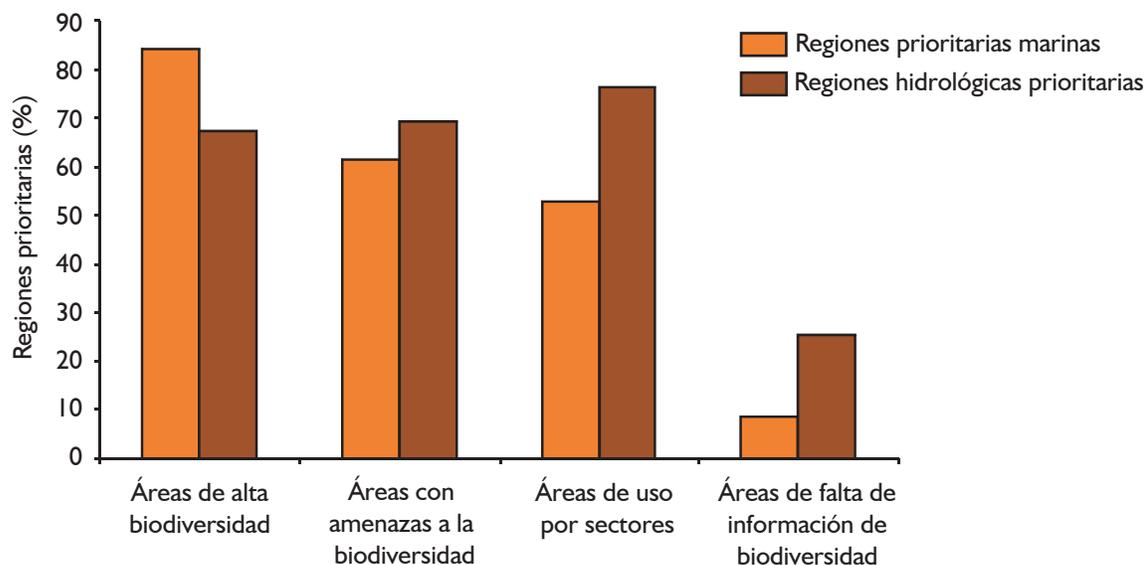


**Notas:** <sup>1</sup>Incluye chaparral, matorral submontano, matorral subtropical, palmar, sabana y vegetación de dunas costeras.  
<sup>2</sup>Incluye agricultura, zonas urbanas y cuerpos de agua.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie III*. México. 2005.  
 Conabio. *La Diversidad Biológica de México: Estudio de País*. México. 1998.

Figura 4.13 Situación de la biodiversidad en las regiones hidrológicas prioritarias y marinas en México



**Fuentes:**

Conabio. *Aguas continentales y diversidad biológica de México*. Conabio. México. 2000.  
 Conabio. *Regiones prioritarias marinas de México*. Conabio. México. 1998.



## Referencias

- Arriaga Cabrera, L., V. Aguilar Sierra y J. Alcocer Durand. *Aguas continentales y diversidad biológica de México*. Conabio. México. 2000.
- Burke, L., Y. Kura, K. Kassem, C. Revenga, M. Spalding y D. McAllister. *Pilot Analysis of Global Ecosystems. Coastal Ecosystems*. WRI. Washington, D. C. 2000.
- Conabio. *La diversidad biológica de México: Estudio de país*. Conabio. México. 1998.
- Conanp. *Programa de Trabajo. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2001-2006*. Segunda edición. Semarnat. México. 2002.
- Dinerstein, E., D. M. Olson, D. J. Graham, A. L. Webster, S. A. Primm, M. P. Bookbinder y G. Ledec. *Conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean*. The WB/WWF. Washington, D. C. 1995.
- Gentry, A. Species extirpations and the current extinction rates: A review of the evidence. En: Szaro, R. C. y D. W. Johnston (Eds.). *Biodiversity in management landscapes: Theory and practice*. Oxford, Nueva York. 16-26. 1996.
- González Medrano, F. *Las comunidades vegetales de México*. Semarnat-INE. México. 2003.
- Groombridge, B. y M. D. Jenkins. *World Atlas of Biodiversity*. UNEP-WCMC. University of California Press. USA. 2002.
- Hernández-Xolocotzi, E. Aspectos de la domesticación de plantas en México: una apreciación personal. En: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (Eds.). *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM. México. 715-738. 1998.
- INEGI. *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie II*. México.
- INEGI. *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Serie III*. México. 2005.
- IUCN, WCPA, UNEP y WMC. *2003 United Nations List of Protected Areas*. UK. 2003.
- IUCN. *IUCN Red list of threatened species*. IUCN Species Survival Commission. 2004. Disponible en: <http://www.redlist.org/>
- Lewis, R. L., S. A. Freeman y L. B. Crowder. Quantifying the effects of fisheries on threatened species: the impact of pelagic longlines on loggerhead and leatherback sea turtles. *Ecology Letters* 7: 221-231. 2004.
- Miller, R. Composition and derivation of the freshwater fish fauna of Mexico. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 30: 121-153. 1986.
- Mittermeier, R. y C. Goettsch. La importancia de la biodiversidad biológica de México. En: Sarukhán, J. y R. Dirzo (Comps.). *México ante los retos de la biodiversidad*. Conabio. México. 1992.
- OECD. *OECD Environmental Data. Compendium 2004*. Francia. 2004.
- Ordoñez, M. J. y O. Flores. *Áreas naturales protegidas en México*. Pronatura. México. 1995.
- PNUMA. *Perspectivas del medio ambiente mundial. GEO-3*. PNUMA-Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2002.
- Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM. México. 1998.
- Revenga, C., J. Brunner, N. Henninger, K. Kassem y R. Payne. *Pilot Analysis of Global Ecosystems. Freshwater Systems*. WRI. Washington, D. C. 2000.



Semarnap-Conabio. *Reservas de la biosfera y otras áreas naturales protegidas de México*. México. 1995.

Silk, N. y K. Ciruna (Eds.). *A Practitioner's Guide to Freshwater Biodiversity Conservation*. The Nature Conservancy. Boulder, Colorado. 2004.

Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco y J. M. Melillo. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277: 494–499. 1997.

WCMC (Comp.) y Groombridge, B. (Ed.). *Biodiversity Data Sourcebook*. World Conservation Press, Cambridge, UK. 1994.

Wilson, E. The current state of biological diversity. En: Wilson, E. (Ed.). *Biodiversity*. National Academic Press, Washington, D. C. 3-18. 1988.





**Capítulo 5.  
Aprovechamiento  
de los recursos forestales,  
pesqueros y de la vida  
silvestre**

## Capítulo 5. Aprovechamiento de los recursos forestales, pesqueros y de la vida silvestre



Actualmente, la mayor parte de los alimentos que consume la humanidad proviene de plantas y animales domesticados. Sin embargo, esto no significa que el hombre haya dejado de depender de la vida silvestre. Una porción importante de la población, sobre todo la que se encuentra en situación de pobreza y que habita zonas rurales, utiliza leña como fuente de energía, y millones de personas obtienen casi toda la proteína de su dieta a partir de la pesca o la caza. Si bien muchos de los productos que se extraían de poblaciones silvestres ahora son cultivados (e.g., plantaciones forestales o granjas piscícolas), la práctica más común en los países en desarrollo sigue siendo que la mano del hombre no intervenga en la producción o crianza de estos organismos, los cuales simplemente se obtienen del medio silvestre.

Tal forma de explotación tiene la particularidad de que la tasa con la que se pueden extraer de manera sostenible los recursos depende, en gran medida, de los ciclos biológicos de las especies aprovechadas y no de innovaciones tecnológicas. El inconveniente es que, en muchos casos, partes fundamentales de dichos ciclos son difíciles de advertir, como la fase planctónica por la que atraviesan muchos peces y crustáceos o las complejas interacciones entre especies de importancia cinegética y sus depredadores o presas, que son factores determinantes en el tamaño de sus poblaciones y, con ello, en la posible tasa de extracción.

Desde un punto de vista económico, estos procesos naturales que sustentan la vida silvestre son igualmente “invisibles” en términos monetarios.

La producción de un tablón tiene un costo evidente en cuanto al salario del leñador, operarios y transportistas, herramientas, administración, etcétera, a todo lo cual se le puede asignar un precio específico. Sin embargo, ¿cómo incluir en el costo de producción a los polinizadores que permitieron generar las semillas que dieron origen al árbol, las aves que dispersaron las semillas o los hongos simbiotes que lo proveyeron de nutrimentos? Más aún, ¿cómo valorar los “costos” ambientales por el corte del árbol y sus implicaciones en la erosión del suelo, como liberación de bióxido de carbono y recarga de acuíferos?, por mencionar sólo algunos.

Puesto que permanecemos al margen de dichos procesos naturales es fácil sobreexplotar los recursos silvestres sin darnos cuenta. Si bien las ciencias ambientales y la economía están desarrollando modelos que incorporan los ciclos naturales que subsidian la cadena productiva humana, éstos aún no han madurado lo suficiente como para estimar con precisión y confianza las estrategias de explotación sostenible, por lo que el monitoreo cuidadoso del aprovechamiento de la vida silvestre sigue siendo necesario para asegurar su sustentabilidad.

### **Manejo y conservación de los recursos forestales**

Entre los bienes y servicios que proveen los bosques, selvas y matorrales se encuentran diferentes materias primas de origen vegetal y animal, así como la tierra que se utiliza en labores de jardinería. El producto de origen vegetal más frecuentemente explotado es la madera, tanto para uso industrial como para generar

energía, sobre todo entre la población más pobre. Debido a la importancia y particularidades de la madera, generalmente se le considera por separado de otros bienes forestales, de modo que hablamos de recursos “maderables” y “no maderables”.

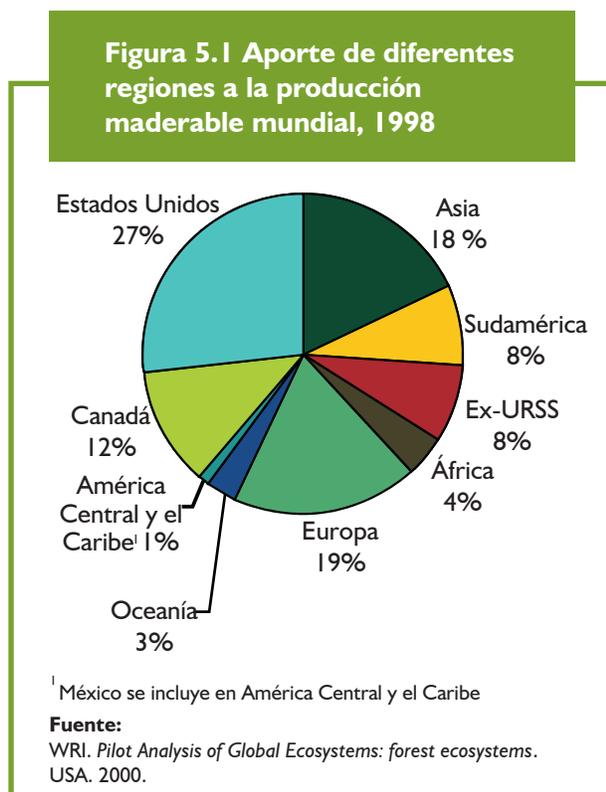
### Recursos maderables

A escala mundial, en el año 2000 se cosecharon 3.3 millones de m<sup>3</sup> de madera en rollo (troncos de árboles derribados y en trozos, con un diámetro mayor a 10 cm en cualquiera de sus extremos, sin incluir la corteza), que se emplearon principalmente como combustible (53.5%) y para la fabricación de papel, tablonés y fibra. En la actualidad, se estima que la participación de la producción industrial de bienes derivados de la madera es de alrededor del 2% del Producto Mundial Bruto. El mayor productor del planeta es Estados Unidos, que contribuye con más de la cuarta parte de la madera que se consume en el mundo, después figuran Europa, Canadá y Rusia (Figura 5.1). México contribuye con poco menos de 1% de la producción mundial.

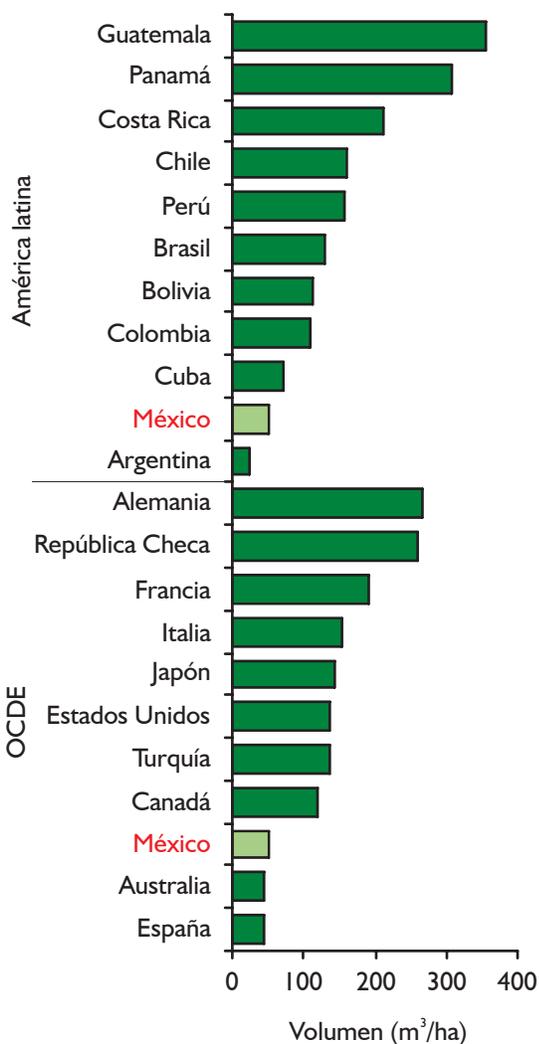
Las existencias maderables de un país dependen en gran medida de la extensión de sus bosques y selvas, aunque también de la cantidad de madera que hay por unidad de superficie. Los países que tienen las mayores existencias de madera son la Federación Rusa, Brasil, Canadá y Estados Unidos. La cantidad de madera por hectárea varía dependiendo tanto del clima (e.g., los bosques tropicales en general tienen más recursos por unidad de área) como de la forma en que se ha manejado la vegetación. En el caso particular de los bosques de México, se considera que se encuentran entre los más pobres tanto de los países que integran la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) como de América Latina (Figura 5.2).

Las tendencias mundiales señalan que los países en vías de desarrollo tienden a reducir sus existencias de madera debido a las elevadas tasas de deforestación, mientras que en los países industrializados crece cada vez más no sólo la extensión arbolada sino también la cantidad de madera a una tasa de un metro cúbico por hectárea al año. Se estima que la explotación maderera consume anualmente 0.86% de la existencia mundial de árboles en pie, cuyo volumen es de aproximadamente 386 000 millones de m<sup>3</sup>.

En México se han realizado varios trabajos para determinar las existencias de madera de todo el país. Los trabajos más recientes sobre cobertura forestal son el Inventario Nacional Forestal 2000 y la *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie III*, del INEGI; sin embargo, ambos consideran sólo la extensión de las zonas arboladas y carecen de información sobre volúmenes de madera. En este sentido, la fuente más reciente y completa es el Inventario Nacional Forestal Periódico de 1994 (SARH, 1994). De acuerdo con la fuente, en ese año había en el país 1 831 millones de m<sup>3</sup> de madera en rollo en los bosques y 972 millones más en selvas. Los bosques mixtos de coníferas y latifoliadas, seguidos por las selvas altas y medianas, eran los tipos de vegetación que contenían más madera (Figura 5.3). Las entidades con mayores existencias en bosques fueron Durango, Chihuahua, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca; y en lo referente a selvas,



**Figura 5.2 México en el Mundo: Existencias de madera por hectárea en bosques**

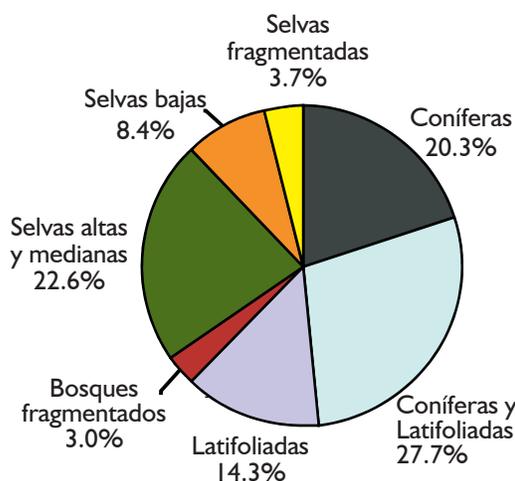


Fuente: FAO. *Situación de los Bosques del mundo*. FAO. Roma. 2005.

fueron Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo y Campeche (Mapas 5.1 y 5.2, Cuadros D3 RFORESTA02 01 y D3 RFORESTA02 02).

La vegetación más rica en términos de cantidad de madera por unidad de área son los bosques de coníferas, que sobrepasan los 100 m<sup>3</sup> por hectárea. Los bosques cerrados se caracterizan por mayores volúmenes, mientras que aquellos que han sufrido un proceso de fragmentación tienen un contenido

**Figura 5.3 Existencias de madera en México según tipo de vegetación, 1994**



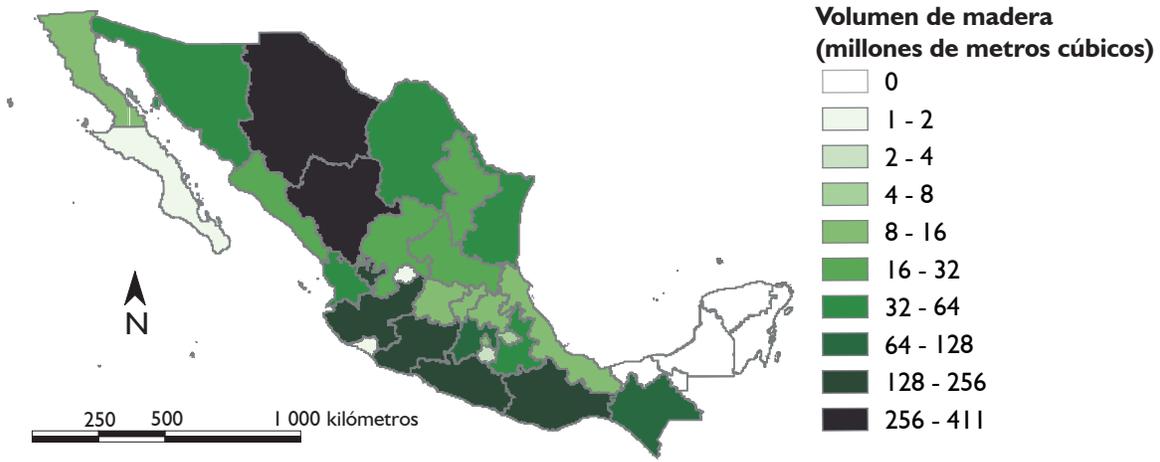
Fuente: SARH. *Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994*. SARH. México. 1994.

de madera menor comparado con la vegetación primaria (Figura 5.4, Tabla 5.1).

La deforestación es un proceso que reduce de manera importante la cubierta de bosques y selvas y, por consiguiente, las existencias de madera en el país. Por esta vía en los últimos 10 años se han perdido entre 1.5 y 2 millones de hectáreas (véase capítulo 2 **Vegetación y uso del suelo**), lo que representa alrededor de 30 millones de m<sup>3</sup> de madera al año. A esto habría que sumar las pérdidas por alteración y la extracción de madera ilegal no asociada a deforestación.

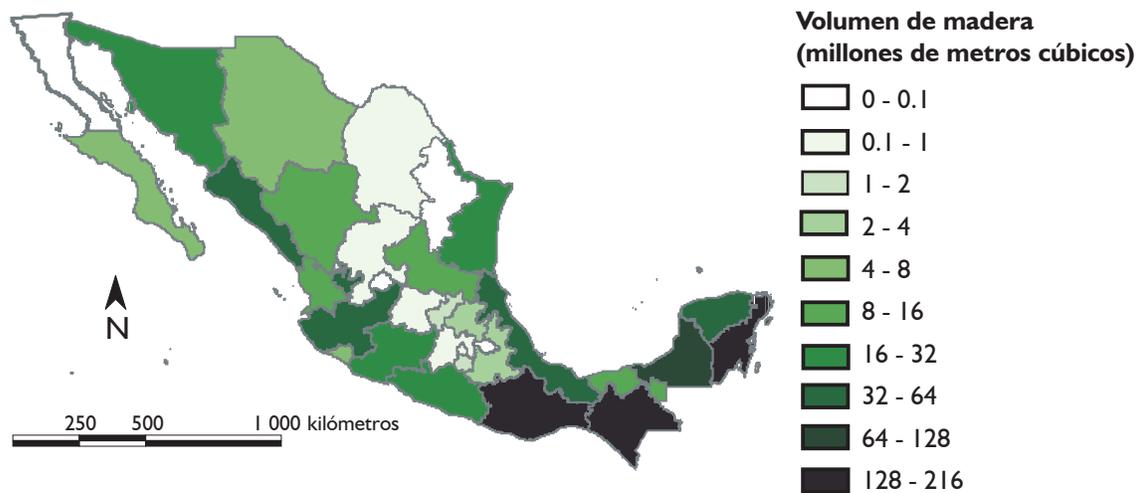
Si bien estas cifras son sólo una aproximación, dicha cantidad es muy superior a la producción maderable regulada del país, que en los últimos 15 años ha oscilado entre 6.3 y 9.8 millones de m<sup>3</sup> anuales. Esto se debe en gran medida a que los datos de producción se obtienen de los informes que los titulares de aprovechamientos autorizados o sus Prestadores de Servicios Técnicos reportan hacia las Delegaciones Federales de la Semarnat, mientras que la causa más importante de deforestación es el cambio de uso del suelo para fines agropecuarios,

**Mapa 5.1 Existencias de madera en bosques templados y fríos por entidad federativa, 1994**



**Fuente:** SARH. *Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994*. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. SARH. México. 1994.

**Mapa 5.2 Existencias de madera en selvas por entidad federativa, 1994**

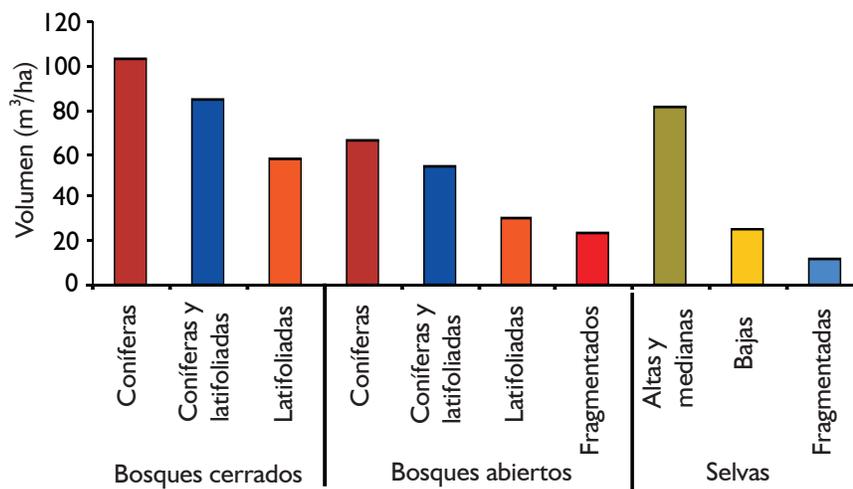


**Fuente:** SARH. *Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994*. SARH. México. 1994.

el cual tiene lugar sin dichos permisos. No se tienen datos para evaluar qué proporción de la madera que se corta con fines de cambio de uso del suelo es industrializada, utilizada como leña o simplemente quemada durante el proceso de desmonte.

La producción maderable anual entre 1986 y 2003 promedió una cifra cercana a 8 millones de m<sup>3</sup> rollo, aunque mostró un comportamiento variable. En 2003, por ejemplo, no alcanzó 7 millones, mientras que en 2000 estuvo próxima a 9.5 millones

**Figura 5.4 Existencias de madera según tipo de vegetación, 1994**



**Fuente:**  
SARH. *Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994*. SARH. México. 1994.

**Tabla 5.1 Volumen promedio de madera en existencia en diferentes tipos de vegetación, 1994**

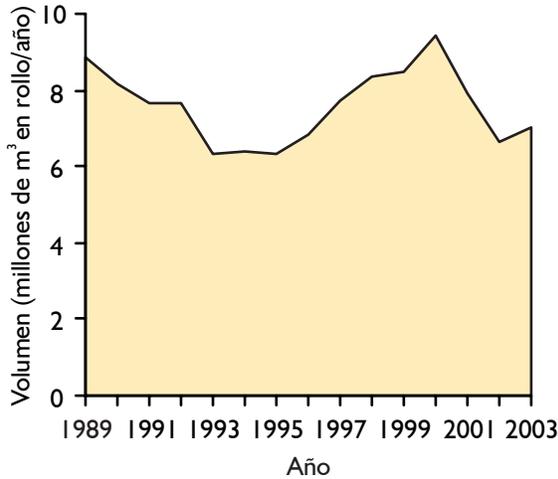
Tipo de vegetación		Volumen (metros cúbicos/hectárea)
Bosques		60.7
	Cerrados	82.6
	Coníferas	103.0
	Coníferas y latifoliadas	83.9
	Latifoliadas	57.6
	Abiertos	44.6
	Coníferas	65.4
	Coníferas y latifoliadas	53.6
	Latifoliadas	30.2
	Fragmentados	24.1
Selvas		36.9
	Altas y medianas	81.2
	Bajas	24.5
	Fragmentadas	11.7

**Fuente:**  
SARH. *Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994*. SARH. México. 1994.

de m<sup>3</sup> (Figura 5.5, Cuadro D3 RFORESTA04 01). Los estados de Durango, Chihuahua y Michoacán son los que más contribuyen a la industria nacional

(Mapa 5.3, Cuadro D3 RFORESTA04 01), la cual está basada sobre todo en madera de pinos y encinos; las maderas preciosas aportan poco al volumen de

**Figura 5.5 Evolución de la producción maderable en México, 1989-2003**



**Fuentes:**

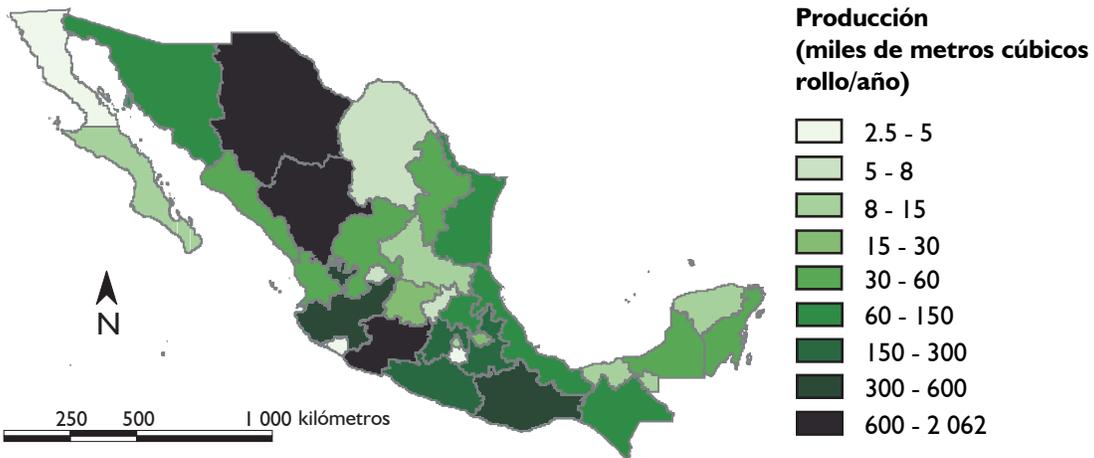
Semarnat. *Informe de la situación del medio ambiente en México, 2002. Compendio de Estadísticas Ambientales*. México. 2002.  
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2002 y 2003*. México. 2004 y 2005.  
 Semarnat. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. México. 2005.

madera producido en el país. Las principales especies aprovechadas durante el 2003 fueron: el pino con 5.5 millones de m<sup>3</sup> en rollo (74.8%), y el encino 0.8 millones de m<sup>3</sup> en rollo (10.9%), los restantes 0.8 millones m<sup>3</sup> en rollo (10.7%) corresponden a las otras especies (Figura 5.6, Cuadro D3 RFORESTA04 02).

A diferencia de lo que ocurre en otros países, donde la creciente demanda de celulosa para la fabricación de papel es el motor más importante detrás del aumento en la explotación maderera, en México las formas de uso que están creciendo más rápidamente son los durmientes (37.4% anual entre 1997 y 2003), el carbón (11.5%), la leña (9.2%) y la chapa y el triplay (8.6%), mientras que los celulósicos decrecieron (-5.9%) (Figura 5.7).

La mayor parte de la madera industrial en rollo se destina a la “escuadría” (tablas, tablones y vigas), que consumió 70% de la producción nacional entre 1997 y 2003, seguida del papel con 14.5%. De acuerdo con estos datos, el uso de la madera como energético es mínimo en México, pues durante este periodo se empleó en promedio sólo 3.1% como leña y 3.8% como carbón (Figura 5.8, Cuadro D3

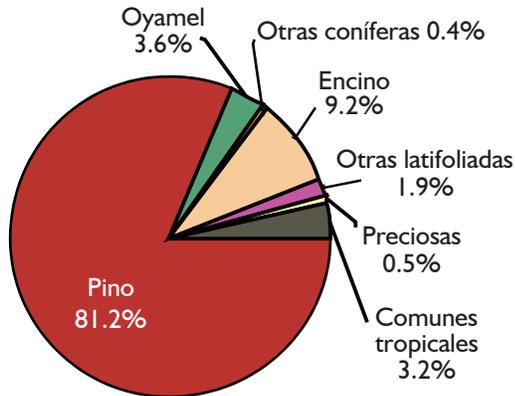
**Mapa 5.3 Producción maderable anual promedio por entidad federativa, 1990-2003**



**Fuente:**

Semarnat. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. México. 2005.

**Figura 5.6 Producción maderable en México, según la especie empleada, 1997-2003**



**Fuentes:**

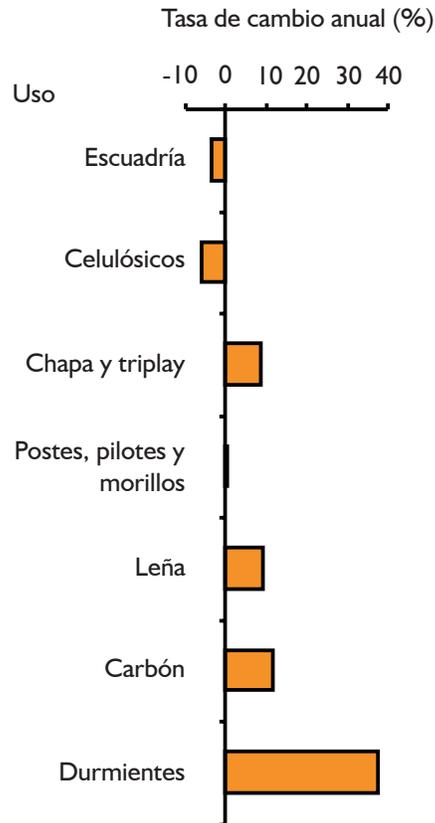
Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Años 1997 y 1998.* México. 1999 y 2000.  
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Años 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003.* México. Varios años.

**RFORESTA04 03).**

No obstante estar derivadas de los registros y permisos, estas cifras subestiman de manera considerable el uso de leña y carbón en México. Considerando que poco menos de 20% de las viviendas en el país emplea leña, los 364 972 m<sup>3</sup> de leña reportados en 2003 (Cuadro D3 RFORESTA04 03) se repartirían en cada hogar sumando alrededor de 200 cm<sup>3</sup> de madera al día, apenas un leño del tamaño de un ladrillo, que evidentemente no es suficiente para satisfacer sus demandas de combustible. Probablemente el verdadero valor esté más cercano a los 38 millones de m<sup>3</sup> que estimó la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2005), y que corresponderían a 82.2% de la producción nacional maderable, que habría sido de 45.7 millones de m<sup>3</sup> en 2004 (Figura 5.9).

También es importante señalar que los datos de producción maderable no incluyen la cosecha en zonas áridas o en orillas de los caminos, que es empleada fundamentalmente como combustible. Es muy probable que el factor que incide de manera más fuerte sobre la discrepancia entre los datos

**Figura 5.7 Tasa de cambio anual del volumen de madera empleado para diferentes fines en México, 1997-2003**



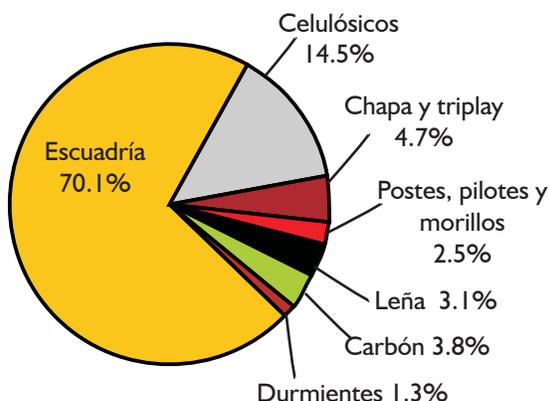
**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:  
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Años 1997 y 1998.* México. 1999 y 2000.  
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Años 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003.* México. Varios años.

nacionales y los de la FAO sea que el corte de leña ocurre sin informar a las autoridades federales. Esta actividad tiene lugar en zonas rurales (principalmente de uso común) y es administrada por órganos de decisión locales.

Una posibilidad para estimar el consumo de leña por entidad federativa es mediante el producto de la cantidad de combustible empleada en promedio por vivienda multiplicada por el total de viviendas que consumen leña localmente. De acuerdo con esto, los estados donde más se emplea leña en la cocina son Veracruz, Chiapas, Oaxaca y Puebla (Mapa 5.4). Claramente se trata de entidades con

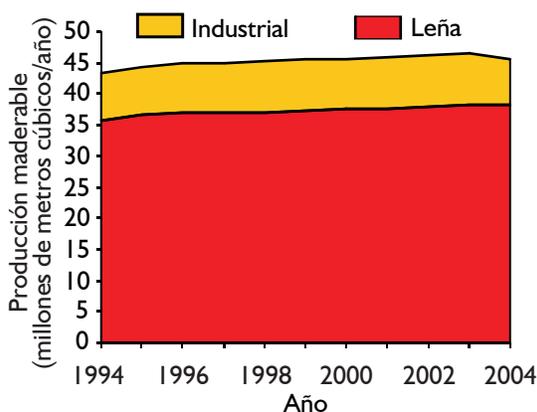
**Figura 5.8 Principales usos de la madera en México, 1997-2003**



**Fuentes:**

Semarnap. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Años 1997 y 1998.* México. 1999 y 2000.  
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Años 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003.* México. Varios años.

**Figura 5.9 Producción maderable en México según su empleo como leña o en la industria, 1994-2004**



**Fuente:**

FAO. Bases de datos estadísticos de la FAO. Roma. 2005.  
 Disponible en: <http://faostat.fao.org/faostat>

que el consumo de leña seguirá incrementándose. Para el caso de México se observa una ligera reducción en la proporción de hogares que utilizan carbón o leña para cocinar. En el periodo de 1990 a 2000, la proporción de ocupantes que utilizaron este combustible se redujo de 23.4 a 19.8%. En algunas regiones, el incremento en la tasa de extracción de leña ha reducido la disponibilidad del recurso, generando lo que se ha llamado “la crisis energética de los pobres”. Desafortunadamente, a pesar de que un gran número de personas depende de estos recursos, el carbón y la leña rara vez ocupan un lugar destacado en los planes energéticos nacionales.

Para lograr un aprovechamiento de madera sostenible, el volumen de madera que se extrae debe ser menor a la renovación natural de los bosques. Si la explotación se encuentra por arriba de la renovación, entonces se está degradando la base de recursos naturales y la disponibilidad futura de los mismos. El Inventario Nacional Forestal Periódico (INFP) de 1994 efectuó estimaciones sobre la tasa de renovación (denominada “aumento anual”) para las coníferas, el grupo más utilizado industrialmente con fines maderables.

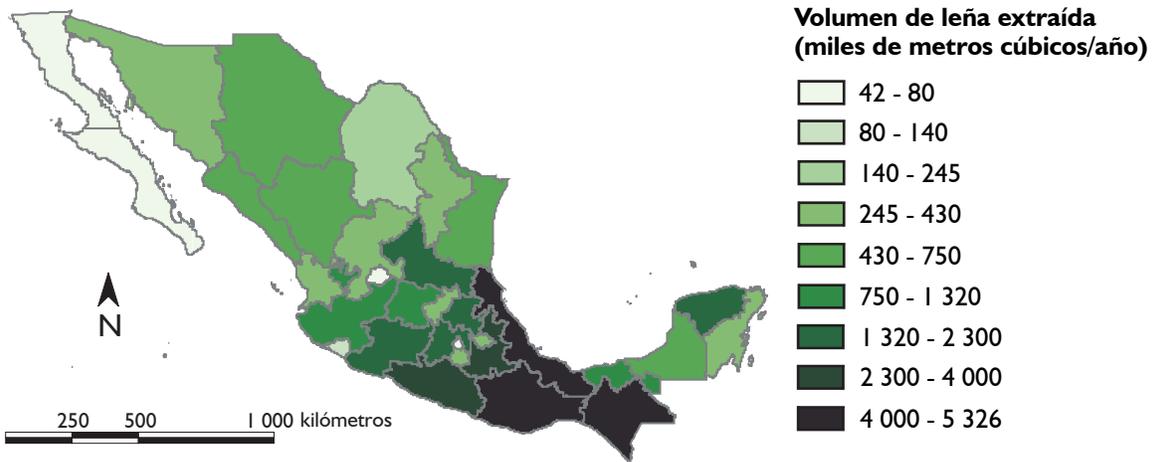
De acuerdo con la información disponible, el aumento anual de coníferas en México es bastante alto respecto a los estándares mundiales; tiene un volumen aproximado de 25 millones de m<sup>3</sup> de madera en rollo y se concentra sobre todo en los estados con mayores existencias (Mapa 5.5, Cuadro D3 RFORESTA02 03). Dicha cifra se encuentra muy por arriba de la producción reportada de madera en rollo de coníferas en 2003, que fue de 5.76 millones (23% del aumento anual). Si bien esto sugeriría que no se ha sobrepasado la capacidad de producción de nuestros bosques, debemos recordar que la extracción no reportada por deforestación y consumo de leña es muy grande, y que puede alterar significativamente el panorama.

una importante población rural, indígena y con un bajo desarrollo humano (véase **Características socioeconómicas** en el Capítulo I **Población**).

Las proyecciones en casi todo el mundo indican

Independientemente de los efectos que tiene la extracción de leña y madera sobre la vegetación, la superficie forestal está disminuyendo y, de acuerdo con las tendencias actuales, se espera que los bosques primarios –los que más madera contienen–

**Mapa 5.4 Extracción de leña estimada por entidad federativa, 2000**



**Fuente:**

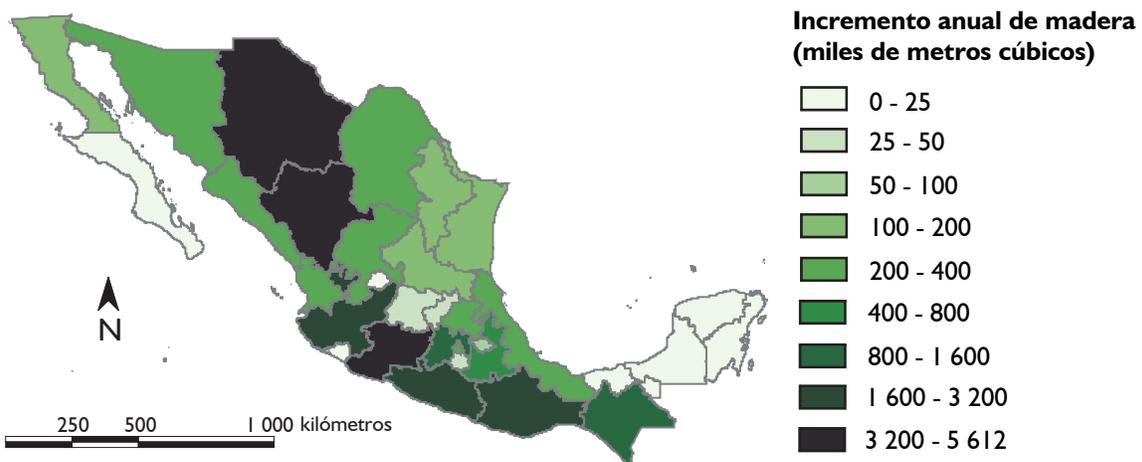
FAO. Base de datos estadísticos de la FAO. Roma. 2005. Disponible en: <http://faostat.fao.org/faostat>

se reduzcan de manera considerable en las próximas décadas (véase capítulo 2 **Vegetación y uso del suelo**). Por sí mismo, esto revela el uso insostenible que estamos haciendo de los bosques.

El caso de las selvas es similar. En ellas la

extracción se concentra en las especies de maderas preciosas. No existe información sobre el aumento anual de madera de este grupo, pero algunos datos nos pueden dar indicios sobre la insostenibilidad de su aprovechamiento. El sureste del país constituye la región de la cual proceden casi exclusivamente estas

**Mapa 5.5 Incremento anual de madera de coníferas por entidad federativa, 1994**



**Fuente:**

SARH. *Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994*. SARH. México. 1994.



maderas. Para que una parcela recupere su cantidad de maderas preciosas, debe descansar por cerca de 50 años. Por lo tanto, la explotación sostenible de estos recursos requiere de grandes extensiones de selva que permitan aprovechar una parcela mientras se dejan en “descanso” o recuperación las otras 49.

Cuando vastas regiones de selva permanecieron despobladas, fue posible que se explotara la caoba de la región sureste con un esquema de ciclos de descanso de varias décadas. En la actualidad, la minifundización de las tierras que acompañó a los programas de colonización de los trópicos de las décadas de los sesenta y setenta, impidió mantener estos ciclos de descanso, ocasionando que las plantas de caoba o cedro remanentes sean escasas y de talla reducida (Challenger, 1998; Cemda-Cespedes, 2002). Hoy, las maderas preciosas apenas representan medio punto porcentual de la producción maderable de México.

Además del hombre, los incendios y las plagas forestales pueden reducir las existencias de madera. Dichos fenómenos ocurren en forma natural en los bosques y selvas e incluso son necesarios para el funcionamiento del ecosistema. Sin embargo, el hombre puede incrementar la frecuencia de plagas e incendios más allá de su incidencia normal y afectar seriamente la condición de los bosques. En particular se ha encontrado que los incendios son más frecuentes en los estados del país con mayor superficie de bosques alterados, durante los años de sequía.

Las plagas forestales son insectos o patógenos que ocasionan daños de tipo mecánico o fisiológico a los árboles, como deformaciones, disminución del crecimiento, debilitamiento o, incluso la muerte, con un impacto ecológico, económico y social muy importante. Son consideradas como una de las principales causas de disturbio en los bosques templados del país. Actualmente se tiene registro de alrededor de 250 especies de insectos y patógenos que afectan al arbolado en México, estimándose la superficie susceptible de ataque en cerca de 10

millones de hectáreas (Tabla 5.2, Figura 5.10).

Dentro de los factores naturales que facilitan el ataque de plagas están los fenómenos meteorológicos como sequías, huracanes y nevadas, así como otras conflagraciones naturales, como los incendios. Sin embargo, las actividades humanas también facilitan el ataque. El aprovechamiento y pastoreo no regulados, el deficiente manejo silvícola, la introducción de especies de plagas y patógenos de otras regiones geográficas, así como los incendios inducidos predisponen a las masas arboladas al ataque de plagas forestales.

Como resultado del monitoreo periódico que realiza la Semarnat de las zonas forestales del país, en 2004 fueron detectadas 65 124 hectáreas afectadas por algún tipo de plaga, superficie muy por arriba de las 25 000 hectáreas en promedio que se tuvieron durante el periodo de 1990 al 2004. Clasificando a las plagas en animales y vegetales, y según la parte del árbol que atacan, la mayor parte de esta extensión fue afectada por descortezadores y muérdagos (Figura 5.11, Cuadro D3 RFORESTA06 01). Los estados con mayor superficie forestal promedio afectada por enfermedades entre 1990 y 2004 fueron Aguascalientes, Oaxaca, Durango, Jalisco y el Distrito Federal (Mapa 5.6, Cuadro D3 RFORESTA06 01).

### **Recursos forestales no maderables**

Los productos forestales no maderables (PFNM) reciben muy poca atención comparados con los maderables. Sin embargo, comprenden una importante variedad de productos medicinales, alimenticios, materiales para la construcción, resinas, gomas, tintes, ceras, esencias y aceites, entre otros. En general, estos productos carecen de un mercado amplio y consolidado (a diferencia de los maderables) y en su mayoría son explotados localmente por personas de escasos recursos económicos. Quizá por ello persiste la noción equivocada de que los PFNM constituyen un recurso de escaso valor económico; hecho muy alejado de la realidad ya que, por ejemplo, las estimaciones sobre el potencial productivo no maderable de los bosques y selvas rebasan los 1.3 millones de dólares

**Tabla 5.2 Principales plagas forestales de importancia económica y ecológica en México**

Especie	Nombre común	Tipo de vegetación afectada
<i>Dendroctonus adjunctus</i>	Descortezador del pino de las alturas	Bosque templado
<i>Dendroctonus frontalis</i>	Descortezador del pino del sur	Bosque templado
<i>Dendroctonus mexicanus</i>	Descortezador menor del pino	Bosque templado
<i>Dendroctonus rhizophagus</i>	Descortezador de la raíz del pino	Regeneración en bosque templado
<i>Scolytus multistriatus</i>	Descortezador del olmo	Vegetación urbana y plantaciones
<i>Chrysobothris sp.</i>	Barrenador del cedro rojo	Plantaciones tropicales
<i>Malacosoma sp.</i>	Defoliador del ahuejote	Vegetación urbana y plantaciones
<i>Neodiprion sp.</i>	Mosca sierra menor	Bosque templado y plantaciones
<i>Zadiprion sp.</i>	Mosca sierra mayor	Bosque templado
<i>Cydia sp.</i>	Barrenador de conos de coníferas	Bosque templado
<i>Conophthorus sp.</i>	Barrenador de conos de pino	Áreas de pino piñonero
<i>Hypsipyla grandella</i>	Barrenador de las meliáceas	Plantaciones tropicales
<i>Paranthrene dollii</i>	Barrenador del álamo	Vegetación urbana y plantaciones
<i>Arceuthobium spp.</i>	Muérdago enano	Bosque templado
<i>Psittacanthus spp.</i>	Muérdago verdadero	Vegetación urbana y bosques de latifoliadas y coníferas
<i>Phoradendron spp.</i>	Muérdago verdadero	Vegetación urbana y bosques de latifoliadas y coníferas
<i>Struthanthus spp.</i>	Muérdago verdadero	Vegetación urbana y bosques de latifoliadas y coníferas
<i>Fusarium subglutinans</i>	Cancro resinoso del pino	Bosque templado y plantaciones

**Fuente:**

Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Federalización y Descentralización de Servicios Forestales y de Suelos. México. 2002.

anuales en nuestro país.

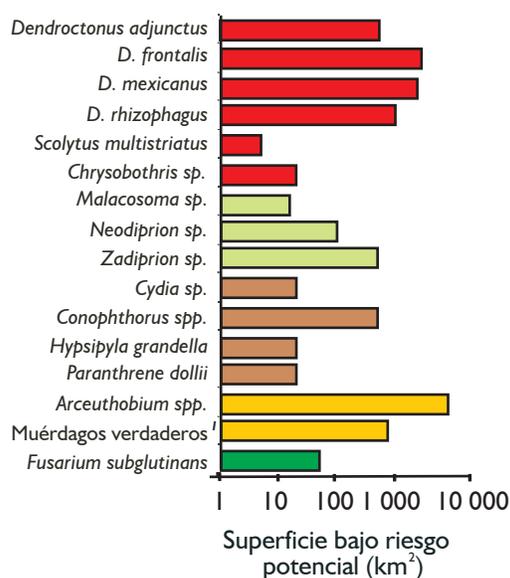
Los PFNM que se aprovechan en mayor cantidad en México son la tierra de monte y las resinas, que generalmente se extraen de los bosques de coníferas. Si bien las fibras y ceras no son las más importantes en cuanto a cantidad, representan el sustento de cientos de las familias más pobres del país. Generalmente se producen en zonas áridas y semiáridas a partir de plantas de las familias de las agaváceas, bromeliáceas y euforbiáceas (Figura 5.12). Esta distribución geográfica diferencial de los productos no maderables se refleja en que los estados de las sierras (productores de resinas, como Michoacán) y de las zonas áridas (como Baja California, Zacatecas y Tamaulipas) se encuentren entre los primeros lugares en producción (Mapa

5.7).

Si consideramos como referencia las más de 25 mil especies de plantas superiores que se encuentran en nuestro país, el número de ellas que se utilizan es muy reducido, ya que sólo menos de 100 se explotan comercialmente y menos de un millar tienen aprovechamiento regional (Figura 5.13, Cuadro D3 RFORESTA04 06).

A pesar de que la extracción de PFNM va en aumento, la razón no es una mayor diversificación de productos—los mismos rubros siguen contribuyendo al total en proporciones semejantes (Figura 5.14, Cuadro D3 RFORESTA04 04)—sino una mayor intensidad de explotación de las ya utilizadas, lo que

**Figura 5.10 Superficie bajo riesgo potencial de ataque por las principales plagas forestales en México, 2001**



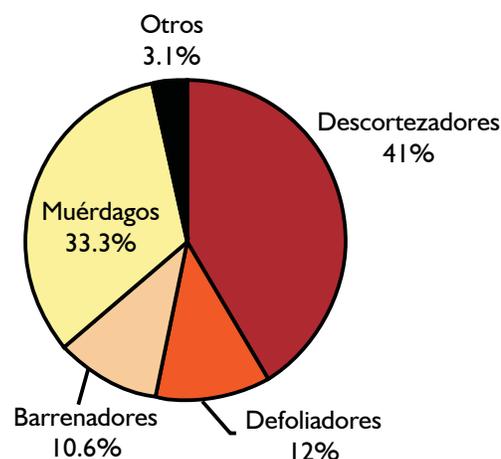
<sup>1</sup> *Psittacanthus* spp., *Phoradendron* spp., *Struthanthus* spp.

**Fuente:** Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Federalización y Descentralización de Servicios Forestales y de Suelo. México. 2002.

puede conducir a una sobreexplotación. Un efecto colateral de esta concentración en pocos productos es que la economía de las personas y comunidades que dependen de ellas se torne más vulnerable a las fluctuaciones del mercado, lo que ocasionaría que los precios de estos productos se desplomen, dejando a los productores en una situación muy comprometida; situación que ya les ha ocurrido en el pasado, por ejemplo, a los productores de cera de candelilla, chicle y barbasco.

Dado el extendido uso local de muchos de los PFNM es probable que una parte importante del aprovechamiento de estos recursos no esté

**Figura 5.11 Superficie afectada por plagas forestales, 1990-2004**

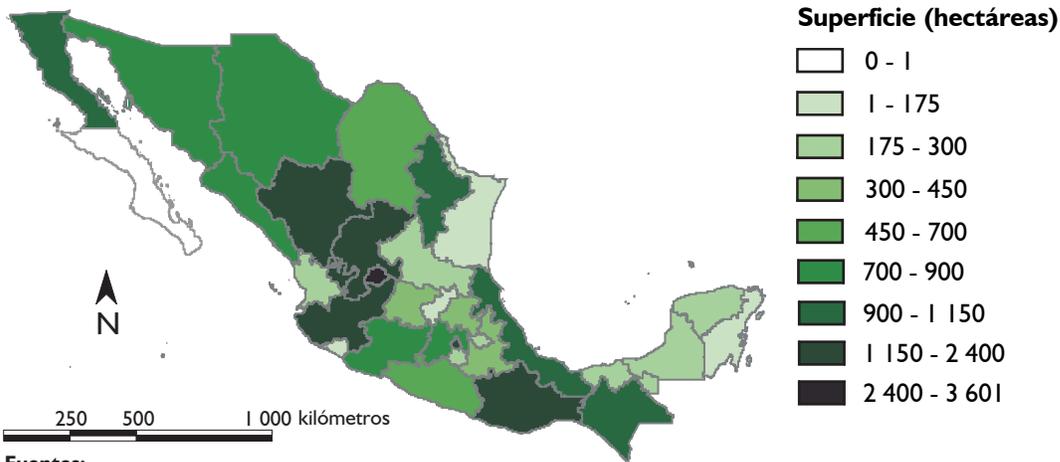


**Fuentes:** Semarnat. Dirección General de Federalización y Descentralización de Servicios Forestales y de Suelos. México. 2002.  
Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Años 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003.* México. Varios años.  
Conafor. Gerencia de Sanidad Forestal. México. 2005.

cuantificada realmente en muchas zonas rurales, donde los usuarios no tienen obligación de reportar la extracción de los mismos. Por ello, el valor reportado seguramente es una subestimación del aprovechamiento real en nuestro país.

Además de su potencial económico, se ha sugerido que incentivar el uso de los PFNM puede ser una excelente alternativa para la conservación de la vegetación natural donde estos recursos se encuentran, ya que para su permanencia requieren de cierto grado de conservación de los ecosistemas. En algunos países de América Latina, incluido México, ya se han establecido “reservas extractivas”, que son porciones de selva protegidas por las comunidades rurales, de las que se extraen bienes comerciales, tales como mariposas que se venden a coleccionistas de todo el mundo. Si bien en lo inmediato las reservas extractivas han frenado la deforestación, en varios casos se ha observado que la constante perturbación que causan las actividades humanas ha perjudicado la vida silvestre, por lo que

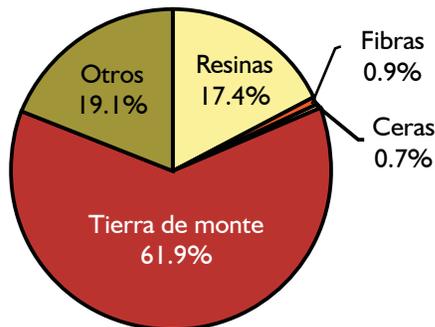
**Mapa 5.6 Superficie promedio anual afectada por plagas forestales por entidad federativa, 1990-2004**



**Fuentes:**

Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, 2002. Compendio de Estadísticas Ambientales*. México. 2002.  
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2002*. México. 2004.  
 Semarnat. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. México. 2003.  
 Conafor. Coordinación General de Conservación y Restauración Forestal. Gerencia de Sanidad Forestal. México. 2005.

**Figura 5.12 Producción forestal no maderable por tipo de producto, 1997-2003**



**Fuentes:**

Semarnap. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Años 1997 y 1998*. México. 1999 y 2000.  
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Años 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003*. México. Varios años.

es necesario mejorar este modelo productivo para que realmente sea sostenible.

**Gestión de los recursos forestales**

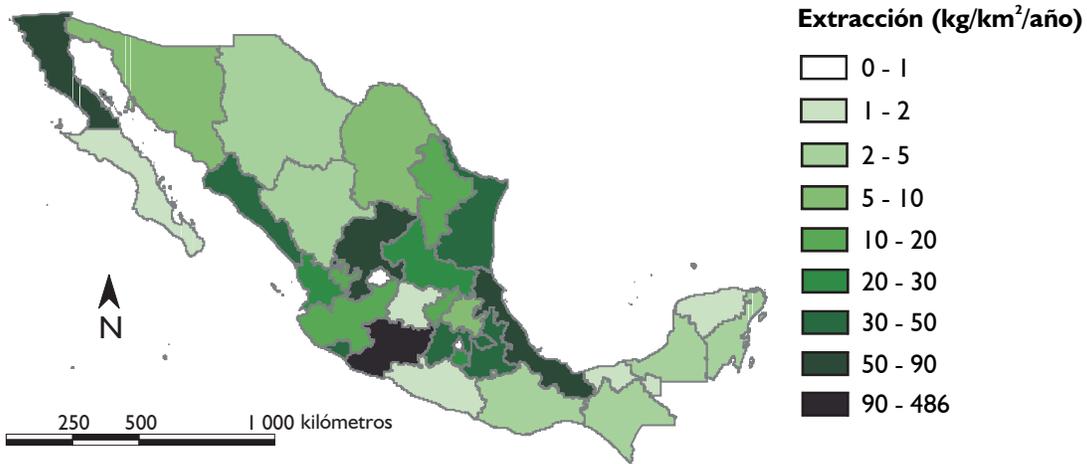
Con la finalidad de regular el aprovechamiento de los recursos forestales maderables, la legislación

mexicana prevé que se debe contar con una autorización. Para el caso de los recursos forestales no maderables su aprovechamiento en la mayoría de los casos es a través de un aviso, dado que se consideran de subsistencia y bajo impacto ambiental.

Durante 2003 se autorizó el aprovechamiento de más de 9 millones de m<sup>3</sup> de madera y 540 mil toneladas de productos forestales no maderables. Para otorgar una autorización de aprovechamiento, la ley exige que se mitigue el impacto ambiental, se proteja a las especies amenazadas y se tomen medidas preventivas contra incendios y plagas forestales. Además, el aprovechamiento debe estar de acuerdo con los principios de la explotación sustentable. En caso de extraerse los recursos sin cumplir con estas normas, no hay garantía de que la explotación sea adecuada (Figura 5.15, Cuadros D3 RFORESTA03 01, D3 RFORESTA03 02 y D3 RFORESTA04 04).

Para fomentar la explotación sustentable de los recursos forestales se cuenta con dos programas que inciden directamente sobre el uso de la vegetación natural: el Programa de Desarrollo Forestal (Prodefor) y el Proyecto de Conservación

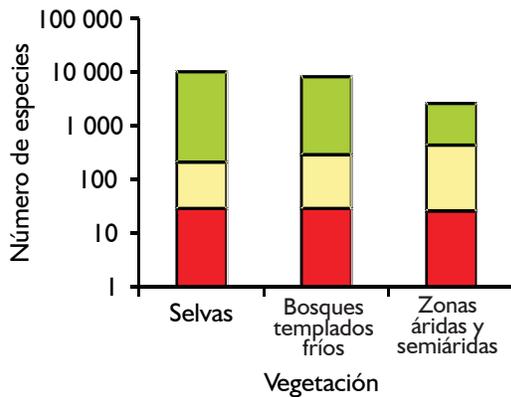
**Mapa 5.7 Intensidad de extracción de productos forestales no maderables por entidad federativa, 1995-2003**



**Nota:** No se incluye tierra de monte.

**Fuente:** Semarnat. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. México. 2005.

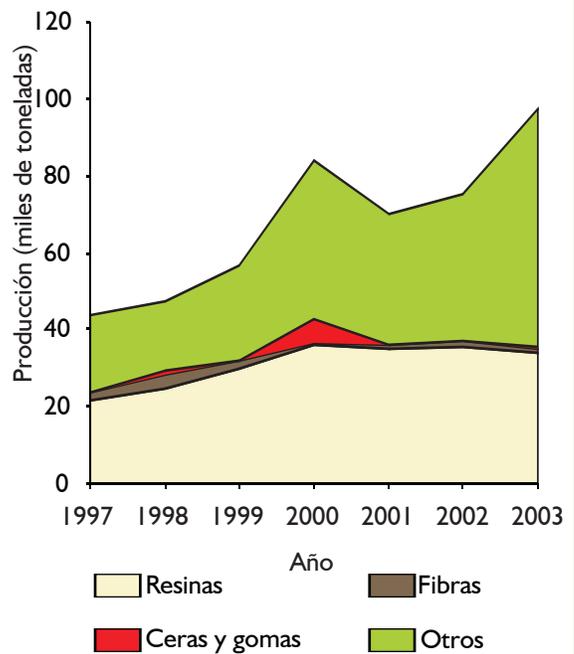
**Figura 5.13 Especies aprovechadas o con potencial de aprovechamiento por región ecogeográfica**



■ Potenciales  
■ Usadas regionalmente  
■ Comerciales

**Fuente:** Conabio. *La diversidad biológica de México: estudio de país.* México. 1998.

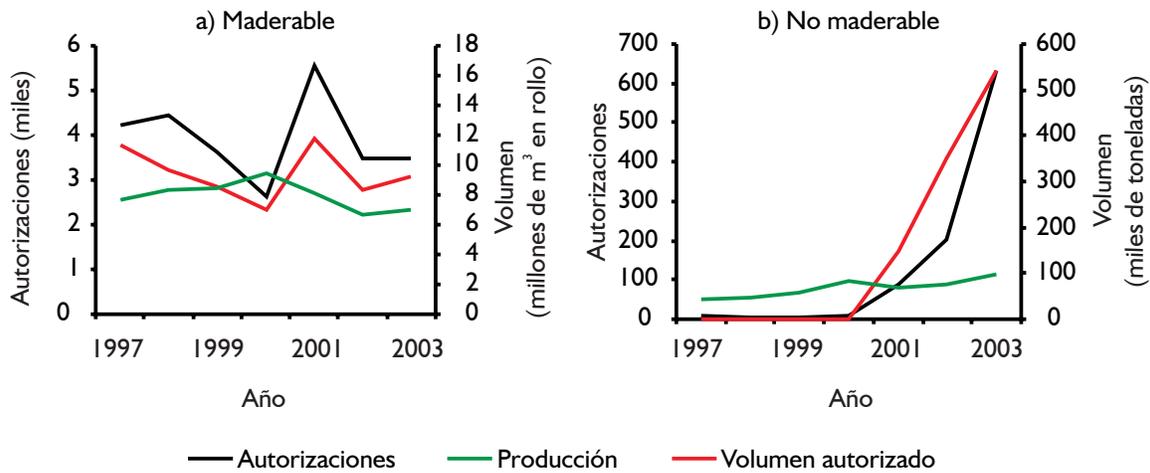
**Figura 5.14 Producción forestal no maderable, 1997-2003**



**Fuentes:** Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Años 1997 y 1998.* México. 1999 y 2000.  
Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Años 1999 al 2003.* México. Varios años.



Figura 5.15 Autorizaciones de aprovechamiento forestal, 1997-2003



**Fuentes:**

Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal. 1997 y 1998.* México 1999 y 2000.

Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal. 1999 al 2003.* México. Varios años.

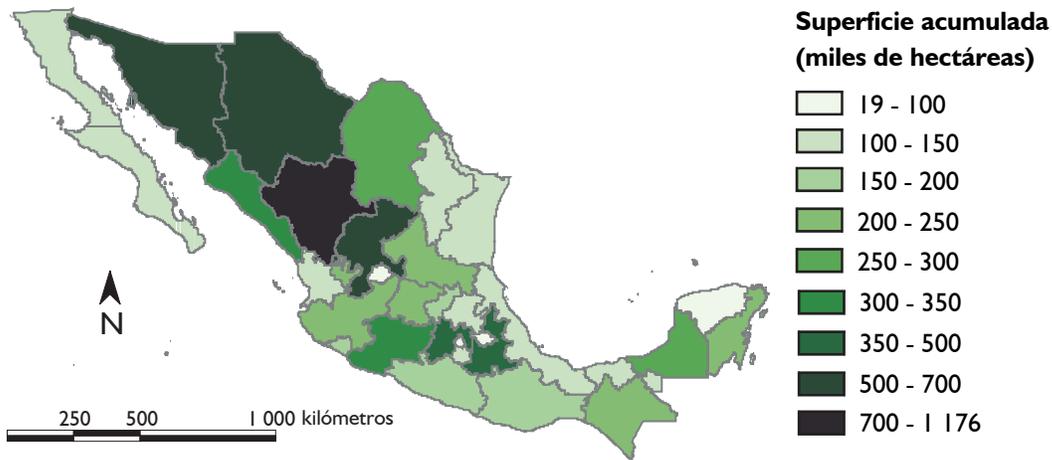
Semarnat. Dirección General de Federalización y Descentralización de Servicios Forestales y de Suelos. México. 2002.

y Manejo Sustentable de los Recursos Forestales en México (Procymaf). Mediante el Prodefor se otorgan apoyos para el fomento a la productividad y manejo sustentable del bosque natural, orientados a mejorar la calidad de vida de las comunidades y al uso diversificado de los ecosistemas. Este instrumento se basa en el establecimiento y apoyo a programas bien definidos de manejo forestal, entendido como el conjunto de acciones y procesos encaminados a ordenar, cultivar, proteger, conservar, restaurar y cosechar los recursos forestales de un bosque, considerando criterios ecológicos, sociales y económicos. También el Prodefor apoya acciones para tecnificar y hacer más eficiente la producción forestal. Los estados donde el programa ha tenido una mayor influencia son Durango, Chihuahua, Zacatecas, Sonora y Estado de México (Mapa 5.8). Por su parte, el Procymaf tiene el objetivo de dar capacitación para el fortalecimiento de la silvicultura comunitaria y el manejo sustentable de los recursos maderables y no maderables. En su primera fase este programa apoyó fundamentalmente productores de los estados de Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco, Durango y Chihuahua. En conjunto, estos dos programas han favorecido proyectos que han incidido en más de 12 millones de hectáreas (Figura 5.16).

A fin de asegurar el aprovechamiento adecuado de los PFNM se expidieron las normas oficiales mexicanas NOM-005-SEMARNAT-1997 a NOM-011-SEMARNAT-1996, NOM-018-SEMARNAT-1999 y NOM-026-SEMARNAT-1996 a NOM-028-SEMARNAT-1996, que contienen las especificaciones acerca de cómo se deben explotar estos recursos. Dichas normas se aplican a los productos más comúnmente explotados, tales como resinas, tierra de monte, raíces, cortezas, tallos, plantas completas, hojas de palma, látex, exudados y hongos. Considerando que el aprovechamiento de los PFNM es fundamental en las zonas áridas y semiáridas, se estableció el Programa para el Seguimiento y Evaluación del Aprovechamiento, Transporte y Almacenamiento de Productos Forestales No Maderables de Tierras Secas. Con este instrumento se busca apoyar a los productores y lograr un aprovechamiento sustentable.

Una forma alternativa de incrementar la producción y conservar al mismo tiempo los recursos naturales es disminuyendo la presión sobre los bosques naturales mediante el establecimiento de fuentes alternativas de generación de productos forestales. Con esta finalidad se instituyó el Programa

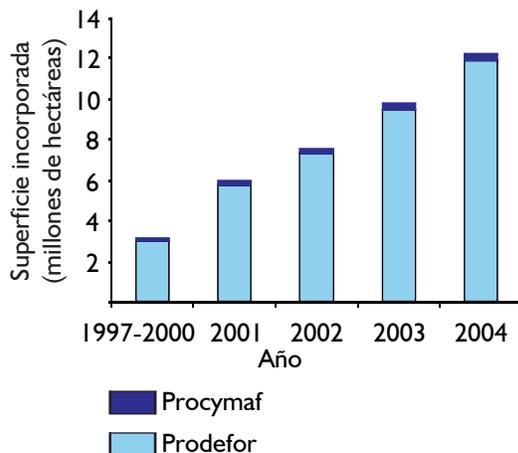
**Mapa 5.8 Prodefor: Superficie incorporada al manejo forestal responsable, por entidad federativa, 2001-2004**



**Fuente:**

Semarnat. *Acciones relevantes. Sector Medio Ambiente y Recursos Naturales diciembre 2000 - octubre 2004.* México. 2004.

**Figura 5.16 Superficie incorporada al manejo forestal sustentable, 1997-2004**



**Fuentes:**

Conafor. *Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable de los Recursos Forestales en México. Balance de tres años de ejecución. Anexo 2.* México. 2000.

Conafor. *Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable de los Recursos Forestales en México. Informe Anual.* México. Ediciones 2001 y 2002.

Semarnat-Conafor. *Gestión comunitaria para el uso sustentable de los bosques. PROCYMAF. Informe final.* México. 2003.

para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales (Prodeplan), por medio del cual no sólo se crean proyectos productivos y empleos, sino también se restituyen zonas arboladas que favorecen la conservación del entorno y brindan servicios ambientales (véase **Servicios ambientales de los bosques**).

Prodeplan ha mantenido un crecimiento acelerado desde 1997, a tal grado que para 2004 se habían comprometido apoyos para 303 mil hectáreas (Figura 5.17, Cuadro D3 RFORESTA09 02). Hasta 2004, los estados más beneficiados con este programa son Veracruz, Campeche, Oaxaca y Tabasco. Para diciembre de este año se había plantado, verificado y pagado poco más de 10% de la superficie comprometida (Mapa 5.9).

Cerca de la mitad de los proyectos de plantaciones forestales comerciales apoyados entre 1997 y 2004 favorecen los ambientes tropicales, donde se están sembrando especies como cedro rojo (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*), teca (*Tectona grandis*), melina (*Gmelina arborea*), primavera (*Tabebuia rosea*) y bambú (*Bambusa sp.*). Un tercio de los apoyos se orienta a los ambientes



## Servicios ambientales de los bosques

Los bosques y selvas son sumamente valiosos para el ser humano por los productos maderables y no maderables que crecen en ellos. Pero su utilidad va mucho más allá. Proveen una variedad de beneficios indirectos, pero no menos importantes para las economías y el bienestar humano, llamados comúnmente servicios ambientales. La contribución económica de estos servicios ha sido tradicionalmente poco reconocida, en parte debido a la dificultad para valuarlos económicamente y a la complejidad de factores que afectan su funcionamiento. No obstante, su valor para las economías globales es inmenso.

Los bosques y selvas son el hábitat de una gran diversidad de plantas, hongos, insectos, mamíferos, reptiles y aves silvestres que se explotan como alimentos, objetos ornamentales, medicinas o simplemente como materias primas para la fabricación de otros productos. Los organismos de estas especies cumplen también funciones ecológicas relevantes como son la polinización de muchas especies de plantas silvestres y agrícolas y el control de plagas. Además, las bacterias y otros microorganismos que habitan el suelo de los bosques contribuyen a la descomposición de la materia orgánica y al reciclado de los nutrientes que incrementan la fertilidad y favorecen la formación del suelo; de ahí que uno de los principales productos no maderables de estos ecosistemas sea la tierra de monte que se vende para jardinería. Sin la vegetación que retiene el suelo con sus raíces no sería posible su acumulación, pues el agua de la lluvia y el viento lo arrastrarían consigo.

Los árboles de los bosques y selvas son fundamentales para regular el ciclo hidrológico. En primer lugar, favorecen la regularidad de la precipitación de una zona al

bombear continuamente agua del suelo hacia la atmósfera por medio de la transpiración de las plantas. Cuando llueve, una cantidad significativa de agua se retiene en el follaje, la cual al evaporarse también ayuda a conservar la humedad ambiental y favorece que vuelva a precipitarse en forma de lluvia. Los árboles de bosques y selvas también mantienen con sus raíces y la hojarasca condiciones apropiadas para una infiltración gradual de la lluvia en el suelo, la que favorece la recarga de los acuíferos y el mantenimiento de los ríos y manantiales. Esto mismo impide la formación de escurrimientos superficiales que en grandes volúmenes ocasionan la erosión del suelo y las devastadoras inundaciones cuenca abajo.

Gracias también a que los bosques y selvas regulan la infiltración y el escurrimiento superficial, contribuyen al mantenimiento de la calidad del agua, ya que retienen los sedimentos y dan tiempo a que las plantas asimilen los nutrientes y degraden o filtren, junto con el suelo, los contaminantes que arrastran las aguas.

En las últimas décadas, en las que la acumulación del bióxido de carbono y otros gases en la atmósfera resultado del uso desmedido de combustibles fósiles ha ocasionado el calentamiento global, los bosques y selvas han adquirido un valor adicional. Los árboles tienen la capacidad de asimilar grandes cantidades de este gas directamente de la atmósfera para construir sus tallos y follaje, por lo que estos ecosistemas se reconocen actualmente como importantes sumideros y reservorios del excedente de bióxido de carbono atmosférico. A la vez que fijan el bióxido de carbono, los árboles desechan como subproducto de sus procesos metabólicos el oxígeno sin el cual los seres humanos y muchas otras especies no podríamos sobrevivir.

## Servicios ambientales de los bosques (continuación)

Los bosques y selvas contribuyen asimismo a mantener nuestra salud y bienestar de otras formas más sutiles. Favorecen la buena calidad del aire reteniendo en su follaje las partículas suspendidas, así como por su capacidad para bloquear y regular la fuerza del viento. No debe dejarse de lado su valor estético como paisajes de los que tanto disfruta la sociedad, lo que les otorga además, un gran valor recreativo.

La complejidad de las interacciones entre los seres vivos que componen los bosques y selvas y el medio físico hace posible la existencia de todos estos servicios ambientales. La pérdida y degradación de estos sitios por la sobreexplotación de sus recursos o su conversión a terrenos agrícolas, ganaderos o urbanos implica no sólo una pérdida económica resultado de la reducción de los volúmenes de productos maderables y no maderables no explotados, sino también por la falta de los servicios que nos presta la rica biodiversidad de estos ecosistemas. En este sentido, resulta prioritario para asegurar el futuro de las nuevas generaciones la conservación y recuperación de las superficies forestales nacionales.

### Fuente:

Costanza, R., R. D'Arge, R. de Groot, S. Farberk, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton y M. Van den Belt. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 15 MAY 253-260. 1997.

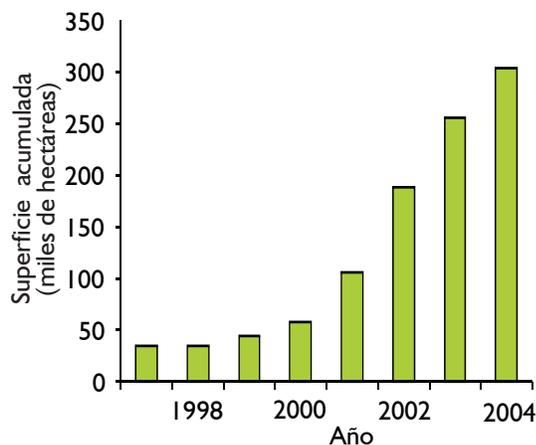
templados-fríos, donde se están cultivando árboles para producir madera, celulosa y árboles de navidad, por lo que se prefieren especies como pino (*Pinus sp.*), eucalipto (*Eucalyptus sp.*) y oyamel (*Abies sp.*). Dentro del Prodeplan también se ha favorecido el establecimiento de plantaciones de PFNM, con mayor énfasis en regiones semiáridas, que abarcan 16% de la superficie apoyada. En estos casos se siembran especies como mezquite (*Prosopis sp.*), ébano (*Pithecellobium ebano*), lechuguilla (*Agave lechuguilla*) y orégano (*Lippia sp.*) (Figura 5.18, Cuadros D3 RFORESTA09 02 y D3 RFORESTA09 03).

Otra de las acciones para proteger los recursos forestales es el combate a las plagas. Constantemente se efectúan recorridos por los bosques y selvas con la finalidad de efectuar inspecciones de sanidad forestal. Entre 1990 y 2004 se ha inspeccionado un promedio anual cercano a los 5.5 millones de hectáreas; no obstante, la superficie inspeccionada es muy variable entre un año y otro y particularmente baja en los últimos dos (Figura 5.19, Cuadro D3 RFORESTA06 01). Los estados que han sido monitoreados y diagnosticados más intensamente son Chihuahua, Durango, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Michoacán y Estado de México, entidades que contienen grandes extensiones arboladas (Mapa 5.10).

Una vez que se detectan las zonas afectadas por plagas, se procede a aplicar el tratamiento correspondiente para su eliminación. Los estados con mayor superficie promedio tratada entre 1990 y 2004 son Durango, Distrito Federal, Jalisco, Veracruz y Oaxaca (Mapa 5.11, Cuadro D3 RFORESTA07 01).

Los insectos más combatidos son los descortezadores, organismos que ocasionan los mayores daños al arbolado en nuestro país. Los muérdagos –que también afectan grandes extensiones forestales– representan la segunda plaga más combatida en extensión, aunque proporcionalmente es la que menos atención recibe (Figura 5.20, Cuadro D3 RFORESTA07 01). Los datos de superficie afectada y tratada son particularmente altos para 2003 y 2004, lo que contrasta de manera

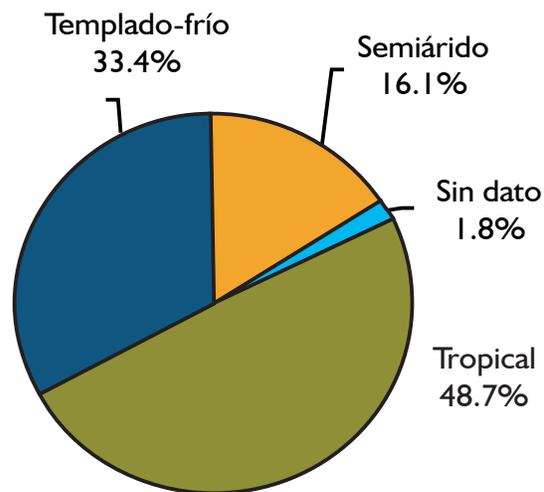
**Figura 5.17 Superficie apoyada de plantaciones forestales comerciales, 1997-2004**



**Fuente:**  
Conafor. Coordinación General de Producción y Productividad. Gerencia para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales. Proyectos de Plantaciones Forestales Comerciales Apoyados. México. 2005.

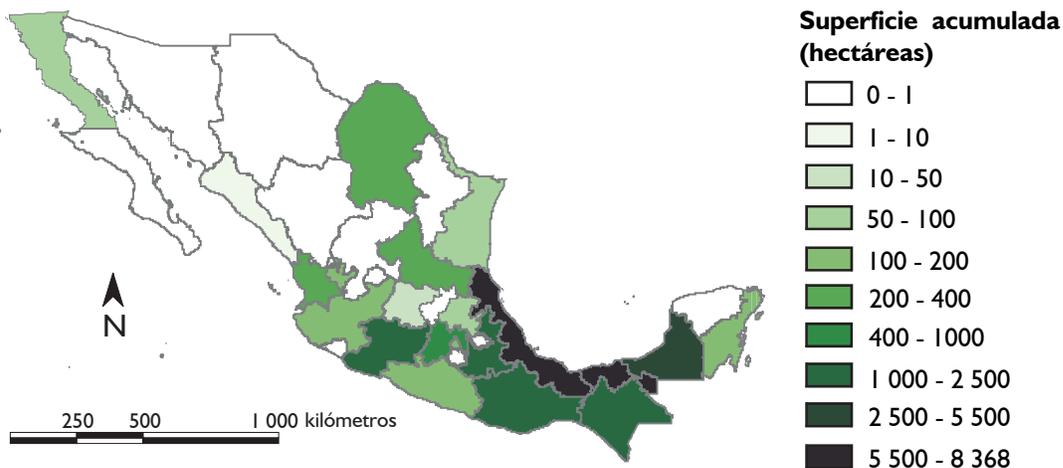
notable con los valores de superficie diagnosticada para esos años que, como se mencionó arriba, son los más bajos de la serie considerada (Figuras 5.19 y 5.21).

**Figura 5.18 Proyectos de plantaciones forestales comerciales según tipo de vegetación, 1997-2004**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: Conafor. Gerencia para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales. Proyectos de Plantaciones Forestales Comerciales Apoyados. México. 2005.

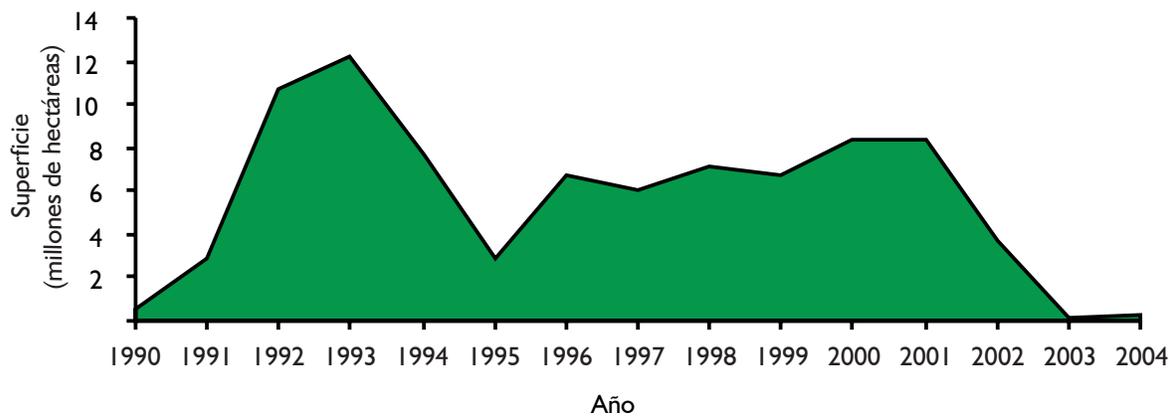
**Mapa 5.9 Prodeplan: superficie plantada, verificada y pagada por entidad federativa, 1997-2004**



**Fuente:**  
Conafor. Beneficiarios del Prodeplan del año 1997 al año 2004. Disponible en: [http://www.conafor.gob.mx/programas\\_nacionales\\_forestales/prodeplan/resultados.htm](http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/prodeplan/resultados.htm)

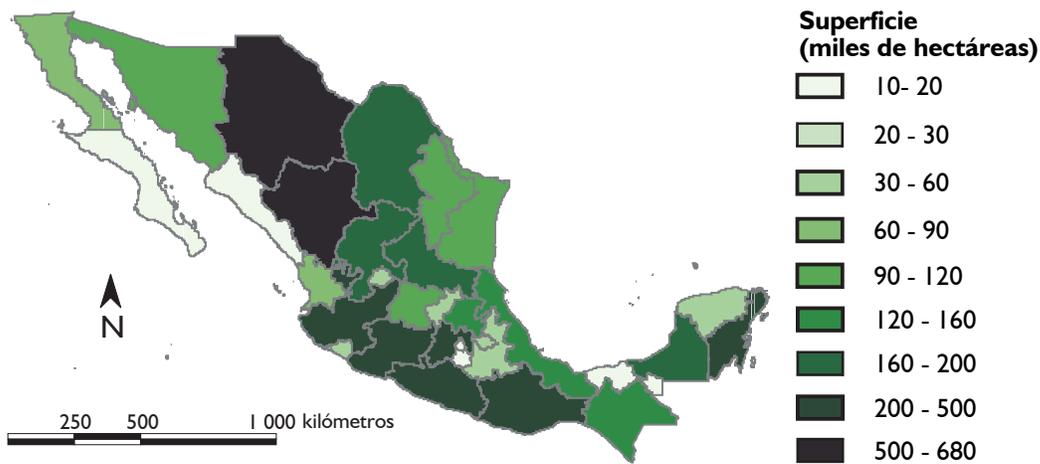


**Figura 5.19 Superficie con diagnóstico de sanidad forestal, 1990-2004**



**Fuente:** Conafor. Coordinación General de Conservación y Restauración Forestal. Gerencia de Sanidad Forestal. México. 2005.

**Mapa 5.10 Superficie anual promedio con diagnóstico sanitario forestal por entidad federativa, 1990-2004**



**Fuente:** Conafor. Coordinación General de Conservación y Restauración Forestal. Gerencia de Sanidad Forestal. México. 2005.

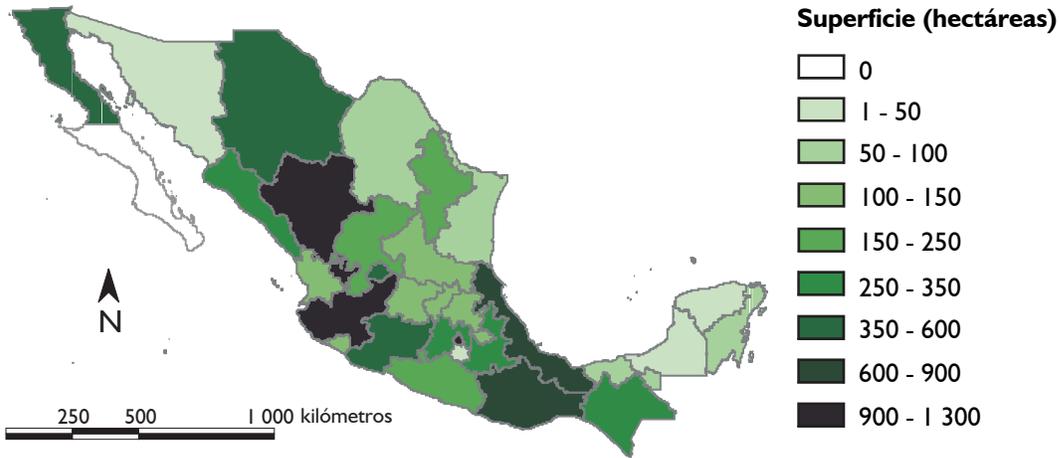
### Manejo y conservación de la vida silvestre

#### Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Uma)

En 1977, con el propósito de contribuir a la conservación de la biodiversidad y hacerla compatible con las necesidades de producción y desarrollo

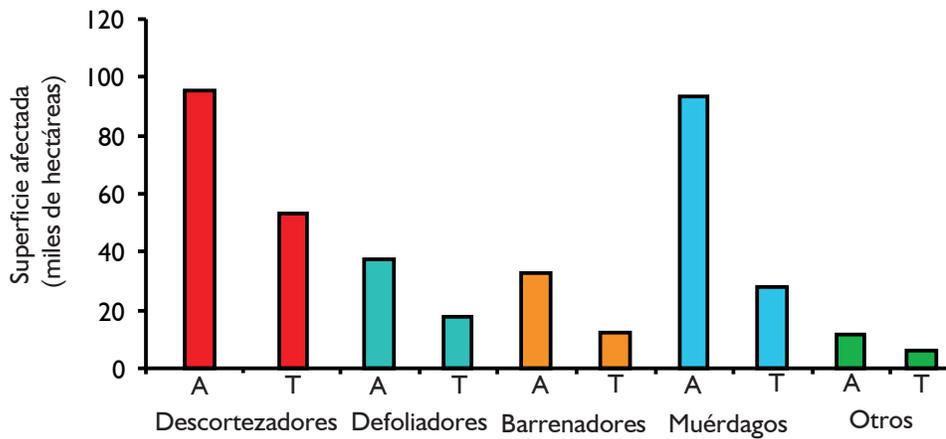
socioeconómico de México, la entonces Semarnap estableció el Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Suma). Este sistema integró, bajo el concepto de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Uma) (véase *¿Qué son las Uma?*), los sitios que de alguna manera utilizaban especies de vida silvestre, como criaderos (extensivos e intensivos), zoológicos, viveros y jardines botánicos, entre

**Mapa 5.1 | Superficie anual promedio tratada contra plagas y enfermedades forestales por entidad federativa, 1990-2004**



**Fuente:**  
Conafor. Coordinación General de Conservación y Restauración Forestal. Gerencia de Sanidad Forestal. México. 2005.

**Figura 5.20 Superficie afectada (A) por enfermedades forestales que recibió tratamiento (T) según tipo de enfermedad, 1990-2003**



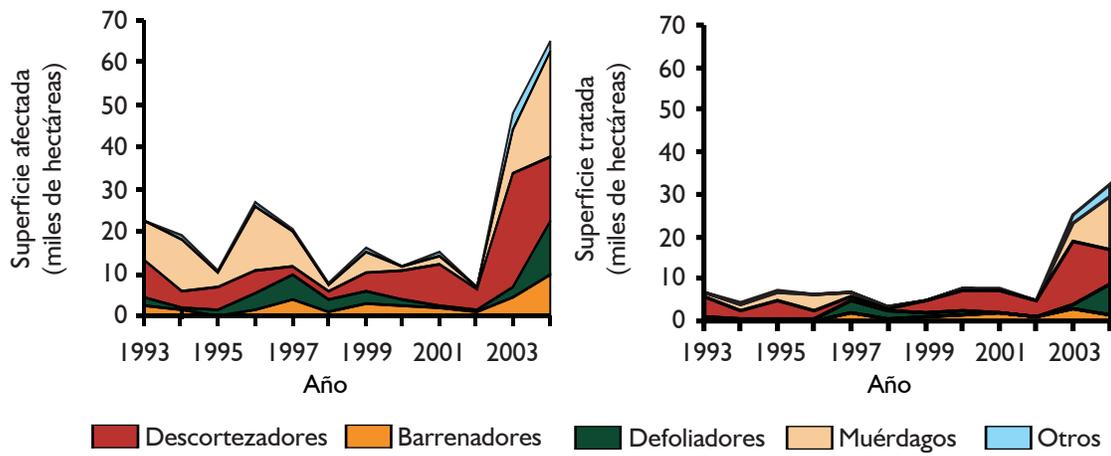
**Fuentes:**  
Semarnat. Dirección General de Federalización y Descentralización de Servicios Forestales y de Suelos. México. 2002.  
Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Años 1999-2003*. México. Varios años.  
Conafor. Coordinación General de Conservación y Restauración Forestal. Gerencia de Sanidad Forestal. México. 2005.

otros. Las Uma siguen operando hoy en día y buscan crear oportunidades para el aprovechamiento de la vida silvestre de forma legal y viable, a la vez que promueven esquemas alternativos de producción compatibles con el cuidado del ambiente, por medio del uso racional, ordenado y planificado de

los recursos naturales renovables que contienen, frenando o revirtiendo los procesos de deterioro ambiental.

La mayoría de las unidades de manejo registradas corresponden a criaderos y viveros. En 2004, el

**Figura 5.21 Superficie afectada y superficie que recibió tratamiento, según tipo de plaga, 1993-2004**

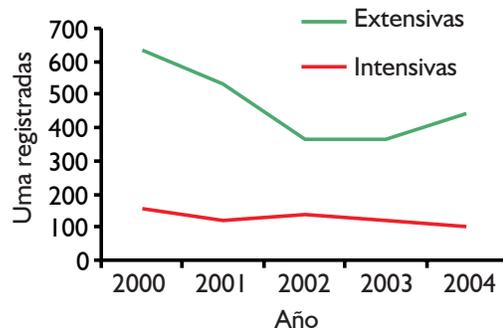


Fuente: Conafor. Gerencia de Sanidad Forestal. México. 2005.

número de nuevos registros de Uma intensivas resultó bajo con respecto a los años anteriores, mientras que en el caso de las Uma extensivas este valor se recuperó ligeramente (Figura 5.22). Los estados donde se ha reportado el mayor número de Uma extensivas son Nuevo León, Sonora, Tamaulipas y Coahuila. En cuanto a las intensivas destacan Michoacán, Jalisco, Estado de México, Tamaulipas, y Veracruz (Cuadro D3 BIODIV04 02). Para 2004, a siete años de la creación de este esquema, ya se tenían registradas más de 5 000 Uma en el país (Figura 5.23), ocupando una superficie de un poco más de 23 millones de hectáreas (Mapa 5.12).

La mayoría de las Uma extensivas registradas durante el periodo 2000-2004 están localizadas en propiedad privada (74%); sin embargo, las establecidas en terrenos ejidales –que representan 21% del total– abarcaban una extensión similar a la privada, (Figuras 5.24 y 5.25, Cuadro D3 BIODIV04 02). Esta importante incorporación de Uma registradas en terrenos ejidales y privados podría indicar que sus propietarios están considerando el manejo sustentable de la vida silvestre como una opción real.

**Figura 5.22 Registro de Uma intensivas y extensivas, 2000-2004**



Fuente: Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2005.

Las Uma se encuentran distribuidas en prácticamente todos los ecosistemas mexicanos, tanto acuáticos como terrestres: bosques de coníferas y encinos, bosque mesófilo de montaña, bosque tropical caducifolio, bosque tropical subcaducifolio, bosque tropical perennifolio, bosque espinoso, matorral xerófilo y pastizal. La mayor cantidad de superficie bajo manejo en estas unidades se encuentra en los matorrales xerófilos, seguidos por los bosques de coníferas y encinos y

## ¿Qué son las Uma?

Son predios que sin importar su extensión ni su régimen de propiedad (privada, ejidal, comunal, federal, estatal o municipal), se registran junto con su Plan de Manejo (PM) ante la Semarnat, promovidos por los propietarios o los legítimos poseedores de los predios que las integran o por quienes cuentan con su consentimiento. Las Uma pueden funcionar como centros de exhibición, productores de pies de cría, bancos de germoplasma o centros de investigación; son alternativas viables que permiten la conservación, reproducción y propagación de especies silvestres, así como la elaboración de productos, servicios y derivados certificados que puedan incorporarse a un circuito de mercados verdes para su comercialización.

Dependiendo de los objetivos y de las especies a manejar, las Uma pueden ser intensivas o extensivas. En las Uma intensivas el manejo de ejemplares se realiza en confinamiento (condiciones controladas e intervención directa del hombre, principalmente para especies exóticas). En las Uma extensivas o sujetas a manejo de hábitat, los ejemplares se encuentran en vida libre y las prácticas de conservación y mejora se efectúan en el medio donde se encuentran éstos.

El Plan de Manejo lo elabora el responsable técnico de la Uma, y en él se describen los objetivos de la misma, garantizando con su programa de trabajo la conservación de los ecosistemas y la viabilidad de las poblaciones de todas las

especies existentes en ella, ya que en él se describen los proyectos a desarrollar dentro de la Unidad, los datos principales del sitio, la(s) especie(s) y la manera en que se piensan aprovechar los recursos disponibles, sin agotarlos ni poner en riesgo la sobrevivencia de la especie y su hábitat.

El cabal cumplimiento del Plan de Manejo le otorga al titular de la Uma el derecho en la toma de decisiones sobre las poblaciones en cuya conservación invierte y trabaja, ya que él es el único responsable de realizar actividades de manejo sobre las especies silvestres y su hábitat dentro de su predio, de darles seguimiento permanente y de las tareas de vigilancia. El titular de la Uma es además responsable de garantizar ante la Semarnat el cumplimiento de lo establecido en la Ley General de Vida Silvestre. La Semarnat por su parte es la dependencia que autoriza las tasas de aprovechamiento (número de ejemplares susceptibles a ser utilizados).

El establecimiento y la asignación de las tasas de aprovechamiento por parte de la Secretaría se sustentan en la información técnica disponible generada a partir de la administración del recurso, es decir del conocimiento de la dinámica poblacional, misma que enmarca varios requisitos a cumplir: primero, que hayan suficientes individuos, de forma tal que no se corra el riesgo de conducir a la población a la desaparición, y segundo, que existan las condiciones necesarias para su sobrevivencia y reproducción.

## ¿Qué son las Uma? (continuación)

También se debe conocer el estatus de las especies, el número de ejemplares, sus ciclos biológicos, hábitos alimentarios, condiciones del hábitat y estado de salud. Con las Uma también se benefician las especies de flora y fauna que cohabitan con aquella(s) de interés.

De acuerdo con la Ley General de Vida Silvestre, sólo a través de las Uma se permite el aprovechamiento de ejemplares, partes y derivados de vida silvestre, siendo los tipos de aprovechamiento de índole extractivo (actividad cinegética, mascotas, ornato, artesanales, colecta científica e insumos para la industria farmacéutica, alimentaria y del vestido, entre otras) y no extractivo (investigación, exhibición, ecoturismo y educación ambiental).

De esta manera, las Uma ofrecen opciones de diversificación productiva en el sector rural por medio de la conservación y/o el manejo adecuado de los ecosistemas naturales que además coadyuva al mantenimiento de servicios ambientales vitales, generando empleos e ingresos en las regiones en donde se establecen y operan.

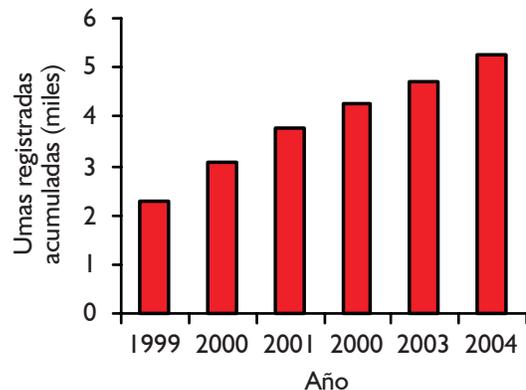
**Fuente:**  
Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2005.

los pastizales. En 2005 ya se tenía poco más de 50 mil hectáreas de acahuales incorporadas a las Uma, señal que muestra el valor que pueden tener como una forma de obtener provecho de superficies perturbadas (Figura 5.26, Cuadro D3 BIODIV04 03).

Para 2004 se tenían registradas 65 Uma dentro de 22 áreas naturales protegidas (ANP), abarcando en conjunto una superficie de 2 457 841 hectáreas, un incremento importante si se toma en cuenta que en 2002 existían 36 unidades de manejo en 14 ANP (Cuadro D3 BIODIV04 06). En la reserva de la biosfera de El Vizcaíno es donde se concentra la mayor superficie de estas unidades de manejo con un poco más de medio millón de hectáreas. La instalación de Uma dentro de las ANP ha generado varios beneficios: disminución de la presión social en la zona, conservación del medio ambiente y un mayor conocimiento de sus especies, hábitat y ecosistemas. En los últimos años, el número de Uma intensivas registradas ha sido muy bajo. Por ejemplo, durante 2004 se registraron sólo dos jardines botánicos, siete zoológicos, cinco circos y 33 viveros (Figura 5.27, Cuadros D3 BIODIV04 07 y D3 BIODIV04 09).

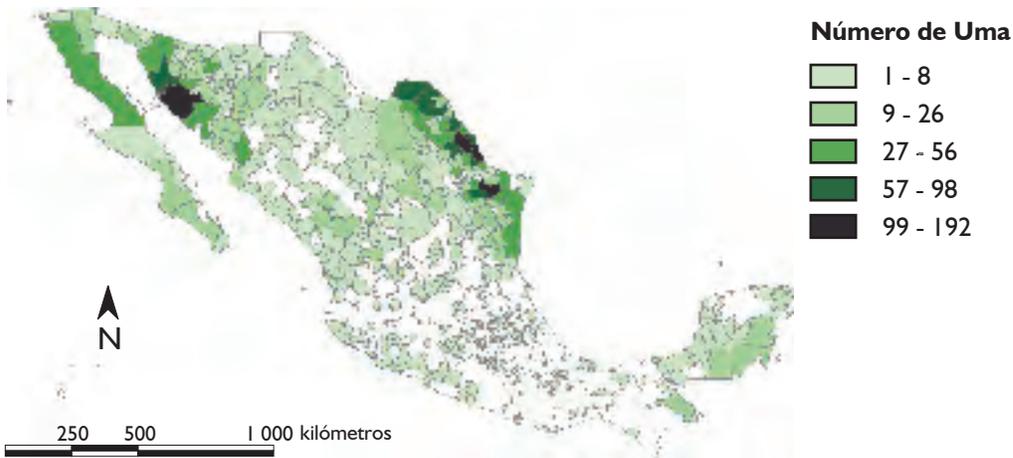
En algunas Uma ya se manejan especies clasificadas como prioritarias: berrendo (*Antilocapra americana*), oso negro (*Ursus americanus*), borrego cimarrón (*Ovis canadensis*), cocodrilos (*Crocodylus acutus* y *C. moreletii*), lobo gris mexicano (*Canis lupus baileyi*), tortugas marinas y varias especies de cactáceas y orquídeas, entre otras, lo que permite vislumbrar la posibilidad de una efectiva conservación de estas especies (Tabla 5.3).

**Figura 5.23 Uma registradas,  
1999-2004**



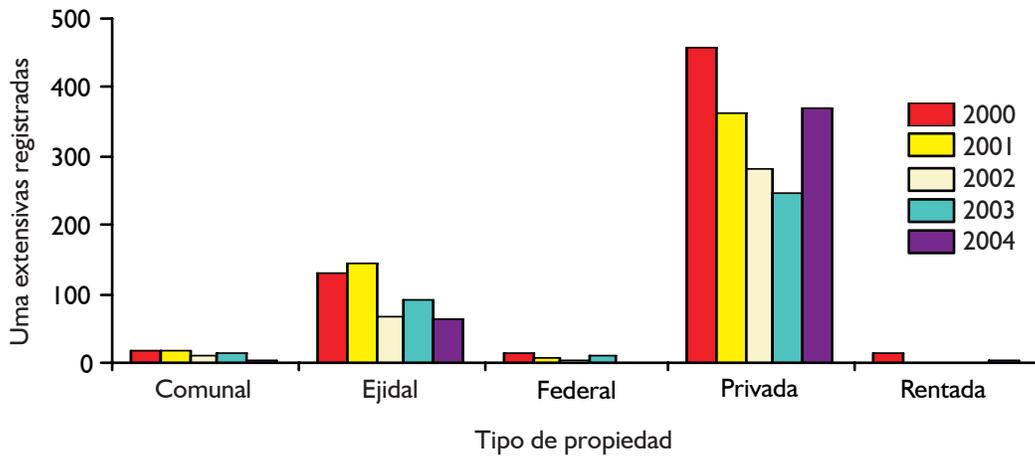
**Fuente:**  
Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2005.

**Mapa 5.12 Unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (Uma) por municipio, 1992-2004**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2004.

**Figura 5.24 Uma extensivas registradas según tipo de propiedad, 2000-2004**



**Fuente:**  
Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2005.

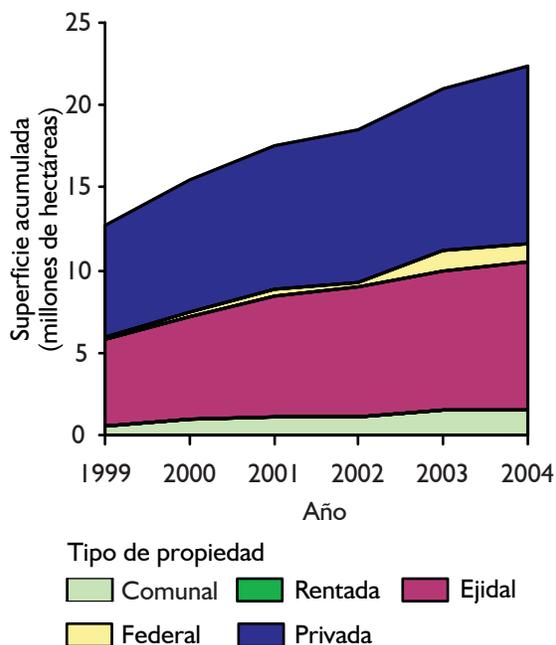
### **Centros de Conservación e Investigación de la Vida Silvestre (CIVS)**

En el marco del Programa de Conservación de la Vida Silvestre y Diversificación Productiva en el Sector Rural 1997-2000 se incorporaron dentro del Suma los Centros Integrales para la Conservación y Aprovechamiento Sustentable de la Vida

Silvestre (CICAVS), denominados hoy Centros de Conservación e Investigación de la Vida Silvestre (CIVS) ([Recuadro D3 R BIODIV04 04](#)).

El objetivo principal de los CIVS es la recepción, conservación, protección, recuperación, reintroducción y canalización de aquellos ejemplares de vida silvestre que son producto de

**Figura 5.25 Uma extensivas registradas por tipo de propiedad, 1999-2004**



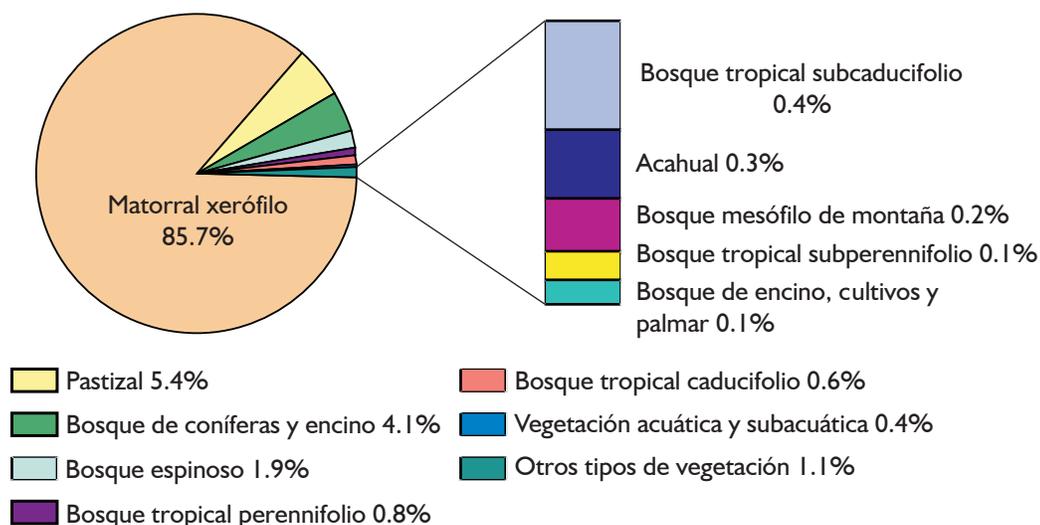
**Fuente:**  
Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2005.

rescate, entregas voluntarias o aseguramientos por parte de la Procuraduría General de la República (PGR) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa). Estos centros contribuyen a la conservación y desarrollo del conocimiento de la vida silvestre y su hábitat, ya que dentro de ellos se pueden llevar a cabo programas de recuperación de especies, monitoreo ambiental, investigación científica, educación y capacitación.

La importancia de los CIVS se debe no tanto al volumen de individuos que se recuperan o salvan, ya que otros esquemas de conservación podrían manejar cantidades mayores, sino a la relevancia que tiene para la sociedad el que se muestre interés por proteger y salvar a la fauna y flora silvestres.

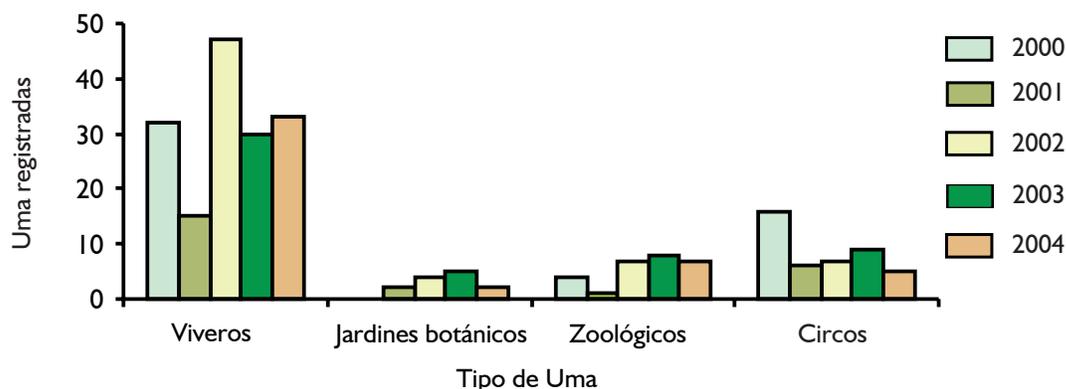
En 2004 operaban 11 CIVS, de los cuales 9 cuentan con registros actualizados (Mapa 5.13), localizados en los estados de Jalisco, Tamaulipas, Yucatán, Tabasco, Nayarit, Oaxaca, Quintana Roo, Estado de México y Campeche, estos dos últimos con dos centros cada uno. En los CIVS se manejan principalmente mamíferos, aves y reptiles (**Cuadro D3 BIODIV04 10**).

**Figura 5.26 Distribución de las Uma extensivas registradas por tipo de vegetación, 1998-2005**



**Fuente:**  
Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2005.

Figura 5.27 Uma intensivas registradas por año, 2000-2004



Fuente:  
Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2005.

### Permisos de caza deportiva, colecta y comercio

Debido a las reestructuraciones suscitadas a lo largo de los cambios de la administración pública y a las limitaciones en la infraestructura, la información relacionada con permisos de caza deportiva, colecta y comercio no está sistematizada completamente (véase *Los permisos de caza deportiva y su evolución en el tiempo*). Por lo tanto, resulta difícil hacer comparaciones de los diferentes años y buscar tendencias de los usos dados a la fauna silvestre por concepto de la caza.

Durante la temporada cinegética 1998-1999 se emitió un total de 74 075 permisos de caza, que representaron un ingreso superior a 14.5 millones de pesos (*Cuadro D3 BIODIV03 04*). Del total de permisos expedidos, 13 735 correspondieron a permisos para caza dentro de las Uma (tanto aves como mamíferos); 31 624 para la caza de aves y 28 716 para la de mamíferos. Los estados en los que se emitió el mayor número de permisos en esta temporada fueron Nuevo León (12 631), Tamaulipas (12 293), Sonora (5 263) y el Distrito Federal (4 780).

Durante la temporada cinegética 1999-2000 se expedieron 43 708 permisos para caza deportiva (*Cuadro D3 BIODIV03 05*), que generaron ingresos por más de 14.6 millones de pesos. Se emitió un

total de 26 117 permisos para la caza de aves, 17 591 para la de mamíferos y 7 639 cintillos de cobro (especies de caza mayor). Los estados que expedieron el mayor número de permisos de caza de aves fueron Jalisco, 4 236; Baja California, 3 985; Sonora, 3 736 y Nuevo León, 757. En la temporada 2000-2001 se observó un incremento considerable en el número de cintillos de cobro emitidos, que se elevó a 35 631, con un ingreso cercano a los 9 millones de pesos. En las siguientes dos temporadas aumentaron gradualmente estos valores, hasta llegar a más de 42 mil cintillos en la temporada 2003-2004 y más de 57 mil licencias de caza deportiva otorgadas (*Cuadro D3 BIODIV03 06*). El comportamiento general de las licencias de caza deportiva de 2000 a 2004 se muestra en la Figura 5.28.

Existe un tipo particular de permiso denominado Permiso Especial de Colecta Científica, que es concedido a científicos e investigadores, tanto nacionales como extranjeros, para la realización de colectas de especies de vida silvestre que se encuentran o no citadas en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-1994 y NOM-059-SEMARNAT-2001) o de especies distribuidas en Áreas Naturales Protegidas. Este permiso se otorga por familia o grupo taxonómico, como mamíferos, aves, reptiles, anfibios, peces e invertebrados. Su vigencia depende de la duración del proyecto de investigación para el cual fue solicitado y sólo es expedido un permiso por proyecto.



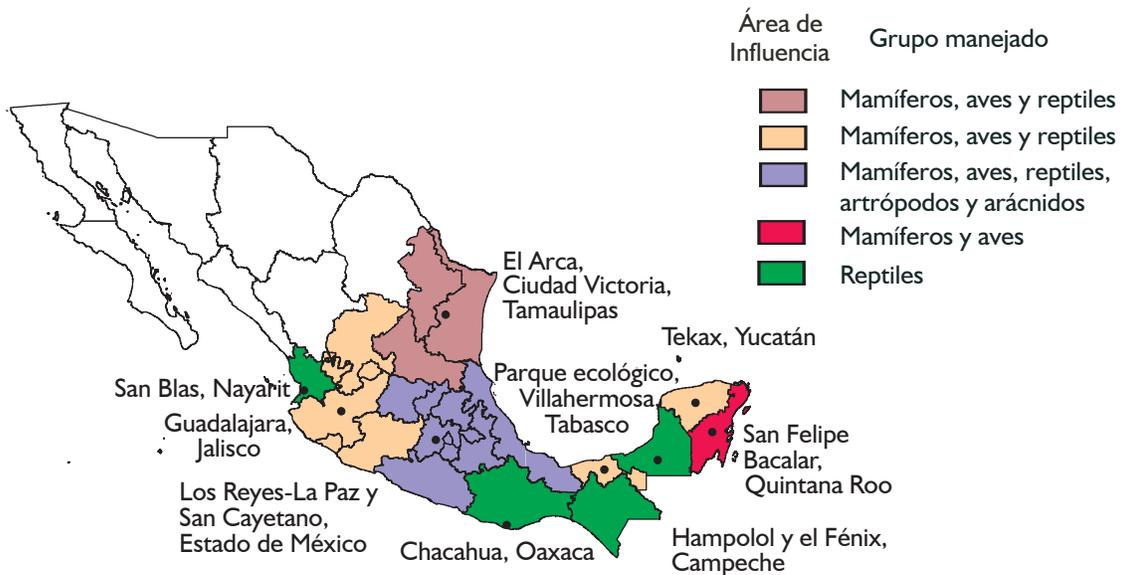
Tabla 5.3 Especies prioritarias manejadas en Uma

Nombre científico	Nombre común
<b>Especies de flora</b>	
<i>Agave victoria-reginae</i>	toa
<i>Beaucarnea recurvata</i>	despeinada
<i>Beaucarnea gracilis</i>	pata de elefante
<i>Cephalocereus senilis</i>	viejito
<i>Lophophora williamsii</i>	peyote
<i>Prosthechea kienastii</i>	orquídea
<i>Prosthechea vitellina</i>	manuelito
<i>Laelia anceps</i>	flor de mayo o monjitas
<i>Brahea edulis</i>	palma
<i>Chamaedorea metalica</i>	palma camedor
<i>Thrinax radiata</i>	palma chit
<i>Dioon edule</i>	palma de la virgen
<i>Zamia furfuracea</i>	palmilla o camotillo
<i>Olneya tesota</i>	palo fierro
<i>Fouquieria columnaris</i>	cirio
<b>Especies de fauna</b>	
<i>Antilocapra americana</i>	berrendo
<i>Canis lupus baileyi</i>	lobo gris mexicano
<i>Ursus americanus</i>	oso negro
<i>Ovis canadensis</i>	borrego cimarrón
<i>Aquila chrysaetos</i>	águila real
<i>Panthera onca</i>	jaguar
<i>Lepus flavigularis</i>	liebre tropical
<i>Ara militaris</i>	guacamaya verde
<i>Ara macao</i>	guacamaya roja
<i>Crocodylus acutus</i>	cocodrilo de río
<i>Crocodylus moreletii</i>	cocodrilo de pantano
<i>Caiman crocodylus fuscus</i>	caimán
<i>Trichechus manatus manatus</i>	manatí del Caribe
<i>Phocoena sinus</i>	vaquita marina
<i>Eschrichtius robustus</i>	ballena gris
<i>Chelonia mydas</i>	tortuga blanca o verde
<i>Caretta caretta</i>	tortuga caguama o cabezona
<i>Eretmochelys imbricata</i>	tortuga carey
<i>Lepidochelys kempii</i>	tortuga lora
<i>Lepidochelys olivacea</i>	tortuga golfina
<i>Chelonia agassizii</i>	tortuga negra
<i>Dermochelys coriacea</i>	tortuga laúd

**Fuente:**

Ramírez-Ruiz de Velasco, F. Conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre. INE. México. 2005. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/286/ramirez.html>

**Mapa 5.13 Áreas de influencia de los centros para la conservación e investigación de la vida silvestre (CIVS), 2004**



• Estados con centros para la conservación e investigación de la vida silvestre (CIVS)

**Nota:** A partir de 2001, no se tienen registros de Hampolol y el Parque ecológico Villahermosa.

**Fuente:**

Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2005.

De 2000 a 2004 se expidieron 1 131 permisos especiales de colecta, (Figura 5.29, Cuadro D3 BIODIV03 08). De 1999 a 2001 se observa una tendencia a la disminución en la expedición de los permisos, seguido por un repunte a partir del 2002. Los estados que han recibido el mayor número de visitas por parte de los colectores al amparo de los permisos especiales son Baja California, Baja California Sur, Oaxaca, Jalisco y Veracruz. Por otra parte, las Licencias de Colector Científico son otorgadas a investigadores nacionales que realizan colectas de especies de vida silvestre que no se encuentran en la NOM-059-SEMARNAT-2001 ni dentro de Áreas Naturales Protegidas. De 1997 a 2004 se otorgó un total de 392 licencias (Cuadro D3 BIODIV03 07), de las cuales 264 fueron para colecta de ejemplares de fauna, 111 para flora y 17 mixtas de flora y fauna.

Debido a que el comercio de especies de fauna y flora silvestres representa una amenaza potencial a la biodiversidad y a que el tráfico de animales y plantas silvestres sobrepasa las fronteras entre países, se estableció un acuerdo internacional de cooperación para proteger ciertas especies de la explotación excesiva. El acuerdo es conocido como CITES (Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres), al cual México se adhirió en 1991. Las especies amparadas por CITES están incluidas en tres apéndices según el grado de protección que necesiten. Bajo este esquema, sólo puede importarse, exportarse o reexportarse un espécimen de una especie incluida en los apéndices si se ha obtenido el permiso correspondiente. La expedición de certificados de reexportación se ha incrementado de manera notable al pasar de 390 en 1996 a 1 957 en 2002 y 1 690 en 2004 (Figura

## Los permisos de caza deportiva y su evolución en el tiempo

Hasta la temporada de cacería deportiva 1997-1998 se expidieron seis tipos de permisos, los cuales autorizaban la caza de especies silvestres particulares. En el caso de las aves se tenían los permisos tipo I (aves acuáticas: patos, cercetas y gansos), tipo II (exclusivamente palomas) y tipo III (otra clase de aves: chachalacas, codornices y zanates cola de bote, entre otras). Los permisos tipo IV eran para pequeños mamíferos como tlacuache, mapache, tejón, ardilla, conejo, liebre y coyote entre otros) y los tipos V o especiales para venado bura de Sonora y venado cola blanca texano. Respecto a los permisos tipo V o limitados eran para venado cola blanca texano, borrego cimarrón, perdiz o tinamú real, faisán de collar, guajolote silvestre, pavo ocelado, zorra gris, puma, gato montés, pecarí de labios blancos, venado temazate, venado bura, venado cola blanca, borrego aoudad o berberisco y jabalí europeo.

A partir de la temporada 1998-1999, la cacería deportiva se podía realizar tanto dentro como fuera de predios registrados como Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Uma), con Plan de Manejo aprobado y autorización de aprovechamiento (donde se especifica la tasa de aprovechamiento autorizada).

En esta misma temporada se unificó el calendario cinegético y el de captura, transporte y aprovechamiento de aves canoras y de ornato, en uno solo denominado "Calendario de Aprovechamiento Cinegético y de Aves Canoras y de Ornato", el cual establecía las especies para cada entidad, la cantidad de ejemplares autorizados (tasa de aprovechamiento), los medios permitidos para su captura, transporte y posesión, y las disposiciones específicas a fin de obtener los

permisos necesarios para estas actividades. Además, se determinó una reducción en los tipos de permisos de caza deportiva para dejar únicamente tres. El tipo I para la cacería deportiva dentro de Uma extensivas y de acuerdo con lo establecido en el Plan de Manejo. Los tipos II y III se referían a los permisos de caza de aves y mamíferos respectivamente, ambos condicionados a las tasas de aprovechamiento cinegético establecidas por la Semarnat fuera de las Uma y con el consentimiento expreso de los propietarios o poseedores legítimos de los predios, donde se demostrara que dichas tasas eran menores a las de la renovación natural de las poblaciones a aprovechar. En el caso de las aves canoras y de ornato, para mejorar el control sobre su aprovechamiento, se estableció el Registro de Aprovechador de Aves Canoras y de Ornato, proporcionado por la Semarnat a los titulares de los permisos, con el fin de identificar mediante el uso de anillos metálicos numerados, a los ejemplares y garantizar la procedencia legal de los mismos.

En la temporada de aprovechamiento cinegético 1999-2000, nuevamente hubo cambios en los permisos de caza deportiva al reducirse a dos tipos: caza de aves y caza de mamíferos. Además se implementaron los cintillos de cobro para especies de caza mayor (los cuales serían los equivalentes a los permisos cinegéticos V y VI anteriores a 1998). A partir de la temporada 2000-2001 (agosto de 2000), la actividad cinegética es regulada principalmente por la Ley General de Vida Silvestre (LGVS) (D.O.F. 03/07/2000), apoyando lo establecido en el Manual de Procedimientos para Autorizaciones, Permisos, Registros, Informes y Avisos Relacionados con la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Flora

## Los permisos de caza deportiva y su evolución en el tiempo (continuación)

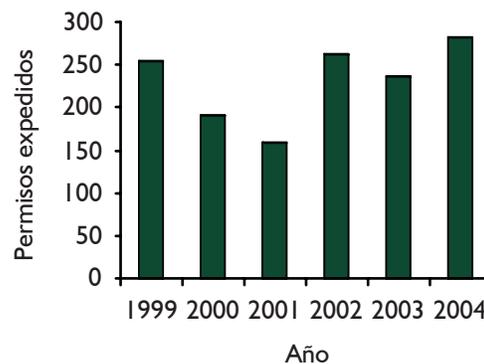
y Fauna Silvestres y otros Recursos Biológicos (D.O.F. 10/08/98) en lo que respecta a los formatos oficiales para tal fin. Con esta nueva legislación se determina que el aprovechamiento extractivo de la vida silvestre, y en particular la cacería deportiva, se debe realizar bajo criterios de sustentabilidad (Art. 82), por lo que cualquier aprovechamiento sólo puede realizarse en predios registrados como Uma.

### Fuente:

Tomado de: Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, 2002. Compendio de Estadísticas Ambientales*. México. 2002.  
Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2005.

5.30, Cuadro D3 BIODIV03 10). Los certificados de importación han crecido de manera similar, de 469 en 1996 a 1 210 en 2004. El número de certificados de exportación se ha mantenido relativamente constante durante este periodo, cercano a los 250 por año.

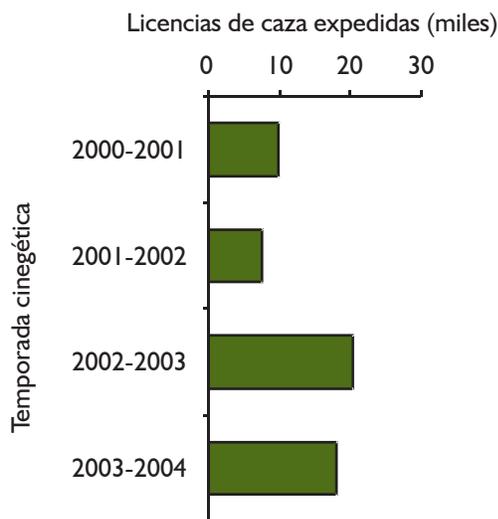
### Figura 5.29 Permisos especiales de colecta científica, 1999-2004



### Fuente:

Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2005.

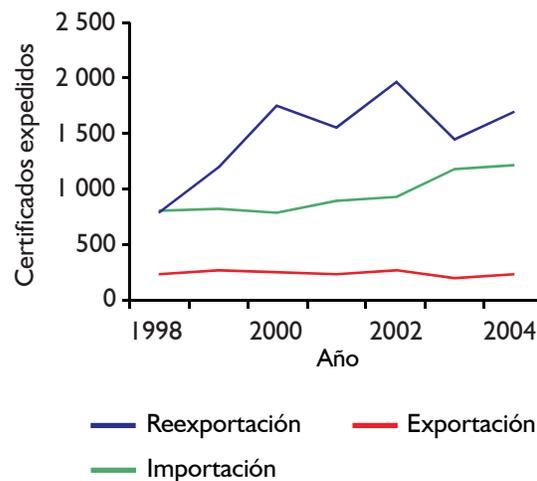
### Figura 5.28 Licencias de caza deportiva, 2000-2004



### Fuente:

Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2005.

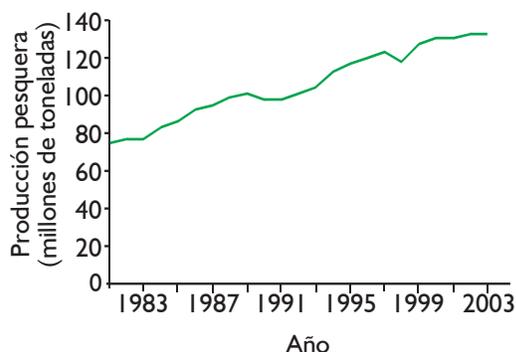
### Figura 5.30 Expedición de certificados CITES, 1998-2004



### Fuente:

Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2005.

**Figura 5.31 Producción pesquera mundial, 1981-2003**



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: FAO. Bases de datos estadísticos de la FAO. Roma. 2005.

Información disponible en: <http://faostat.fao.org/faostat>

## Manejo y conservación de los recursos pesqueros

### Panorama mundial

La producción pesquera mundial estimada para 2003, según la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), fue de alrededor de 130 millones de toneladas, siendo China el mayor productor con 38.1% de la producción mundial (FAO, 2004) (Figura 5.31).

El crecimiento de la producción pesquera a nivel mundial se debe principalmente a la acuicultura. Ésta creció en alrededor de 20 millones de toneladas con respecto a la década anterior (en especial en la región de Asia y el Pacífico). En contraste, las capturas mundiales de peces, moluscos y crustáceos parecen haberse estabilizado alrededor de las 90 millones de toneladas en promedio durante el periodo 1998-2003 (FAO, 2002, 2004). La mayor parte de las capturas en aguas continentales se realizaron en países con economías emergentes en los que los productos pesqueros constituyen una fuente importante de proteína animal. En cambio, en la mayoría de los países desarrollados, la pesca en agua dulce es una actividad principalmente deportiva

y las pesquerías comerciales son muy limitadas, a excepción de aquellas que se realizan en cuerpos de agua de gran tamaño (FAO, 2003).

El esfuerzo de pesca (medido ya sea como el número de embarcaciones, el tonelaje de las mismas o la frecuencia con la que se lanzan las artes de pesca) sigue creciendo en el mundo como respuesta a la presión social derivada de la pobreza y a la falta de controles eficientes de acceso al recurso pesquero.

A pesar de que el número de embarcaciones se multiplicó en 600% en los últimos 25 años y se incorporaron importantes avances tecnológicos para hacer más efectiva la explotación, el volumen sostenible de capturas sólo se incrementó en 30%, lo que puede ser síntoma del creciente deterioro del estado de los recursos pesqueros (Gómez, 2003).

De la totalidad de la producción pesquera, alrededor de 101 millones de toneladas de pescado se destinaron para el consumo humano, lo que equivale a un consumo per cápita anual aparente de 16.2 kilogramos. Los productos pesqueros alimentaron a más de 2 mil 600 millones de personas, aportando alrededor del 16% del suministro total de proteínas en el mundo (FAO, 2004).

Los recursos pesqueros habían sido considerados por mucho tiempo como un elemento ilimitado de la naturaleza, mito que se ha desvanecido en las últimas décadas. Ahora se reconoce que son recursos renovables y que deben someterse, para su mantenimiento a largo plazo, a un ordenamiento adecuado (Doulman, 2003). Los indicadores ecológicos de la FAO en torno a la pesca sugieren que la mayoría de las poblaciones explotadas en el mundo están en sus niveles máximos sostenibles, e incluso por encima de ellos; en términos generales se considera que 50% de los recursos pesqueros se explotan al límite y otro 25% se encuentra sobreexplotado. Esto se traduce en que tan sólo una cuarta parte de los recursos pesqueros globales tiene potencial para incrementar su nivel de explotación (FAO, 2001).



## Efectos de la pesca sobre los ecosistemas

Los ecosistemas son sistemas complejos, constituidos por numerosos componentes (seres vivos y ambiente físico) que interactúan entre sí en diferentes escalas temporales y espaciales. Como consecuencia de estas interacciones, poseen una estructura y funciones emergentes que son más que el resultado de la suma de sus componentes. Los ecosistemas marinos y dulceacuícolas de los que depende la producción pesquera, se componen de productores primarios, consumidores y descomponedores y el ambiente abiótico donde habitan.

La actividad pesquera puede producir cambios tanto en la productividad como en la estructura de los ecosistemas marinos. Los impactos se deben básicamente a la actividad pesquera por sí misma, a la falta de selectividad de las artes de pesca que afecta a las especies que coexisten con las especies objetivo o a la pérdida o abandono del equipo de pesca. Las técnicas de pesca inadecuadas o ilegales pueden además producir cambios en la topografía del fondo y los ambientes asociados a él (arrecifes coralinos, llanuras de pastos marinos, comunidades de algas y comunidades bentónicas). Los impactos globales en los ecosistemas acuáticos se han descrito como equivalentes a los de la agricultura sobre los ecosistemas terrestres, en términos de la proporción de la productividad primaria del sistema cosechada por el hombre.

La captura pesquera afecta en primer término al recurso objetivo. Un esfuerzo de captura superior a la capacidad de recuperación de las poblaciones reduce la abundancia de las especies, su potencial

de desove y posiblemente sus parámetros poblacionales, como la velocidad de crecimiento, edad a la maduración, estructura de edades y tamaños y variabilidad genética. Cuando la capacidad de captura crece sin control conduce a la sobrepesca del recurso, que puede tener consecuencias sociales, económicas y ecológicas importantes. La sobrepesca transforma un ecosistema originalmente estable, maduro y eficiente en otro diferente y bajo condiciones de estrés.

El impacto de la pesca en las especies asociadas y dependientes se ha documentado en algunas áreas. La disminución de las poblaciones de consumidores primarios al inicio de la cadena trófica remueve especies necesarias para el mantenimiento de sus depredadores, con efectos de cascada en el ecosistema. En cambio, la remoción de depredadores finales como mamíferos, atunes o tiburones, puede liberar una cantidad inusualmente grande de presas de los niveles bajos de la cadena alimenticia. Al reducir la abundancia de depredadores de alto valor, las pesquerías modifican la cadena trófica y los flujos de biomasa y energía a través del ecosistema. Como ejemplo, la eliminación de los depredadores debida a la pesca en los arrecifes de Kenia, produjo un aumento de la población de erizo marino, que aparentemente condujo a una disminución del coral vivo y a la pérdida de la complejidad topográfica, la diversidad y biomasa de peces. En el caso de los ecosistemas del fondo marino, es frecuente la remoción de grandes cantidades de biomasa de la red trófica en ambientes caracterizados por una baja entrada de energía.

## Efectos de la pesca sobre los ecosistemas (continuación)

La mayoría de las actividades pesqueras no son suficientemente selectivas para extraer del océano sólo los recursos deseados. Esto conduce a la pesca accidental de otras especies, parte de las cuales tienen escaso o ningún uso para el hombre, pero también se produce la captura incidental de especies en riesgo, como tiburones, cetáceos y tortugas, las que son descartadas junto con los desechos del procesamiento del pescado en los barcos. Entre los efectos sobre el ecosistema están el incremento de la disponibilidad de alimento para las especies carroñeras, la acumulación de materia orgánica, y por un efecto acumulativo, disminución de la concentración de oxígeno disponible en el ambiente del fondo. Por otra parte, la muerte accidental de individuos que quedan atrapados en equipos de pesca perdidos o abandonados también representa un problema en aumento que se ha relacionado con el creciente esfuerzo de pesca.

El equipo de pesca puede cambiar el ambiente donde habitan las especies que constituyen el recurso pesquero. Un impacto bien documentado es el de las redes de arrastre sobre las especies del fondo que causaron cambios de largo plazo en la abundancia y composición de especies del Mar de Wadden ubicado en las costas de Holanda, Alemania y Dinamarca. El impacto sobre el hábitat depende del peso del equipo de pesca, frecuencia de arrastre y el tipo de sedimento. Fondos dinámicos y suaves pueden sufrir daño limitado aún cuando sean explotados por equipo pesado. Al contrario, hábitat duros, estables y muy estructurados, como arrecifes y pastizales marinos pueden ser fácilmente dañados. Las

redes de arrastre en los ecosistemas marinos de profundidad alteran el fondo oceánico cubierto principalmente por corales, esponjas y otras especies filtradoras que proporcionan la estructura básica para esos ecosistemas.

Algunas prácticas pesqueras pueden tener efectos inmediatos y permanentes, como el empleo de técnicas destructivas de pesca, como dinamita o cianuros. El uso de cianuro de sodio en Filipinas para la pesca de peces marinos tropicales para el comercio en acuarios ha conducido a la destrucción de los arrecifes de coral y a una disminución de los peces comestibles y de acuario.

### Fuentes:

García, S. M., A. Zerbi, C. Aliaume, T. Do Chi y G. Lasserre. *The ecosystem approach to fisheries*. FAO Fisheries Technical Paper Num 443. FAO. Roma. 2003.  
Somma, A. Consecuencias ambientales y costos económicos del agotamiento de los océanos del mundo. *Perspectivas económicas* (8):16-19. 2003.



A la par de la preocupación mundial relacionada con la baja en el potencial productivo de determinadas poblaciones de interés comercial, hoy en día existe un claro interés sobre los impactos que la pesca puede ocasionar en la estructura y función de los ecosistemas. La reducción de la abundancia de especies explotadas determina cambios que se transmiten a través de las interacciones ecológicas con efectos en los diversos niveles tróficos del ecosistema, lo que origina cambios en la biodiversidad y organización de las comunidades marinas (Somma, 2003). La excesiva demanda de alimentos provoca una fuerte presión no sólo sobre los recursos pesqueros, que puede conducir a una merma de sus poblaciones (Davis y Gartside, 2001), sino también sobre muchas otras especies que son capturadas de manera incidental (la llamada “fauna de acompañamiento”), muchas de las cuales son simplemente descartadas en altamar al carecer de valor comercial (PNUMA, 1994) (ver *Efectos de la pesca sobre los ecosistemas*).

### La pesca en México

Los mares del país, por su posición geográfica, se consideran tropicales, a excepción de los que bordean la península de Baja California que, por sus características específicas y gran productividad biológica, son denominados neotropicales. Esta combinación de características oceánicas del territorio permiten obtener una producción pesquera diversa (Gómez, 2002). En estos ecosistemas se tienen registradas alrededor de 2 mil 500 especies piscícolas, de las cuales tan sólo 23% (587 especies) son explotadas por el sector pesquero y de ellas, únicamente para poco más de 150 especies (comprendidas en 23 pesquerías municipales) se dispone de información básica para analizar su grado de aprovechamiento (Conabio, 1998; DOF, 2004).

Por lo común, al aprovechar una especie se extraen conjuntamente otros organismos, los cuales comparten el mismo ambiente y características. Por ejemplo, las sardinas son pequeños peces de mar abierto que forman grandes cardúmenes dentro

de los cuales también se encuentran otros peces como las anchovetas y macarelas. Al arrojar la red se extraen los organismos de éstas y otras especies, ya que sus dimensiones son muy parecidas y quedan atrapados en las mallas. Estos grupos de especies se denominan unidades pesqueras de manejo (UPM) y, al conjunto de actividades y sistemas relacionados con su captura, procesamiento y comercialización en un espacio y tiempo determinados se le conoce como pesquería. En términos generales, a cada UPM corresponde una pesquería, aunque existen excepciones.

La Carta Nacional Pesquera del año 2000 registró información para 65 UPM y 541 especies marinas explotadas (Semarnap 2000a, 2000b). Para el 2004, la nueva Carta consideraba 75 UPM y 587 especies sujetas a explotación pesquera (Tabla 5.4). Las pesquerías que aportan el mayor volumen a la producción pesquera nacional son las de: a) los peces pelágicos menores (sardina-anchoveta), b) los túnidos (que incluyen distintas especies de atún, barriletes y bonitos), c) el camarón y d) la «escamera», que aprovecha mojarras, huachinangos, meros, robalos, pargos, lisas, lenguados, cabrillas y jureles, entre muchas otras especies. En la pesca ribereña del país

**Tabla 5.4 Especies marinas sujetas a explotación pesquera en México por litoral, 2004**

Grupos	Golfo de México y Mar Caribe	Océano Pacífico	Total
Algas	0	4	4
Equinodermos	0	12	12
Crustáceos	19	18	37
Moluscos	16	39	55
Peces cartilaginosos	20	32	52
Peces óseos	215	212	427
Total	270	317	587

**Fuente:**  
DOF. Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*. México, 2004 (15 de marzo).

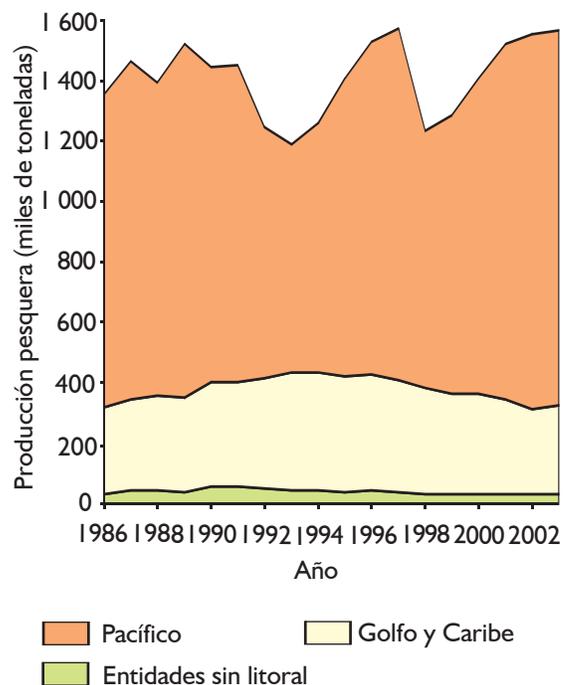
se explotan las especies que son extraídas de forma artesanal, tales como el pulpo, abulón o langosta, así como los organismos de agua dulce. La mayor parte de esta actividad pesquera es de subsistencia, ya sea de carácter familiar o comunitario. Por lo general, esta actividad pesquera no se maneja con base en la normatividad (e.g., cuotas o vedas), por lo que los recursos suelen ser explotados sin control, lo que puede conducir a la sobreexplotación de los recursos pesqueros (Capurro *et al.*, 2002).

El más reciente inventario de cuerpos de agua continentales elaborado por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y empleado como referencia dentro de la Carta Nacional Pesquera integra a 7 mil 885 cuerpos de agua entre lagunas, lagos, presas y bordos (tanto de carácter temporal como perenne) (DOF, 2004). En las 172 principales presas y lagos del país se tienen registradas 108 especies dulceacuicolas sujetas a explotación, las cuales se distribuyen de la siguiente forma: 97 especies de peces, 3 de anfibios, 5 de crustáceos, una de insectos, una de moluscos y una de gusanos.

En cuanto a su producción pesquera, México se encuentra entre los veinte países con mayor producción en el mundo, manteniendo su volumen total de pesca relativamente estable durante los últimos 18 años, oscilando alrededor de 1.4 millones de toneladas anuales, siendo los años de 1993 y 1998 los de menores capturas, disminuciones al parecer asociadas a la presencia del fenómeno de “El Niño” (Figura 5.32, Cuadro D2 PESCA01 01). La producción nacional está fuertemente determinada por la producción del litoral del Pacífico: la producción de las entidades que rodean al Mar de Cortés, como Sonora y Sinaloa, superan las 200 mil toneladas al año y, junto con los estados de Baja California y Baja California Sur, concentraron en los últimos 20 años las dos terceras partes de la captura total anual (Mapa 5.14, Cuadro D2 PESCA01 02). En el 2003, este litoral reportó una producción de cerca de un millón 238 mil toneladas, es decir, 79.1% de la producción total del país.

Los litorales del Golfo y el Caribe aportaron en 2003 cerca del 19% del volumen total de la captura

**Figura 5.32 Producción pesquera nacional, 1986-2003**



Fuente: Sagarpa. Anuario Estadístico de Pesca 2003 México, 2005.

nacional, alcanzando su mayor nivel en 1994 (con 392 mil 310 toneladas) y en el 2003 (295 mil 625 toneladas). Esta región es menos productiva que la del Pacífico, debido principalmente a que sus aguas son más cálidas, transportan menor cantidad de nutrimentos y, además, presentan mayores problemáticas ambientales derivadas de los impactos de las actividades agropecuarias y petroleras que se practican en la región (Carranza-Edwards, 2004).

La pesca continental, es decir, la que se efectúa en las entidades sin litoral, aportó en el año 2003 el 2% del volumen total de la producción pesquera nacional (Figura 5.32). Este tipo de pesca muestra una tendencia constante decreciente en su producción: mientras que en 1991 produjo 58 mil 273 toneladas, en 2003 tan sólo alcanzó las 31 mil 648 toneladas. Se considera que la disminución registrada en la producción tiene mayor relación con los problemas ambientales de los cuerpos de agua que con la captura excesiva que se lleva a cabo

Mapa 5.14 Producción pesquera por entidad federativa, 2003



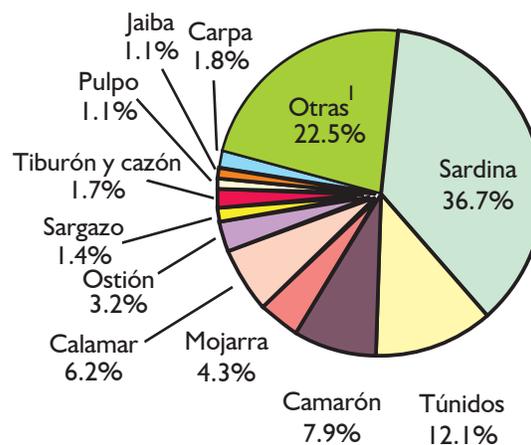
Fuente:  
Sagarpa. Instituto Nacional de la Pesca. *Anuario estadístico de pesca*. 2003. México. 2003.

en ellos (García-Calderón *et al.*, 2002).

Con respecto a la producción pesquera por especie, en el año 2003 las pesquerías de la sardina, los túnidos y el camarón aportaron cerca del 57% del volumen de la captura total (Figura 5.33). Las pesquerías con menores volúmenes de producción fueron, para el mismo año, la del sargazo (1.4%), pulpo (1.1%) y jaiba (1.1%) (Cuadro D2 PESCA01 03).

En términos del esfuerzo pesquero, a diferencia de lo que ocurre a escala global, el número de embarcaciones que constituyen la flota mexicana de altura (buques mayores a 15 metros de eslora) no ha crecido entre 1980 y el año 2002, manteniendo una flota de alrededor de 3 mil 350 barcos (Figura 5.34, Cuadro D2 PESCA01 06). Para la pesca ribereña se registraron 102 mil 807 unidades de 1997 al año 2002, después de un importante crecimiento registrado entre 1980 y 1996. Cabe señalar, sin embargo, que existe una cantidad no determinada de lanchas y pequeñas embarcaciones que carecen del registro oficial, por lo que las cifras reales podrían estar muy por arriba de los registros oficiales. En cuanto a la distribución de las embarcaciones en los litorales del país, se observa que los barcos se concentran principalmente en la vertiente del Pacífico, que

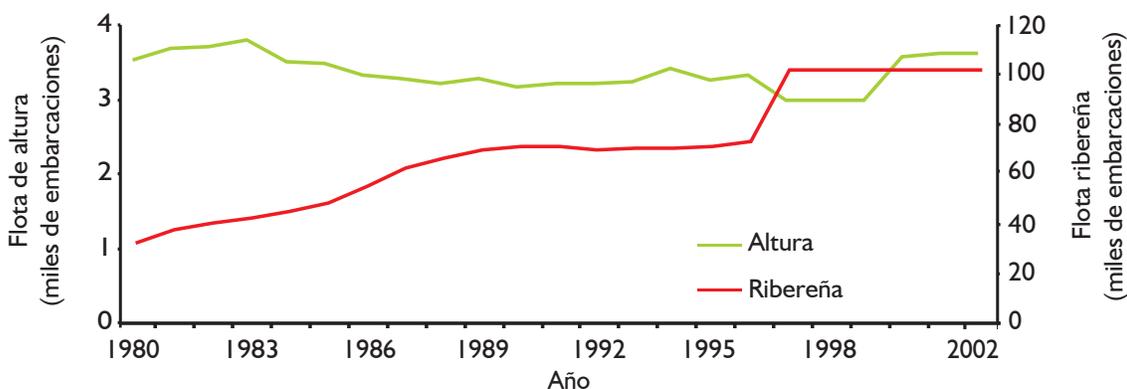
Figura 5.33 Producción pesquera en México por especie, 2003



<sup>1</sup>Incluye abulón, algas, almeja, bagre, bandera, caracol, corvina, charal, erizo, huachinango, jurel, langosta, langostino, lebrancha, lisa, lobina, macarela, mero, pargo, peto, robalo, ronco, sierra, trucha y captura sin registro oficial.

Fuente:  
Sagarpa. *Anuario Estadística de Pesca 2003*. México. 2005.

**Figura 5.34 Embarcaciones pesqueras registradas en México según tipo de pesca, 1980-2002**



**Fuentes:**

Años 1980-1996 y 2000-2002: Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca 2003*. México. 2005.  
 Años 1997-1999: Registro Nacional de Pesca e Inventario Nacional de Embarcaciones. México. 2000.

cuenta con 56.9% de las embarcaciones de altura y 54.9% de las ribereñas, mientras que en el Golfo se registran 43.1 y 42.2%, respectivamente. El restante 2.9% de la flota pesquera ribereña se dedica a la pesca continental.

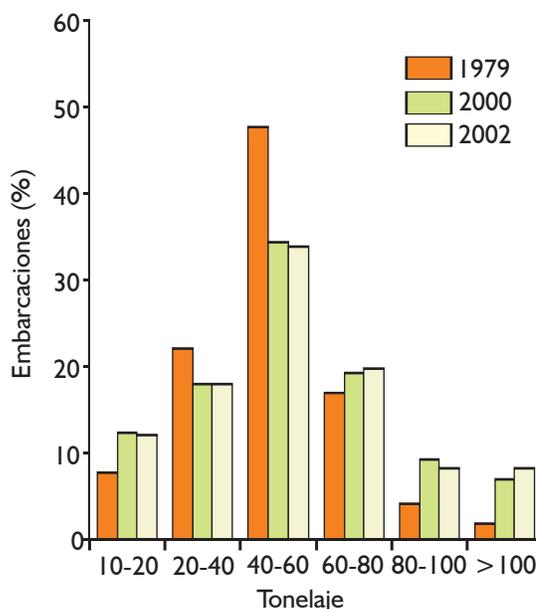
La estabilización en el número de registros de pesca de altura no corresponde necesariamente a un estancamiento en la capacidad pesquera, sino al recambio de barcos de medio tonelaje por otros de mayor capacidad. En 1979 tan sólo 1.8% de los barcos rebasaban las 100 toneladas, cifra que creció a 7% en 2000 y en el 2002 alcanzó 8.1% (Figura 5.35, Cuadros D2 PESCA01 08, D2 PESCA01 09 y D2 PESCA01 10).

Con respecto al número de embarcaciones por pesquería, en el año 2002 la del camarón contaba con 2 mil 412 embarcaciones, la «escamera» con 992, la atunera con 132 y la de sardina-anchoveta registraba 91 unidades. En las últimas dos décadas se registró un incremento notable en el número de barcos atuneros, con un crecimiento de 4.5% anual en promedio, seguido por la flota escamera, la cual creció anualmente al 2.1% (Figura 5.36, Cuadro D2 PESCA01 07).

En cuanto a la flota camaronesa, de las 2 mil 412 embarcaciones registradas en el año 2002, mil 674

se encontraban en el Océano Pacífico y de éstas 89.1% contaban con puerto base de operaciones en el noroeste. En el Pacífico mexicano, 25 mil personas pescan camarón en 738 barcos y 20 mil

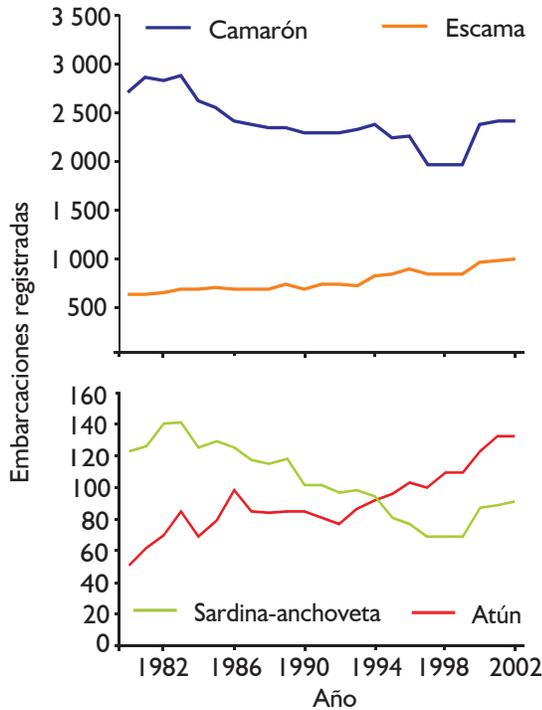
**Figura 5.35 Distribución de las embarcaciones de altura mexicanas según su tonelaje, 1979, 2000 y 2002**



**Fuente:**

Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca 2003*. México. 2005.

**Figura 5.36 Embarcaciones de altura registradas en México según principales pesquerías, 1980-2002**



**Fuentes:**  
 Años 1980-1996 y 2000-2002: Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca 2003*. México. 2005.  
 Años 1997-1999: Inventario Nacional de Embarcaciones. México. 2000.

pangas. El sistema productivo pesquero del camarón actualmente padece de una sobrecapitalización que resulta en pesca excesiva, que a su vez genera impactos ambientales y conflictos sociales y políticos. Ejemplo de la falta de ordenamiento pesquero es el aumento del esfuerzo de pesca y la disminución de las capturas de camarón en el Pacífico para el periodo 1994-2000, con promedios menores a 15 toneladas por barco, con una clara tendencia a la disminución en la captura por barco (FIRA 1997, 2000) (Tabla 5.5).

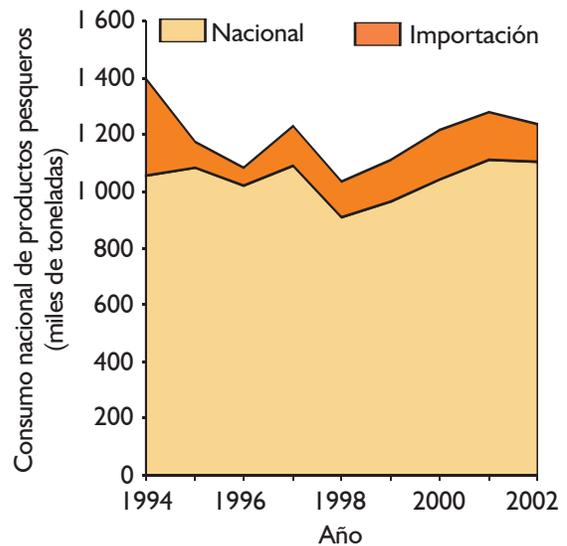
El consumo de los productos pesqueros en el país ha seguido una ligera tendencia decreciente durante el periodo 1992-2002, pasando de alrededor de un millón 410 mil toneladas al inicio del periodo a

**Tabla 5.5 Captura de camarón por embarcación en el Pacífico mexicano, 1994, 1997 y 2000**

	Año		
	1994	1997	2000
Embarcaciones	1 276	1 144	1 467
Captura por embarcación (toneladas)	15.5	14.3	11.0

**Fuente:**  
 FIRA. *Boletín Informativo*. México. 1997 y 2000.

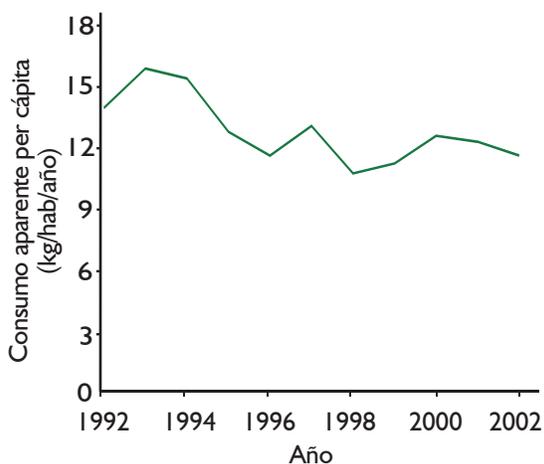
**Figura 5.37 Consumo de productos pesqueros en México según origen, 1994-2002**



**Fuentes:**  
 Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca*. Años 2000, 2001 y 2002. México. 2001, 2002 y 2003.  
 Semarnap. *Anuario Estadístico de Pesca*. Años 1997, 1998 y 1999. México. 1998, 1999 y 2000.

cerca de un millón 214 mil toneladas en el año 2002 (Figura 5.37, Cuadro D2 PESCA03 02). El consumo promedio per cápita en los últimos 10 años fue de 12.7 kilogramos por habitante al año (Figura 5.38), lo que lo coloca por debajo del promedio mundial (cercano a los 16 kilogramos por habitante al año)

**Figura 5.38 Consumo aparente de productos pesqueros per cápita en México, 1992-2002**



Fuente: Sagarpa. Anuario Estadístico de Pesca 2002. México. 2003.

y muy lejos del consumo en países como Japón (que alcanza los 90 kilogramos por habitante al año), Portugal (60 kilogramos por habitante al año) y España (30 kilogramos por habitante al año). Sin embargo, el consumo aparente en México supera al promedio de América Latina y el Caribe, el cual es cercano a los 9 kilogramos por habitante al año (Wiefels, 2003; FAO, 2005).

Durante el periodo 1992-2002, 88% de los productos pesqueros consumidos en México, en promedio, fue aportado por la producción pesquera nacional, mientras que el 12% restante fue importado. En 2002 se importaron al país 135 mil toneladas de productos pesqueros, exportándose a su vez más de 250 mil toneladas, las que representan 18.5% de la producción nacional, (Cuadro D2 PESCA03 01).

### **Impactos de la pesca en los recursos y ecosistemas marinos**

Los efectos negativos de la pesca en la biodiversidad y en la estructura y función de los ecosistemas se empezaron a conocer en el mundo muchos años antes de que en México se comenzaran a documentar estos hechos (ver **Efectos de la pesca sobre los ecosistemas**). Se sabe que el manejo inadecuado

de los recursos pesqueros, además de reducir los tamaños poblacionales de las especies objetivo en forma directa a través de la extracción, también genera efectos en las poblaciones de las especies que coexisten con ellas, modificando con ello la estructura y la dinámica de los ecosistemas costeros y oceánicos. Se ha observado que las poblaciones deterioradas muestran una menor tolerancia a los fenómenos externos que las afectan. Así, por ejemplo, las pesquerías manejadas indebidamente sufrieron más gravemente los efectos de “El Niño” de 1998 que aquellas bajo un manejo sustentable (Sosa-Nishizaki, 1999). En México en particular, se han encontrado evidencias de disminución de los niveles tróficos en el ecosistema del Golfo de California y de problemas de sustentabilidad en la principal pesquería del Golfo de México (Díaz de León-Corral et al., 2005).

Las principales causas de deterioro de los recursos naturales marinos sujetos a explotación pesquera se atribuyen fundamentalmente a cuatro factores: i) sobrecapacidad de la flota pesquera, ii) pesca ilegal, pesca no regulada y no declarada, iii) sobrecapitalización del sector pesquero y iv) otorgamiento de subsidios directos al sector. Por su parte, los impactos ambientales asociados a la actividad pesquera son de tres tipos, diferentes tanto para las distintas pesquerías como para los tipos de flota (dependiendo principalmente del tipo de arte de pesca empleada y de la zona de pesca). Ellos son:

**Arrastre del fondo marino.** Se refiere al proceso que ocurre cuando las redes son lanzadas al fondo del mar y se arrastran con objeto de recoger a los organismos que lo habitan. Afectan el funcionamiento del ecosistema y dañan a distintas especies de organismos sésiles (e.g., corales y esponjas) que sirven para crear los sitios de refugio y alimentación para muchas especies marinas, incluidas las comerciales. La pesca del camarón, por ejemplo, es una de las actividades que mayormente barren con el fondo marino. Aun cuando no se tienen datos periódicos del área que anualmente se barre en la búsqueda del camarón y otras especies de peces del fondo en México, se ha calculado que en el año 2000, tan sólo

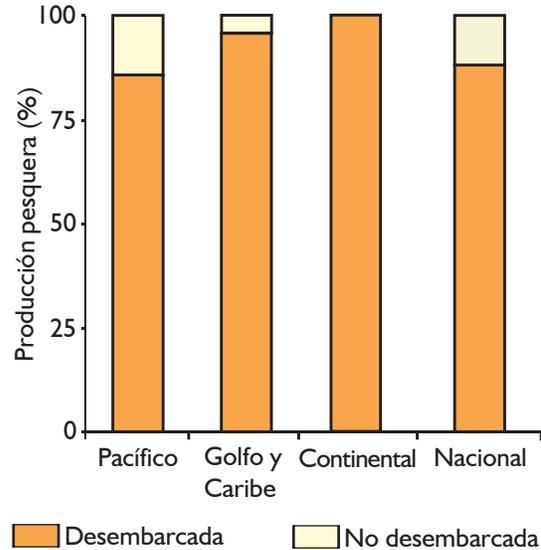
en el Pacífico, la superficie arrastrada alcanzó los 550 mil kilómetros cuadrados (es decir, cerca de dos veces el estado de Chihuahua), mientras que en el Golfo de México pudo sumar los 187 mil kilómetros cuadrados (es decir, la superficie estatal de Sonora) (Cuadro D2 PESCA04 01).

**Pesca incidental o de acompañamiento.** En el proceso de captura, ya sea por cuestiones del arrastre o por las artes de pesca empleadas, además de la especie objetivo pueden atraparse organismos de otras especies, lo que se denomina “pesca incidental o de acompañamiento”, pudiendo encontrarse especies en estado de riesgo como las tortugas marinas, tiburones y cetáceos. En algunos casos la pesca de acompañamiento puede ser aprovechada, sin embargo, en muchos otros es descartada y devuelta al mar muerta o severamente lastimada. Un ejemplo de este tipo de impacto es la pesca del atún: cuando se pesca en los cardúmenes conocidos como “palos”, se captura un gran número de individuos jóvenes cuya explotación no es rentable, lo que ocasiona que sean descartados muertos o seriamente lesionados.

A nivel nacional en el 2003, el porcentaje del volumen pescado que no llegó al puerto (es decir, que fue descartado) alcanzó 11.9% de la producción pesquera nacional (Figura 5.39, Cuadro D2 PESCA01 02), siendo mayor en el Pacífico, donde la cifra alcanzó 14%. En contraste, la totalidad de lo que se pesca en las aguas continentales nacionales es aprovechado. La pesca del camarón también implica el descarte de muchos organismos. En la costa sur de Sinaloa por ejemplo, durante el periodo 1992-2004, por cada kilogramo de camarón capturado se pescaron en promedio 14.7 kilogramos de fauna de acompañamiento (Tabla 5.6).

**Presión sobre el recurso objetivo.** Cuando la actividad pesquera no es controlada de manera que se calcule la disponibilidad del recurso y su capacidad de carga, existe el riesgo de traspasar sus niveles de reproducción y crecimiento, poniendo en riesgo no sólo a la especie objetivo sino el equilibrio de otras especies que se encuentran relacionadas con la misma.

**Figura 5.39 Producción pesquera desembarcada y no desembarcada en México por litoral, 2003**



**Fuente:** Sagarpa. Anuario Estadístico de Pesca 2003. México. 2005.

En general, puede decirse que las grandes pesquerías de altura son las que más impacto tienen en los océanos, principalmente por las artes de pesca empleadas. Por su parte, la flota menor o ribereña impacta a los ecosistemas marinos principalmente por la presión desmesurada que ejercen sobre el recurso objetivo al no estar controlada su operación y sobrepasar la capacidad de carga del recurso y del ecosistema; además de generar importantes desequilibrios a través de la pesca incidental o de acompañamiento. Un ejemplo de sus efectos es el aumento en la mortalidad de la vaquita marina (*Phocoena sinus*) en el Golfo de California.

### **Sustentabilidad del manejo de los recursos pesqueros**

Las pesquerías están consideradas como actividades que generan redes de valor, por lo que cada una de ellas es una cadena productiva, con su propia condición económica y social. En el ámbito local, son elementos fundamentales del ingreso de segmentos

**Tabla 5.6 Captura incidental de fauna de acompañamiento por la pesca de camarón en las costas de Sinaloa, 1992-2004**

Año	Captura de fauna de acompañamiento (kilogramo/kilogramo de camarón)	
	Sur de Sinaloa y norte de Nayarit	Norte de Sinaloa
1992	26.8	28.3
1993	19.7	30.3
1994	10.7	6.6
1995	12.1	11.2
1996	19.6	37.8
1997	11.7	8.1
1998	13.3	11.3
1999	28.7	29.4
2000	8.8	7.3
2001	9.7	8.9
2002	6.8	5.5
2003	9.9	7.5
2004	13.8	10.3

**Fuente:**

Semarnat. Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. México. 2005.

importantes de la población, y de esa forma impulsan el desarrollo económico regional (INP-Conapesca, 2001). Sin embargo, la forma en que se han aprovechado los recursos pesqueros ha propiciado que estos se encuentren, en México y el resto del mundo, en distintos estados de explotación.

Cada una de las pesquerías posee su propia dinámica, por lo que para su aprovechamiento óptimo se requieren sistemas de pesca particulares, manejos específicos e infraestructura adecuada: un uso correcto podría evitar su sobreexplotación, la captura incidental de especies asociadas y el descarte de las especies sin valor comercial. Un aprovechamiento con estas características reduciría el daño a la biodiversidad de los ecosistemas marinos, costeros y continentales. Todo este conjunto de acciones se encuentra integrado en los conceptos de desarrollo sustentable y pesca responsable (Hernández y Kempton, 2003).

El concepto de sustentabilidad pesquera involucra la relación entre la explotación o aprovechamiento y la capacidad de renovación biológica de los recursos, modulada por las condiciones del medio ambiente natural y social y con una visión de largo plazo (INP, 1999). El reto de todas las naciones que hacen uso de estos recursos es aplicar este concepto en acciones prácticas que integren los aspectos económico, social y ambiental en cada una de sus situaciones particulares.

La evaluación de la sustentabilidad de las pesquerías se realiza mediante la integración y el análisis de la información biológica de la pesquería y de series de tiempo sobre su explotación, entre otros. El estado de sustentabilidad que guardan las pesquerías y las especies que las conforman se divide en tres categorías: 1) *potencial de desarrollo*, que considera que existe una alta posibilidad de que las capturas aumenten en el tiempo, teniendo la posibilidad de crecimiento; 2) *aprovechamiento máximo sostenible*, en el caso de aquellas pesquerías que han alcanzado un nivel máximo de utilización del recurso y, por lo tanto, no debe aumentarse el esfuerzo porque existe el riesgo de sobreexplotación y 3) *deterioro*, cuando las pesquerías obtienen bajos niveles de biomasa, en muchos casos provocados por un esfuerzo pesquero excesivo. Adicionalmente, a estas categorías se puede incorporar una cuarta denominada *no determinada*, de la cual no se cuenta con información consistente y de calidad, ya sea biológica y/o pesquera, para poder establecer su estado (INP, 1999) (Cuadro D2 RPESCA05 01).

Según la FAO (2001), en el año 2000, 25% de las poblaciones que son objeto de la extracción pesquera en el mundo se encontraban insuficiente o moderadamente explotadas, 47% estaban plenamente explotadas, 18% se encontraban en condiciones de sobreexplotación sin posibilidad de crecimiento y 10% se encontraban agotadas o en recuperación (Díaz de León-Corral et al., 2005) (Tabla 5.7).

En México se han elaborado los primeros diagnósticos científicos sobre el estado de los recursos pesqueros, mismos que dieron sustento a un instrumento normativo integral denominado Carta Nacional Pesquera, publicada en el Diario Oficial de la Federación en los años 2000 y 2004. Este documento

**Tabla 5.7 Estado de sustentabilidad de las pesquerías en el mundo, 2001**

Estado	Pesquerías (%)
Potencial de desarrollo	25
Aprovechamiento máximo	47
Deterioro	28

**Fuente:**

FAO. *Información sobre la Pesca Responsable en el Ecosistema Marino*. Conferencia de Reykjavik. Islandia. 2001.

presenta la situación de los recursos pesqueros tanto marinos como dulceacuícolas, las artes de pesca, los recursos cultivados, los ecosistemas costeros y los principales impactos a los que se ven sujetos, la ictiofauna dulceacuícola distribuida en las provincias biogeográficas continentales, de las áreas naturales protegidas marinas y de las especies marinas bajo algún estatus de protección o riesgo. Con esta información se construyeron indicadores que muestran el estado de los recursos sujetos a explotación pesquera y acuícola y la efectividad de las medidas de control y manejo. Esta carta obliga a las entidades de la administración pública federal a su estricta observancia (Álvarez-Torres et al., 2002; Hernández y Kempton, 2003).

De acuerdo con datos de la Carta Nacional Pesquera del año 2000 (DOF, 2000), en ese año 81.5% de las pesquerías nacionales se encontraban

al máximo aprovechamiento o en condiciones de deterioro. Para 2004, poco más del 90.4% estaban en la misma situación (Álvarez et al., 2002; Hernández y Kempton, 2003; DOF, 2004; Díaz de León-Corral et al., 2005) (Tabla 5.8). En ese mismo año, 67% de las UPM se encontraban aprovechadas al máximo sostenible, 23% estaban en deterioro y sólo 10% presentaban potencial para ser explotadas intensivamente. Por su parte, el estado de sustentabilidad de las pesquerías en los distintos litorales del país sigue una tendencia muy similar a la de las pesquerías nacionales en su conjunto (Tabla 5.9). La situación de los grupos de especies bajo

**Tabla 5.9 Estado del sustentabilidad de las pesquerías en México por litoral, 2004**

Estado	Pesquerías (%)		
	Pacífico	Golfo de México y Caribe	Nacional
Potencial de desarrollo	9	14	10
Aprovechamiento máximo	67	65	67
Deterioro	24	21	23

**Fuente:**

DOF. Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*. México. 2004 (15 de marzo).

**Tabla 5.8 Estado de sustentabilidad de las pesquerías en México, 2000 y 2004**

Estado	Pesquerías			
	2000		2004	
	Número	(%)	Número	(%)
Potencial de desarrollo	12	18.5	7	9.6
Aprovechamiento máximo	37	56.9	49	67.1
Deterioro	16	24.6	17	23.3
Total	64	100.0	73	100.0

**Fuente:**

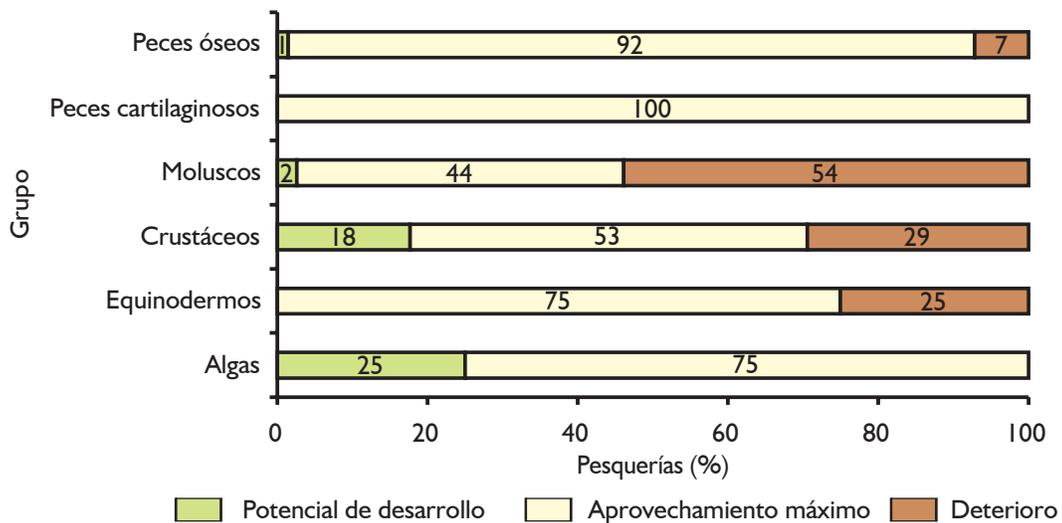
Díaz-de-León-Corral, A., G. Alcantar-López, P. Álvarez-Torres, L. Gutiérrez-Mariscal, D. Pedroza-Paéz, S. Cortina, M. Ibáñez y G. Brachet. Valoración, uso y perspectivas de la biodiversidad marina: compartiendo experiencias entre México y Latinoamérica. En: Figueroa, E. (Ed.). *Biodiversidad Marina: Valoración Usos y Perspectivas ¿Hacia dónde va Chile?*. Editorial Universitaria S.A. 2005.



explotación pesquera en cada litoral se muestra en las figuras 5.40 y 5.41, con una clara tendencia de máximo aprovechamiento y franco deterioro en todos los grupos y ambos litorales (DOF, 2004).

Las pesquerías de los lagos de Chapala y Pátzcuaro, quizá los lagos más emblemáticos del país, están clasificadas como “en deterioro” debido a que enfrentan serios problemas de contaminación,

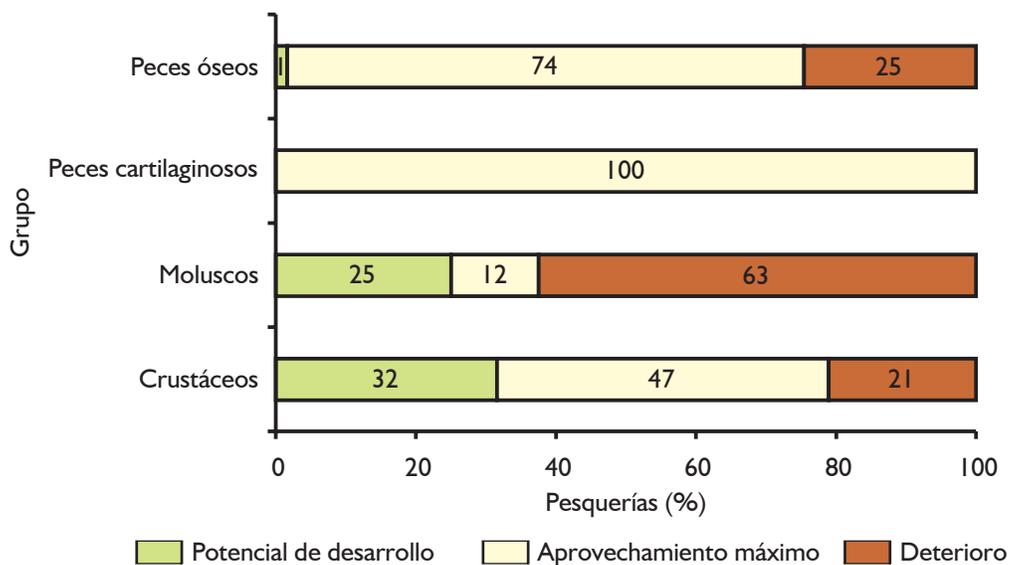
**Figura 5.40 Estado de sustentabilidad de los recursos pesqueros en el Pacífico mexicano según grupo, 2004**



**Fuente:**

DOF. Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*. México. 2004 (15 de marzo).

**Figura 5.41 Estado de sustentabilidad de los recursos pesqueros en el Golfo de México según grupo, 2004**



**Fuente:**

DOF. Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*. México. 2004 (15 de marzo).

azolve y sobrepesca. En el caso de la pesquería del lago de Cuitzeo, a pesar de estar clasificado en la categoría de no determinado, su productividad se ha visto mermada desde 1995, coincidiendo con sequías regionales, lo que no permite con facilidad reconocer las causas específicas de la caída en su producción pesquera (DOF, 2004).

### Gestión de los recursos pesqueros

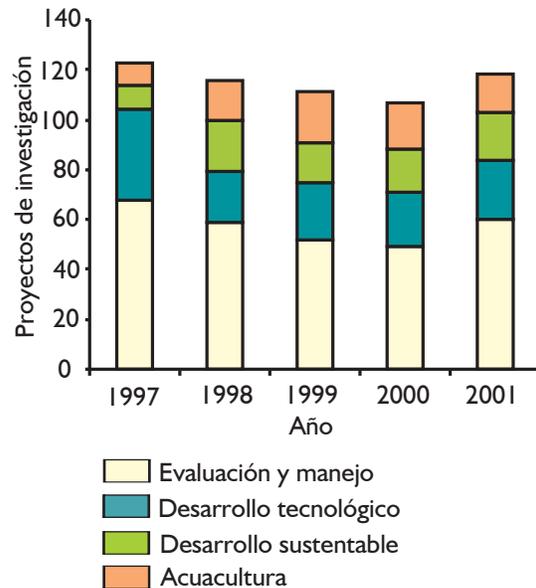
La administración adecuada de un recurso depende, en gran medida, del conocimiento que se tenga del mismo, tanto para conocer su estado como para poder plantear soluciones adecuadas a su problemática. En este sentido, es evidente que la toma de decisiones relacionadas con el aprovechamiento racional de los recursos pesqueros deberá estar basada en los conocimientos derivados de la investigación científica de calidad aplicada a la pesca (Arreguín-Sánchez, 2002).

La investigación pesquera en México ha estado básicamente enfocada a las pesquerías de alto valor económico (e.g., camarón y atún) y ha prestado poca atención a una amplia gama de otros recursos pesqueros que, de hecho, podrían tener gran impacto social (Sagarpa-INP, 2002). El Instituto Nacional de Pesca, dependiente de la Sagarpa, es la institución oficial encargada de desarrollar la investigación en materia pesquera, misma que realiza a través de 15 centros regionales de investigación pesquera (CRIP) y tres estaciones ubicadas en ambos litorales y en los principales cuerpos de agua continentales.

En 2001, en estos centros se realizaban 118 proyectos orientados hacia el conocimiento del estado de los recursos pesqueros y su manejo (50% de ellos), el desarrollo tecnológico (20%), el aprovechamiento de las pesquerías (16%) y el desarrollo de la acuicultura (13%) (Figura 5.42).

Los resultados de la investigación y del seguimiento estadístico de la producción pesquera y sus actividades relacionadas son la base para la normatividad en la materia. El marco legal que rige las actividades pesqueras tiene por objeto regular el uso y manejo de los recursos pesqueros, con el

**Figura 5.42 Proyectos de investigación pesquera en el Instituto Nacional de la Pesca según área de estudio, 1997-2001**



Fuente:

Semarnat. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales 2002. México. 2003.

fin de permitir el mantenimiento de las existencias del recurso en el tiempo (cuando menos el mínimo necesario para garantizar la capacidad reproductiva de la especie) y satisfacer así las necesidades futuras de la sociedad humana (FAO, 2002).

Con respecto a la problemática de la pesca incidental, se han implementado distintas estrategias para reducir su volumen y los impactos que generan en los ecosistemas marinos, principalmente en las pesquerías que afectan a organismos de especies que se encuentran en riesgo, tales como las tortugas marinas y algunas especies de cetáceos. Como se ha mencionado anteriormente, las redes camaroneras pueden dañar a muchas otras especies de peces, crustáceos y moluscos, además de tiburones, cetáceos y tortugas marinas. Uno de los esfuerzos más importantes para la reducción de la captura de las tortugas marinas ha sido la implementación de los llamados Dispositivos Excluidores de Tortugas (DET), iniciada en 1993 en los barcos de la flota camaronera del Golfo de México y en 1996 en la flota del Caribe y el Pacífico. Las especies mayormente

beneficiadas por esta iniciativa son las que se distribuyen en el Golfo de México (tortuga blanca, *Chelonia mydas*, y la lora, *Lepidochelys kempii*). Estos dispositivos consisten en aparejos que se adaptan a la entrada de la bolsa de la red camaronera para permitir la salida de las tortugas atrapadas. Sin embargo, estos dispositivos no evitan la mortalidad de todos los animales que entran en ellos. El U.S. National Marine Fisheries Service (NMFS) estima que los DET han reducido cerca del 67% la tasa de mortalidad anual de tortugas marinas atrapadas en las redes de arrastre en las aguas norteamericanas desde su implementación en 1998. En el caso de la flota camaronera nacional, entre 86 y 98% de las embarcaciones de esta pesquería cuentan con estos dispositivos.

La pesca del atún también requiere de una supervisión meticulosa por parte de técnicos observadores que garanticen el cumplimiento normativo nacional e internacional y permitan reducir la captura incidental. La pesca mexicana del atún se centra en cardúmenes asociados con delfines, ya que en ellos se encuentran los atunes más grandes y de mayor valor en el mercado de exportación, pero produce el descarte de atunes juveniles, así como de grandes cantidades de tiburones, picudos, dorados, petos, jureles, e incluso, tortugas marinas. En el caso de la pesca de atún sobre cardúmenes libres, el problema de los descartes y captura incidental existe, y aunque es de magnitud inferior se traduce en el desperdicio económico y el impacto ecológico. El incremento reciente en la pesca asociada a objetos flotantes y a cardúmenes libres como respuesta a la preocupación internacional para evitar la pesca incidental de delfines, puede conducir a una reducción en el rendimiento del atún por la mortalidad de individuos juveniles, además de afectar al ecosistema en su conjunto a través de la captura incidental de otras especies.

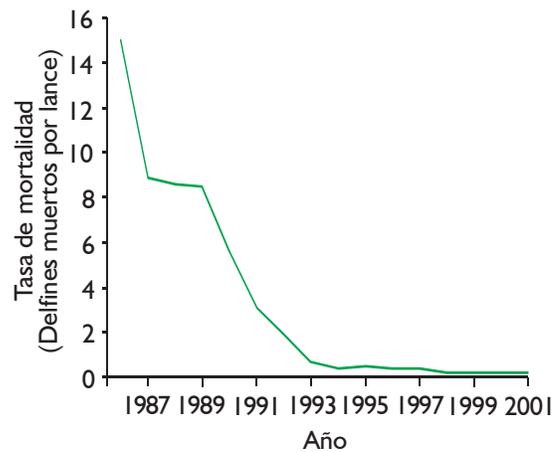
En el caso particular de los delfines asociados al atún, los esfuerzos realizados para su protección se iniciaron a mediados de los años setenta, y actualmente están en marcha dos programas (uno nacional y otro internacional) de reducción sucesiva de la mortalidad incidental. Ambos se basan en el

monitoreo de la mortalidad incidental por medio de observadores científicos. Este monitoreo cubre la totalidad de los viajes de pesca desde 1991.

La Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-002-PESC-1999 actualiza la legislación anterior en materia de protección de delfines en el marco del Acuerdo sobre el Programa Internacional para la Conservación de Delfines (APICD) y de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT). Incorpora el “límite de mortalidad incidental de delfines” (LMD) por barco como instrumento básico de control. Se incluye un Sistema de Seguimiento y Verificación del atún, el cual opera desde el momento de su captura hasta su comercialización, indicando que el producto deberá ser etiquetado al almacenarse en bodega, señalando aquel “atún capturado en lances en los que resulten delfines muertos o gravemente heridos”.

Los resultados de este programa han sido favorables, ya que entre 1986 y 2001, el desempeño de la flota atunera mostró una disminución importante de la mortalidad incidental: de 15 a 0.16 delfines por lance (Figura 5.43, Cuadros D2 PESCA04 02 y

**Figura 5.43 Mortalidad de delfines asociada a la pesca del atún en México, 1986-2001**



**Fuente:**

Sagarpa. Conapesca. México. 2005. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/conapesca/planeacion/internacional/APICDarticulo.htm>

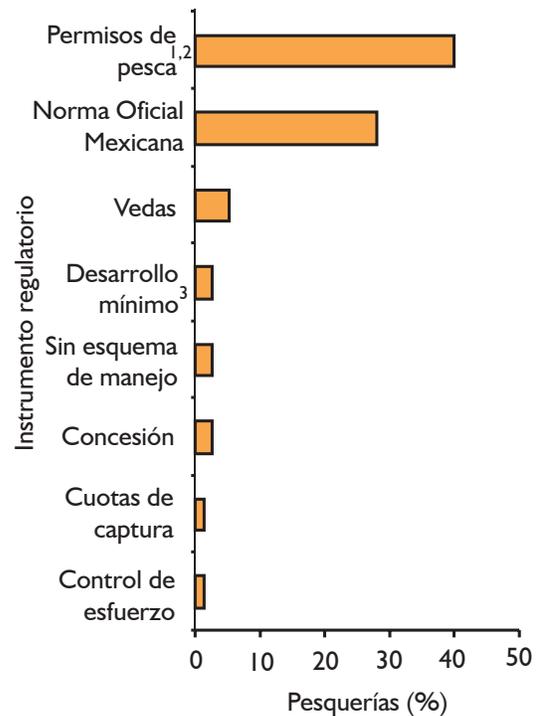
**D2 PESCA04 03**). Es importante señalar que estos valores se obtuvieron manteniendo prácticamente igual número de lances sobre delfines, lo que indica un mejor desempeño de los pescadores; en 89% de los lances no resultó muerto ningún delfín. La evaluación de poblaciones de delfines en la zona atunera del Océano Pacífico oriental muestra que las poblaciones de delfines se encuentran estables, sin presentar ningún indicio de declinación a causa de la mortalidad incidental ejercida por la flota atunera internacional.

Algunos de los principales problemas asociados a la pesca en el país son los conflictos por el acceso a los recursos, la inadecuada definición de los derechos de propiedad, la sobreexplotación, la ineficiencia en las técnicas de captura que ocasionan la pesca incidental, la concentración del esfuerzo pesquero en unas pocas especies, la contaminación y la destrucción del hábitat de las especies objetivo (Villaseñor-Talavera, 2002). En este contexto, las regulaciones pesqueras establecidas en nuestro país, como la Ley de Pesca y su reglamento específico, las normas, avisos y vedas, se han tratado de desarrollar siguiendo los criterios de una pesca responsable, procurando aprovechar adecuadamente el recurso.

Por otro lado, dos de los instrumentos legales que se han promovido para lograr un desarrollo sustentable de las pesquerías en el país son los permisos y las normas oficiales mexicanas. El permiso es el más ampliamente utilizado, ya que, de acuerdo con la Ley de Pesca, es necesario para cualquier aprovechamiento con fines comerciales. La expedición de un permiso depende de la disponibilidad del recurso y de que la explotación no deteriore la unidad pesquera de manejo. Actualmente treinta pesquerías cuentan con instrumentos de este tipo (Figura 5.44).

Por otro lado, distintas normas están dedicadas a la administración de la pesca en México. La NOM-059-SEMARNAT-2001 determina las especies que se encuentran bajo alguna categoría de riesgo, siendo las tortugas marinas y algunas especies de mamíferos marinos las que pueden ser afectadas por distintas pesquerías. La NOM-012-PESC-1993 establece las medidas adecuadas para la protección de la vaquita marina y la totoaba, mientras que

**Figura 5.44 Pesquerías que cuentan con algún mecanismo regulatorio del aprovechamiento pesquero en México, 2004**



<sup>1</sup> De acuerdo con la ley, toda pesca con fines comerciales requiere de permiso. En la gráfica se muestran las pesquerías en las cuales la Carta Nacional Pesquera señala explícitamente su existencia.

<sup>2</sup> Estos instrumentos pueden comprender diferentes disposiciones: especies y áreas autorizadas, talla mínima y cuotas de captura, regulación del esfuerzo y reglamentación de artes de pesca, entre otras.

<sup>3</sup> Se refiere a la talla mínima o estado de veda, a partir de la cual se permite el aprovechamiento.

**Fuente:**

DOF. Carta Nacional Pesquera 2004. *Diario Oficial de la Federación*. México. 2004 (15 de marzo).

las normas relacionadas con la pesca del camarón exigen el uso de dispositivos excluidores de tortugas (DET) (Tabla 5.10).

Otra forma habitual de protección de los recursos pesqueros es permitir el aprovechamiento de organismos que ya se hayan reproducido (en general a través del establecimiento de tallas mínimas), así como las vedas y la prohibición de artes de pesca perniciosas (Figura 5.44).

**Tabla 5.10 Normas y proyectos de Normas Oficiales Mexicanas Pesqueras**

<b>NOM</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Fecha de publicación en el DOF</b>
001-PESC-1993	Para regular el aprovechamiento de los túnidos con embarcaciones de cerco en las aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos del Océano Pacífico y con las embarcaciones de cerco de bandera mexicana en aguas internacionales de otros países que se encuentren en el Océano Pacífico Oriental.	31 de diciembre de 1993
002-PESC-1993	Para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	31 de diciembre de 1993
MODIFICACION	Se modifican los apartados: 3.6, 4.2.2, 4.3.1, 4.3.11, 4.5.4, 4.6 y 7.1; y se adicionan los apartados: 1.2, 3.7, 3.8, 3.9, 4.3.2.3, y del 6.10 al 6.19, pasando el actual apartado 1.2 a ser el apartado 1.3.	30 de julio de 1997
003-PESC-1993	Para regular el aprovechamiento de la sardina monterrey, piña, crinuda, bocona, japonesa y de las especies de anchoveta y macarela, con embarcaciones de cerco en aguas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California.	31 de diciembre de 1993
004-PESC-1993	Para regular el aprovechamiento de almeja catarina en aguas de jurisdicción federal de los estados de Baja California y Baja California Sur.	21 de diciembre de 1993
005-PESC-1993	Para regular el aprovechamiento de las poblaciones de las distintas especies de abulón en aguas de jurisdicción federal de la Península de Baja California.	21 de diciembre de 1993
006-PESC-1993	Para regular el aprovechamiento de todas las especies de langosta en las aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe, así como del Océano Pacífico incluyendo el Golfo de California.	31 de diciembre de 1993
MODIFICACION	Se modifican los apartados 3.4 y 3.5.	1º de julio de 1997
007-PESC-1993	Para regular el aprovechamiento de las poblaciones de erizo rojo en aguas de jurisdicción federal del Océano Pacífico de la costa oeste de Baja California.	21 de diciembre de 1993
008-PESC-1993	Para ordenar el aprovechamiento de las especies de pulpo en las aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe.	21 de diciembre de 1993
009-PESC-1993	Establece el procedimiento para determinar las épocas y zonas de veda para la captura de diferentes especies de la flora y fauna acuáticas en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	4 de marzo de 1994

**Tabla 5.10 Normas y proyectos de Normas Oficiales Mexicanas Pesqueras (continuación)**

<b>NOM</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Fecha de publicación en el DOF</b>
010-PESC-1993	Establece los requisitos sanitarios para la importación de organismos acuáticos vivos en cualesquiera de sus fases de desarrollo, destinados a la acuicultura u ornato en el territorio nacional.	16 de agosto de 1994
011-PESC-1993	Para regular la aplicación de cuarentenas, a efecto de prevenir la introducción y dispersión de enfermedades certificables y notificables, en la importación de organismos acuáticos vivos en cualesquiera de sus fases de desarrollo, destinados a la acuicultura u ornato en los Estados Unidos Mexicanos.	16 de agosto de 1994
012-PESC-1993	Por la que se establecen medidas para la protección de las especies de totoaba y vaquita en aguas de jurisdicción federal del Golfo de California.	29 de junio de 1994
013-PESC-1994	Para regular el aprovechamiento de las especies de caracol en aguas de jurisdicción federal de los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán.	21 de abril de 1995
015-PESC-1994	Para regular la extracción de las existencias naturales de ostión en los sistemas lagunarios estuarinos del estado de Tabasco.	24 de abril de 1995
016-PESC-1994	Para regular la pesca de lisa y liseta o lebrancha, en aguas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California y del Golfo de México y Mar Caribe.	24 de abril de 1995
017-PESC-1994	Para regular las actividades de la pesca deportivo-recreativa en las aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	9 de mayo de 1995
001-PESC-1994 En proceso de cambio por 018-PESC-1994	Para regular el aprovechamiento de los recursos pesqueros en el embalse de la presa El Cuchillo-Solidaridad, ubicada en el Municipio de China, Nuevo León.	14 de octubre de 1994
023-PESC-1996	Que regula el aprovechamiento de las especies de túnidos con embarcaciones palangreras en aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe.	4 de agosto de 1997
Proyecto de NOM-001-PESC-2000	Para la pesca responsable de túnidos. Especificaciones para lances de pesca de túnidos asociados a delfines.	7 de mayo de 2000



El desarrollo y puesta en práctica de un marco legal que regule el aprovechamiento del recurso pesquero del país es un elemento importante de la administración de la pesca, sin embargo, por sí sólo no garantiza el uso y manejo racional, ni la protección y conservación del recurso. Por ello, un sistema integral de gestión debe contemplar, además, los puntos de interés de los diferentes sectores sociales y las interacciones de los mismos, un adecuado sistema de inspección y vigilancia que respalde el esquema jurídico, así como la consideración de los aspectos biológicos y ecosistémicos que aseguren la sustentabilidad de las diferentes pesquerías.

Para verificar el cumplimiento de la normatividad ambiental, la Dirección General de Inspección y Vigilancia de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (Conapesca) mantiene tanto un programa de inspección y vigilancia, como un programa de apoyo permanente para la resolución apropiada de los conflictos vinculados con el aprovechamiento de los recursos pesqueros (Sagarpa, 2001). Otras dependencias del Ejecutivo Federal también participan en este sentido, como la Secretaría de Marina (Semar) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa). Ambas tienen la capacidad de intervenir en las acciones de verificación y el cumplimiento de las disposiciones legales en embarcaciones, instalaciones para el procesamiento, almacenamiento, conservación y comercialización de productos pesqueros, así como en los equipos, vehículos, artes de pesca y productos pesqueros.

A este respecto, el número de inspecciones y operativos alcanzó sus valores más altos entre 1992 y 1994, y a partir de entonces ha registrado un importante descenso (asociado a una menor disponibilidad de recursos para tales actividades), mientras que los aseguramientos de equipos y artes de pesca y las certificaciones se han incrementado (Figura 5.45, Cuadro D4 PROFEPA01 04). Las actividades de inspección y certificación de los DET en la pesca camaronesa (las cuales se iniciaron en 1996) se han concentrado en Sonora, Sinaloa, Baja California, Baja California Sur y algunos de los estados del Golfo de México (Veracruz y Campeche), los cuales corresponden a algunos de los mayores

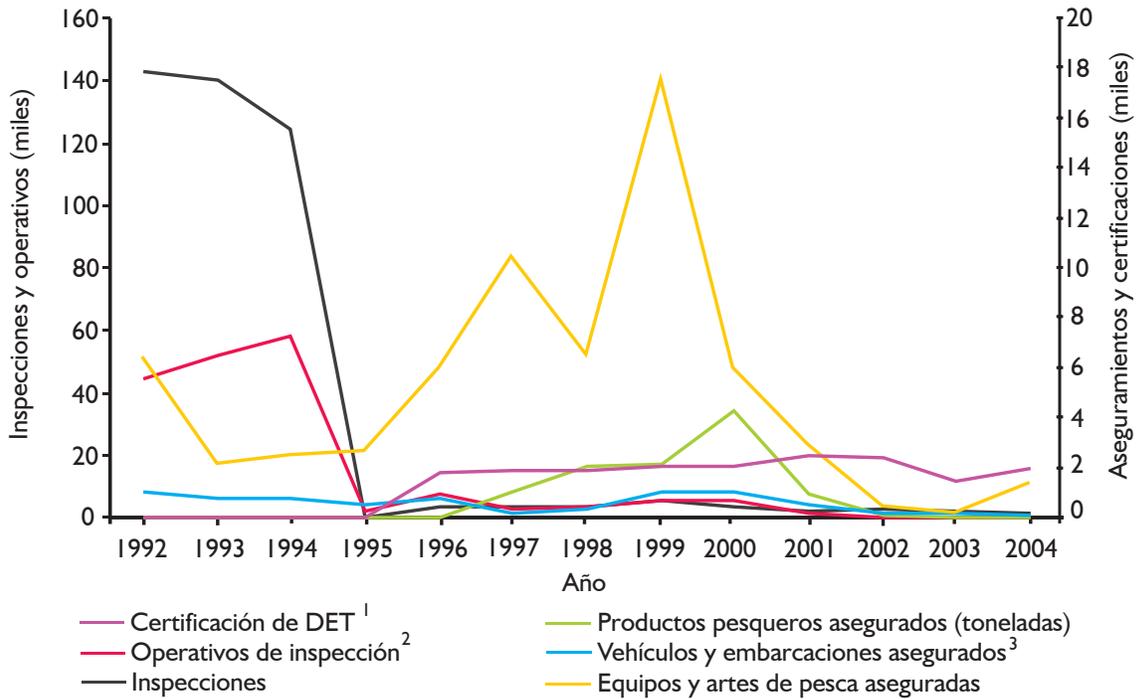
productores de camarón (Mapas 5.15 y 5.16, Cuadro D4 PROFEPA01 09). Los estados del país, así como algunos municipios, también participan en la inspección y vigilancia pesquera y en operativos especiales (Sagarpa, 2001). Sin embargo, aún no se consolida un sistema eficiente de información sobre el seguimiento y cumplimiento de la normatividad y disposiciones legales en materia pesquera.

Ante el agotamiento paulatino de muchos recursos marinos, la promoción de fuentes alternativas de producción es una forma de reducir la presión sobre la vida silvestre. La acuicultura, además de contribuir a disminuir la presión sobre los recursos pesqueros silvestres, representa una posibilidad para ampliar la oferta y seguridad alimentaria del país, generar divisas y estimular el desarrollo regional (Sagarpa, 2001).

La acuicultura es hoy en día el sector de producción de alimentos que ha crecido más rápidamente en el mundo, con una tasa de crecimiento superior al 11% anual desde 1984. Este crecimiento es tres veces mayor que el registrado para la producción de la carne terrestre en granjas (3.1%) y más de diez veces superior al de la producción por las capturas pesqueras mundiales (0.8%) (FAO, 2004). Si bien México aún está lejos de otros países en cuanto a su producción acuícola, se han dado avances importantes en este sentido a lo largo de las últimas décadas. La tasa de crecimiento de su productividad se encuentra entre las diez más grandes del mundo; su crecimiento de 16.9% se encuentra sólo ligeramente por debajo del de Brasil y Chile (con tasas de 18.1 y 18% respectivamente) (FAO, 2004).

La acuicultura en México se ha desarrollado en todas las regiones del país, usando prácticas diversas, extensivas con sistemas abiertos y cerrados, así como intensivas y semi-intensivas, en jaulas, encierros, líneas suspendidas, estanques artesanales de tierra, canales de corriente rápida, estanques de concreto, cubiertas plásticas y otras tecnologías disponibles para criar especies acuáticas para el autoconsumo o comercio de sus productos.

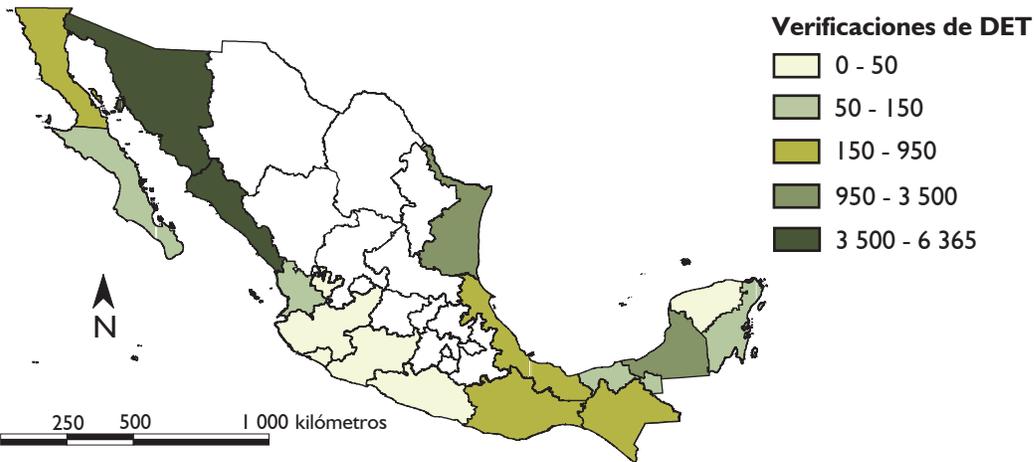
Figura 5.45 Inspección y vigilancia de los recursos pesqueros en México, 1992-2004



<sup>1</sup> DET, Dispositivos Excluidores de Tortugas.  
<sup>2</sup> No hay datos para 1995.  
<sup>3</sup> Para 1997 sólo incluye embarcaciones.

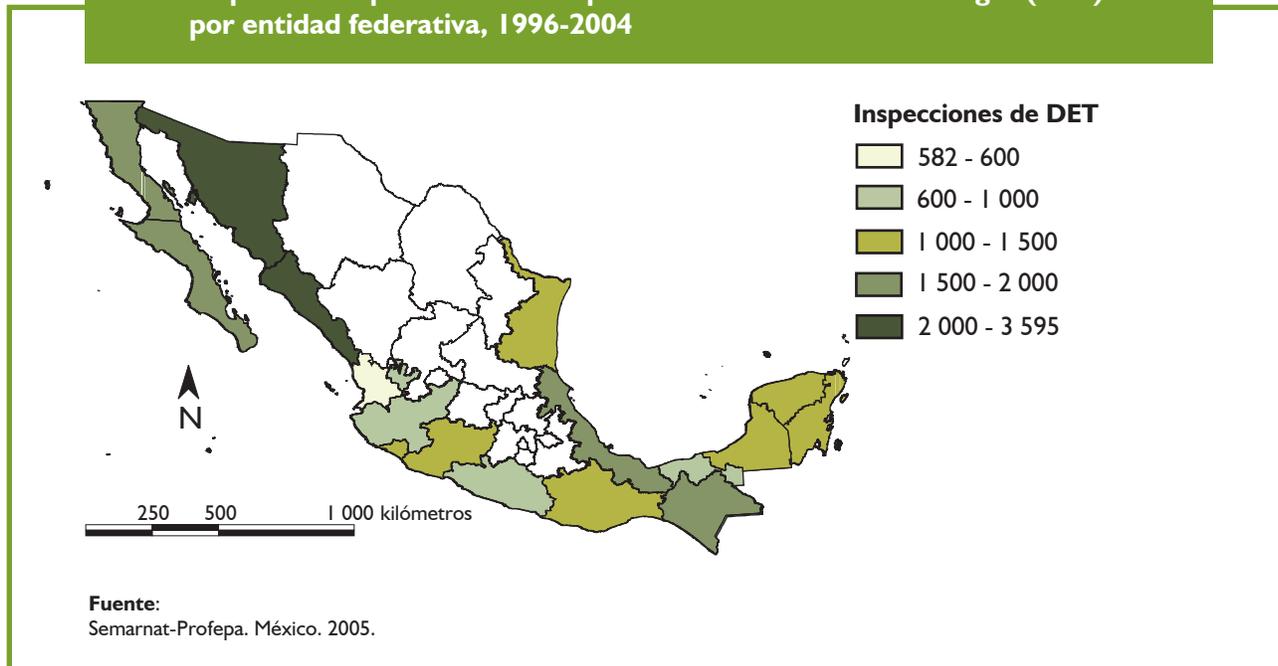
Fuente:  
 Semarnat - Profepa. México. 2005.

Mapa 5.15 Verificaciones de Dispositivos Excluidores de Tortugas (DET) por entidad federativa, 1996-2004



Fuente:  
 Semarnat-Profepa. México. 2005.

### Mapa 5.16 Inspecciones de Dispositivos Excluidores de Tortugas (DET) por entidad federativa, 1996-2004



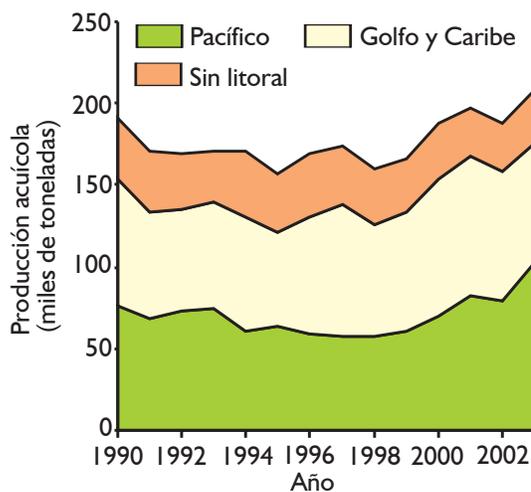
La actividad se basa particularmente en el cultivo de siete especies introducidas: carpas chinas, tilapias, bagre, trucha, langostinos, ostras japonesas, mejillones y cinco de especies nativas: camarón blanco del Pacífico, la ostra americana, abulón, almejas y langostinos. En la mayor parte de los casos la tecnología utilizada ha sido importada y adaptada a las condiciones locales.

Como en otras partes del mundo, la acuicultura incluye actividades de repoblación en ambientes naturales y artificiales de crías y juveniles de peces producidos en centros piscícolas. La acuicultura extensiva en México se ha desarrollado exitosamente con impactos positivos sobre la captura pesquera en aguas continentales, donde los embalses son compartidos con acuicultores que utilizan jaulas y encierros para la engorda de tilapias, bagres y otras especies de valor comercial.

Los recursos que pueden ser aprovechados mediante esta actividad económica en el país incluyen 64 especies: 26 especies de peces dulceacuícolas (9 nativas, 14 introducidas y 3 híbridas), 5 especies de peces marinos nativos, 14 de moluscos marinos y salobres (12 nativos y 2 introducidas), 6 de crustáceos dulceacuícolas (4 nativos y 2 introducidos), 7 de crustáceos marinos nativos y 6 especies de anfibios (5 nativos y una introducida) (DOF, 2004).

El volumen de producción generado por la acuicultura nacional en el 2003 fue de 207 mil 776 toneladas (Figura 5.46, Cuadro D2 PESCA02 01). De este total, el litoral del Pacífico participó con 49.4%, la región del Golfo y el Caribe con 35.4% y las entidades sin litoral contribuyeron con 15.2%.

**Figura 5.46 Producción acuícola en peso vivo en México por litoral, 1990-2003**



**Fuente:**  
Sagarpa. Anuario Estadístico de Pesca 2003. México. 2005.

En 2003, el estado que tenía la mayor producción acuícola (en miles de toneladas) fue Veracruz (41.1), seguido por Sonora (32.7), Sinaloa (28.2), Tabasco (25.1) y Michoacán (16.7) (Mapa 5.17, Cuadro D2 PESCA02 02). El producto más importante obtenido por la acuicultura durante 2003 fue el camarón (62 mil 300 toneladas), seguido por la mojarra (61 mil 500 toneladas) y el ostión (48 mil 200 toneladas). Estas tres especies representaron 80% del volumen total de la producción nacional de acuicultura para dicho año (Figura 5.47, Cuadro D2 PESCA02 03).

Si se considera la producción nacional por especie, el ostión y la mojarra son obtenidos casi en su totalidad por la acuicultura (96% y 92%, respectivamente) mientras que en el caso del camarón, la producción acuícola representa el 50% de la producción total (Figura 5.46). Existen otras especies para las cuales la actividad de acuicultura representa un alto porcentaje de su producción nacional, como en el caso de la carpa (79%), lobina (75%), bagre (64%) y la trucha (48%) (Figura 5.48).

Las actividades acuícolas en México se han desarrollado fundamentalmente bajo el enfoque de

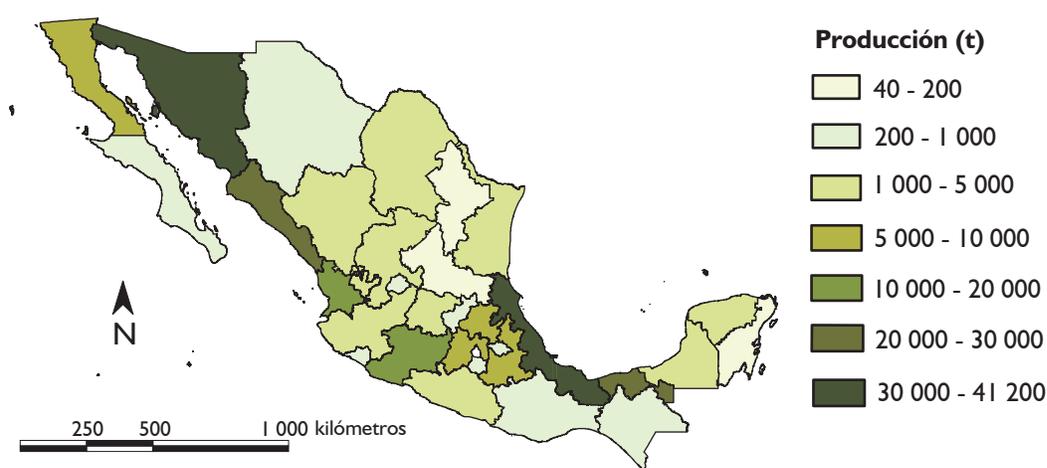
la piscicultura de siembra o repoblación (en especial en el área dulceacuícola) y en menor escala en el cultivo de especies de aguas marinas y salobres. A pesar de que esta actividad ha crecido de manera importante y ha generado beneficios sociales y económicos significativos, en la mayor parte de los casos sigue arrastrando una carencia en apoyo técnico y económico, lo que se refleja en cultivos que son de tipo extensivo de rendimiento bajo. Es por ello que recientemente se le ha prestado mayor atención al tema de capacitación y asistencia técnica para aprovechar el potencial de la actividad e incrementar su productividad sin deteriorar el ambiente (Sagarpa, 2001) (véase *La acuicultura y sus efectos ambientales*).

### Referencias

Alvarez-Torres, P., Díaz de León-Corral, A., Ramírez-Flores, O., & Bermúdez, E. 2002. National Fisheries Chart: A New Instrument for Fisheries Management in Inland Waters. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 317-326.

Arreguín-Sánchez, F. *Investigaciones orientadas al manejo de recursos pesqueros: Conceptos y*

Mapa 5.17 Producción acuícola por entidad federativa, 2003



Fuente:  
Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca* 2003. México. 2005.

## La acuicultura y sus efectos ambientales

La acuicultura consiste en la producción de plantas o animales acuáticos en sistemas controlados donde su crecimiento es manejado o mejorado por el hombre. Los principales organismos cultivados son peces, moluscos y crustáceos, pero otras especies también se cultivan en menores cantidades. La acuicultura aporta la tercera parte de la producción pesquera mundial y es uno de los sectores de más rápido crecimiento desde finales de la década de los 80. Aunque es vista como una alternativa para satisfacer la necesidad de alimento de muchos países tropicales, tiene numerosos efectos sobre los ecosistemas acuáticos donde se desarrolla.

Muchas de las actividades de acuicultura aún dependen de la colecta de simientes de recursos silvestres, debido a que el ciclo de vida de algunas especies acuáticas es complejo o no es conocido en su totalidad. Esto implica el abastecimiento de huevos, larvas, juveniles o inclusive adultos obtenidos de su hábitat natural. Esta práctica puede afectar a las poblaciones naturales de las especies de cultivo y producir daños indirectos al hábitat al colocar redes e infraestructura para la colecta. También puede ocurrir la captura incidental de individuos de otras especies que coexisten con la especie objetivo en el ambiente natural. Otro tipo de captura incidental se produce durante el bombeo de agua desde diversos sistemas acuáticos para abastecer los estanques de cultivo. Esta operación absorbe, junto con el agua, plancton y larvas, juveniles y adultos de numerosos organismos que quedan atrapados en los filtros y sistemas de captación de agua.

Generalmente los peces y crustáceos son cultivados en estanques construidos a la orilla de ríos, lagunas y estuarios, o en jaulas o encierros en cuerpos de agua modificados

para tal propósito. Esto ha ocasionado considerables daños en los ecosistemas costeros, particularmente en los manglares y otras comunidades de vegetación nativa, así como cambios en el flujo natural de los ríos. Además, la construcción de infraestructura permanente o semi-permanente para mantener el cultivo y la infraestructura de apoyo (camino, alojamiento, conductos, infraestructura para energía, etc.) incrementan el área de afectación al ecosistema. Entre las perturbaciones indirectas se incluyen los cambios de la salinidad del suelo y de los depósitos de agua dulce y la alteración de la carga de sedimentos en sistemas acuáticos adyacentes, cambios en la productividad, el abatimiento de la pesca costera y la afectación a ecosistemas marinos como los arrecifes de coral, debido al incremento erosivo y cambios en los patrones de sedimentación litoral.

Una vez utilizada, el agua residual se descarga a los cuerpos de agua adyacentes. El efecto de los desechos derivados de la actividad acuícola sobre el ecosistema depende de la modalidad e intensidad de cultivo. Los cultivos extensivos generalmente no requieren adiciones de nutrientes (fertilizantes) o químicos al sistema o bien son mínimos y generalmente son reciclados en el sistema. En cambio, los cultivos intensivos requieren gran provisión de nutrientes y químicos. Se estima que la eficiencia de estos sistemas es de 20%, por lo que hasta 80% de estos insumos resultan en desechos que rebasan la capacidad de asimilación de los sistemas acuáticos. En términos generales, las descargas pueden contener: desechos sólidos particulados, desechos solubles y desechos químicos/tóxicos, provenientes de material fecal y excretas, alimento no consumido, medicamentos, antibióticos y químicos como

## La acuicultura y sus efectos ambientales (continuación)

antiparasitarios, funguicidas, herbicidas y desinfectantes utilizados para el control del cultivo. El agua residual descargada con un alto contenido de nutrientes puede ser responsable de fenómenos de eutrofización, florecimientos de microalgas nocivas, mortalidad de peces, envenenamiento de invertebrados y pérdida de vegetación sumergida. El uso de pesticidas y antibióticos durante la operación de las granjas acuícolas puede conducir a su acumulación en los sedimentos y en los tejidos de organismos silvestres. También pueden provocar efectos subletales o mortalidad directa de organismos silvestres.

La implementación de sistemas de recirculación y tratamiento de aguas en sistemas intensivos mitigan los efectos ambientales negativos asociados, asimismo, el grado de impacto al ambiente por estos factores depende de la capacidad de dispersión y dilución natural del ecosistema, ya que los efectos de los desechos dependen de su concentración y permanencia.

La introducción deliberada para el mejoramiento y cría de stocks en ecosistemas naturales, la liberación inadvertida de organismos de cultivo y la repoblación para potenciar la producción pesquera, así como la introducción de especies exóticas pueden ocasionar efectos dañinos sobre las poblaciones naturales. La hibridización de las especies de cultivo con las poblaciones silvestres, y las interacciones ecológicas (competencia, depredación, etc.) entre los especímenes liberados y las poblaciones nativas, o la dispersión de enfermedades, son algunos de los efectos que pueden conducir a la reducción del tamaño y distribución de las poblaciones silvestres.

Recientemente, el cultivo de especies de ornato constituye un serio riesgo a la biodiversidad, ya que además de las cinco o seis especies exóticas introducidas con fines de alimentación, la diversidad de especies e híbridos producidos por los acuaristas es muy grande, alcanzando más de ciento cincuenta especies comerciales que provienen de diversos continentes. En algunas de las cuencas donde existen instalaciones de producción de estas especies se ha registrado el establecimiento de especies exóticas y el consecuente desplazamiento de las especies nativas.

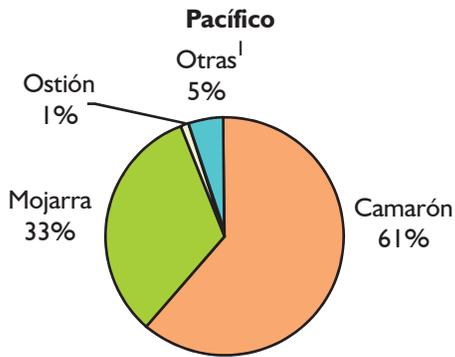
### Fuentes:

Nganyi, J. *What is aquaculture?* en UNEP-WCMC. UN Atlas of the Oceans. UNEP-WCMC. 2002. Disponible en <http://www.oceansatlas.org/index.jsp>

Paez-Osuna, F. The environmental impact of shrimp aquaculture: causes, effects, and mitigating alternatives. *Environ. Manage.* 2001 Jul. 28(1):131-40.

EJF. *Farming the Sea – unregulated shrimp farming, the environment and people.* Environmental Justice Foundation. Información disponible en : <http://www.ejfoundation.org/>

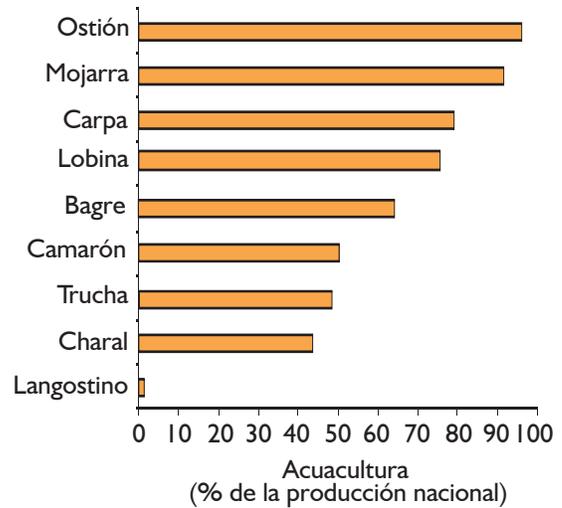
**Figura 5.47 Producción acuícola en México por especie y litoral, 2003**



<sup>1</sup>Incluye abulón, almeja, atún, catán, mejillón, robaleta, rana, mojarra de agallas azules, pámpano y peces de ornato.

**Fuente:** Sagarpa. Anuario Estadístico de Pesca 2003. México. 2005.

**Figura 5.48 Contribución de la acuicultura a la producción pesquera nacional según especies, 2003**



**Fuente:** Sagarpa. Anuario Estadístico de Pesca 2003. México. 2005.

experiencias de instituciones de enseñanza superior. En: Morán-Angulo, R.E.; Santos-Guzmán, S.; Bravo-Mercado, M.T. y Ramírez-Zavala, J.R. (Eds.). Manejo de recursos pesqueros. Reunión Temática Nacional. Universidad Autónoma de Sinaloa. Sin., México. 278-281. 2002.

Capurro, L., J. Euán, J. Herrera. Manejo sustentable del ecosistema costero de Yucatán. *Avance y Perspectiva* 21. 195-204. 2002.

Carranza-Edwards. A. Consideraciones ambientales del litoral en el Golfo de México. *Apuntes del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM. México. 2004.

Cemda-Cespedes. *Deforestación en México: causas económicas e incidencias en el comercio internacional*. Cespedes. México. 2002.

Challenger, A. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*. Conabio-IB-UNAM-Sierra Madre. México. 1998.

CIAT. Revisión de evaluaciones de poblaciones de



2004. En: 6° Reunión de trabajo. La Jolla, California (EE.UU.). 2-6 de mayo de 2005.

Conabio. *La diversidad biológica de México: estudio de país*. México. 1998.

Conafor. *Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable de los Recursos Forestales en México. Balance de tres años de ejecución. Anexo 2*. México. 2000.

Conafor. *Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable de los Recursos Forestales en México. Informe anual*. México. Ediciones 2001 y 2002.

Davis, D. y D. F. Gartside. Challenges for economic policy in sustainable management of marine natural resources. *Ecological Economics* 36 (29):233-236. 2001.

Díaz-de-León-Corral, A., G. Alcantar-López, P. Álvarez-Torres, L. Gutiérrez-Mariscal, D. Pedroza-Paéz, S. Cortina, M. Ibáñez y G. Brachet. Valoración, uso y perspectivas de la biodiversidad marina: compartiendo experiencias entre México y Latinoamérica. En: Figueroa, E. (Ed.). *Biodiversidad Marina: Valoración Usos y Perspectivas ¿Hacia dónde va Chile?* Editorial Universitaria S.A. 2005. Disponible en: <http://faostat.fao.org/faostat/>

DOF. Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*. México. 2004 (15 de marzo).

DOF. Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*. México. 2000 (17 de agosto).

DOF. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. *Diario Oficial de la Federación*. México. 2003 (25 de febrero).

Doulman, D.J. *Observaciones sobre la situación de la pesca en el mundo*. FAO. Departamento de pesca. Roma. 2003.

FAO. *Bases de datos estadísticos de la FAO*. Roma. 2005.

FAO. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura* 2002. FAO. Roma. 2002.

FAO. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura* 2004. FAO. Roma. 2004.

FAO. *Información sobre la Pesca Responsable en el Ecosistema Marino*. Conferencia de Reykjavik. Holanda. 2001.

FAO. *La pesca continental*. Roma. 2003.

FAO. *Sistema de Información Forestal (Foris)*. S/F. 2005. Información disponible en: <http://www.fao.org/forestry/index.html>

FAO. *Situación de los bosques del mundo 2005*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 2005. Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/index.jsp>

FIRA. *Boletín Informativo*. México. 1997.

FIRA. *Boletín Informativo*. México. 2000.

García-Calderón, J. L., Lanza-Espino, G. e Ibáñez-Aguirre, A.L. Las aguas epicontinentales de México y sus pesquerías. En: Pérez-Velázquez, P. A.; Cruz-Suárez, L. E.; Bermúdez-Rodríguez, E. A.; Cabrera-Mancilla, E. y Gutiérrez-Zavala, R. M. (Comp). *Pesquerías en tres cuerpos de aguas continentales de México*. INP-Sagarpa. México. 2002.

Gómez, C. M. *Gestión de los Recursos Pesqueros*. Universidad de Alcalá. España. 2003.

Gómez, V. *México y sus recursos pesqueros ante el tratado de libre comercio*. SECON. México. 2002.

Hernández, A. y W. Kempton. 2003. Changes in Fisheries management in Mexico: Effects of increasing scientific input and public Participation. *Ocean & Coastal Management* 46: 507–526. 2003.

INP. *Sustentabilidad y pesca responsable en México*. Instituto Nacional de la Pesca. México. 1999.



- INP-Conapesca. *Apuntes del plan de manejo para la pesquería del camarón del litoral pacífico mexicano*. Instituto Nacional de la Pesca. México. 2001.
- PNUMA. *Conservación y Gestión de los Recursos*. Brasil. 1994.
- Rojas, E. *Estudio del fenómeno de El Niño*. Perú. 2000. Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/elnino/>
- Sagarpa. *Programa Sectorial de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación 2001-2006*. México. 2001.
- Sagarpa-INP. *CRIP-Guaymas. Memorias del 1° Foro Científico de Pesca Ribereña*. Octubre 17-18, 2002. Guaymas, Son. México. 2002.
- SARH. *Inventario nacional forestal periódico 1992-1994*. Memoria nacional. SARH. México. 1994.
- Semarnap-INP. *Sustentabilidad y pesca responsable en México: Evaluación y manejo, 1999-2000*. Instituto Nacional de la Pesca. México. 2001.
- Semarnap. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal, 1997*. México. 1999.
- Semarnap. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal, 1998*. México. 2000.
- Semarnap. *Programa estratégico*. Semarnap. México. 1997.
- Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal*. Años 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003. México. Varios años.
- Semarnat-Conafor. *Avances y perspectivas del sector forestal*. Conafor. México. 2002.
- Semarnat-Conafor. *Gestión comunitaria para el uso sustentable de los bosques*. México. 2003.
- Somma, A. *Consecuencias ambientales y costos económicos del agotamiento de los océanos del mundo*. Oficina de Pesquerías Sostenibles. Servicio Nacional de Pesquerías Marinas. Gobierno de los Estados Unidos. 2003.
- Sosa-Nishizaki, O. *Impactos de "El Niño" en las pesquerías*. CICESE. México. 1999.
- Villaseñor-Talavera, R. *Mecanismos para la regulación y control de la pesca*. En: Morán-Angulo, R.E.; Santos-Guzmán, S.; Bravo-Mercado, M.T. y Ramírez-Zavala, J.R. (Eds.). *Manejo de recursos pesqueros*. Reunión Temática Nacional. Universidad Autónoma de Sinaloa. México. 431-448. 2002.
- Wiefels, R. *Consumo de pescado y estrategias de comercialización para los productos acuícolas*. *Infopesca Internacional* 16: 4-6. 2003.
- WRI. *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Forest Ecosystems*. Estados Unidos. 2000.





# Capítulo 6. Atmósfera

## Capítulo 6. Atmósfera



La industrialización ha tenido impactos positivos en la sociedad al brindarle medios para que las personas disfruten una vida más cómoda. Sin embargo, también ha tenido efectos negativos al provocar la degradación ambiental, principalmente por la generación de contaminantes. El rápido crecimiento poblacional y los patrones de consumo son factores que han propiciado la sobreexplotación de los recursos naturales y la degradación ambiental (WRI, 1998; PNUMA, 2003). Los residuos de las diferentes actividades humanas se han descargado al ambiente con la idea de que los ecosistemas tendrían la capacidad de absorberlos o “limpiarlos” sin que se generaran problemas posteriores. El resultado es que hoy en día las huellas de la actividad humana son evidentes en prácticamente cualquier lugar, por más alejado que se encuentre; ejemplo de ello son los problemas atmosféricos que se presentan a lo largo del planeta. Los más importantes, por sus efectos sobre la salud de la población y los ecosistemas naturales, son la disminución de la calidad del aire, el proceso de cambio climático y la reducción del espesor de la capa de ozono estratosférico (WRI, 1998; UNEP, 1999; PNUMA, 2003).

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

Además de los efectos de las emisiones de contaminantes a la atmósfera a nivel local, en la salud de las personas o en el estado de sus pertenencias (como el deterioro de los monumentos arquitectónicos), también se encuentran los efectos a nivel regional, como la afectación de los bosques y ecosistemas acuáticos debido a las lluvias ácidas (como ocurrió en el norte de Europa y está sucediendo actualmente en China) o, incluso, a nivel mundial, como el cambio climático y la reducción del espesor de la capa de ozono estratosférico, cuyos efectos más evidentes se manifiestan en Antártica y otras regiones del planeta (PNUMA, 2002).

Ante este escenario, resulta fundamental contar con información confiable y actual de los temas más relevantes relacionados con la atmósfera. En particular se requiere de un diagnóstico de la situación de la calidad del aire en México (en las principales ciudades y zonas urbanas del país), así como una evaluación del papel de nuestra nación ante dos de los grandes problemas mundiales: el cambio climático global y la reducción del espesor de la capa de ozono. En este contexto, el presente capítulo incluye información sobre el inventario de emisiones de contaminantes a la atmósfera, la normatividad vigente relacionada con los principales contaminantes y una descripción de la calidad del aire en las ciudades y zonas urbanas más importantes del país en los últimos años. Además, se añade información reciente del problema del cambio climático global y la disminución del espesor de la capa de ozono estratosférico, considerando tanto las acciones que ha tomado México al respecto como las posibles consecuencias en el territorio nacional.



## Calidad del aire

### Inventarios de emisiones

La calidad del aire en una zona determinada, además de ser afectada por factores climáticos y geográficos, tiene una relación directa con el volumen de los contaminantes emitidos localmente a la atmósfera. Por ello, un componente indispensable para el diseño y la aplicación de cualquier programa para controlar el problema de la contaminación del aire, es la información sobre las principales fuentes de contaminantes atmosféricos y los volúmenes emitidos por cada uno de los sectores.

En México, los antecedentes de los inventarios de emisiones se remontan al año de 1988, cuando se implementó el Sistema Nacional del Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas, así como el estudio encaminado a cuantificar las emisiones en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), este último patrocinado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón. A partir de esa fecha se han ampliado los datos sobre emisiones de tal forma que, actualmente, se tiene información relacionada con las emisiones de fuentes fijas para las principales zonas urbanas del país y algunos corredores industriales.

La metodología básica para elaborar los inventarios de emisiones fue desarrollada por el Instituto Nacional de Ecología e incluye manuales técnicos que han permitido uniformar los criterios y métodos de estimación de las emisiones, con el fin de que los inventarios sean comparables en el tiempo y entre lugares diferentes. Los inventarios están formados por las estimaciones de todas las emisiones de contaminantes que se generan en un área determinada; éstas pueden provenir de fuentes fijas, como las industrias; móviles, como los vehículos automotores, y de fuentes naturales, como el suelo y la vegetación. Para fines prácticos se pueden clasificar por tipo de fuente: industria, generación de electricidad, servicios, transporte y fuentes naturales (Recuadro D3 R AIRE01 02), o por sector: fuentes puntuales, de área, móviles y de vegetación y suelo, como se ha hecho para la ZMVM en sus

inventarios (1998 y 2002; véase *¿Quiénes emiten en la Zona Metropolitana del Valle de México?*). A mediados de los años noventa se elaboraron los inventarios disgregados de las principales zonas metropolitanas del país: Valle de México (ZMVM), Guadalajara (ZMG), Monterrey (ZMM) y Valle de Toluca (ZMVT), y de algunas ciudades como Mexicali, Ciudad Juárez y Tijuana.

Aunque se considera que la periodicidad adecuada para la evaluación y actualización de los inventarios de emisiones es de dos años, las dificultades asociadas a la coordinación entre autoridades locales y federales han impedido su actualización regular (Semarnat, 2003); excepto para la ZMVM, de la cual se tienen inventarios para 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002 (GDF, 2005a). Cabe señalar que la metodología empleada en el inventario de 2002 se utilizó para recalcular las emisiones de los inventarios de años anteriores de tal forma que se pudieran comparar; por esta razón, es posible encontrar estimaciones diferentes de las emisiones a la atmósfera generadas en el Valle de México para la misma fecha. En el caso de la ZMVT se cuenta también con el inventario de emisiones de 2002, sin embargo dicho inventario no es comparable con el de 1996, ya que emplea una metodología diferente e incorpora otras fuentes de emisión (fabricación artesanal de tabique rojo, disposición de residuos sólidos municipales y vegetación). Por otro lado, con la publicación del Proaire de Salamanca ahora se cuenta con información sobre las emisiones en esta población y en el Corredor Industrial el Bajío (Semarnat *et al.*, 2004).

Actualmente está en elaboración el primer Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM). Este programa lleva varios años desarrollándose; en 1994 dio inicio con el objetivo de incrementar la capacidad de México para la elaboración de inventarios de emisiones; en 2001 se amplió, orientándose a la elaboración propiamente del INEM, el cual consta de tres fases. Las fases I (planeación) y II (desarrollo del inventario para seis estados del norte) ya han finalizado, mientras que la fase III (inventario de los estados restantes) se encuentra en proceso. Los resultados de

## ¿Quiénes emiten en la Zona Metropolitana del Valle de México?

El inventario de emisiones de la ZMVM considera cuatro grandes categorías de fuentes de emisión de contaminantes:

**1. Fuentes puntuales:** Se refiere a aquellas fuentes que tienen una localización espacial precisa y fija. Esta categoría engloba a la industria en general. De los contaminantes emitidos por este sector, la mayor parte corresponde a compuestos orgánicos totales (COT), seguida por óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). Los COT son emitidos principalmente por las industrias química, de productos de papel e impresión y de productos metálicos. La generación de energía eléctrica, la industria química, de productos metálicos y la industria del papel e impresión son los giros industriales que emiten más  $\text{NO}_x$ .

**2. Fuentes móviles:** Se refiere a aquellas fuentes que no tienen una localización espacial fija, incluye todas aquellas unidades motrices que sirven como medio de transporte (e.g. autos particulares, taxis, microbuses, autobuses, motocicletas, etc.). Las fuentes móviles generan casi la totalidad del monóxido de carbono (CO) emitido a la atmósfera y son responsables de alrededor del 80% de  $\text{NO}_x$ . También contribuyen de manera importante con partículas menores a 10 micrómetros ( $\text{PM}_{10}$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y COT. La mayor cantidad de los contaminantes generados por las fuentes móviles es aportada por autos particulares.

**3. Vegetación y suelos:** Esta categoría incluye las emisiones generadas por ambos elementos; la vegetación libera hidrocarburos (principalmente isoprenos y monoterpenos) y el suelo libera óxidos de nitrógeno, considerados precursores del ozono. También en esta fuente se incluye la erosión eólica del suelo que produce partículas que se liberan

a la atmósfera. Del total de contaminantes generados por esta fuente, la mayor parte corresponde a COT, seguida de  $\text{PM}_{10}$ . En comparación con las otras fuentes de emisión, la vegetación y los suelos emiten una cantidad mucho menor de contaminantes.

**4. Fuentes de área:** Comprende fuentes numerosas y dispersas, por lo que sus emisiones se agrupan en las siguientes categorías: combustión en fuentes estacionarias; fuentes móviles que no circulan por caminos y vialidades; uso de solventes; almacenamiento y transporte de productos derivados del petróleo; fuentes industriales ligeras (que trabajan a pequeña escala) y comerciales; manejo y tratamiento de residuos y fuentes de área misceláneas. Las fuentes de área son las responsables de la mayor parte de las emisiones de COT en la ZMVM (93%); el inventario indica que de éstas 52% son compuestos orgánicos volátiles y 37% es metano. Los COT son generados principalmente por productos comerciales que utilizan solventes, por la degradación de residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios y por el almacenamiento, transporte y uso de derivados del petróleo.

**Fuente:** GDF. *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002*. México, 2005



la segunda fase fueron publicados en 2005 con los datos del Inventario de Emisiones de los Estados de la Frontera Norte de México de 1999, por lo que también se cuenta con información sobre las emisiones en Baja California, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas (Semarnat, 2005; Semarnat-INE, 2005).

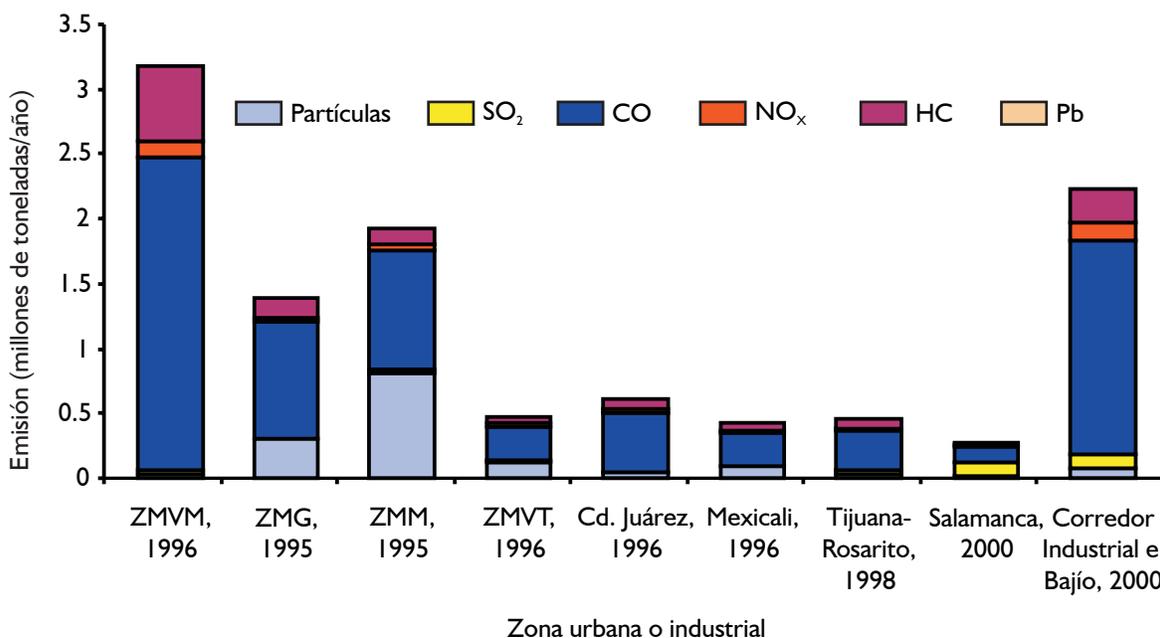
De acuerdo con los inventarios de emisiones realizados a mediados de los años noventa que pueden compararse entre sí (sin considerar a los estados fronterizos y la actualización de los inventarios de la ZMVM y ZMVT, donde se emplearon metodologías diferentes y sus resultados no son del todo comparables), la zona que emitió a la atmósfera la mayor cantidad de contaminantes en 1996 fue la ZMVM con alrededor de 3.1 millones de toneladas<sup>1</sup>, que equivalen a 29% del total emitido por las nueve zonas (Figura 6.1 y Cuadro D3 AIRE01 01). Las otras zonas que tuvieron emisiones importantes fueron: el Corredor Industrial el Bajío

con 2.2 millones de toneladas por año, la ZMM con 1.9 millones de toneladas por año y la ZMG con 1.4 millones de toneladas por año. A estas zonas les siguieron en magnitud de emisiones: Ciudad Juárez, ZMVT, Tijuana-Rosarito, Mexicali y, finalmente, Salamanca.

En todas las zonas el monóxido de carbono (CO) fue el contaminante emitido en mayor proporción (entre 44 y 76%). En ZMG, ZMM, ZMVT y Mexicali el segundo contaminante más emitido fueron las partículas, mientras que en ZMVM, Ciudad Juárez, Tijuana-Rosarito y Corredor Industrial el Bajío fueron los hidrocarburos (HC). En Salamanca el bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) fue el segundo contaminante más emitido (37%) (Figura 6.1 y Cuadro D3 AIRE01 01).

De manera global, considerando a las fuentes generadoras de los contaminantes en las nueve zonas urbanas o industriales examinadas, el transporte es

**Figura 6.1 Emisión de contaminantes en zonas urbanas e industriales, varios años**



**Fuentes:**

Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Manejo Integral de Contaminantes. México. 2002.  
 En: Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, 2002. Compendio de Estadísticas Ambientales*. México. 2003.  
 GEG, GMS, Semarnat, Sener e IEG. *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en Salamanca 2003-2006*. México. 2004.

<sup>1</sup> De acuerdo con la metodología del inventario de 2002, la estimación de las emisiones en 1996 fue de 4.9 millones de toneladas.

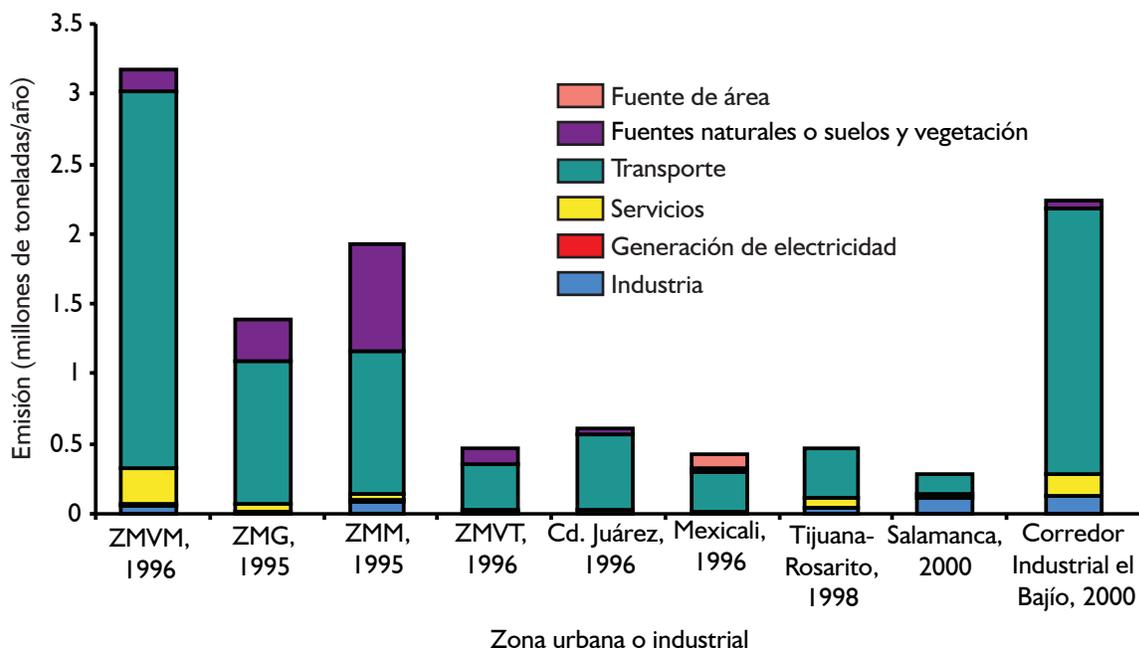


la principal fuente de contaminantes con 75% del volumen total de las emisiones a la atmósfera, con el CO como el principal contaminante emitido por este sector (Figura 6.2 y Cuadro D3 AIRE01 01). Las fuentes naturales contribuyeron con alrededor de 13% del total de emisiones, constituidas básicamente por partículas suspendidas y, en el caso de Salamanca y el Corredor Industrial el Bajío, de CO y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), respectivamente. El sector servicios emitió cerca de 6% y la industria alrededor de 4%.

El sector transporte fue responsable de la mayor parte del total de emisiones de CO (98%), de NO<sub>x</sub> (68%) y de los HC (54%), siendo los vehículos particulares la principal fuente en la mayoría de las zonas metropolitanas; mientras que en Salamanca y el Corredor Industrial el Bajío, la principal fuente fueron los camiones, tractocamiones y autobuses

que utilizan diesel o gasolina como combustible (Cuadros D3 AIRE01 01 y D2 TRANSPOR02 02). Las fuentes naturales y principalmente el suelo desprovisto de vegetación fueron responsables de más de 80% de las emisiones de partículas suspendidas. Por su parte, la industria contribuyó con cerca de 90% del SO<sub>2</sub> y de un poco más de 12% de los NO<sub>x</sub> emitidos a la atmósfera, resaltando por el volumen de emisiones la industria química, la mineral no metálica y la de productos metálicos. El sector servicios produce fundamentalmente HC (más de 30% del total emitido), siendo sus fuentes principales el consumo de solventes y las fugas que ocurren tanto en las estaciones de servicio de combustibles como durante la distribución y almacenamiento del gas LP de uso doméstico. En la ZMVM los HC no completamente quemados también contribuyen de manera importante a la contaminación atmosférica (Cuadro D3 AIRE01 01).

**Figura 6.2 Emisión de contaminantes en zonas urbanas e industriales por fuente, varios años**



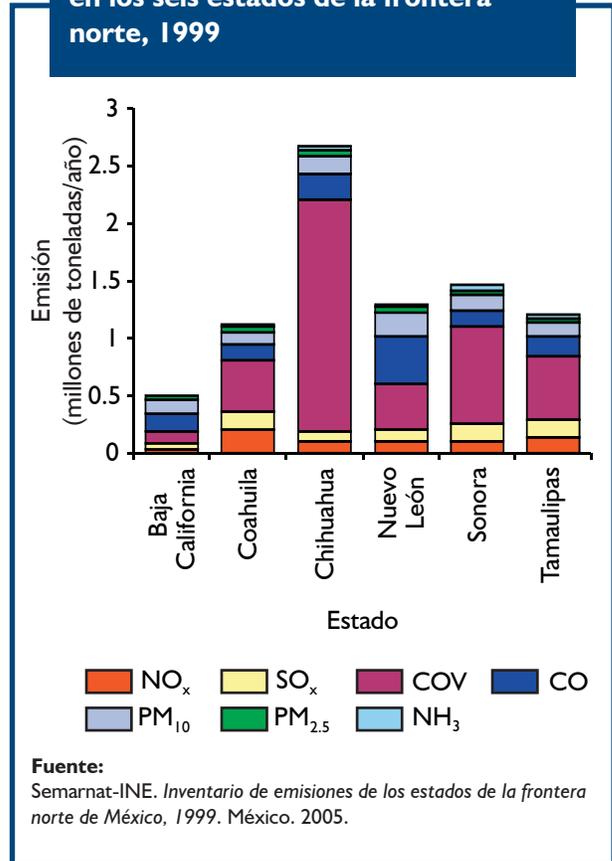
**Fuentes:**

Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Manejo Integral de Contaminantes. México. 2002.  
En: Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, 2002. Compendio de Estadísticas Ambientales*. México. 2003.  
Semarnat-INE, GEG, GMS. *Programa para mejorar la calidad del aire en Salamanca*. México. 2004.

En términos generales, la mayor cantidad de emisiones en la ZMG corresponde a CO, con casi 900 mil toneladas por año debido, como en las demás ciudades, a la enorme cantidad de vehículos de uso particular, de transporte de pasajeros y de carga. La emisión de partículas provenientes del suelo también alcanza valores considerables, representando cerca de 22% de las emisiones totales. La ZMM tiene, además de una gran cantidad de emisiones asociadas al transporte, la mayor emisión de partículas, que se estimó en un poco más de 800 mil toneladas por año, valor que supera en más de 20 veces al de la ZMVM y es más del doble de lo estimado para la ZMG. Otro rasgo de la ZMM es que la contribución total de emisiones por la industria es superior también al registrado en la ZMVM y ZMG. Por su parte, la ZMVT, Ciudad Juárez, Mexicali y Tijuana-Rosarito tienen emisiones muy por debajo de las grandes urbes, pero siguen el mismo patrón, esto es, altas emisiones de CO, HC y NO<sub>x</sub> asociados al transporte y de SO<sub>2</sub> a la industria donde ésta se encuentra instalada, como en la ciudad de Toluca. Con el desarrollo de los recientes inventarios de Salamanca y Corredor Industrial el Bajío resalta la contribución de la industria en la emisión de SO<sub>2</sub>, lo cual coloca a dichas zonas en los primeros lugares de emisión de este contaminante, incluso por arriba de las grandes zonas urbanas. Además, el Corredor Industrial el Bajío emitió la mayor cantidad de NO<sub>x</sub> (de las nueve zonas aquí presentadas) y fue la segunda zona, después de la ZMVM, en cantidad de emisiones a la atmósfera de CO y HC, siendo el transporte la principal fuente en todos los casos (Figuras 6.1 y 6.2 y Cuadro D3 AIRE01 01).

De acuerdo con el inventario de emisiones de los estados de la frontera norte de México para 1999, Chihuahua es el estado con la mayor cantidad de emisiones (más de 2.6 millones de toneladas por año, que representan 32% de las emisiones totales de los seis estados), siendo la mayor parte de compuestos orgánicos volátiles (COV) (Figura 6.3). En contraste, Baja California es el estado que emitió la menor cantidad de contaminantes con 506 mil toneladas por año (6% del total). En Coahuila se emitió la mayor cantidad de NO<sub>x</sub> debido principalmente

**Figura 6.3 Emisión de contaminantes en los seis estados de la frontera norte, 1999**



a la influencia de dos centrales carboeléctricas (Semarnat-INE, 2005). Mientras tanto, los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) se emitieron principalmente en Coahuila, Sonora y Tamaulipas, como consecuencia del uso de combustibles con elevado contenido de azufre en centrales eléctricas (Semarnat-INE, 2005). Destaca el caso de Chihuahua, que emitió 46% del total de COV, principalmente de origen biogénico, aunque debe considerarse que la entidad cuenta con un extenso territorio y suelos áridos (Semarnat-INE, 2005). En Nuevo León se generó la mayor cantidad de emisiones de CO, partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) (32, 24 y 23% respectivamente del total emitido en la frontera), provenientes de vehículos automotores en el caso del CO y de la resuspensión de polvo de caminos pavimentados y no pavimentados (Semarnat-INE, 2005). Finalmente, Sonora emitió alrededor de la cuarta parte del total de NH<sub>3</sub> (amoníaco), como consecuencia de la intensa actividad ganadera que

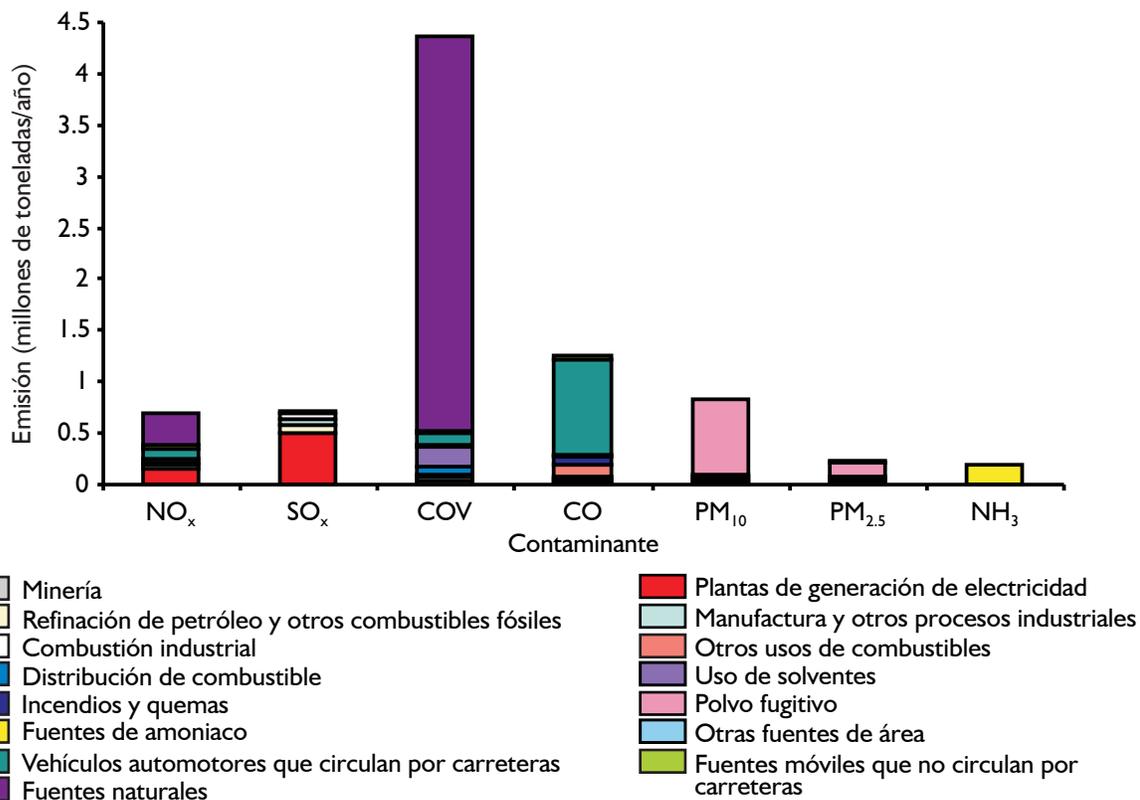


tiene lugar en este estado (Semarnat-INE, 2005).

Por otro lado, si se analizan las emisiones para toda la frontera norte por tipo de contaminante y fuente, la mayor parte de  $\text{NO}_x$  fue generada por las fuentes naturales (43%), seguidas de plantas generadoras de electricidad (21%), vehículos automotores (14%) y fuentes móviles que no circulan por carreteras (7%) (Figura 6.4). Las tres últimas son fuentes antropogénicas y suman más de 40% del total de  $\text{NO}_x$  emitido. La mayor parte del  $\text{SO}_2$  (alrededor de 70%) es despedido por las plantas de generación de electricidad. Las fuentes naturales son generadoras de la mayor parte de COV (88%), mientras que el uso de solventes, los vehículos automotores, la distribución de combustible y la refinación de petróleo y otros combustibles fósiles contribuyeron con apenas 10% de total de COV

(83% de lo emitido sólo por fuentes antropogénicas). Destaca entre las fuentes antropogénicas el caso de los vehículos automotores que emiten 72% de todo el CO emitido en la frontera. El uso de gas LP (incluido dentro de la categoría de otros usos de combustibles) generó 10% de las emisiones de CO (Semarnat-INE, 2005). De acuerdo con el inventario, las partículas ( $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ ) provienen principalmente de la resuspensión de polvo de caminos pavimentados y no pavimentados, aunque también se indica que la información fue limitada, por lo que debe tomarse con cautela (Semarnat-INE, 2005). La manufactura y otros procesos industriales, así como las plantas de generación de electricidad, produjeron alrededor de 21% del total de  $\text{PM}_{2.5}$  arrojado a la atmósfera. La ganadería y la aplicación de fertilizantes emitieron casi el total de  $\text{NH}_3$ , aunque el inventario indica que se contó con

**Figura 6.4 Emisión de contaminantes en seis estados fronterizos por fuente, 1999**



Fuente: Semarnat-INE. *Inventario de emisiones de los estados de la frontera norte de México, 1999*. México. 2005.

información limitada para las estimaciones en el sector industrial (Semarnat-INE, 2005).

### Evolución de las emisiones en el Valle de México

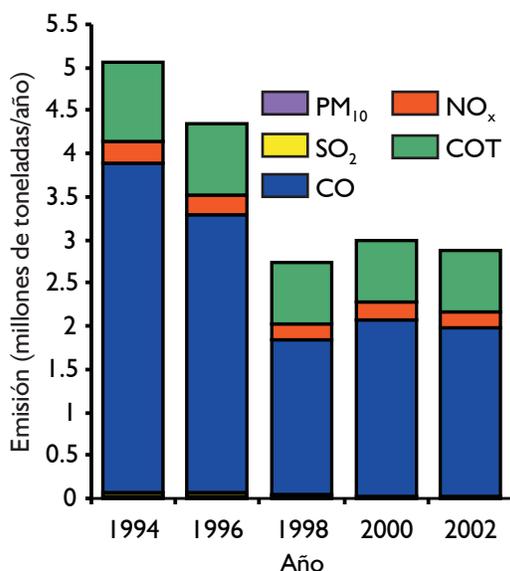
Como se mencionó con anterioridad, en la ZMVM se han desarrollado inventarios cada dos años durante el periodo 1994-2002, lo que permite hacer una descripción de los cambios en las emisiones a través del tiempo. Para facilitar la lectura, los resultados que se enfatizan en esta sección son los obtenidos en 2002, mientras que los cambios ocurridos toman como referencia el año de 1994. La información de referencia para hacer este análisis fue la publicada en el inventario de emisiones de la ZMVM 2002, la cual incluye el recálculo de todos los inventarios anteriores usando la misma metodología que se empleó en la estimación de éste último.

Considerando el total de contaminantes emitidos se observa una reducción importante de 1994 a 1998, sin mostrar cambios muy evidentes desde entonces

(Figura 6.5). El CO ha sido consistentemente el contaminante que más se ha emitido durante todo este periodo, con valores superiores a 60% del total de emisiones. No obstante, este gas es el contaminante que ha mostrado la disminución más drástica al pasar de 3.8 millones de toneladas por año en 1994 a 1.9 millones de toneladas por año en 2002, lo que sugiere que se trata del contaminante que marca la tendencia de las emisiones totales.

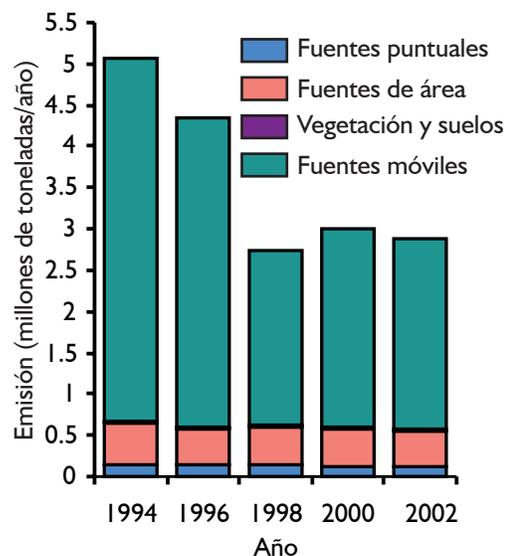
En lo que se refiere a las fuentes que generan cada uno de los contaminantes, las fuentes móviles arrojaron la mayor parte del total emitido (Figura 6.6). En 2002 las emisiones de estas fuentes representaron 80% de las emisiones totales, aunque su contribución ha disminuido ya que en 1994 alcanzaron 87%. Las altas emisiones asociadas a estas fuentes pueden explicarse, en parte, debido a que una proporción importante de los vehículos en circulación aún carecen de equipos básicos de control de emisiones. En 2002, 60% de los

**Figura 6.5 Emisión de contaminantes en la Zona Metropolitana del Valle de México, 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002**



**Fuente:**  
GDF. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002. México. 2005.

**Figura 6.6 Emisión de contaminantes en la Zona Metropolitana del Valle de México por fuente, 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002**



**Fuente:**  
GDF. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002. México. 2005.



vehículos que utilizaban diesel como combustible eran modelos anteriores a 1993 y 34% de los vehículos a gasolina eran modelos 1990 y anteriores, por lo que no contaban con convertidor catalítico. No obstante, 56% de los vehículos a gasolina eran modelos 1993 y posteriores con convertidor catalítico (GDF, 2005a). Al transporte le siguen en importancia las fuentes de área, que emitieron 15.5% del total de contaminantes, mismas que se incrementaron proporcionalmente, ya que en 1994 sólo representaban 10%. Las fuentes puntuales y la vegetación y el suelo contribuyeron con 5% de las emisiones.

Desagregando por tipo de contaminante, el CO y los NO<sub>x</sub> fueron generados principalmente por las fuentes móviles (99 y más de 77%, respectivamente), las cuales también contribuyen de manera importante con otros contaminantes como PM<sub>10</sub> (19%), SO<sub>2</sub> (58%) y compuestos orgánicos totales (COT) (29%) (Figura 6.7). La conjunción del elevado número de vehículos automotores, los combustibles que consumen y las tecnologías de control de contaminantes incorporadas (o no incorporadas) a los vehículos explican la importancia de las emisiones de este tipo de fuente. Por ejemplo, en 2002 los vehículos a gasolina que no contaban con sistemas de control de emisiones (34% del total de vehículos a gasolina) generaron poco más de la mitad de las emisiones de COV, que forman parte de los COT (GDF, 2005a). De acuerdo con los resultados del inventario de 2002, la mayor cantidad de emisiones por fuentes móviles es aportada por los autos particulares, excepto las PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, donde la principal fuente son los tractocamiones (GDF, 2005a).

Las fuentes puntuales contribuyeron en 2002 básicamente a la emisión de SO<sub>2</sub> (41.9%), aunque también tienen emisiones importantes de partículas (18%), COT (10.7%) y NO<sub>x</sub> (10.4%) (Figura 6.7). Las industrias textil, del papel, química y metálica básica fueron las principales emisoras de SO<sub>2</sub>. Las partículas fueron generadas fundamentalmente por la industria metálica básica, productos minerales no metálicos e industria química. Los COT, y dentro de ellos los COV, fueron emitidos primordialmente por la industria química, seguida de los productos de papel e impresión y productos metálicos. Por

último, la generación de energía eléctrica fue el giro industrial que emitió más NO<sub>x</sub> en la ZMVM (GDF, 2005a).

Las fuentes de área emitieron más de 4.4 millones de toneladas por año de contaminantes, de las cuales casi 93% correspondieron a COT (el inventario indica que de éstas 52% son COV y 37% es metano) (GDF, 2005a). También son responsables de la emisión de 12 mil 781 toneladas de PM<sub>10</sub>, que representan 2.8% de las emisiones totales de las fuentes de área y 50% del total de PM<sub>10</sub> emitidas por todas las fuentes (Figura 6.7). De acuerdo con el inventario de 2002, los caminos no pavimentados contribuyeron con la mayor parte de las emisiones de partículas, mientras que los COT fueron generados principalmente por diferentes productos comerciales utilizados para el cuidado personal, adhesivos y selladores que contienen solventes, por la degradación de residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios y por el almacenamiento, transporte y uso de derivados del petróleo (GDF, 2005a).

A pesar de que la vegetación y los suelos tienen una influencia positiva en el medio, liberan hidrocarburos (en especial isoprenos y monoterpenos) que, junto con los NO<sub>x</sub> que se generan en el suelo por el proceso de nitrificación-desnitrificación de la materia orgánica, son precursores del ozono, el cual es uno de los principales contaminantes que deterioran la calidad del aire de la ZMVM (GDF, 2005a). La vegetación y los suelos contribuyeron con 19 mil 305 toneladas por año, que representaron 0.7% de las emisiones totales en 2002. De esta cantidad, la mayor parte (86.2%) correspondió a COV (de los cuales 12 mil 130 toneladas por año, que equivalen a 73%, son hidrocarburos) y 3.1% a NO<sub>x</sub>. La emisión de PM<sub>10</sub> significó 10.7% del total (Figura 6.7).

Un balance general muestra que los cambios más importantes durante el periodo de 1994 a 2002 en la ZMVM fueron las reducciones de SO<sub>2</sub> superiores a 80% de las fuentes puntuales (Figura 6.7). Las emisiones de las fuentes móviles disminuyeron alrededor de 40% para casi todos los contaminantes, excepto los NO<sub>x</sub>, que se redujeron sólo 23%; esta reducción está asociada sin duda a las mejoras de las gasolinas y diesel vehicular, así como de combustibles industriales. Las emisiones

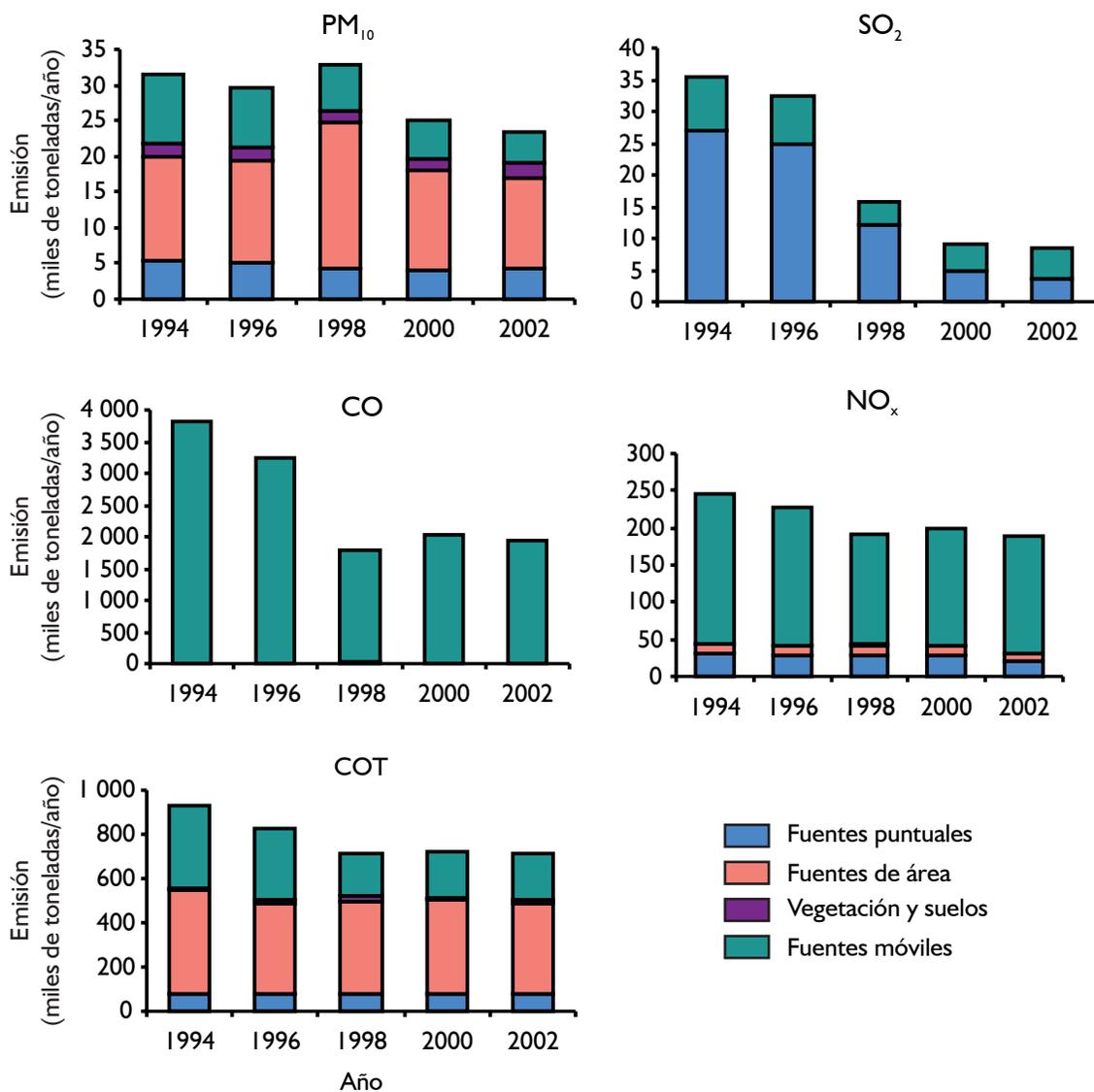


de partículas también mostraron una disminución significativa en el periodo 1994-2002 (25%), aunque en 1998 se registró un incremento importante.

El inventario de emisiones en la ZMVM también incluye los volúmenes de gases de efecto invernadero generados por los sectores: transporte, industria, residencial/comercial y servicios. Para

dicha estimación se emplearon los factores de emisión propuestos por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Además, el inventario considera el CO<sub>2</sub> generado por la degradación de los residuos sólidos municipales, cuya estimación se realizó con el modelo Landfill USEPA (GDF, 2005a). De acuerdo con este inventario, las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en

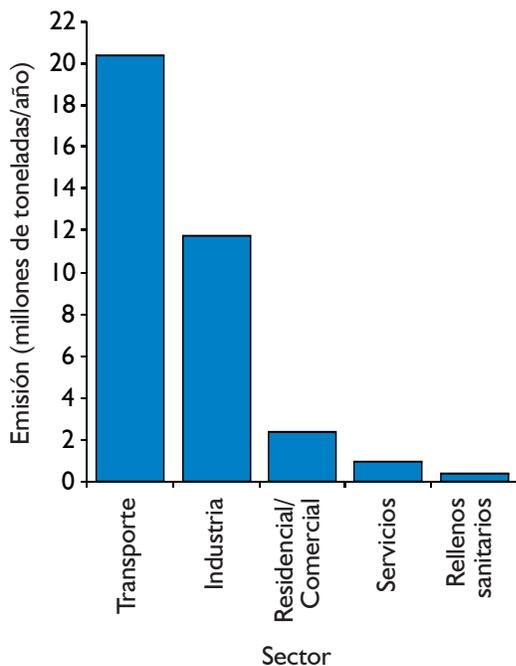
**Figura 6.7 Emisión de contaminantes en la Zona Metropolitana del Valle de México, por contaminante y fuente, 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002**



Fuente: GDF. *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002*. México. 2005.

2002 para la ZMVM ascendieron a 35.9 millones de toneladas, 99% (35.5 millones de toneladas) por el proceso de combustión de combustibles fósiles por los cuatro sectores considerados y 1% (0.4 millones de toneladas) por el proceso de degradación de residuos sólidos municipales (Figura 6.8). El inventario indica que el transporte es el mayor emisor (57% del  $\text{CO}_2$ ) de los cuatro sectores y que la combustión de gasolina genera la emisión más importante (44%); el sector industrial representa 33% de las emisiones, destacando por la combustión de gas natural (28%); los sectores residencial/comercial y de servicios emiten el restante 10% (GDF, 2005a). Por otro lado, se arrojaron 163 mil 904 toneladas de metano ( $\text{CH}_4$ ) en 2002; cabe señalar que esta cantidad se encuentra considerada dentro de las emisiones antes mencionadas de COT. Más de 90% (152 mil 240 toneladas) de metano se generó en los rellenos sanitarios de la ZMVM.

**Figura 6.8 Emisión de  $\text{CO}_2$  por sector en la Zona Metropolitana del Valle de México, 2002**



Fuente: GDF. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002. México. 2005.

## Normatividad y monitoreo de la calidad del aire

En nuestro país se registra la concentración atmosférica de los siguientes contaminantes atmosféricos:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ , dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ),  $\text{PM}_{10}$ , partículas suspendidas totales (PST) y plomo (Pb). Para cada uno de ellos se cuenta con un estándar o norma de calidad del aire que establece las concentraciones máximas que no deben sobrepasarse en un periodo definido, con la finalidad de garantizar la protección adecuada de la salud de la población, inclusive la de los grupos más susceptibles (Recuadro D3 R AIRE01 05).

Las normas vigentes de calidad del aire fueron publicadas por la Secretaría de Salud en el Diario Oficial de la Federación en diciembre de 1994; en octubre de 2002 se publicó la modificación a la norma referente a ozono (DOF, 2002) y en septiembre de 2005 la modificación a la norma referente a partículas, en la que se incluyen por primera vez las  $\text{PM}_{2.5}$  (DOF, 2005a). La Semarnat tiene la facultad de expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan la calidad ambiental de las distintas áreas, zonas o regiones del territorio nacional con base en los valores de concentración máxima permisible para la salud pública de contaminantes en el ambiente establecidos por la Secretaría de Salud. Estas normas señalan procedimientos para la medición y calibración del equipo destinado a determinar las concentraciones de los contaminantes, los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera, especificaciones de los combustibles que se utilizan (Recuadro D3 R AIRE01 03) y los valores que se consideran adecuados para la protección de la salud en materia de contaminantes atmosféricos (Recuadro D3 R AIRE01 05).

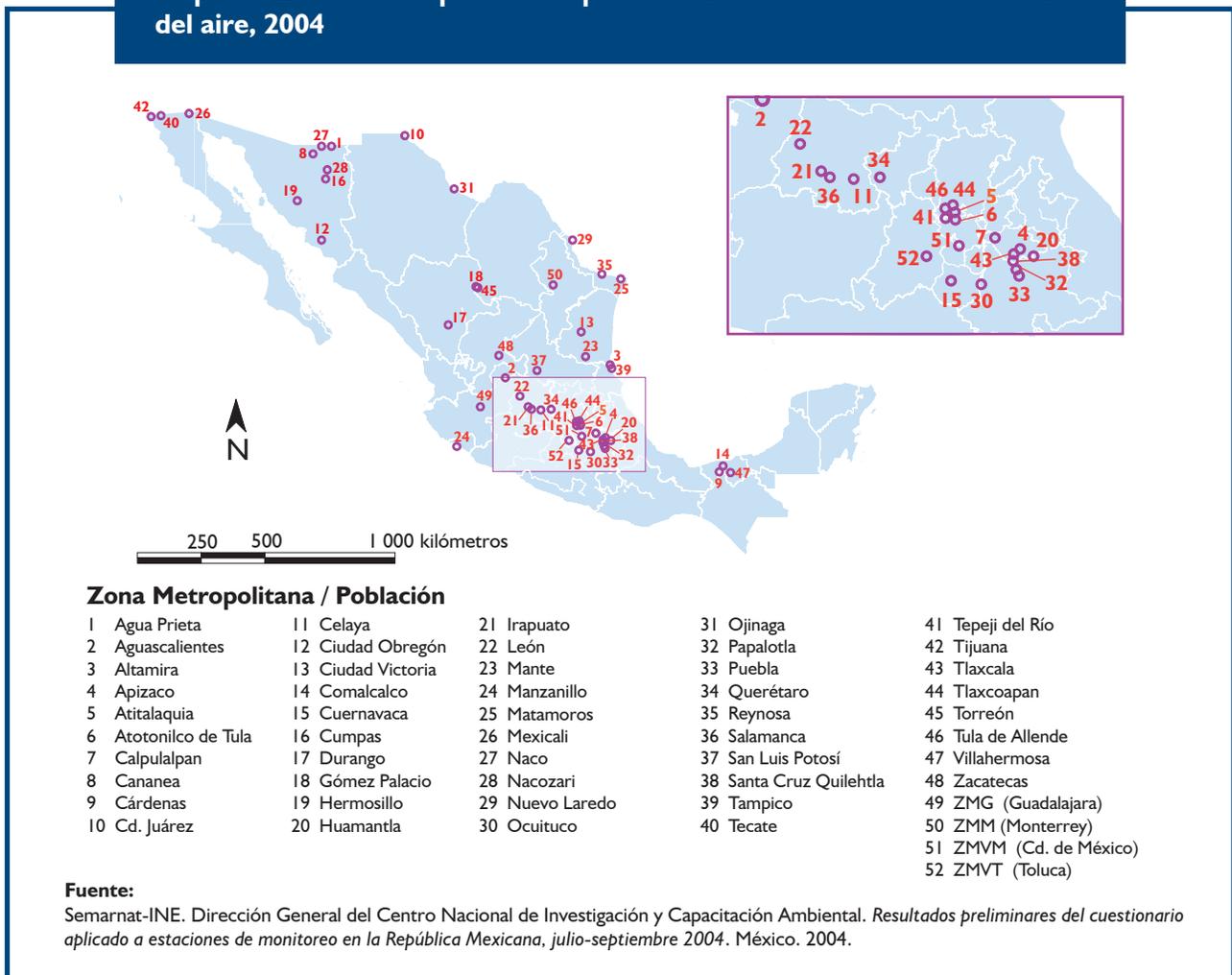
En una situación ideal, los límites que establecen las normas deberían estar basados en estudios epidemiológicos, toxicológicos y de exposición, tanto en animales como en seres humanos, que identifiquen los niveles del contaminante que son capaces de causar un efecto negativo en la salud de algún grupo de la población con un cierto margen de seguridad. Sin embargo, en nuestro país, debido principalmente a la falta de recursos e infraestructura suficiente

para realizar todos los estudios epidemiológicos, toxicológicos y de exposición que fundamentaran el establecimiento de estándares de calidad del aire, así como debido a la gravedad del problema que se tenía a principios de los años noventa, las normas de calidad del aire mexicanas tuvieron como base primordial la revisión de normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud y por Estados Unidos. No obstante, la Secretaría de Salud, por medio del Centro Nacional de Salud Ambiental (Censa), ha realizado estudios tanto epidemiológicos como otros encaminados a establecer relaciones dosis-respuesta para contaminantes como el O<sub>3</sub> y las PM<sub>10</sub> que permitirán, en un futuro cercano, contar con información suficiente para ajustar las normas oficiales a las características de la población mexicana.

Actualmente se cuenta con registros de contaminantes atmosféricos en 52 zonas metropolitanas y poblaciones (Mapa 6.1). En todas ellas los contaminantes se miden aplicando procedimientos estandarizados a nivel internacional. La red más completa y antigua se localiza en la ZMVM, que hoy en día tiene 36 estaciones de monitoreo automático (EMA) y 13 estaciones de monitoreo manuales (no todas funcionan de manera permanente), que registran, entre otras variables, la concentración de O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PST, considerados como contaminantes criterio y de los cuales se tiene más información acerca de sus efectos sobre la salud (véase *Principales contaminantes atmosféricos y sus efectos sobre la salud*).

Otras ciudades que cuentan con redes de

**Mapa 6.1 Zonas metropolitanas o poblaciones con monitoreo de la calidad del aire, 2004**



## Principales contaminantes atmosféricos y sus efectos sobre la salud

**Ozono ( $O_3$ ).** Es un contaminante secundario formado por una compleja serie de reacciones químicas de los contaminantes primarios o precursores (por ejemplo, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles) en presencia de oxígeno atmosférico y luz solar. Los principales efectos a la salud están asociados con el daño que ocasiona a las células en las vías respiratorias causando, entre otros problemas, inflamación y reducción de la capacidad del aparato respiratorio tanto para combatir infecciones como para remover las partículas externas, por lo que se incrementa la incidencia de infecciones respiratorias, tos, flemas, atrofia de la mucosa nasal, irritación de ojos, disminución de la función respiratoria y visitas de emergencia por ataques de asma. Otros estudios indican que la exposición al ozono puede ocasionar inflamación pulmonar, depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares, cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar, además de efectos sistémicos en órganos blandos distantes del pulmón, como el hígado. Los efectos observados en seres humanos saludables expuestos a concentraciones urbanas típicas de ozono son un decremento de la capacidad respiratoria, una broncoconstricción moderada y síntomas subjetivos de tos y dolor al inspirar prolongadamente.

**Partículas en suspensión (menores a 10 y 2.5  $\mu m$ ).** Las partículas en suspensión comprenden un amplio espectro de sustancias sólidas o líquidas, orgánicas o inorgánicas, dispersas en el aire, procedentes de fuentes naturales y artificiales. Los elementos presentes en las partículas varían según las fuentes locales pero, en general, los principales componentes son carbono, hidrocarburos, material soluble en agua (como el sulfato de amonio), material insoluble que contiene

pequeñas cantidades de hierro, plomo, manganeso y otros elementos, así como material biológico (polen, esporas vegetales, virus y bacterias).

Según su tamaño las partículas se dividen en gruesas, que incluyen a partículas con diámetro entre 2.5 y 10 micrómetros y finas, que tienen tamaños menores a 2.5 micrómetros. Las partículas gruesas, como las que generalmente se levantan del suelo, difícilmente penetran hasta los alveolos pulmonares pues, en su mayoría, son retenidas por las mucosas y cilios de la parte superior del aparato respiratorio. En contraste, partículas provenientes de las quemas agrícolas forestales, así como las generadas por la combustión de vehículos a gasolina y diesel son en su mayoría partículas finas que sí penetran hasta los alveolos pulmonares.

Las partículas pueden tener efectos tóxicos debido a sus características físicas o químicas inherentes, o bien pueden afectar de manera indirecta al hombre tanto por la interferencia de mecanismos del aparato respiratorio como por actuar como vehículo de una sustancia tóxica absorbida o adherida a su superficie.

El aumento de las concentraciones de las partículas en suspensión se ha relacionado con el aumento de visitas a servicios de urgencias, hospitalizaciones por incremento de los padecimientos respiratorios, bronquitis aguda en niños y muerte prematura, principalmente en menores de edad y personas de la tercera edad.

**Monóxido de carbono ( $CO$ ).** Es un gas incoloro, inodoro e insípido, ligeramente menos denso que el aire. En la naturaleza se genera  $CO$  en la producción y degradación

## Principales contaminantes atmosféricos y sus efectos sobre la salud (continuación)

de la clorofila, mientras que su origen antropogénico se sitúa en las combustiones incompletas, por lo que es emitido casi en su totalidad (98%) por fuentes móviles (principalmente vehículos particulares). Dado que la afinidad de la hemoglobina por el CO es unas 250 veces mayor que por el oxígeno, el monóxido de carbono se combina con la hemoglobina en los glóbulos rojos de la sangre y forma carboxihemoglobina (COHb) que disminuye la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, además de interferir en su liberación en los tejidos, por lo que produce hipoxia y alteraciones del funcionamiento celular en las neuronas, en las células del corazón y en las de otros músculos. La exposición crónica a CO induce la aparición de fenómenos de aclimatación como el aumento del número de glóbulos rojos, del volumen sanguíneo y el tamaño del corazón.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).** Es un gas incoloro que en altas concentraciones puede ser detectado por su sabor y por su olor cáustico e irritante. Se disuelve con facilidad en el agua para formar ácido sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>), el cual se oxida lentamente y forma ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) con el oxígeno del aire. El SO<sub>2</sub> también puede formar trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>), vapor muy reactivo que se combina rápidamente con vapor de agua para formar un aerosol ultra fino de ácido sulfúrico, de gran importancia desde el punto de vista de efectos en la salud. En altas concentraciones en individuos normales y más bajas en individuos asmáticos, puede producir broncoconstricción.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).** Se deriva de los procesos de combustión, siendo ésta la fuente principal de su vertimiento a la atmósfera. Es un contaminante primario y

juega un doble papel en materia ambiental, ya que se le reconoce efecto potencialmente dañino de manera directa, pero también es uno de los precursores del ozono.

**Compuestos orgánicos volátiles (COV).** Estos compuestos son motivo de preocupación tanto por su papel como precursores de ozono y otros oxidantes, como por la alta toxicidad de algunos de ellos. Debido a su gran variedad, no se conocen completamente sus efectos, sin embargo, para algunos de ellos, como el benceno, se ha reconocido su papel cancerígeno. Cuando las personas se exponen por periodos largos a concentraciones altas de benceno pueden sufrir edemas y hemorragias bronquio-alveolares. Los efectos cardiovasculares producto de los mismos se expresan como extrasístoles o taquicardia ventricular. Los efectos gastrointestinales dependen de la dosis ingerida, pero pueden producir desde gastritis tóxica hasta estenosis pilórica. De los efectos a la salud producidos por los COV, los hematológicos son los más ampliamente documentados, dado que los componentes celulares de la sangre son muy susceptibles a estas sustancias produciendo pancitopenia, anemia aplásica y leucemia.

### Fuentes:

PNUMA. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO-3*. Grupo Mundi-Prensa. España. 2002.

Aránguez, E., J. M. Ordóñez, J. Serrano, N. Aragonés, R. Fernández-Petier, A. Gandarillas e I. Galán. Contaminantes Atmosféricos y su Vigilancia. *Revista Española Salud Pública*. España. 1999.

Instituto Nacional de Salud Pública, Centro Colaborador de Salud Ambiental. Disponible en: [www.insp.mx](http://www.insp.mx).

Semarnat-INE. Dirección de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global. México. 2003.



monitoreo importantes y con registros relativamente antiguos (mediados de los noventa) son las zonas metropolitanas de Guadalajara, Monterrey, Toluca y ciudades fronterizas como Tijuana, Mexicali y Ciudad Juárez. Algunas otras ciudades se concentran en evaluar alguno o varios contaminantes que les resultan importantes, como es el caso de la mayoría de las ubicadas en Hidalgo o Ciudad Obregón y Naco en Sonora, que se enfocan en la medición de partículas, mientras que en Matamoros se miden  $\text{SO}_2$  y  $\text{PM}_{10}$ , sólo por citar algunos ejemplos. La lista completa de las estaciones de monitoreo y los contaminantes registrados se pueden consultar en el **Cuadro D3 AIRE01 02**.

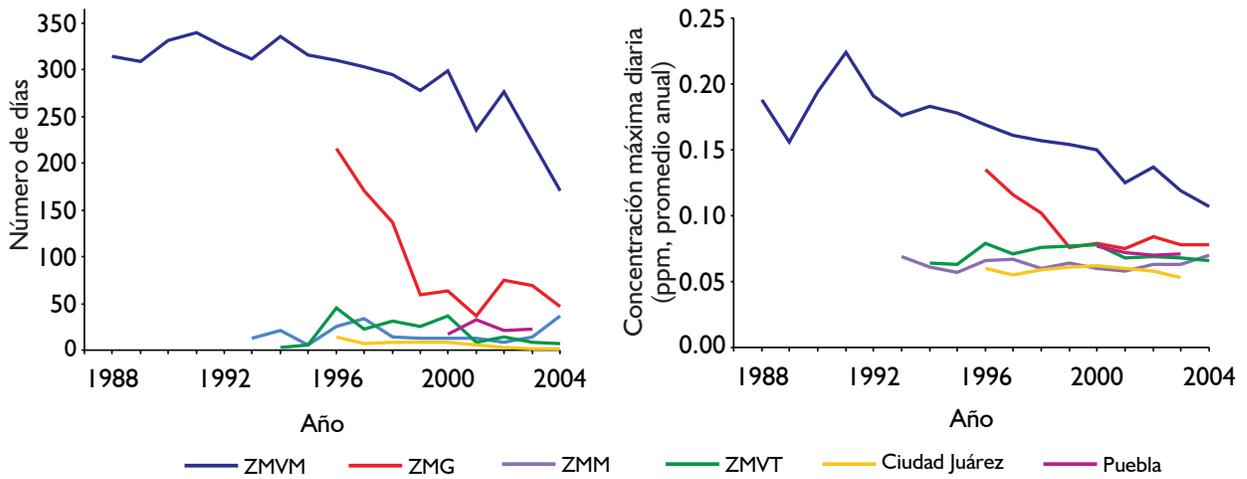
Con el fin de hacer más comprensible el nivel de contaminación, en México se ha usado un índice conocido como Imeca (Índice Metropolitano de la Calidad del Aire), que consiste en una transformación de las concentraciones del contaminante a un número adimensional que indica el nivel de contaminación de una manera fácil de entender (**Recuadro D3 R AIRE01 04**). En la escala utilizada por este índice, los valores de la norma de calidad del aire están determinados en múltiplos de 100 Imeca y se han desarrollado por medio de algoritmos sencillos que toman en cuenta criterios de salud ambiental (**Recuadro D3 R AIRE01 07**). La calidad del aire es buena o satisfactoria cuando el valor Imeca no rebasa los 100 puntos, de 101 a 150 es regular o no satisfactoria, de 151 a 200 mala y de 201 en adelante se considera muy mala (**Cuadros D3 AIRE01 04** y **D3 AIRE01 05**). No obstante, es importante mencionar que actualmente el Imeca se encuentra en un proceso de cambio. A principios de 2005, la Dirección de Monitoreo Atmosférico del Gobierno del Distrito Federal (GDF) ingresó al Comité de Normalización del mismo GDF un anteproyecto de Norma para el Distrito Federal referente a la generación y difusión del Imeca. La propuesta está orientada a subsanar la carencia normativa y regular los procedimientos de dicha generación y difusión (GDF, 2005b).

### **Calidad del aire en las ciudades del país**

Existen diversas formas de enfocar el análisis de la calidad del aire. La descripción y el análisis en las principales ciudades del país que aquí se presentan se realizaron utilizando como información fundamental el número de días en cada año que se excede el valor de la norma asociada a cada contaminante (basada en valores de concentración máxima permisible para la salud pública). Dicha información se acompaña de las tendencias de los promedios anuales de las concentraciones diarias -promedios de 24 horas para  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{SO}_2$ ; concentraciones máximas diarias para  $\text{O}_3$  y  $\text{NO}_2$  y concentraciones máximas diarias de los promedios móviles de 8 horas de  $\text{CO}$ -, especificadas en las normas antes mencionadas. Las normas están definidas con base en los impactos sobre la salud dependiendo de la concentración y el tiempo de exposición a cada contaminante (Semarnap-INE, 1999). Los días en que se excede el valor de la norma reflejan la magnitud del problema, ya que muestran la frecuencia con la que se rebasa el umbral definido para proteger la salud; además, junto con las tendencias los promedios anuales de las concentraciones diarias de contaminantes, permiten tener una visión de la dinámica temporal de la calidad del aire y son un medio para evaluar la efectividad de las medidas que se toman para controlar el problema.

Si se examina la frecuencia con la que se exceden los límites establecidos en las normas es evidente que los dos principales contaminantes son el  $\text{O}_3$  (Figura 6.9) y las  $\text{PM}_{10}$  (Figura 6.10), ya que todas las ciudades rebasaron al menos una vez al año las concentraciones máximas permitidas. El  $\text{O}_3$  es el principal problema en la ZMVM, ya que el número de días que se rebasa la norma aún es elevado (170 días en 2004, que representan 47% de todo el año), aunque ya es considerablemente más bajo si se compara con los registrados en el periodo de 1990 a 1994, cuando se mantuvieron por arriba de 85%, llegando en su momento más alto a 339 días (93%) en 1991. La ZMG ha disminuido la frecuencia

**Figura 6.9 Número de días en que se excede el valor de norma horaria de ozono y promedio anual de las concentraciones diarias máximas, 1988-2004**



**Notas:**

Norma (NOM-020-SSA1-1993): no exceder 0.11 ppm en una hora en un periodo de un año.

ZMVM: Para cada día se consideró el registro máximo de las concentraciones diarias que se hubiera presentado en Tlalnepantla, Xalostoc, Merced, Pedregal o Cerro de la Estrella.

ZMVT: Para cada día se consideró el registro máximo de las concentraciones diarias que se hubiera presentado en Aeropuerto, Toluca-Centro o Metepec.

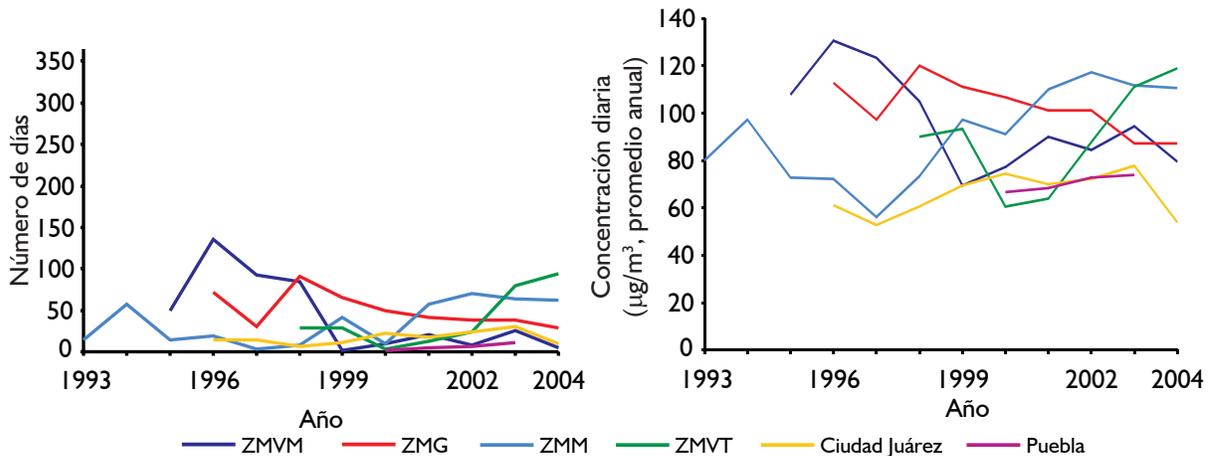
La fuente indica que para la ZMM la información es más confiable a partir de 1997.

**Fuentes:**

Semarnat-INE. Segundo almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en seis ciudades mexicanas. México. 2003.

Semarnat-INE. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global. México. 2005.

**Figura 6.10 Número de días en que se excede el valor de norma de 24 horas de partículas menores a 10 µm y promedio anual de las concentraciones diarias, 1993-2004**



**Notas:**

Basado en la NOM-025-SSA1-1993, vigente del 24 de diciembre de 1994 al 25 de noviembre de 2005, que establecía no exceder 150 µg/m³ en 24 horas una vez al año.

ZMVM: Para cada día se consideró el registro máximo de las concentraciones diarias que se hubiera presentado en Tlalnepantla, Xalostoc, Merced, Pedregal o Cerro de la Estrella.

Ciudad Juárez: Para cada día se consideraron los muestreos manuales registrados cada seis días en todas las estaciones de monitoreo.

La fuente indica que para la ZMM la información es más confiable a partir de 1997.

**Fuentes:**

Semarnat-INE. Segundo almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en seis ciudades mexicanas. México. 2003.

Semarnat-INE. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global. México. 2005.



con la que excede la norma de  $O_3$ : de 216 días en 1996 a 47 días en 2004 y un promedio de 58 días de 1999 a 2004. Las demás ciudades mantienen valores inferiores a 40 días al año en que se excede la norma de ozono en los últimos cinco años. Esto se refleja en la tendencia de los promedios anuales de las concentraciones diarias de  $O_3$ , por ejemplo en la ZMVM, donde no obstante dichos promedios son elevados, se muestra una permanente tendencia a la disminución. La concentración atmosférica en la ZMG se reduce drásticamente a partir de 1999, mientras que en el resto de las ciudades se mantiene relativamente constante a pesar de las pequeñas variaciones (Figura 6.9).

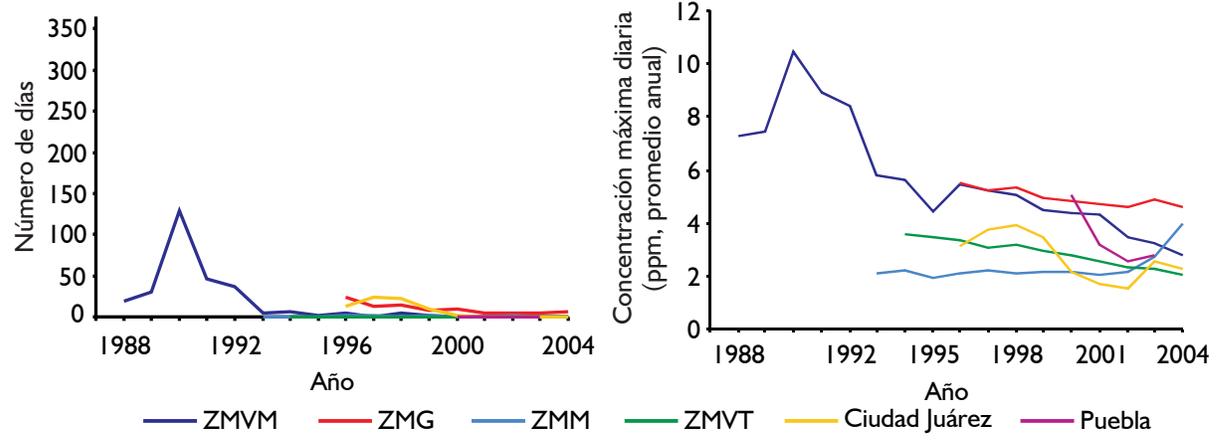
En el caso de las  $PM_{10}$ , la ZMVM ha dejado de ser la zona que registra con más frecuencia días con valores mayores al límite establecido en la norma, ya que se ha reducido su ocurrencia de 135 días (cerca de 40%) en 1996 a 5 días (1%) en 2004 y a menos de 8% desde 1999 a la fecha. En contraste, las zonas metropolitanas del Valle de Toluca y Monterrey, en 2003 y 2004 superaron los 60 días por año (más de 20% en el caso de ZMVT y arriba de 15% en ZMM). En ambas ciudades se observa una tendencia preocupante, ya que tienen un crecimiento en el número de días en que se excede el valor de la norma de  $PM_{10}$  más o menos sostenido de 2000 a 2004 (Figura 6.10). En el caso de la ZMG, aunque reporta un mayor número de días en los que se excede la norma comparado con los de la ZMVM, su tendencia desde 1999 es claramente a la baja, llegando a sólo 28 días por arriba de la norma en 2004. Al igual que con el  $O_3$ , esta tendencia de los días en que se rebasa la norma se refleja en los promedios anuales de las concentraciones diarias registrados para esos años, ya que a partir de 1999 la ZMVM reporta concentraciones por debajo de las detectadas en la ZMM e incluso en varios años por debajo de las de la ZMG y ZMVT. Se observa un incremento en la ZMVT y ZMM, en contraste con la disminución registrada en la ZMG a partir de 1999. De hecho, tanto en la ZMVT como en la ZMM el segundo contaminante más emitido (después del CO) fueron las partículas suspendidas totales, de acuerdo con los inventarios de 1995 y 1996. Por

otro lado, Ciudad Juárez y Puebla están muy por debajo de las cifras reportadas en las ciudades arriba mencionadas, aunque sí registran días por arriba del valor de la norma de  $PM_{10}$  (Figura 6.10).

La contaminación por CO parece estar bajo control, a pesar de los valores tan altos de emisión (véase la sección **Inventarios de emisiones**), ya que en 2004 ninguna ciudad reportó días fuera de la norma, con excepción de la ZMG que registró seis días; esta disminución generalizada se observa al menos desde el año 2001 (Figura 6.11). Los promedios anuales de las concentraciones diarias de este contaminante han disminuido en los últimos años en las ciudades que aquí se consideran, con excepción de la ZMM, donde se observa un ligero incremento a partir de 2003; después de haberse mantenido constante por lo menos durante diez años, este pequeño aumento en la concentración diaria no generó que se rebasara el valor de la norma asociada al CO. El  $SO_2$  también parece estar controlado en todas las ciudades –a pesar del repunte que se presentó en 2000 y 2001–, ya que de 2003 a la fecha ninguna ciudad registró días por arriba del valor de la norma (Figura 6.12). En lo que a promedios anuales de las concentraciones diarias se refiere, en todas las ciudades se observan niveles relativamente bajos y constantes y sólo la ZMVM reporta niveles superiores aunque no suficientemente elevados para generar que se rebasa la norma. La ZMVM es la que cuenta con el monitoreo más antiguo de este contaminante y en la curva de los promedios anuales de las concentraciones diarias se observa que la reducción comenzó desde principios de los años noventa. En gran parte, este avance se debe a la mejora de los combustibles que suministra Pemex, aunque, de acuerdo con Molina (2004), el contenido de azufre aún es elevado y esto impide la introducción de tecnologías más avanzadas de control de emisiones, como son los filtros y trampas que permiten minimizar la emisión de partículas. Tampoco pueden instalarse convertidores catalíticos más eficaces que reduzcan las emisiones de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos que son precursores del ozono (Molina, 2004).



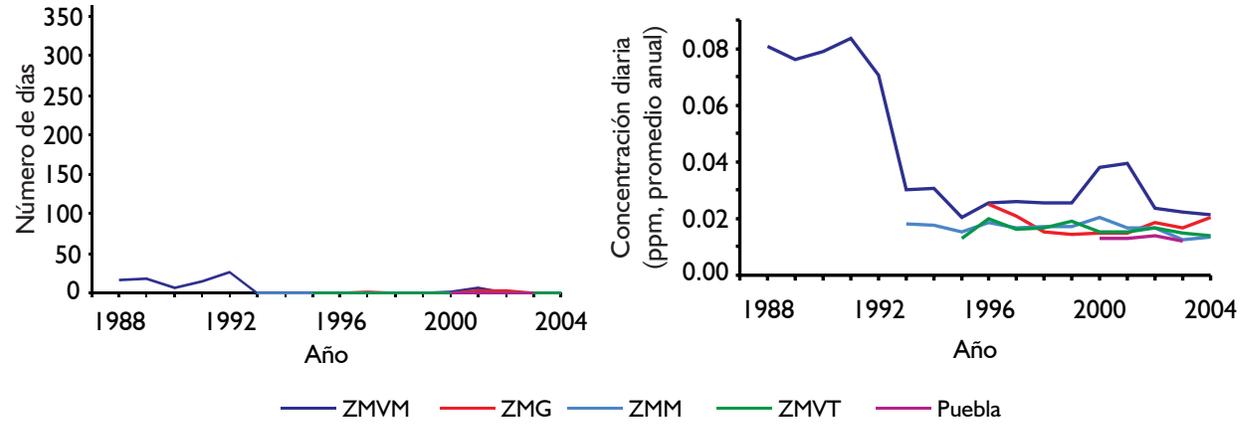
**Figura 6.11 Número de días en que se excede el valor de la norma de monóxido de carbono y promedio anual de las concentraciones diarias máximas, 1988-2004**



**Notas:**  
 Norma (NOM-021-SSA1-1993): no exceder 11 ppm en promedio móvil de 8 horas una vez al año.  
 ZMVM: Para cada día se consideró el registro máximo de las concentraciones diarias que se hubiera presentado en Tlalnepantla, Xalostoc, Merced, Pedregal o Cerro de la Estrella.  
 ZMVT: Para cada día se consideró el registro máximo de las concentraciones diarias que se hubiera presentado en Oxtotitlán, Toluca-Centro o Metepec.  
 La fuente indica que para la ZMM la información es más confiable a partir de 1997.

**Fuentes:**  
 Semarnat-INE. Segundo almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en seis ciudades mexicanas. México. 2003.  
 Semarnat-INE. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global. México. 2005.

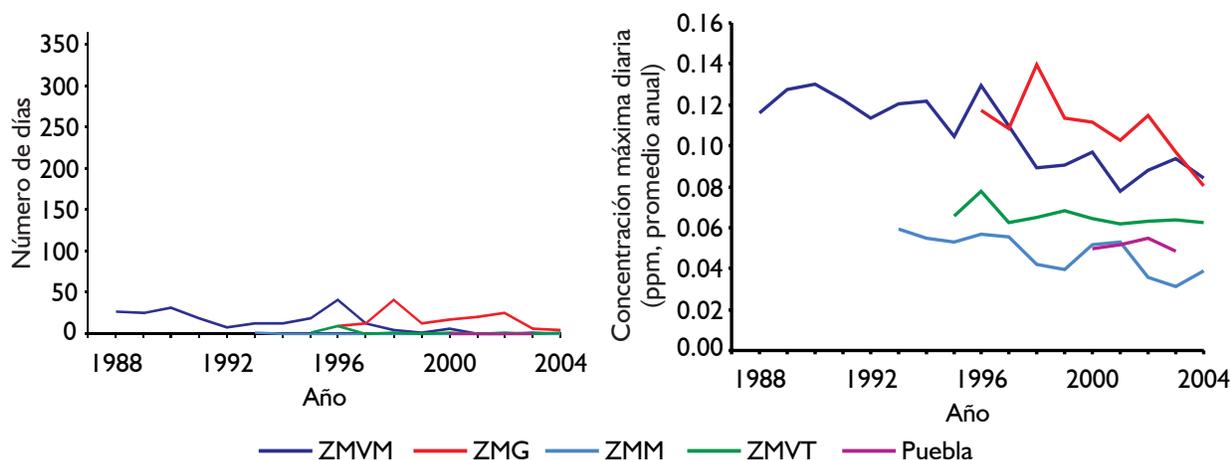
**Figura 6.12 Número de días en que se excede el valor de la norma de 24 horas de bióxido de azufre y promedio anual de las concentraciones diarias, 1988-2004**



**Notas:**  
 Norma (NOM-022-SSA1-1993): no exceder 0.13 ppm en 24 horas una vez al año.  
 ZMVM: Para cada día se consideró el registro máximo de las concentraciones diarias que se hubiera presentado en Tlalnepantla, Xalostoc, Merced, Pedregal o Cerro de la Estrella.  
 La fuente indica que para la ZMM la información es más confiable a partir de 1997.

**Fuentes:**  
 Semarnat-INE. Segundo almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en seis ciudades mexicanas. México. 2003.  
 Semarnat-INE. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global. México. 2005.

**Figura 6.13 Número de días en que se excede el valor de norma horaria de bióxido de nitrógeno y promedio anual de las concentraciones diarias máximas, 1988-2004**



**Notas:**

Norma (NOM-023-SSA1-1993): no exceder 0.21 ppm en una hora una vez al año.

ZMVM: Para cada día se consideró el registro máximo de las concentraciones diarias que se hubiera presentado en Tlalnepantla, Xalostoc, Merced, Pedregal o Cerro de la Estrella.

ZMVT: Para cada día se consideró el registro máximo de las concentraciones diarias que se hubiera presentado en Aeropuerto, Oxtotitlán, Toluca-Centro, San Mateo Atenco o Metepec.

La fuente indica que para la ZMM la información es más confiable a partir de 1997.

**Fuentes:**

Semarnat-INE. *Segundo almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en seis ciudades mexicanas*. México. 2003.

Semarnat-INE. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global. México. 2005.

El problema de la contaminación por NO<sub>2</sub> ha disminuido de manera importante y constante en la ZMVM desde 1997; de hecho, de 2001 a la fecha prácticamente no se han presentado días en los que se rebasa el valor de la norma (sólo dos días en 2003) (Figura 6.13). En la ZMVT también es mínimo el número de días en que el valor de la norma es rebasado, mientras que en la ZMM y Puebla no se ha rebasado al menos en los últimos cinco años. En el caso de la ZMG, aunque en 2001 y 2002 mostró un ligero repunte, a partir de 2003 disminuyó tanto el número de días en que se rebasa el valor de la norma como el promedio anual de las concentraciones diarias. De la misma manera, la concentración de NO<sub>2</sub> muestra una tendencia a la baja desde finales de los años noventa en la ZMVM, ZMG y ZMM; mientras que Puebla y la ZMVT mantienen relativamente constantes sus niveles, aunque siempre por debajo del Valle de México y Guadalajara.

Si bien hoy en día existen estaciones de monitoreo de los principales contaminantes en otras ciudades, no se cuenta con datos suficientes para una evaluación completa de la calidad del aire en México debido a problemas operativos y a que por el momento no todas las estaciones reportan a la Semarnat.

Mediante el análisis de las tendencias de los principales contaminantes, en lo que se refiere a días por arriba de la norma y promedio anual de las concentraciones diarias, se puede concluir que, en general, la calidad del aire ha mejorado. A pesar de que en la ZMVM el problema sigue siendo grave, en particular debido a los niveles que alcanza el O<sub>3</sub>, es importante resaltar el hecho de que se presente una tendencia a la baja de días en que se excede el límite establecido por la norma y en la concentración de los contaminantes. Sin duda, las mejoras en la calidad de los combustibles, como la eliminación del plomo



de la gasolina, la reducción del contenido de azufre tanto de la gasolina como del diesel, la introducción al mercado de gasolina oxigenada y reformulada, el establecimiento de límites de emisión cada vez más estrictos para los vehículos nuevos, así como la adopción de tecnologías vehiculares cada vez más modernas, han contribuido de manera significativa a que el plomo ya no sea un problema de contaminación en el aire y que los niveles de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{NO}_2$  raramente sobrepasen el valor de la norma.

Como respuesta al problema de la contaminación del aire, el gobierno federal –en coordinación con autoridades estatales y municipales y con la participación del sector académico– ha establecido programas para mejorar la calidad del aire: Proaires. Estos programas representan uno de los principales instrumentos desarrollados para revertir las tendencias de deterioro. Además, incorporan una visión de mediano y largo plazos y proponen acciones concretas para la reducción y control de las emisiones (Semarnap-INE, 2000; Semarnat, 2003). Los Proaires se han implantado en zonas metropolitanas que por sus características, tales como número de habitantes, actividades industriales, parque vehicular, condiciones climáticas y geográficas, entre otras, presentan los mayores problemas de contaminación atmosférica. Las zonas metropolitanas para las que se ha desarrollado un Proaire son Valle de México, Monterrey, Guadalajara, Toluca, Ciudad Juárez, Mexicali, Tijuana y Salamanca. Su elaboración tuvo como pilar básico la información de la calidad del aire y de las fuentes de emisiones. Las acciones contenidas están orientadas a las fuentes con mayor aporte de contaminantes e incluyen medidas de reducción factibles en su costo y con un beneficio significativo en la calidad del aire (véase **Proaires y sus avances**).

Como parte de las medidas para controlar el problema de la contaminación del aire, en enero de 2005 se incorporó al mercado la gasolina Magna de 300 ppm promedio de azufre y 500 ppm máximo y se prevé que en enero de 2006 se incorpore al mercado gasolina Premium de 30 ppm promedio de azufre y 80 ppm máximo para su consumo en

todo el país, mientras que en septiembre de 2008 se planea la introducción de gasolina Magna de 30 ppm promedio y 80 ppm máximo. Además, se estima que para enero de 2006 se introducirá diesel de concentración de azufre de 300 ppm máximo y en septiembre de 2008 de 15 ppm máximo, en paralelo con la entrada de nuevas tecnologías adecuadas para su consumo. En este contexto, en septiembre de 2005 se publicó el proyecto de norma PROY-NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, referente a las especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental (DOF, 2005b). Seguramente la mejora continua de los combustibles se reflejará en la calidad del aire en las principales zonas urbanas del país.

Otras acciones emprendidas a nivel local, como la reforestación y pavimentación, los apoyos para la renovación del parque vehicular y el mayor control sobre la emisión de fuentes fijas también han sido importantes. No obstante estos avances, aún persisten pendientes que es necesario atender. Asimismo, se requiere una mayor inversión para controlar y abatir la contaminación del aire. El gasto del sector público destinado en 2002 a prevenir y controlar la contaminación atmosférica, reportado por el INEGI, ascendió a 91.6 millones de pesos, que representaron apenas 0.3% del gasto ambiental total (actividades de control de la contaminación atmosférica, del agua, de residuos municipales e industriales, degradación de los suelos y desertificación, así como educación y salud ambientales y diversas actividades relacionadas con la regulación ecológica) (INEGI, 2004).

## **Cambio climático y efecto invernadero**

El clima y la temperatura de la superficie de la Tierra dependen del balance entre la energía solar (radiación ultravioleta) que recibe el planeta y la energía (radiación infrarroja) que emite. La atmósfera está constituida de manera natural por nitrógeno, oxígeno y argón, principalmente, pero también contiene otros gases en más bajas concentraciones –por ejemplo, bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), vapor de agua, ozono ( $\text{O}_3$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ )–, que se conocen como gases

## Proaires y sus avances

**Programa para Mejorar la Calidad del Aire en Salamanca 2003-2006.** Recientemente publicado, este Proaire tiene como objetivo general la reducción de la concentración de contaminantes, con especial énfasis en el  $\text{SO}_2$  y  $\text{PM}_{10}$ , para que no rebasen el límite establecido por su norma respectiva. En lo que se refiere a emisiones se plantea reducir en un período de tres años 57% de los niveles de emisión de contaminantes, lo que equivale a 58 682 toneladas, provenientes del sector industrial, comercial y de servicios. En un período de tres años, reducir 27% de los niveles de emisión de  $\text{PM}_{10}$ , equivalentes a 3 500 toneladas. El programa consta de 15 acciones programadas para alcanzar los objetivos y metas, dichas acciones se enfocan en su mayor parte a la industria, comercios y servicios, aunque también existen otras para transporte, educación ambiental e investigación, protección a la salud y fortalecimiento institucional.

**Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010.** Este programa da continuidad al antes publicado para el periodo 1995-2000. El Proaire actual tiene como objetivo principal alcanzar menores niveles de contaminación reduciendo las emisiones y como consecuencia la concentración de contaminantes. Entre las metas específicas se plantea, en el caso del ozono, aumentar el número de días que las concentraciones estén dentro del límite establecido por la norma, eliminar las concentraciones superiores a 200 Imeca y reducir el número de días en que las concentraciones se encuentren en el intervalo de 101 a 200 Imeca. Para las  $\text{PM}_{10}$ , se pretende aumentar el número de días que las concentraciones diarias se encuentren dentro del límite establecido por la norma y reducir el promedio anual de las concentraciones

de  $\text{PM}_{10}$ . Se plantea también eliminar las concentraciones de CO que excedan nueve partes por millón (promedio de ocho horas), así como reducir su concentración actual. En el caso del  $\text{SO}_2$ , las metas consisten en reducir las concentraciones promedios diario y anual, así como evitar la ocurrencia de picos extraordinarios asociados con el uso indebido de combustibles de alto contenido de azufre. Para alcanzar estas metas de calidad del aire el programa planea la reducción de emisiones. Esta reducción se enfoca a partículas (provenientes de vehículos automotores a gasolina y diesel, polvo de calles y carreteras, aplicación de impermeabilizantes, etc.), óxidos de nitrógeno (generados principalmente en los procesos de combustión), compuestos orgánicos volátiles (provenientes del uso de combustibles y productos orgánicos en los sectores del transporte, la industria, servicios y doméstico) y bióxido de azufre (generado por la combustión en vehículos e industria). El programa consta de 89 medidas que involucran al transporte, industria, servicios, protección de la salud, conservación de recursos naturales, educación ambiental y fortalecimiento institucional.

**Aire Limpio. Programa para el Valle de Toluca 1997-2000.** Se dio a conocer el 10 de junio de 1997. El objetivo principal del programa es proteger la salud de la población de la ZMVT mediante la reducción de las emisiones de contaminantes a la atmósfera y la coordinación de las políticas de desarrollo urbano e industrial, fomento económico, transporte, medio ambiente y manejo de recursos. Está formado por seis subprogramas integrados por 45 proyectos. Su meta principal fue el abatimiento del 40% de las emisiones de hidrocarburos, 50% de óxidos de nitrógeno y 40% de las partículas para el año 2000, para reducir de 15 a

## Proaires y sus avances (continuación)

10% el número de días en que se exceden las normas de la calidad del aire. Entre las principales medidas que incluye el programa se encuentran: la actualización del programa de verificación vehicular adoptando los límites establecidos en la NOM-041-SEMARNAT-1999; modernización del transporte público; eliminación de las gasolinas con plomo y proveer gasolinas con características similares a las establecidas en la NOM-086-SEMARNAT-1994; uso de combustibles menos contaminantes en la industria; ordenamiento ecológico en la ZMVT y su zona de influencia; cumplimiento por parte de industrias, comercios y servicios de la norma NOM-085-SEMARNAT-1994, relacionada con los niveles máximos permisibles para humos, partículas suspendidas totales, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno; mejorar la vialidad en la ZMVT; autorregulación y auditoría ambiental; control de emisiones en ladrilleras y hornos de alfarería; recuperación de vapores en estaciones de servicio; fomentar los programas de recuperación de suelos y reforestación de áreas erosionadas; establecer un programa de verificación vehicular obligatorio y eficiente.

**Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara 1997-2001.** Se dio a conocer el 2 de abril de 1997. Incorpora 32 medidas con las cuales se estima que el porcentaje de días con problemas de la calidad del aire pasará de 70% a alrededor del 50% y el valor promedio del Imeca de 125 a 105 puntos para el año 2001. Se estima que dejarán de emitirse cerca del 50% de las emisiones de partículas y de los óxidos de nitrógeno, y alrededor del 25% las emisiones de hidrocarburos. Entre las principales medidas que incluye el programa se encuentran: la revisión y actualización del programa de contingencias

ambientales; establecer convenios con la industria para reducir las emisiones de precursores de ozono; introducción de combustibles más limpios para uso industrial y vehicular; ampliar y modernizar el programa de afinación controlada aplicando la normatividad; limitar el asentamiento de nuevas industrias altamente contaminantes; control de emisiones de partículas y bióxido de azufre en industrias; recuperación de vapores en terminales de recibo y distribución de combustibles y gasolina; promover el reordenamiento y renovación del transporte colectivo con unidades de baja emisión de contaminantes; uso de gas natural por camiones de carga y transporte público de pasajeros; mejorar la vialidad en la ZMG; intensificar programas de pavimentación de calles y avenidas para reducir emisiones de partículas; fortalecer el sistema de vigilancia epidemiológica; reforzar la red de monitoreo atmosférico; programas para la formación y capacitación en cultura ecológica; establecer programas de reforestación de la ZMG y su área ecológica de influencia.

**Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000.** Se dio a conocer el 18 de marzo de 1997. El objetivo principal del programa es proteger la salud de los habitantes del área mediante acciones específicas que prevengan y controlen la contaminación del aire, tanto por agentes químicos como físicos. Incorpora 31 medidas con las cuales pretende alcanzar, como meta principal, la reducción del 10% de las emisiones de hidrocarburos, más del 30% de las de partículas y de las de óxidos de nitrógeno, con lo que se estima que el porcentaje de días en que se rebasa alguna norma de calidad del aire bajará de 18% a alrededor del 10%. Entre las principales medidas incluye: la realización

## Proaires y sus avances (continuación)

de estudios de evaluación e investigación del problema de la contaminación del aire y por ruido; establecer convenios de cooperación y apoyo financiero con países e instituciones internacionales; promover el uso de gas natural por camiones de carga y transporte público de pasajeros; establecer mecanismos de agilización de tráfico vehicular; promover la ampliación de la red del metro; diseñar e instrumentar el programa de contingencias ambientales; desarrollar la reglamentación específica relacionada con la contaminación atmosférica y por ruido; establecer un sistema de información geográfica referenciado del estado; promover la utilización de combustibles limpios; aumentar la inspección y vigilancia de emisiones industriales y vehiculares a la atmósfera, principalmente de precursores del ozono; establecer convenios con industrias altamente contaminantes en partículas y bióxido de azufre; incorporar la medición de ruido en el programa de inspección y vigilancia a establecimientos industriales; modernizar y reforzar el programa de verificación vehicular y de reducción de emisiones de partículas; establecer una política de autorregulación con el sector industrial; diseñar e instrumentar una campaña de abatimiento de emisión de partículas por erosión del viento.

***Programa de Gestión de la Calidad del Aire de Ciudad Juárez 1998-2002.*** Se dio a conocer en 1997. Incorpora 40 medidas con las cuales se pretende, a mediano plazo, disminuir la contaminación de la ciudad hasta cumplirse las normas de calidad del aire. Determina responsabilidades tanto de los gobiernos norteamericanos (EPA), estatales de Texas (TNRCC) y Nuevo México (NMED) y locales (condados de El Paso y Doña Ana) y, por la parte mexicana, a nivel federal (Semarnat), el gobierno del estado

de Chihuahua y el municipio de Juárez. Entre las principales estrategias del programa se encuentran: programa de verificación vehicular, mejora de la red vehicular y tráfico vial; establecimiento de una red de monitoreo ambiental; programa de industria limpia mediante auditorías ambientales, proyecto piloto de aplicación del sistema integrado de regulación directa y gestión ambiental de la industria para la formulación de políticas ambientales, reducción de emisiones de partículas suspendidas, compuestos orgánicos volátiles y monóxido de carbono; promover actividades de soporte, como son las investigaciones científicas y tecnológicas de medidas de control; entrenamiento, capacitación y educación ambiental.

***Programa para Mejorar la Calidad del Aire de Tijuana-Rosarito 2000-2005.*** El objetivo principal del programa es señalar acciones encaminadas a proteger la salud de la población y a prevenir y controlar la contaminación del aire generada por fuentes emisoras. La meta general del programa es reducir gradualmente las emisiones generadas hasta conseguir el cumplimiento de las normas de calidad del aire, en un horizonte de aplicación de 2000 a 2005. Plantea cinco áreas de trabajo con 25 acciones específicas, entre ellas: la regulación de emisiones a empresas altamente contaminantes, establecer un programa de empadronamiento y terminales de almacenamiento para la recuperación de vapores; inspección y vigilancia de establecimientos industriales y de servicios; establecer un programa de verificación vehicular; alternativas para el transporte masivo y renovación del parque vehicular; impulsar el cambio de combustible con la Comisión Federal de Electricidad; convenir con Pemex el suministro de gasolina oxigenada; crear programas de reforestación

## Proaires y sus avances (continuación)

municipal y de pavimentación; operación local de la red de monitoreo atmosférico; revisar de manera periódica el inventario de emisiones; crear un programa de vigilancia epidemiológica asociada a la contaminación; reforzar las acciones del programa Frontera XXI; elaborar programas de concientización y educación ambiental.

**Programa para Mejorar la Calidad del Aire de Mexicali 2000-2005.** Entre sus objetivos están: la reducción de emisiones contaminantes por kilómetro recorrido en vehículos automotores; reducir las emisiones provenientes de las industrias y reducción de partículas en calles no pavimentadas. Plantea cinco áreas de trabajo con 27 acciones específicas, entre ellas reducir las emisiones por parte de las industrias, instalando equipos de control y reingeniería de procesos; recuperación de vapores en terminales de almacenamiento y estaciones de servicio de combustibles; crear un programa de reducción de COV; auditorías ambientales; registro de emisiones y transferencia de contaminantes; utilización de gasolina oxigenada y de baja presión de vapor Reid; programa de verificación vehicular; aplicación de estabilizadores de suelo para controlar emisiones de partículas; establecimiento de una red de monitoreo atmosférico; mejoras al transporte público; diseño de programas de reforestación y preservación de zonas arboladas; revisar y actualizar periódicamente el inventario de emisiones y el Proaire; reforzar las acciones del programa Frontera XXI y programas binacionales.

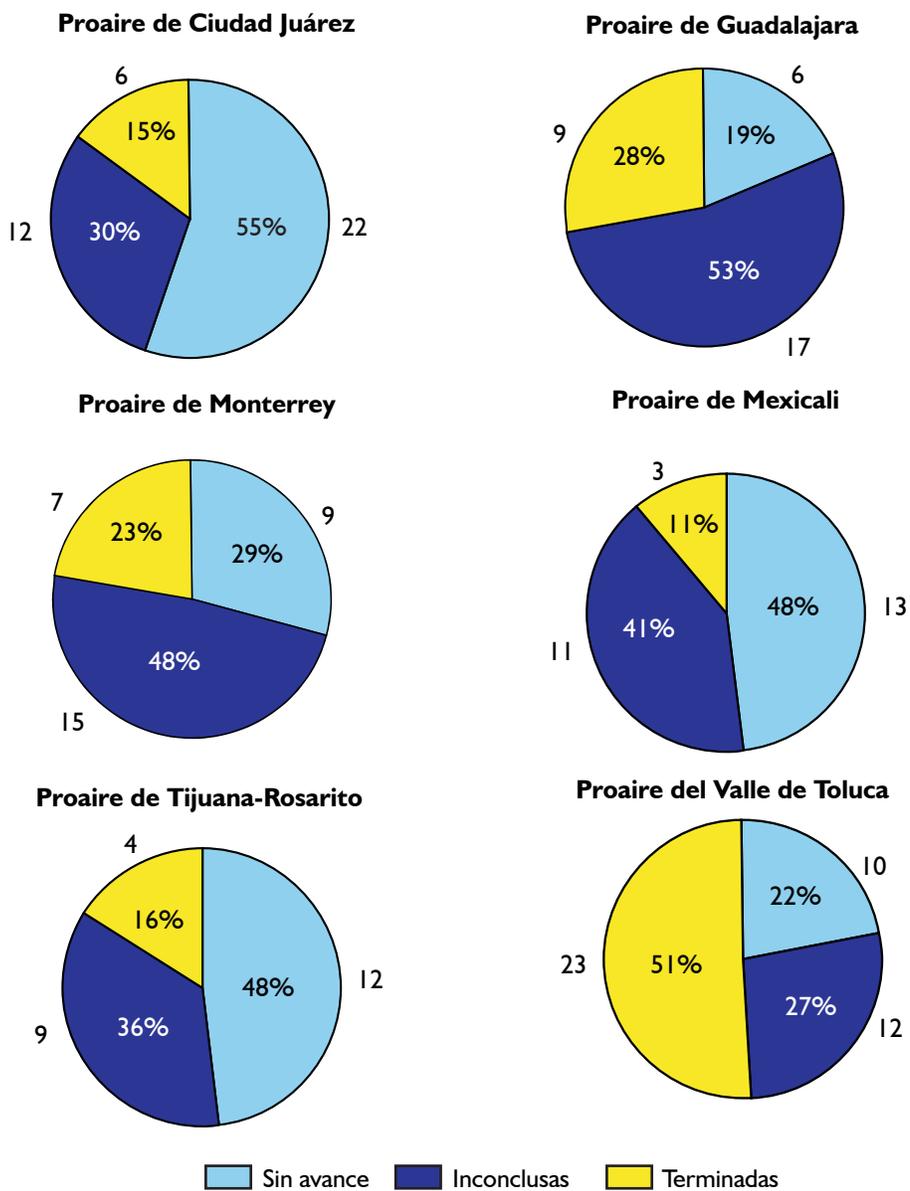
### **Avances de los Proaires**

La instrumentación de las medidas propuestas en los Proaires ha sido paulatina y aunque varios de los Proaires no se han actualizado,

dichas medidas aún son vigentes y se continúa impulsándolas. Tanto Guadalajara como el Valle de Toluca y Monterrey son las zonas metropolitanas que reportan el mayor avance, ya que han echado a andar 81, 78 y 71%, respectivamente, de las medidas propuestas en sus Proaires y de éstas una parte ya ha sido terminada y otra se encuentra en proceso (*Figura a*). En el caso de Ciudad Juárez, Mexicali y Tijuana-Rosarito casi la mitad de las acciones inicialmente incluidas en sus Proaires continúa sin avance, no obstante, cabe mencionar que dichos Proaires fueron instrumentados en fechas posteriores a los de las otras zonas metropolitanas. En el caso de Salamanca, debido a que la publicación de su Proaire es relativamente reciente se cuenta con un reporte preliminar descriptivo de su avance en el que se menciona, entre otros, la presentación del Programa de Contingencias Atmosféricas y su manual de aplicación y la elaboración del padrón de autotransporte federal, con el fin de integrar información para el diseño del programa verificación de este sector a nivel nacional. Por último, está en preparación el reporte de avances del Proaire del Valle de México.

## Proaires y sus avances (continuación)

**Figura a. Avance en la instrumentación de acciones de los Proaires en algunas ciudades. Número de acciones y porcentaje.**



**Fuente:**

Semarnat. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. México. 2006.

**Fuentes:**

Semarnap-INE. *Gestión de la calidad del aire en México. Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000*. México. 2000.  
 SEEM, SMAGDF, Semarnat y SS. *Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010*. México. 2002.  
 GEG, GMS, Semarnat, Sener e IEG. *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en Salamanca 2003-2006*. México. 2004.



de efecto invernadero (GEI). Estos gases dejan pasar la radiación solar a través de la atmósfera casi sin obstáculo, pero absorben la radiación infrarroja que emite la superficie de la Tierra e, incluso, irradian nuevamente una parte hacia ella, produciendo un efecto neto de calentamiento, de manera similar al que ocurre en los invernaderos (**Recuadro D3 R AIRE02 01**). Este efecto mantiene la temperatura de la superficie del planeta cerca de 33°C más caliente de lo que sería sin su existencia y es responsable, en mucho, de que exista vida en la Tierra. A pesar de que existen varios factores que pueden afectar el clima (véase *¿Qué motiva el cambio en el clima?*) y que existe una variabilidad natural bien documentada, el IPCC concluyó en su Tercer Informe de Evaluación de 2001 que hay evidencias sólidas de que el calentamiento observado durante los últimos 50 años es atribuible a las actividades humanas (IPCC, 2001); en el mismo informe se presentan y documentan las evidencias del cambio climático registrado (Tabla 6.1), siendo quizá las más notables el calentamiento promedio de la superficie terrestre de  $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$  durante el último siglo y el aumento anual del nivel del mar de entre 1 y 2 milímetros en promedio durante el siglo XX. Como muestra de lo anterior está el hecho de que 1998 fue el año más caliente de los registrados hasta la fecha y la década de los noventa se considera como la más caliente en el siglo XX y posiblemente del milenio.

El IPCC ha definido el cambio climático como “...todo cambio en el clima a través del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas”. Esta definición difiere de la que plantea la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés): “...un cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial y que se suman a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables” (IPCC, 2001). Aunque los GEI son emitidos por procesos naturales, las actividades humanas generan cantidades adicionales de este tipo de gases, además de otros que no ocurren de manera natural como los clorofluorocarbonos

(CFC); hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y halones, comúnmente usados en la refrigeración, aire acondicionado y los últimos como agentes extintores de fuego. El  $\text{CO}_2$  es el GEI más importante debido a los grandes volúmenes emitidos, a su larga vida en la atmósfera (entre 5 y 200 años), a su forzamiento radiativo ( $1.3\text{-}1.5 \text{ Wm}^{-2}$ ) –que es un índice del peso del factor como mecanismo potencial de cambio climático– y al notable incremento de su concentración atmosférica (31% respecto a la época preindustrial); su potencial de calentamiento es de 1 y es usado como referencia para establecer el potencial del resto de los GEI (IPCC, 2001; NAS, 2001).

La emisión de  $\text{CO}_2$  se ha incrementado de manera directa con la quema de combustibles fósiles, tan sólo durante el periodo de 1980-2003 la emisión mundial aumentó 37% (Figura 6.14). México contribuye con cerca de 2% de las emisiones de GEI a nivel mundial. Una mayor emisión genera una mayor concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, lo que, de acuerdo con el grueso de la evidencia científica, promueve el calentamiento global y, con ello, el cambio climático (IPCC, 2001). La quema de biomasa (principalmente la asociada a la deforestación), las emisiones derivadas de la producción de cemento y del cambio de uso del suelo también han contribuido significativamente al incremento de este gas en la atmósfera (PNUMA, 2002).

La acumulación de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera se debe a que los sumideros naturales (por ejemplo, la absorción por la vegetación y su disolución en el agua) no son suficientes para capturar la cantidad extra de este gas que genera su creciente emisión. Como consecuencia, su concentración ha aumentado de manera constante. Debido a que el  $\text{CO}_2$  se dispersa fácilmente, las mediciones hechas en cualquier parte del mundo son representativas. El registro histórico más extenso corresponde al volcán Mauna Loa en Hawaii y, por ello, los datos recogidos en este lugar se consideran representativos de la concentración global de este gas (Keeling y Whorf, 2005). La Figura 6.15 muestra el constante incremento de la concentración atmosférica de  $\text{CO}_2$  (19% en el



## ¿Qué motiva el cambio en el clima?

De la energía del sol que llega a la atmósfera de la Tierra, una parte es reflejada al espacio por nubes y aerosoles, otra parte es absorbida selectivamente por los gases presentes en la atmósfera y el resto alcanza la superficie del planeta, donde una fracción es absorbida y otra reflejada. La energía absorbida es posteriormente redistribuida por la circulación de la atmósfera y de los océanos y, eventualmente, es regresada al espacio en forma de radiación de longitud de onda larga (infrarroja). La superficie de la Tierra y la parte baja de la atmósfera se calientan a una temperatura tal que la radiación infrarroja que se emite es prácticamente igual a la energía solar que se absorbe. De esta forma, cualquier factor que afecte ya sea la radiación recibida, la que se emite o, incluso, que altere la redistribución de la energía en la atmósfera y entre ésta y la Tierra o los océanos puede afectar el clima.

Los gases de efecto invernadero tienen la propiedad de ser prácticamente transparentes a la radiación que proviene del Sol, pero absorben la radiación infrarroja. Estos gases reducen la eficiencia con que la Tierra emite radiación infrarroja (calor) produciendo un calentamiento en la parte baja de la atmósfera y la superficie del planeta. Este fenómeno se conoce como efecto invernadero y ha operado por millones de años debido a la presencia de gases como el bióxido de carbono, el ozono, el metano y el vapor de agua que, de manera natural, se encuentran en la atmósfera. De hecho, este efecto es responsable en gran parte de la vida en la Tierra, ya que ha permitido que la temperatura promedio de la superficie del planeta sea significativamente superior a lo que sería sin la presencia del efecto invernadero y que las oscilaciones térmicas entre el día y la noche sean menos severas. Sin embargo, cuando la cantidad de

gases de efecto invernadero se incrementa en la atmósfera, se tiende a un balance positivo de la energía, ya que aumenta la cantidad de radiación absorbida y, por consiguiente, existe un incremento en la temperatura global de la Tierra.

No obstante, es incorrecto atribuirle el cambio del clima únicamente a la presencia de gases de efecto invernadero en la atmósfera, ya que existen otros factores y procesos que también influyen en el clima de manera local o regional. Por ejemplo, los aerosoles, que son partículas microscópicas o gotas suspendidas en el aire (como las producidas por la quema de combustibles fósiles y de biomasa) si son de colores claros pueden reflejar la radiación que proviene del sol produciendo un efecto de enfriamiento, aunque si son de color oscuro, como las partículas de hollín, absorben la radiación e inducen el calentamiento. Las erupciones volcánicas también pueden modificar el clima de forma importante durante periodos cortos ya que incorporan grandes concentraciones de gases con azufre (principalmente  $\text{SO}_2$ ) en la estratosfera, que son transformados en aerosoles de sulfatos que reflejan la radiación y producen un enfriamiento a corto plazo.

Otra causa de variabilidad climática está relacionada con las oscilaciones en la cantidad de radiación que emite el Sol hacia la Tierra. La más conocida es la que tiene un periodo aproximado de 11 años, pero las más importantes se presentan con ciclos de miles de años y son la causa de cambios muy profundos en el clima. Estos ciclos están asociados a variaciones en la órbita terrestre<sup>1</sup> que modifican la cantidad de radiación que recibe un sitio. El resultado más evidente de estas variaciones son las glaciaciones que se presentaron recurrentemente en la Tierra durante el Pleistoceno.

## ¿Qué motiva el cambio en el clima? (continuación)

Otro fenómeno muy ilustrativo de la variabilidad climática del planeta es el conocido como El Niño<sup>2</sup>; este es un fenómeno más o menos cíclico que ocurre en un periodo que oscila entre tres y siete años. El Niño es resultado de una interacción compleja entre la atmósfera y el océano (en el Pacífico tropical); durante este evento una masa de agua cálida se desplaza de su posición habitual en el oeste hacia las costas del continente americano, ocasionando un incremento en las lluvias en Perú y sequías en los bosques tropicales de Indonesia, entre otros impactos.

Debido a la diversidad de factores que

pueden inducir cambios en el clima e, incluso, lo complejo que son las interacciones en el mismo sistema climático, es importante que cualquier cambio presuntamente inducido por el hombre se sitúe en el contexto de la variación climática natural, tratando de identificar las señales inequívocas del factor antropogénico.

### Notas:

<sup>1</sup> Esta idea fue planteada en 1930 por el matemático Milutin Milankovitch para explicar la ocurrencia de la Edad del Hielo y las glaciaciones y fue demostrada hasta después de 1970 cuando se examinaron depósitos de foraminíferos en el fondo del mar.

<sup>2</sup> El Niño forma parte de un fenómeno más grande conocido como ENOS (El Niño Oscilación del Sur) el cual incluye también al fenómeno conocido como La Niña.

Fuente: IPCC. *Climate change 2001. Technical summary*. IPCC. United Kingdom. 2001.

periodo 1959-2004). Además, si se le compara con la concentración pre-industrial reportada por el IPCC (2001), la concentración atmosférica actual de CO<sub>2</sub> es 35% superior (Figura 6.15). Otros gases como el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y el metano (CH<sub>4</sub>), que inducen el calentamiento de la Tierra debido a su contribución al efecto invernadero, también han aumentado significativamente su concentración en los últimos años. El CH<sub>4</sub> destaca por la magnitud de su concentración (Figura 6.16). En términos generales, se ha estimado que el CO<sub>2</sub> es responsable de aproximadamente 60% del efecto invernadero acumulado desde el siglo XVIII, el CH<sub>4</sub> de 20%, el N<sub>2</sub>O de 6% y los halocarbonos de 14% (IPCC, 2001; PNUMA, 2002).

En 2003 cinco países fueron responsables de poco más de la mitad del CO<sub>2</sub> emitido a nivel mundial (Figura 6.17). En ese año se generaron 6 862 millones de toneladas de equivalentes de carbono (mtc), de las cuales 3 594 mtc (52%) provinieron de Estados Unidos, China, Rusia, Japón e India. Destaca el caso de Estados Unidos, que es responsable de casi la

cuarta parte de las emisiones totales del planeta. En el contexto regional sobresalen, además de Estados Unidos, Europa, los países que formaban la Unión Soviética y parte de Asia (Mapa 6.2). La contribución de México ha representado entre 1.3 y 1.7% de las emisiones totales (Figura 6.14).

La primera estimación de emisiones de gases de efecto invernadero para México se realizó en 1995 con cifras de 1990. Los resultados se presentaron ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 1997 como parte de la Primera Comunicación Nacional de México ante la Convención. Posteriormente se calcularon las emisiones de 1994, 1996 y 1998 con la metodología revisada del IPCC de 1996. Cabe señalar que debido al cambio de método, las comparaciones del inventario de 1990 con los demás años no son correctas, mientras que las comparaciones entre los valores de los años 1994, 1996 y 1998 son válidas.

En México, de acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, las

**Tabla 6.1 Resumen de las principales evidencias de la ocurrencia del cambio climático global**

Indicador	Evidencia
<b>Concentración de contaminantes</b>	
CO <sub>2</sub> atmosférico	280 ppm en el periodo 1000-1750. Para el año 2000 es de 368 ppm (incremento 31 ± 4%).
CH <sub>4</sub> atmosférico	700 ppb en el periodo 1000-1750. Para el año 2000 es de 1 750 ppb (incremento 151 ± 25%).
N <sub>2</sub> O atmosférico	270 ppb en el periodo 1000-1750. Para el año 2000 es de 316 ppb (incremento 17 ± 5%).
Ozono troposférico	Incremento del 35 ± 5% del año 1750 al 2000.
Ozono estratosférico	Disminución del año de 1970 al 2000; varía con la altitud y la latitud.
HCFC, PFCs y SF <sub>6</sub>	Incrementos globales en los últimos 50 años.
<b>Indicadores del clima</b>	
Temperatura superficial media	Incremento de 0.6±0.2°C en el siglo XX. La superficie terrestre se ha calentado más que los océanos.
Temperatura superficial en el hemisferio norte	Se incrementó en el siglo XX más que en cualquier otro siglo en los últimos 1 000 años. La década de 1990 fue la más caliente del siglo y posiblemente del milenio*.
Precipitación continental	Incremento del 5-10% en el último siglo en el hemisferio norte, aunque disminuyó en algunas regiones como África y partes del Mediterráneo*.
Eventos de lluvia extremos	Incremento en latitudes medias y altas del norte*.
Frecuencia y severidad de sequías	Se ha observado una mayor incidencia en regiones de África y Asia*.
<b>Indicadores biológicos y físicos</b>	
Nivel del mar	Se ha incrementado a una tasa de 1 a 2 mm por año durante el último siglo.
Duración de la cobertura de hielo en ríos y lagos.	Disminución de una a dos semanas en altitudes medias y altas del hemisferio norte*.
Espesor y extensión de los hielos del Ártico	Disminución de 40% del espesor y del 10 al 15% de su área.
Cobertura de nieve	Disminución de 10% de acuerdo con imágenes de satélite*.
Eventos de El Niño	Son más frecuentes, persistentes e intensos durante los últimos 30 años en comparación con los 100 años previos.
Blanqueamiento del coral	Incremento en su frecuencia de ocurrencia, principalmente durante los eventos de El Niño.
Migración, reproducción y distribución de especies	Migración a latitudes o altitudes mayores de insectos, aves y peces. Cambios en la temporada de reproducción.

\* Las evidencias no son tan claras.

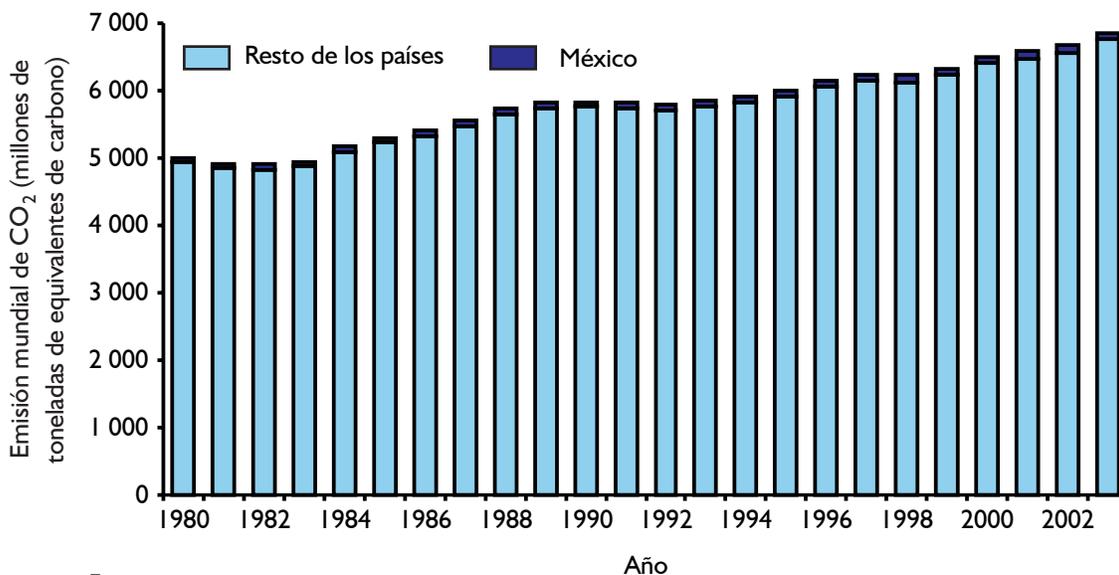
HCFC: hidroclorofluorocarbonos; PFC: perfluorocarbonos; SF<sub>6</sub>: hexafluoruro de azufre

**Fuente:**

IPCC. *Climate change 2001: synthesis report*. United Kingdom. 2001.



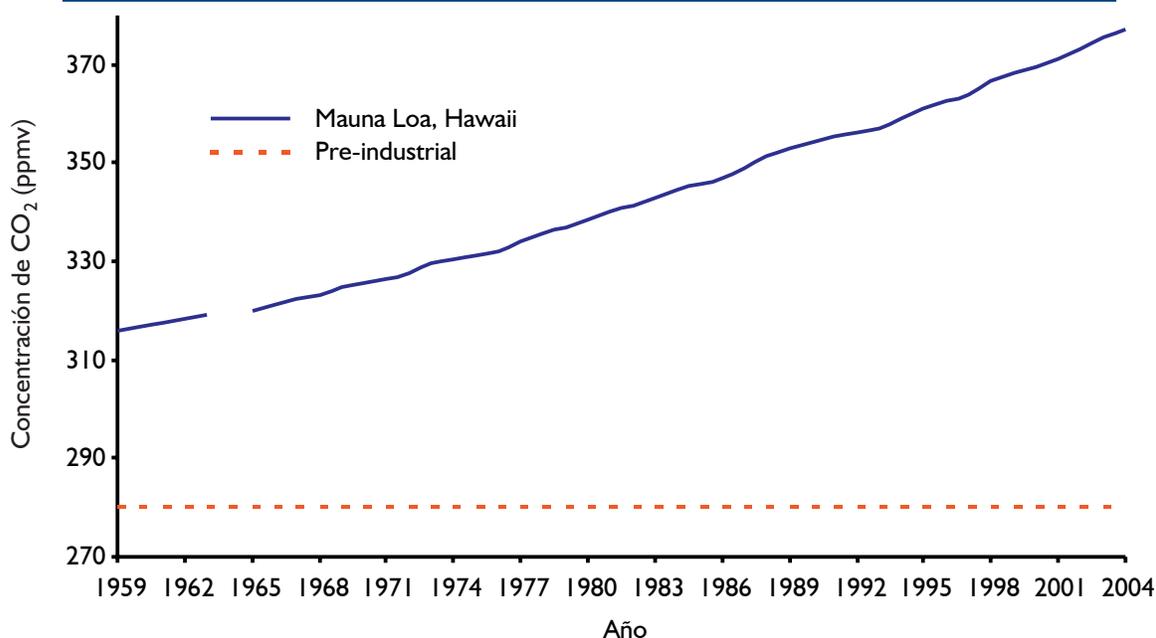
**Figura 6.14 Emisión mundial de CO<sub>2</sub> por consumo de combustibles fósiles, 1980-2003**



**Fuente:**

EIA. *International Energy Annual 2003. Carbon dioxide emissions from use of fossil fuels*. U.S.A. 2005. Disponible en: [www.eia.doe.gov/emeu/iea/carbon.html](http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/carbon.html)

**Figura 6.15 Concentración global atmosférica de CO<sub>2</sub>, 1959-2004**



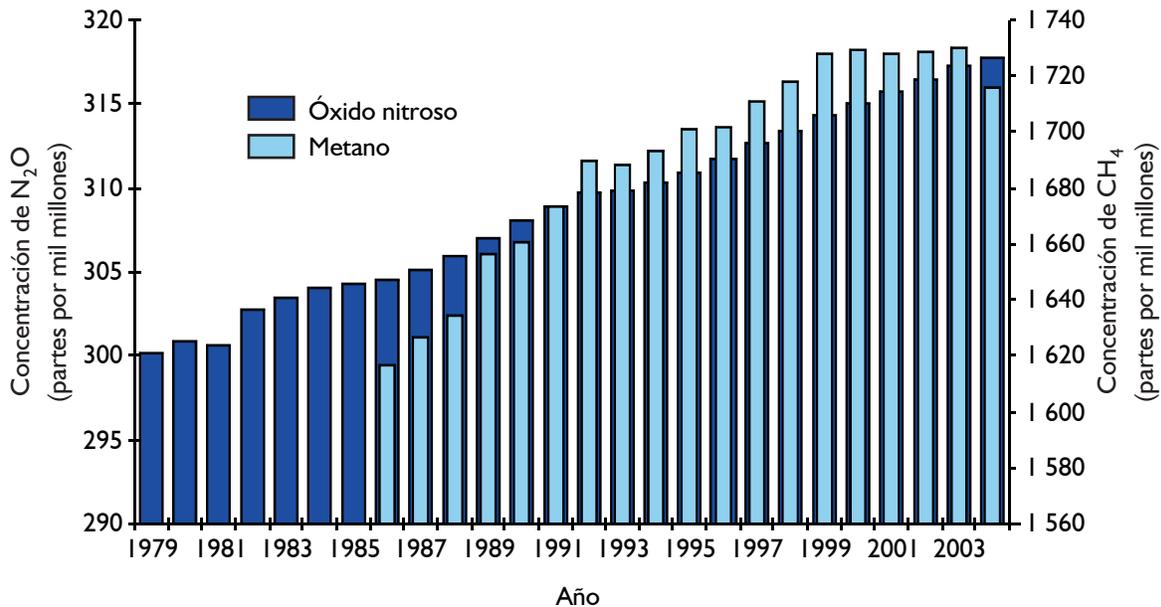
**Nota:**

La concentración pre-industrial (280 partes por millón por volumen) es reportada por el IPCC.

**Fuente:**

Keeling, C.D. y T.P. Whorf. *Atmospheric CO<sub>2</sub> records from sites in the SIO air sampling network*. 2005. En: Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center. U.S.A. Disponible en: <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/co2/sio-mlo.htm>

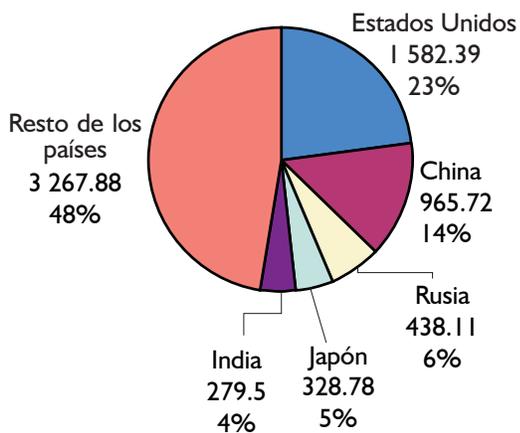
**Figura 6.16 Concentración global atmosférica de óxido nítrico y metano, 1979-2004**



Fuente:

WRI. *Climate and Atmosphere Searchable Database. EarthTrends. The Environmental Information Portal.* 2005. Disponible en: <http://earthtrends.wri.org/index.cfm4>

**Figura 6.17 Contribución de los principales países emisores a la emisión mundial de CO<sub>2</sub> por consumo y quema de combustibles fósiles, 2003. Millones de toneladas de equivalentes de carbono y porcentaje.**



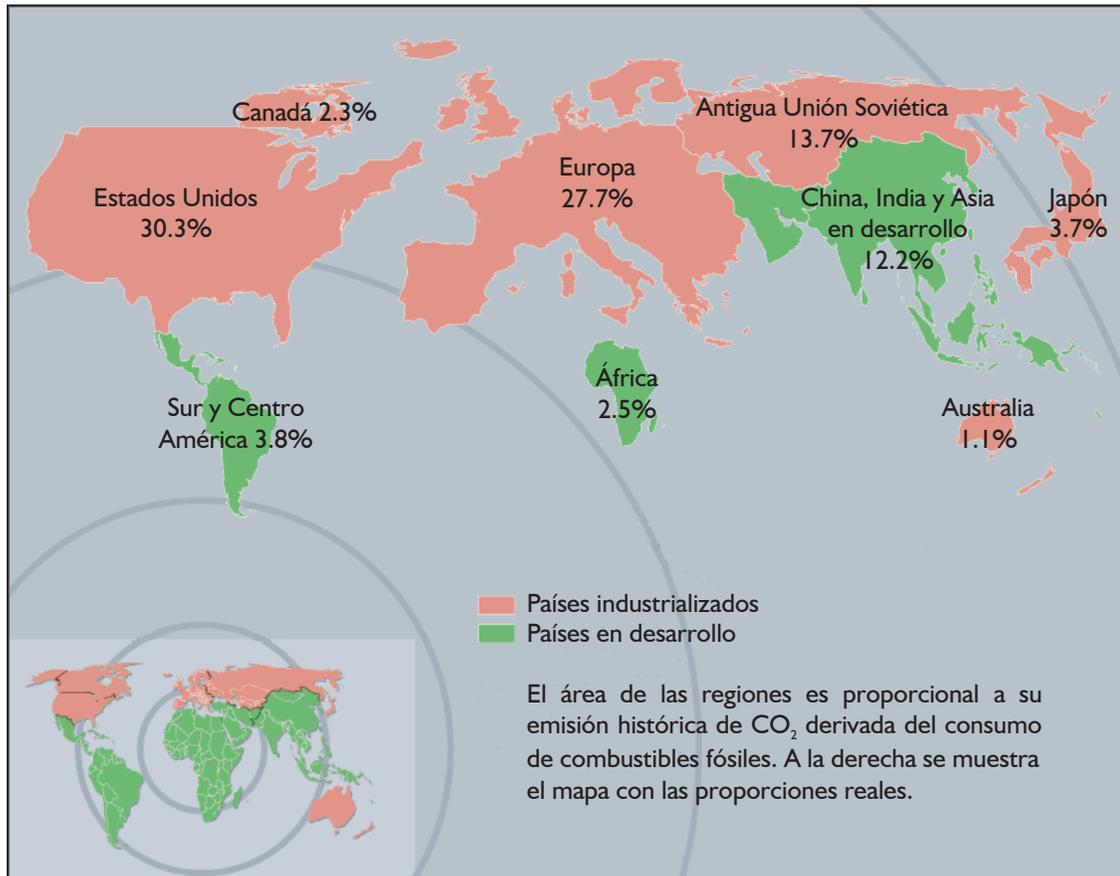
Fuente:

EIA. *International Energy Annual 2003. Carbon dioxide emissions from use of fossil fuels.* U.S.A. 2005. Disponible en: [www.eia.doe.gov/emeu/iea/carbon.html](http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/carbon.html)

emisiones generadas por la quema de combustibles fueron de un poco más de 350 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en 1998, de las cuales el sector transporte emitió al menos 30% (Figura 6.18 y Cuadro D3 AIRE02 01). Le siguió la generación eléctrica que emitió 29%. La industria en su conjunto emitió en ese año alrededor de 30%, mientras que los sectores que contribuyeron en menor medida fueron el residencial, comercial y agrícola. La emisión total de CO<sub>2</sub> en 1998 fue mayor en 11.5 y 11.3% que las emisiones en 1994 y 1996, respectivamente.

El CO<sub>2</sub> es el gas que se emitió en mayor cantidad con al menos 95% anual del total de las emisiones de GEI en México, de acuerdo con las estimaciones para 1994, 1996 y 1998 y considerando todas las fuentes emisoras. Además, a diferencia de otros años, en 1996 se calculó la emisión de CO<sub>2</sub> asociada al cambio de uso del suelo y silvicultura que generó un poco más de 157 millones de toneladas por año, que representan 31% de las emisiones totales de ese gas para 1996 (Cuadro D3 AIRE02 01). Dicha estimación es relevante ya que, además de significar un elevado porcentaje de las emisiones, existe

**Mapa 6.2 Contribución regional a la emisión de CO<sub>2</sub> por el consumo de combustibles fósiles, 1900-1999**



**Fuente:**

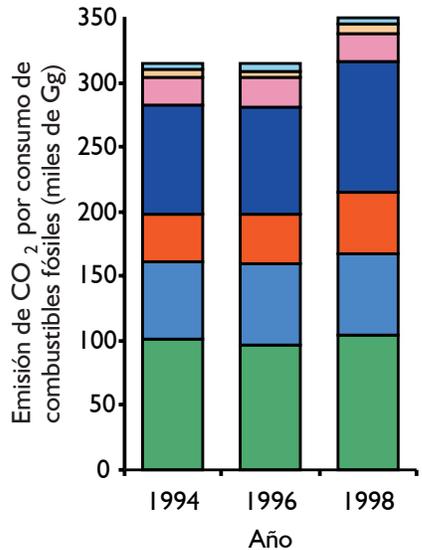
Modificado de: WRI. *Contributions to global warming map*. 2002. Disponible en: [www.wri.org](http://www.wri.org)

evidencia de que el cambio de uso de suelo genera impactos importantes; por ejemplo, se calcula que los niveles de carbono en el suelo son entre 50 y 60% menores después de 50 a 100 años que se ha empleado para cultivo (Stewart y Robinson, 2000). Las emisiones generadas por el cambio de uso de suelo son el resultado de un balance entre emisión y captura de CO<sub>2</sub>; por un lado se generan emisiones de la tala forestal y la limpia de terrenos desmontados, mientras que por otro se captura el CO<sub>2</sub> en tierras abandonadas y como consecuencia del manejo forestal, ya que mediante la reforestación se promueve la captura de carbono (Semarnat-INE, 2004).

Los inventarios de emisiones para 1994, 1996 y 1998 indican que las emisiones totales de CO<sub>2</sub>

fueron de 351.5, 514 y 394.7 millones de toneladas, respectivamente, generadas en su mayoría por la quema de combustibles. Cabe mencionar que en 1996 la emisión de CO<sub>2</sub> es mayor debido a que el inventario de emisiones consideró aquellas derivadas de cambio de uso del suelo y silvicultura. El CH<sub>4</sub> siguió en importancia con 6.5, 7.7 y 8 millones de toneladas por año para los mismos años, respectivamente, cuya emisión se derivó en gran medida de los sitios de depósito de desechos sólidos, como consecuencia del tratamiento de aguas residuales, de las emisiones fugitivas de petróleo y gas natural y de actividades agropecuarias. Las emisiones de N<sub>2</sub>O fueron de poco menos de 50 mil toneladas, siendo su fuente primordial las actividades agrícolas. Los NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y compuestos orgánicos volátiles, excluyendo al metano (COVNM), fueron

**Figura 6.18 Emisión nacional de CO<sub>2</sub> por consumo de combustibles fósiles, 1994, 1996 y 1998**

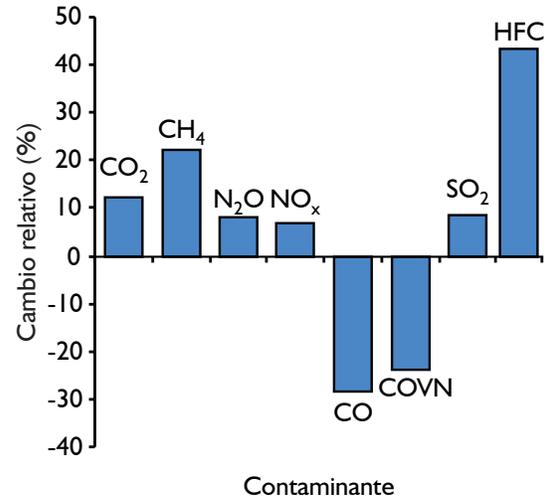


Nota:  
ISIC: Industrial Sector International Classification. Clasificación Internacional del Sector Industrial que incluye, entre otros, la producción de cemento y la metalurgia.

Fuente:  
Semarnat-INE. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global. México. 2002. En Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2002. Compendio de Estadísticas Ambientales*. México. 2003.

emitidos por la quema de combustibles empleados en el transporte. Los hidrofluorocarbonos (HFC) son producidos únicamente por la industria y, aunque su volumen es muy pequeño en términos comparativos con los demás gases, son importantes debido a que su potencial de calentamiento como gases de efecto invernadero puede ser considerablemente mayor que el del CO<sub>2</sub>, tanto por su mayor tiempo de permanencia en la atmósfera, como por su mayor capacidad de retención de radiación infrarroja (Cuadro D3 AIRE02 01).

**Figura 6.19 Cambios en las emisiones de los diferentes gases de efecto invernadero en México, 1994-1998**



Fuente:  
Elaboración propia con datos de: Semarnat-INE. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global. México. 2002.

Entre 1994 y 1998 se incrementaron las emisiones nacionales de casi todos los gases de efecto invernadero, resaltando por su importancia en volumen las de CO<sub>2</sub>, que aumentaron 12.3% (Figura 6.19). El metano tuvo un incremento de 22.2%. En contraste, se redujeron las emisiones de CO en 28% y COVNM en 24%. Aunque los HFC muestran un importante incremento (casi 44%) entre 1994 y 1998 debe considerarse que el volumen emitido es muy pequeño comparado con los otros gases.

Si se examina la generación de CO<sub>2</sub> con referencia al Producto Interno Bruto (PIB) del país, México – con un valor de 0.97 kg de CO<sub>2</sub> por dólar a precio de 1995– ocupó en 2002 el cuarto lugar dentro de los países de la OCDE después de la República Checa, Polonia y Eslovaquia (OECD, 2004). Dicha intensidad de emisiones de CO<sub>2</sub> respecto al PIB fue ligeramente mayor respecto a la reportada para 2000 (0.96 kg de CO<sub>2</sub> por dólar a precio de 1995;



OCDE, 2002), lo que significa una menor eficiencia. La emisión neta de CO<sub>2</sub> por habitante en México fue de 3.64 toneladas por año en 2002, lo que coloca al país como el segundo más bajo en emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita dentro de los países de la OCDE, muy por debajo de la cifra de Luxemburgo, Estados Unidos, Australia y Canadá que reportan 20.8, 19.7, 17.4 y 16.9 toneladas por año, respectivamente (OECD, 2004). En el contexto latinoamericano, países más pequeños como Trinidad y Tobago y Venezuela superan a México en las emisiones por habitante (WRI, 1998; IEA-OECD, 2002).

Existen otros gases de efecto invernadero que, no obstante ser considerablemente menores en volumen que el CO<sub>2</sub>, contribuyen de manera significativa al calentamiento global, ya que su acción combinada de retención de calor y tiempo de permanencia en la atmósfera hace que sus efectos sean importantes. Por ejemplo, los clorofluorocarbonos (CFC), considerados sustancias que destruyen la capa de ozono estratosférico, pueden permanecer en la atmósfera hasta mil 700 años, mientras que los fluorocarbonos más de 50 mil años. Los halocarbonos, que incluyen halones y CFC, tienen un forzamiento radiativo de 0.34 Wm<sup>-2</sup>, que es equivalente al 14% del forzamiento radiativo de todos los GEI mezclados mundialmente (IPCC, 2001).

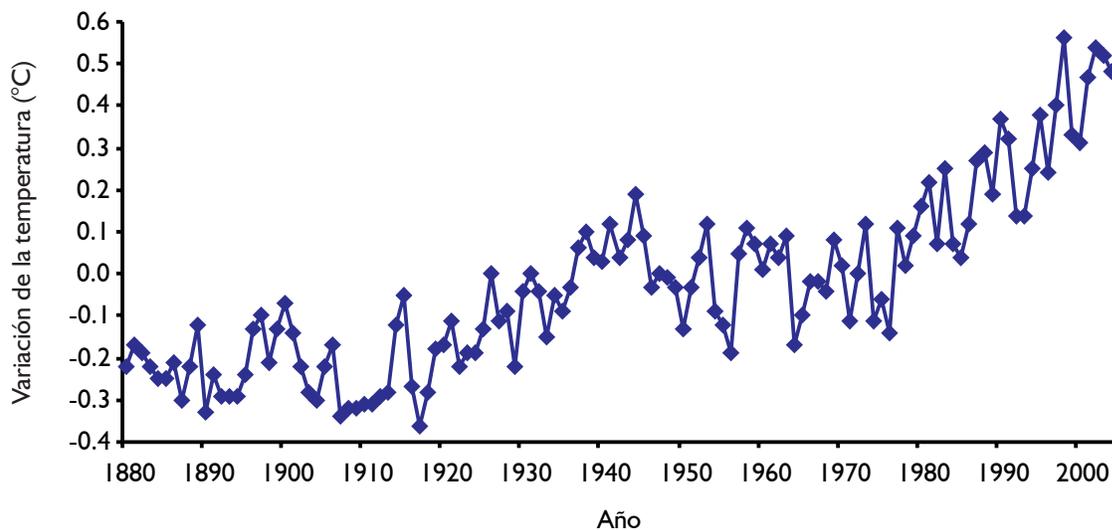
La gran cantidad de procesos que intervienen para determinar el clima de un lugar hace poco confiables las extrapolaciones de las tendencias registradas en el pasado para predecir el clima futuro. Por esta razón, las proyecciones sobre el clima se realizan por medio de modelos numéricos complejos que predicen la respuesta de éste ante diferentes escenarios como, por ejemplo, diferentes volúmenes de emisión de CO<sub>2</sub> o cambios en la dinámica de retención por parte de la vegetación. A pesar de la incertidumbre asociada a los resultados obtenidos en los modelos, los escenarios más conservadores predicen varias consecuencias sobre aspectos tan importantes como la salud humana, los ecosistemas y la disponibilidad de los recursos hídricos, lo que ha provocado que a nivel mundial se tomen acciones decididas para evitar que las

actividades humanas alteren más el clima del planeta. A escala global, las proyecciones indican que el nivel medio del mar se elevará entre 9 y 88 centímetros, aunque con importantes variaciones regionales, y que la concentración de CO<sub>2</sub> en el año 2100 podría ser de entre 540 y 970 partes por millón (ppm) en contraste con las 280 ppm registradas en el periodo 1000-1750. Además, se prevé que el aumento de la temperatura media superficial del planeta será de 1.4 a 5.8°C en el periodo 1990-2100. También es probable que las precipitaciones se incrementen en las regiones situadas en latitudes altas y septentrionales, mientras que en Australia, América Central y África Meridional las precipitaciones de invierno probablemente continuarán descendiendo (IPCC, 2001).

Los principales cambios observados en el clima se refieren a incrementos de temperatura (atmosférica y marina superficial) y del nivel del mar, cambios en los patrones de precipitación y cambios en las pautas de circulación atmosférica y oceánica (mayor frecuencia, persistencia e intensidad de los fenómenos de El Niño-Oscilación del Sur). También se ha observado la reducción en la extensión y grosor de la capa de hielo terrestre (glaciares) y de los casquetes polares (Magaña, 1999; IPCC, 2001; NAS, 2001). De acuerdo con los registros de la temperatura global en los últimos diez años, la variación promedio fue de 0.42°C por arriba de la media del periodo 1951-1980; siendo 1998 cuando se registró el mayor incremento (0.56°C). En 2004 se registró un incremento de 0.48°C respecto a la media (Figura 6.20).

Ante este escenario es muy probable que se intensifiquen los impactos del cambio climático tanto en los ecosistemas como en la salud de las poblaciones humanas. Entre los posibles impactos se ha planteado, por ejemplo, la reducción o expansión de las áreas de distribución de diversas especies de invertebrados, peces, insectos, aves y plantas; el blanqueamiento en los arrecifes de coral; el adelanto de la floración en muchas especies de plantas y el anticipo en la llegada y reproducción de aves migratorias; la reducción e incluso pérdida de poblaciones y ecosistemas. También se ha

Figura 6.20 Variación de la temperatura global, 1880-2004



**Nota:**

El cero representa la temperatura media de 30 años (1951-1980), por lo que los datos se refieren a la variación anual respecto a esa media. La serie de tiempo presenta el registro combinado de la temperatura global superficial terrestre y marina.

**Fuente:**

NASA. Goddard Institute for Space Studies. *Surface Temperature Analysis*. 2005. Disponible en: <http://www.giss.nasa.gov/data/update/gistemp/graphs/>

proyectado, de acuerdo a ciertos modelos, que puede ocurrir un incremento del número de muertes en el mundo por efecto de las ondas cálidas y que enfermedades como la malaria y el dengue se conviertan en un problema de salud pública mundial, ya que el área de distribución de sus organismos vectores podría extenderse (IPCC, 2001; NAS, 2001; Townsend *et al.*, 2002; CBD, 2003; Smith *et al.*, 2003) (véase **Cambio climático: ¿nos debe preocupar y ocupar?**).

De entre los diversos estudios sobre la vulnerabilidad de México ante el cambio climático existen algunos en los que se evalúan los efectos potenciales en la agricultura de temporal, el sector pesquero y la vegetación. Por ejemplo, se ha documentado que el fenómeno meteorológico El Niño que se presentó en 1997-1998 redujo la producción de erizo, langosta, abulón y camarón e incrementó la incidencia de incendios forestales (Magaña y Gay, 2002). En función de los cambios de

temperatura y precipitación, se ha estimado que en México los tipos de vegetación más afectados serán los bosques templados, los bosques tropicales y los bosques mesófilos de montaña (Conabio, 2002). Los efectos sobre la población humana también son importantes; en el país existen cerca de 20 millones de habitantes asentados en lugares de alto riesgo de inundación, lo que los hace especialmente vulnerables ante las variaciones climáticas y eventos extremos (e.g. inundaciones y huracanes; Magaña y Gay, 2002).

Como respuesta a esta problemática mundial surgió la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), cuyo objetivo es lograr la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que minimice las interferencias antropogénicas en el sistema climático. México firmó y ratificó este acuerdo en 1992 y 1993 (Semarnap-INE, 1999; UNEP, 2002). Como instrumento de la UNFCCC

## Cambio climático: ¿nos debe preocupar y ocupar?

El cambio climático hasta hace pocos años era un problema que sólo llamaba la atención de los científicos. No obstante, en los últimos años la sociedad ha comenzado a interesarse y preocuparse por este fenómeno. Esto ha ocurrido, en buena parte, debido a que los medios de comunicación han retomado las conclusiones a las que están llegando los científicos, pero indudablemente también a que la población ha empezado a sufrir los efectos de este cambio climático global.

Hoy en día, es relativamente común que se incluyan en periódicos, revistas y medios electrónicos, notas o comentarios referentes a que los glaciares se están contrayendo, los huracanes son cada vez más intensos, los patrones de lluvias están cambiando, los veranos son más calientes y algunas especies están disminuyendo o ampliando su rango de distribución, atribuyéndole estos hechos al cambio climático global.

Si bien existen grupos que plantean la posibilidad de que el cambio climático actual sea parte de uno de los ciclos naturales de cambio del clima del planeta, es ampliamente aceptado que las actividades humanas han contribuido significativamente al incremento de la concentración de gases de efecto invernadero que son causantes del calentamiento del planeta. También existen diversos eventos o “evidencias” que, como piezas de un rompecabezas, se van acomodando para ayudarnos a explicar e interpretar los efectos de los cambios en el clima. Así mientras en África se intensifican

las sequías, en otras partes del mundo hay reportes de lluvias y huracanes más intensos. Durante los últimos años se han presentado huracanes (e.g., Emily en Yucatán, Katrina en el sureste de Estados Unidos y Stan y Wilma en el sureste de México), que han ocasionado pérdidas humanas y materiales considerables, además de afectaciones importantes a los ecosistemas naturales. Desafortunadamente el panorama futuro no parece ser mejor, ya que estudios recientes indican que desde hace por lo menos 30 años, existe una tendencia a que los huracanes sean más intensos en cuanto a la velocidad de sus vientos y duración, y aunque se plantea la posibilidad de que sean más frecuentes, esto sigue en debate.

Desde enero de 1994, investigadores de las universidades de Columbia y Oxford, plantearon la posibilidad de un impacto futuro del cambio climático sobre el suministro mundial de alimentos. Aunque es difícil probar una relación directa, existen ejemplos de que el incremento de la temperatura media mundial, relacionada con el cambio climático, ha afectado la agricultura y las pesquerías. Por ejemplo, en 1998, el año más cálido desde 1961, México sufrió los efectos de la sequía perdiendo más de tres millones de toneladas de maíz, además de la reducción de la producción de erizo, langosta, abulón y camarón. También en 1998, como consecuencia de la sequía, se produjeron incendios en aproximadamente 400 mil hectáreas de las cuales 21% fueron bosques.

## Cambio climático: ¿nos debe preocupar y ocupar? (continuación)

Sólo en los últimos meses algunos medios de comunicación han señalado que se observan ya las consecuencias del cambio climático: la desaparición acelerada de la capa de hielo del Ártico (en poco menos de 30 años se redujo en un 20%, una pérdida que equivale a la mitad del territorio mexicano); han cambiado las rutas de migración de algunas aves y el hábitat de las focas y osos polares está desapareciendo. También se ha proyectado que la temperatura global puede aumentar cuatro grados hacia el final de este siglo y con ello el nivel del mar puede subir hasta 30 centímetros; cientos de especies de plantas europeas estudiadas serán afectadas por el cambio en el clima y algunas se extinguirán. La proporción de sexos en las tortugas podría verse alterada como consecuencia del incremento de temperatura, ya que bastan tres grados para definir si la cría es hembra o macho, observándose que un ambiente más cálido produce más hembras; el plancton marino puede reducirse y con ello afectar la productividad global de los océanos.

Existen también reportes de efectos sobre especies de plantas, corales, aves y mamíferos. La Iniciativa para la Observación e Investigación Mundial de Ambientes Alpinos realiza una investigación sobre el posible desplazamiento de flores alpinas por plantas que avanzan desde abajo donde las temperaturas son más cálidas. Una población de pingüinos Adelia pasó de 320 parejas con crías a sólo 54 entre 1990 y 2004 en un sitio donde la temperatura promedio se ha incrementado casi 5.5°C en cincuenta años,

provocando la pérdida de una plataforma de alimentación para esta especie. Los osos polares de la bahía de Hudson, en los límites australes de América del Norte, han disminuido un 15% su proporción entre masa corporal y longitud, al parecer como consecuencia del acortamiento en el periodo de alimentación provocado por la ruptura del hielo tres semanas antes de lo que habitualmente ocurría. En 1998, 16% de los corales del mundo se decoloró o murió como consecuencia del incremento de temperatura. Además, destacan entre los deshielos el caso del monte Kilimanjaro, donde la nieve se ha derretido en más de 80% desde 1912, así como el colapso de 3 240 kilómetros cuadrados de la Plataforma Larsen B en la Península Antártica a principios de 2002 (*Figura a*).

Es evidente que la inclusión de estos temas en los medios de comunicación ha convertido al cambio climático en un problema de interés general. Aunque aún existe incertidumbre alrededor de los modelos climáticos y continúa la discusión sobre el papel que juegan las actividades humanas en el cambio climático sería irresponsable escudarse en este argumento para no actuar. Muy probablemente cuando las evidencias sean incuestionables, sus efectos serán irreparables. En este sentido, es necesario impulsar aquellas iniciativas que permitan controlar y minimizar los efectos del cambio climático, así como reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

## Cambio climático: ¿nos debe preocupar y ocupar? (continuación)

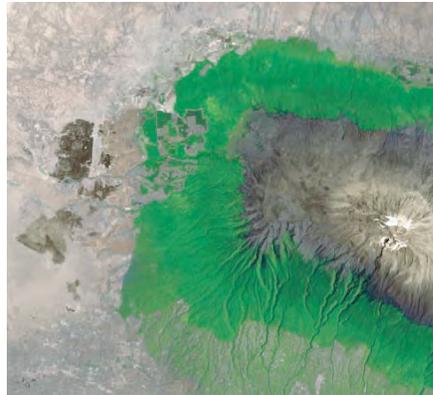
Figura a. Deshuelos en el Monte Kilimanjaro y Antártica

Antes



1976

Después

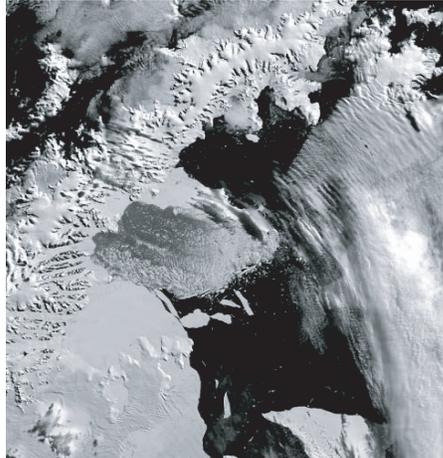


2000

El monte Kilimanjaro ha perdido un importante porcentaje de la nieve que lo cubría.



Enero 31 de 2002



Marzo 7 de 2002

Colapso de 3 240 km<sup>2</sup> de la Plataforma Larsen B en la Península Antártica.

Fotografías tomadas de:

UNEP. *Selected Satellite Images of Our Changing Environment*. Kenya. 2003.

### Fuentes:

BBC News. *Animals 'hit by global warming'*. 2005 (5 de octubre). Disponible en: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/4313726.stm>

BBC News. *Arctic ice 'disappearing quickly'*. 2005 (28 de septiembre). Disponible en: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/4290340.stm>

Emanuel, K. A. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*. 436:686-688. 2005.

La Jornada. *El sexo de las tortugas*. México. 2005 (4 de octubre).

Magaña, V. O. y C. Gay. Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. *Gaceta Ecológica*. 65: 7-23. 2002.

Max Planck Society. *Climate change more rapid than ever*. Press Release. Munich. 2005. Disponible en: <http://www.mpg.de/english/portal/index.html>

Rosenzweig C. y M. Parry. Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*. 367: 133-138. 1994.

Webster, P. J., G. J. Holland, J. A. Curry y H.R. Chang. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*. 309: 1844-1846. 2005.



surgió el Protocolo de Kioto, el cual plantea la reducción cuantificable de las emisiones de los países más desarrollados y las economías en transición (pertenecientes al Anexo I), así como algunos de los mecanismos para lograrla. México firmó este protocolo en 1998 y lo ratificó en el 2000 como país “no Anexo I” (países en desarrollo; Semarnap-INE, 1999). Actualmente, muchos de los países miembros están trabajando para avanzar en el cumplimiento de sus compromisos ante la UNFCCC y el Protocolo de Kioto, que entró en vigor en febrero de 2005 (UNFCCC, 2003, 2004) (véase **Medidas adoptadas por México en materia de cambio climático**).

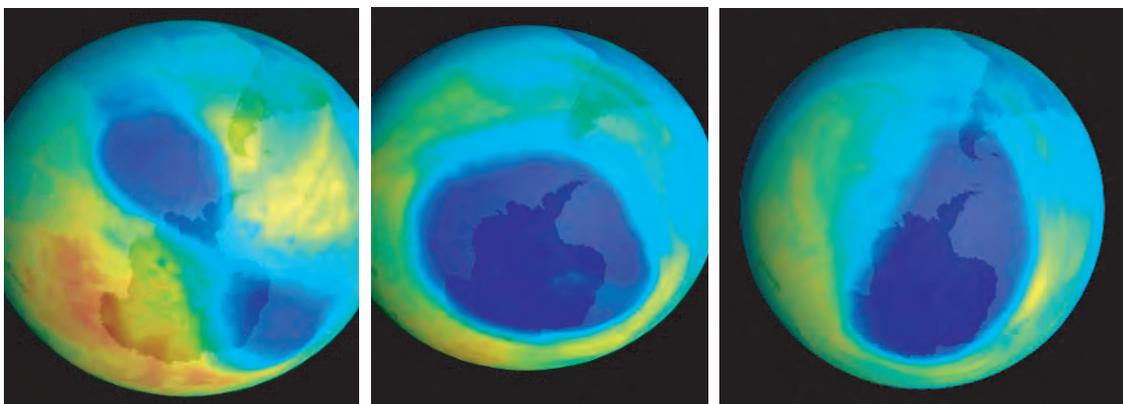
### Ozono estratosférico

Hoy en día la reducción del espesor de la capa de ozono, junto con el cambio climático global, representa uno de los problemas ambientales más importantes en el mundo. El agotamiento del ozono estratosférico es causado por varios agentes que se conocen genéricamente como sustancias agotadoras del ozono (SAO), que contienen cloro, bromo y flúor y se generan principalmente como resultado

de las actividades humanas. Al ser liberadas, las SAO alcanzan la estratosfera, donde participan en una serie de reacciones que conducen a la liberación de átomos de cloro y bromo que destruyen el ozono; una molécula de cloro o bromo puede destruir cien mil moléculas de ozono. Las SAO se utilizan en los sistemas de refrigeración, aire acondicionado, espuma rígida de poliuretano, solventes, insecticidas, aerosoles y extintores, entre otros. Las SAO más conocidas son los clorofluorocarbonos (CFC), pero también destacan los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), halones, bromuro de metilo (MBR), tetracloruro de carbono (TET) y metil cloroformo (MCF) (WMO y UNEP, 2003).

Aunque 90% de las emisiones de SAO ocurre en Europa, Norteamérica y Japón, los contaminantes se propagan en la atmósfera y las condiciones climáticas del Polo Sur (nubes y viento polar) favorecen las reacciones que convierten a las SAO en gases reactivos que destruyen el ozono. Por esta razón, aunque el problema es global, es menor cerca del ecuador y se incrementa con la latitud hacia los polos (PNUMA, 2003; WMO y UNEP, 2003). El

**Figura 6.21 Superficie cubierta por el agujero de ozono, 2002-2004**



Septiembre 24, 2002

Septiembre 24, 2003

Septiembre 22, 2004

**Nota:**

El área en azul marino representa el “agujero de ozono”.

**Fuentes:**

NASA. 2003 Ozone 'Hole' Approaches, But Falls Short Of Record. NASA News. 2003. Disponible en:

<http://www.gsfc.nasa.gov/topstory/2003/0925ozonehole.html>

NASA. Looking at earth. 2004 Antarctic Ozone Hole. 2004. Disponible en: [http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ozone\\_hole\\_2004.html](http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ozone_hole_2004.html)

## Medidas adoptadas por México en materia de cambio climático

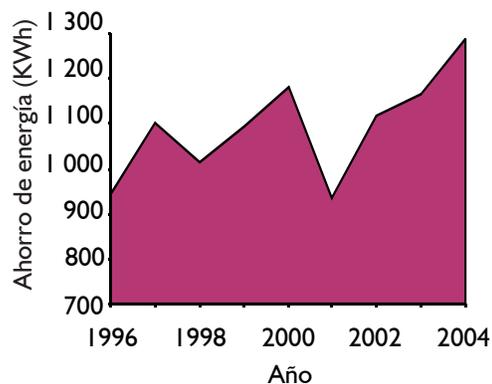
México, como país “no Anexo I” ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés), no tiene compromisos cuantitativos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). No obstante se ha caracterizado por ser uno de los países que va a la vanguardia en la adopción de medidas y ha impulsado iniciativas propias. En esta primera etapa de compromisos internacionales, las medidas que se están tomando se refieren principalmente a programas, estudios y evaluaciones que servirán como base para impulsar acciones concretas, algunas de las cuales arrancaron desde hace algunos años.

Entre las acciones que destacan, se encuentra la presentación de la Segunda Comunicación Nacional ante la UNFCCC en 2001; hasta septiembre de 2005 sólo tres países “no Anexo I” (México, Corea y Uruguay) habían presentado su segunda comunicación nacional, siendo nuestro país el primero en hacerlo (hasta el momento 126 países “no Anexo I” han presentado la primera; UNFCCC, 2005). Como parte de las comunicaciones nacionales se publicó el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero para los años 1990, 1994, 1996 y 1998. Actualmente están en elaboración la actualización a 2002 del nuevo inventario y la actualización de la Tercera Comunicación Nacional ante la UNFCCC.

Existen programas en los sectores forestal y energético que incluyen acciones para mitigar

el cambio climático. Entre ellos se encuentra el mercado de servicios ambientales por captura de carbono que en 2004 benefició a nivel nacional a un total de 251 585 hectáreas (Conafor, 2005). En el sector energético, el horario de verano ha permitido, desde su instrumentación, el ahorro de 14 millones de barriles de petróleo y con ello se han dejado de emitir a la atmósfera más de 12 millones de toneladas de contaminantes, de las cuales más del 90% corresponden a CO<sub>2</sub> (Figura a). De igual forma, el desarrollo de Normas Oficiales Mexicanas para el uso eficiente de la energía ha contribuido notablemente para reducir la emisión de GEI. Por otro lado, desde su inicio en 1999 y hasta la fecha, el Programa de Ahorro de Energía en Inmuebles de la Administración Pública Federal ha permitido reducir en promedio 20% del consumo de

**Figura a. Ahorro anual de energía eléctrica derivado de la instrumentación del Horario de Verano, 1996-2004**

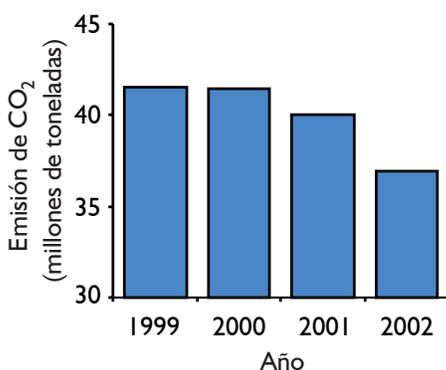


Fuente:

Conae. Horario de Verano. México. 2005. Disponible en: <http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=1>

## Medidas adoptadas por México en materia de cambio climático (continuación)

**Figura b. Reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> por Pemex, 1999-2002**



**Fuente:**

Pemex. *Informe de Seguridad y Medio Ambiente 2002*. México. 2003. Disponible en: <http://www.pemex.com/files/seguridad/Proteccionambiental.pdf>

electricidad en los inmuebles que participan en el programa (Conae, 2005). Pemex, por su parte, promueve la reducción de GEI a través de la comercialización de permisos de reducción de emisiones de carbono entre sus subsidiarias. Con esta medida, de 1999 a 2002 logró una reducción de 4.6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (**Figura b**) (Pemex, 2003).

Se han desarrollado también diversos estudios impulsados por el Instituto Nacional de Ecología (INE), entre los que destaca el de Vulnerabilidad y Adaptación Regional ante el Cambio Climático y sus Impactos Ambientales, Sociales y Económicos (Magaña y Gay, 2002). Recientemente, el INE puso a disposición del público en general el Portal

sobre Cambio Climático (disponible en: [http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx/](http://cambio_climatico.ine.gob.mx/)). En junio de 2005, se instaló el Comité Directivo de la Alianza Metano a Mercados (M2M) en México, cuyo objetivo consiste en reducir las emisiones de metano, así como identificar áreas de oportunidad para recuperarlo y aprovecharlo como combustible para diferentes actividades productivas, como la generación de electricidad (PNUMA, 2005).

**Fuentes:**

Conae. *Asume nuevos retos el Programa de Ahorro de Energía en la Administración Pública Federal*. México. 2005. Disponible en: <http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=2992>

Conafor. *Programa para desarrollar el mercado de servicios ambientales por captura de carbono y los derivados de la biodiversidad y para fomentar el establecimiento y mejoramiento de sistemas agroforestales (PSA-CABSA). Asignación de pagos ejercicio 2004. Conforme a las reglas de operación publicada*. Conafor. Coordinación General de Producción y Productividad. Gerencia de Silvicultura y Manejo. México. 2005.

Magaña, V. O. y Gay. C. Vulnerabilidad y Adaptación Regional ante el Cambio Climático y sus Impactos Ambientales, Sociales y Económicos. *Gaceta Ecológica* 65: 7 - 23. 2002.

Pemex. *Informe de Seguridad y Medio Ambiente 2002*. México. 2003. Disponible en: <http://www.pemex.com/files/seguridad/Proteccionambiental.pdf>

PNUMA. *Formalizan acciones para reducir la emisión de metano a la atmósfera. Resumen de Prensa- Daily News 31 de agosto*. 2005. Disponible en: <http://www.rolac.unep.mx/centinf/esp/cprensa/cprensa.htm>

UNFCCC. *Submitted National Communications from Non-Annex I Parties*. 2005. Disponible en: [http://unfccc.int/national\\_reports/non-annex\\_i\\_natcom/submitted\\_natcom/items/653.php](http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/submitted_natcom/items/653.php)



**Tabla 6.2 Superficie máxima cubierta por el agujero de ozono, 2000-2004**

Año	Superficie máxima (millones de km <sup>2</sup> )
2000	29.4
2001	25
2002	20.7
2003	28.4
2004	24.2

**Fuentes:**

NASA. 2003 *Ozone 'Hole' Approaches, But Falls Short of Record*. NASA News. 20003. Disponible en: <http://www.gsfc.nasa.gov/topstory/2003/0925ozonehole.html>

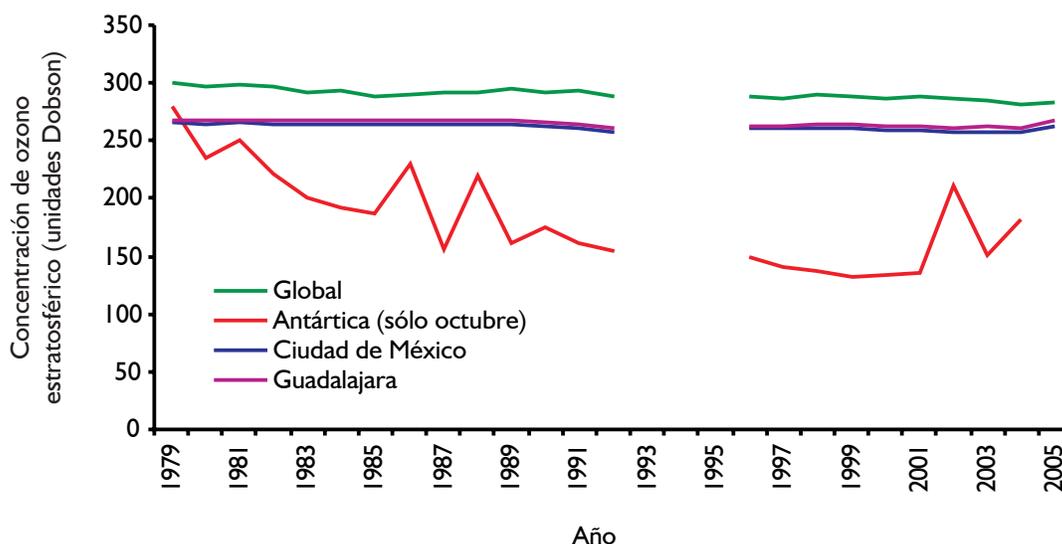
British Antarctic Survey. *The Ozone Hole 2004*. Disponible en: [http://www.Antarctica.ac.uk/Key\\_Topics/The\\_Ozone\\_Hole/index.html](http://www.Antarctica.ac.uk/Key_Topics/The_Ozone_Hole/index.html)

NASA. *Looking at earth. 2004 Antarctic Ozone Hole*. 2004. Disponible en: [http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ozone\\_hole\\_2004.html](http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ozone_hole_2004.html)

adelgazamiento de la capa de ozono en Antártica ha producido lo que se conoce como el “agujero de ozono”<sup>2</sup> (Figura 6.21). El “agujero de ozono” fue observado por primera vez a principios de los años ochenta y presentó su máximo tamaño registrado en 2000, cubriendo cerca de 29.4 millones de km<sup>2</sup>; en 2003 abarcaba 28.4 millones de km<sup>2</sup>, una superficie ligeramente más grande que Norteamérica y en 2004 su tamaño máximo fue de 24.2 millones de kilómetros cuadrados (NASA, 2003; 2004) (Tabla 6.2).

En la Figura 6.22 se observan las diferentes concentraciones de ozono estratosférico a lo largo de una serie de tiempo y es evidente en Antártica, además de una tendencia decreciente, la baja concentración que se registra en el mes de octubre, época en la que generalmente se forma el “agujero de ozono”, respecto a la concentración global. Tanto la concentración global como la de las dos ciudades mexicanas que se muestran como referencia no

**Figura 6.22 Concentración del ozono estratosférico: global, sobre Antártica y sobre dos ciudades mexicanas, 1979-2005**



**Nota:**

En 2005, los datos incluyen mediciones sólo hasta junio para el ozono global, hasta el 7 de octubre para Antártica y 24 de julio para la Ciudad de México y Guadalajara. Para Antártica los promedios anuales corresponden al mes de octubre en la región conocida como Bahía Halley. Octubre es considerado el mes en el que se abre el agujero de ozono.

**Fuentes:**

NASA. U.S.A. 2003. Disponible en: [www.ec.gc.ca/soer-ree/English/indicator\\_series](http://www.ec.gc.ca/soer-ree/English/indicator_series).

NASA. *Total Ozone Mapping Spectrometer*. Agosto de 2005. Disponible en: <http://toms.gsfc.nasa.gov>

<sup>2</sup> Se considera que existe un “agujero” cuando la concentración de ozono estratosférico es menor a 220 unidades Dobson. Cien unidades Dobson representan una cantidad equivalente a un milímetro de grosor de la capa de ozono, a nivel del mar y a 0°C y es la medida para expresar el grosor de la capa de ozono (PNUMA, 2003; WMO y UNER, 2003).



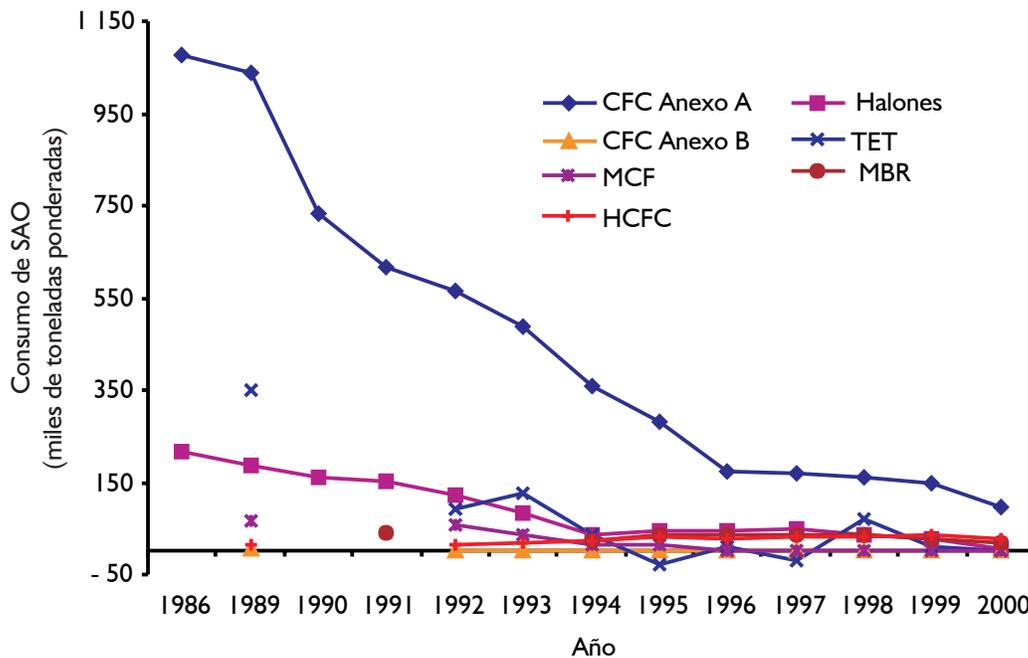
presentan cambios significativos en sus curvas de concentración, lo cual refuerza el hecho de que se trata de un problema generado a nivel global pero con consecuencias regionales.

La causa principal de la reducción del ozono estratosférico es la emisión de SAO derivada del consumo de estas sustancias (PNUMA, 2003). La preocupación de la comunidad científica y de los gobiernos de diversos países llevó a la adopción de la Convención de Viena sobre la Protección de la Capa de Ozono (1985) y al Protocolo de Montreal sobre Sustancias que Degradan la Capa de Ozono (1987), en los cuales se establecieron compromisos para reducir el consumo y la producción de SAO (PNUMA, 2003; UNEP, 2004). México firmó estos tratados en 1985 y 1987, adoptó las enmiendas de Londres (1990) y de Copenhague (1992) y estudia la posibilidad de ratificar las otras dos (Montreal, 1997 y Beijing, 1999) (OCDE, 2003). Para 1995 la mayoría de las sustancias agotadoras de ozono incluidas en el Protocolo de Montreal habían dejado de producirse en los países industrializados. En el

caso de los países en desarrollo, en el protocolo se especificó un periodo de gracia de diez años para su eliminación y, además, se les ofrecieron apoyos financieros que les permitirían enfrentar los costos de eliminar las SAO. Aunque el consumo global de SAO disminuyó drásticamente a principios de los noventa, su concentración atmosférica no ha descendido en la misma magnitud (Figuras 6.23 y 6.24). Sin embargo, cabe considerar que dicha concentración parece haberse detenido después del constante incremento observado en los años ochenta, manteniendo esos niveles debido a la persistencia (periodo de vida) de las SAO en la atmósfera (WMO y UNEP, 2003). De hecho, en los escenarios más optimistas, se predice que la capa de ozono comenzará a recuperarse en 10 o 20 años y su recuperación plena no llegará antes de la primera mitad del siglo XXI (PNUMA, 2002).

Debido a que el impacto de las SAO depende de su potencial de agotamiento del ozono (WMO y UNEP, 2003), en este documento se presenta el consumo de todas las SAO en México, pero ponderado por dicho potencial, ya que esto da

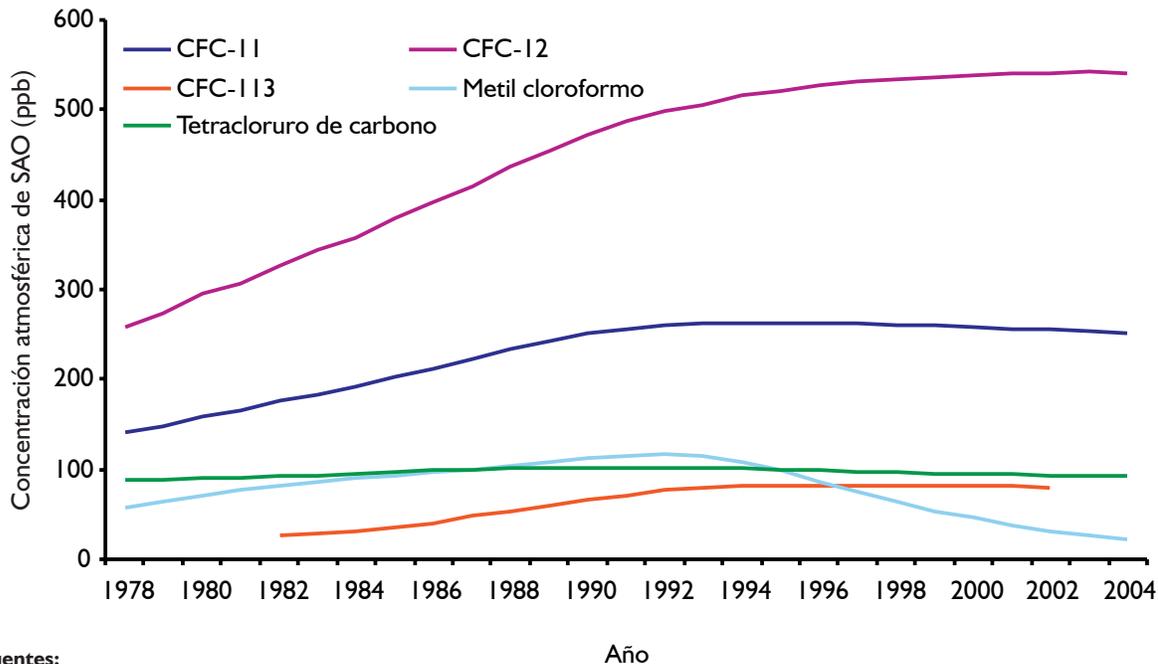
**Figura 6.23 Consumo global ponderado de sustancias agotadoras del ozono, 1986-2000**



Fuente:

UNEP. *Production and Consumption of Ozone Depleting Substances under the Montreal Protocol 1986-2000*. Ozone Secretariat, UNEP. Kenya. 2002.

**Figura 6.24 Concentración atmosférica global de sustancias agotadoras del ozono, 1978-2004**



Fuentes:

Earth Trends. *Climate and Atmosphere Searchable Database*. 2004. Disponible en: [http://earthtrends.wri.org/searchable\\_db/index.cfm?theme=3](http://earthtrends.wri.org/searchable_db/index.cfm?theme=3)  
Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC). *The ALE / GAGE / AGAGE Network*. 2005. Disponible en: [http://cdiac.ornl.gov/ftp/ale\\_gage\\_Agage/](http://cdiac.ornl.gov/ftp/ale_gage_Agage/)

una mejor idea de la presión real sobre la capa de ozono.

El consumo total ponderado disminuyó 78% en 2004 comparado con el reportado en 1989, año de entrada en vigor del Protocolo de Montreal (Figura 6.25). La disminución general del consumo de todas las SAO es consecuencia del compromiso de México por contribuir con la protección de la capa de ozono a través del cumplimiento de las metas establecidas. Las únicas sustancias que presentan un incremento constante en su consumo son los HCFC y se debe a que, no obstante ser sustancias agotadoras de la capa de ozono, se consideran alternativas a los CFC, ya que son menos dañinas al poseer un potencial de agotamiento de ozono menor; por ejemplo los HCFC consumidos en México poseen potenciales de agotamiento de la capa de ozono entre 0.04 y 0.07, mientras que los CFC van de 0.6 a 1.0.

México, además de disminuir su consumo de SAO, se ha adelantado a los controles internacionales, ya que en varios casos ha alcanzado las metas

comprometidas antes de la fecha de vencimiento. La estrategia que ha seguido el país se ha basado en las medidas siguientes: 1) control del consumo y producción de SAO, 2) fomento y asesoría sobre el uso de sustancias alternativas que minimicen los impactos en la capa de ozono y 3) capacitación a los usuarios sobre las medidas de conservación de la capa de ozono. Dicha estrategia se enmarca en el calendario de reducción comprometido por los países ante el Protocolo de Montreal, donde las metas de reducción de SAO están dadas por sustancia o grupo de sustancias y difieren entre países industrializados y en desarrollo (Tabla 6.3). En este contexto, en septiembre de 2005 se clausuró formalmente la producción de clorofluorocarbonos en México, lo que significa una reducción de su producción en 12% a nivel mundial y en 60% en América Latina (Semarnat, 2005).

Las metas sobre consumo de SAO para México están calculadas a partir de una línea base, entendida como un consumo promedio a partir del cual se

**Tabla 6.3 Compromisos de reducción de SAO en países industrializados y en desarrollo**

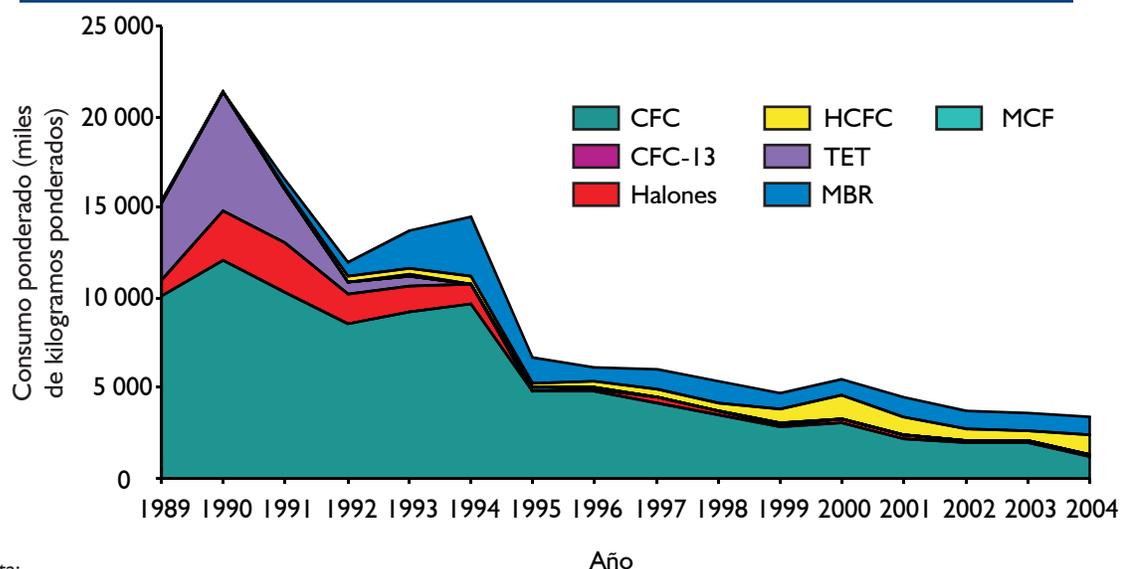
Sustancia	Reducción de SAO (%)	
	Países industrializados	Países en desarrollo
CFC	100 en 1996	0 en 1999 50 en 2005 85 en 2007 100 en 2010
Halones	100 en 1994	0 en 2002 50 en 2005 100 en 2010
TET	100 en 1996	85 en 2005 100 en 2010
MCF	100 en 1996	0 en 2003 30 en 2005 70 en 2010 100 en 2015
MBR	0 en 1995 25 en 1999 50 en 2001 70 en 2003 100 en 2005	0 en 2002 20 en 2005 100 en 2015
HCFC	0 en 1996 35 en 2004 65 en 2010 90 en 2015 99.5 en 2020 100 en 2030	0 en 2016 100 en 2040
HBFC	100 en 1996	100 en 1996

CFC: clorofluorocarbonos  
TET: tetracloruro de carbono  
MCF: metil cloroformo  
MBR: bromuro de metilo  
HCFC: hidroclorofluorocarbonos  
HBFC: hidrobromofluorocarbonos

**Fuente:**

PNUMA. Unidad de Acción por el Ozono. *Compromisos de reducción de sustancias agotadoras del ozono: ¿Qué ha hecho la comunidad internacional para combatir el agotamiento de la capa de ozono?* 2004. Disponible en: <http://www.rolac.unep.mx/ozonaction/esp/medidas.htm>

**Figura 6.25 Consumo nacional ponderado de sustancias agotadoras del ozono, 1989-2004**



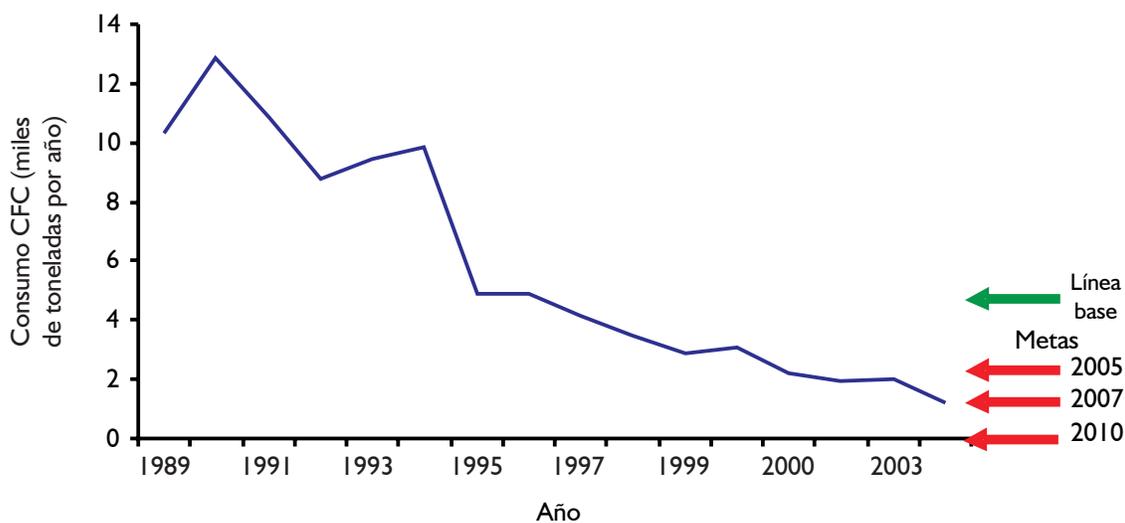
**Nota:**

El consumo neto se pondera por el potencial de agotamiento de la capa de ozono que posee cada sustancia.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. México. 2005.

**Figura 6.26 Consumo nacional de CFC y metas comprometidas a alcanzar ante el Protocolo de Montreal, 1989-2004**



**Nota:**

Línea base: consumo promedio 1995-1997 (4 643.5 toneladas métricas). A partir de este consumo promedio, las metas son la reducción del 50% en 2005, 85% en 2007 y 100% en 2010.

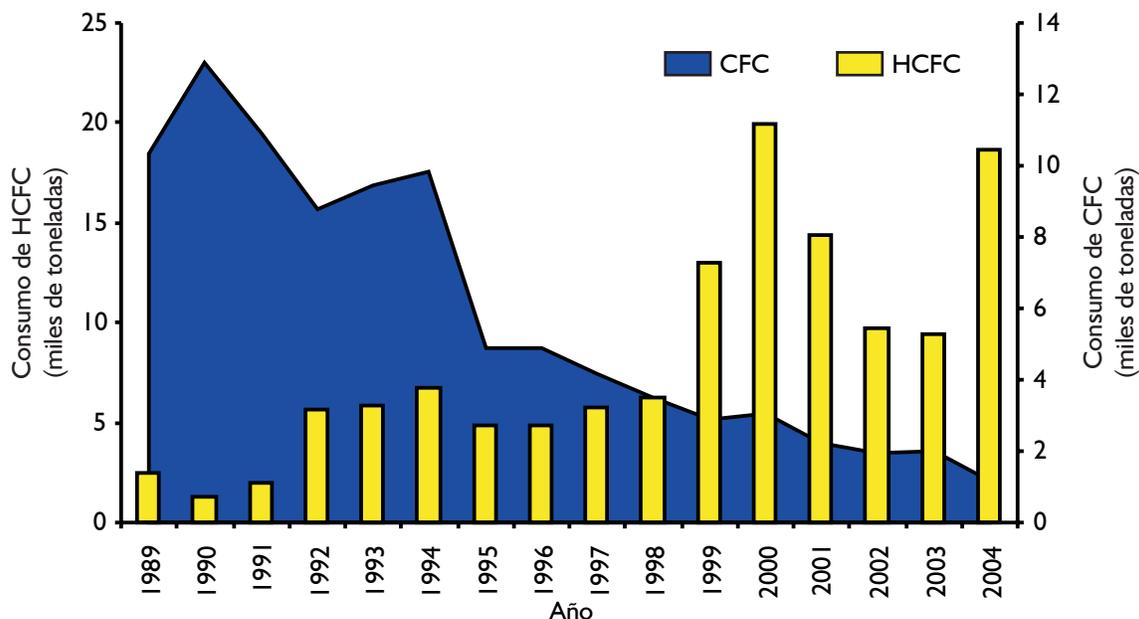
**Fuentes:**

Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Manejo Integral de Contaminantes. México. 2002.

En: Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, 2002. Compendio de Estadísticas Ambientales*. México. 2003.

Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. México. 2005.

**Figura 6.27 Consumo nacional de HCFC como sustancias alternativas a los CFC, 1989-2004**



**Fuentes:**

Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Manejo Integral de Contaminantes. México. 2002. En: Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, 2002. Compendio de Estadísticas Ambientales*. México. 2003.

Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. México. 2005.

calcula el porcentaje de reducción proyectado para los diferentes años. Al establecer un análisis de acuerdo con las metas comprometidas por México resalta el hecho de que para varias de las SAO, como los CFC, CFC-13, tetracloruro de carbono (TET) y metil cloroformo (MCF), México ya ha cumplido con las metas que se había planteado cumplir en los próximos años. Por ejemplo, para los CFC la línea base es el consumo promedio de 1995 a 1997 y la meta para 2005 consiste en reducir a la mitad ese consumo promedio, es decir no consumir más de 2 321.75 toneladas, sin embargo desde 2001 el consumo ha sido menor (Figura 6.26). Por otro lado, en el caso de los halones y el bromuro de metilo (MBR), aunque en el 2004 aún no se había alcanzado la meta, la curva de consumo muestra una tendencia a la baja y el consumo de ambos ya se encuentra muy cerca de la meta para 2005. Para información más detallada sobre producción, importación, exportación y consumo de SAO en México consultar los cuadros: **D3 AIRE03 01**, **D3**

**AIRE03 02, D3 AIRE03 03 y D3 AIRE03 04.**

La figura 6.27 muestra el resultado de la sustitución de sustancias de alto impacto sobre la capa de ozono por otras menos dañinas; es decir, mientras el consumo de CFC usados principalmente en la refrigeración y aire acondicionado ha disminuido, el consumo de HCFC ha ido incrementándose. Cabe señalar que incluso para los HCFC existen metas de reducción de consumo (Tabla 6.3). Esta sustitución, así como la disminución generalizada del consumo de SAO, ha sido el resultado del apoyo a proyectos de inversión en tecnologías limpias en sectores que emplean estas sustancias, tales como el de la refrigeración, aire acondicionado, solventes, espumas de poliuretano y fumigación, entre otros. A nivel internacional, existe el Fondo Multilateral para la Implementación del Protocolo de Montreal, cuyo objetivo es auxiliar a los países en desarrollo a cumplir con las medidas de control adoptadas en el protocolo (PNUMA, 2003; UNEP, 2001; 2003).



## Referencias

CBD. *Interlinkages between Biological Diversity and Climate Change. Advice on the Integration of Biodiversity Considerations into the Implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change and its Kyoto Protocol*. CBD Technical Series No. 10. Montreal. 2003.

Cifuentes, L., V. H. Borja-Aburto, N. Gouveia, G. Thurston y D. Lee. Hidden Health "Benefits of Greenhouse Gas Mitigation". *Science* 293: 1257-1259. 2001.

Conabio. "El Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad". *Biodiversitas* 44: 1-15. 2002.

DOF. Modificación a la NOM-020-SSAI-1993. México. 2002 (30 de octubre).

DOF. Modificación a la NOM-025-SSAI-1993. México. 2005a (26 de septiembre).

DOF. PROY-NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005. México. 2005b (20 de septiembre).

GDF. *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002*. México. 2005a.

GDF. Dirección de monitoreo atmosférico. México. 2005b.

IEA-OECD. *CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion 1971-2000*. Francia. 2002.

INEGI. Dirección General de Contabilidad Nacional y Estadísticas Económicas. México. 2004.

IPCC. *Climate Change 2001: the Scientific Basis*. Cambridge University Press. United Kingdom. 2001.

Keeling, C.D. y T.P. Whorf. "Atmospheric CO<sub>2</sub> Records from Sites in the SIO Air Sampling Network, 2005". En: *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis

Center. Estados Unidos. Disponible en: <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/co2/sio-mlo.htm>

Magaña, V. O. y C. Gay. "Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos". *Gaceta Ecológica*. 65: 7-23. 2002.

Molina, M. *Propuesta para limpiar el aire en México en 10 años. Reporte del taller sobre la contaminación del aire en México*. México. 2004.

NAS. *Climate Change Science. An Analysis of Some Key Questions*. National Academy Press. Estados Unidos. 2001.

NASA. *2003 Ozone 'Hole' Approaches, But Falls Short Of Record*. 2003. Disponible en: <http://www.gsfc.nasa.gov/topstory/2003/0925ozonehole.html>

NASA. *Looking at Earth. 2004 Antarctic Ozone Hole*. 2004. Disponible en: [http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ozone\\_hole\\_2004.html](http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ozone_hole_2004.html)

OCDE. *Evaluación del desempeño ambiental en México*. Francia. 2003.

OECD. *OECD in Figures: Statistics on the Member Countries*. Francia. 2004.

OECD. *OECD in Figures: Statistics on the Member Countries*. Francia. 2002.

PNUMA. *GEO América Latina y el Caribe. Perspectivas del Medio Ambiente 2003*. Costa Rica. 2003.

PNUMA. *Perspectivas del medio ambiente mundial GEO-3*. Grupo Mundi-Prensa. España. 2002.

SE, GEM, SMAGDF, Semarnat y SS. *Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010*. México. 2003.

Semarnap-INE. *Estrategia Nacional de Acción Climática*. México. 1999.



Semarnap-INE. Gestión de la calidad del aire en México. Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000. México. 2000.

Semarnat. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. México. 2005.

Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales, 2002*. México. 2003.

Semarnat. México, libre de clorofluorocarbonos, gases que dañan la capa de ozono. Boletín de prensa. México. 2005 (9 de septiembre). Disponible en: [http://portal.semarnat.gob.mx/comunicacionsocial/boletines\\_2005\\_185.shtml](http://portal.semarnat.gob.mx/comunicacionsocial/boletines_2005_185.shtml)

Semarnat-INE, GEG, GMS. *Programa para mejorar la calidad del aire en Salamanca*. México. 2004.

Semarnat-INE. *Cambio climático: una visión desde México*. México. 2004.

Semarnat-INE. *Inventario de emisiones de los estados de la frontera norte de México, 1999*. México. 2005.

Sener. *Programa Energía y Medio Ambiente hacia el Desarrollo Sustentable Sener-Semarnat 2002*. México. 2003.

Smith, J. B., Jeerey, J. Lazoy B. Hurd. "The Difficulties of Estimating Global Non-Market Damages from Climate Change". En: Griffin, J. M. *Global Climate Change. The Science, Economics and Politics*. Edward Elgar. Gran Bretaña. 114-139. 2003.

Stewart, B. A. y C. A. Robinson. "Land Use Impact on Carbon Dynamics in Soils of the Arid and Semiarid Tropics". En: Lal, R., Kimble, J. M. y Stewart, B. A. *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*. CRC Press. Estados Unidos. 251-257. 2000.

Townsend, P. A., M. A. Ortega-Huerta, J. Bartley, V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, R. H. Buddemeier y D. R. Stockwell. "Future Projections for Mexican

Faunas under Global Climate Change Scenarios". *Nature*. 416: 626-629. 2002.

UNEP. *Global Environment Outlook 2000*. Earthscan Publications. Gran Bretaña. 1999.

UNEP. *Multilateral Fund for the Implementation of the Montreal Protocol*. 2003. Disponible en: <http://www.multilateralfund.org/>.

UNEP. *Protecting the Ozone Layer. Volume I Refrigerants*. Malta. 2001.

UNEP. *UNFCCC Convention on Climate Change*. Climate Change Secretariat. Francia. 2002.

WMO y UNEP. *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002*. Global Ozone Research and Monitoring Project. Report No. 47. Ginebra. 2003.

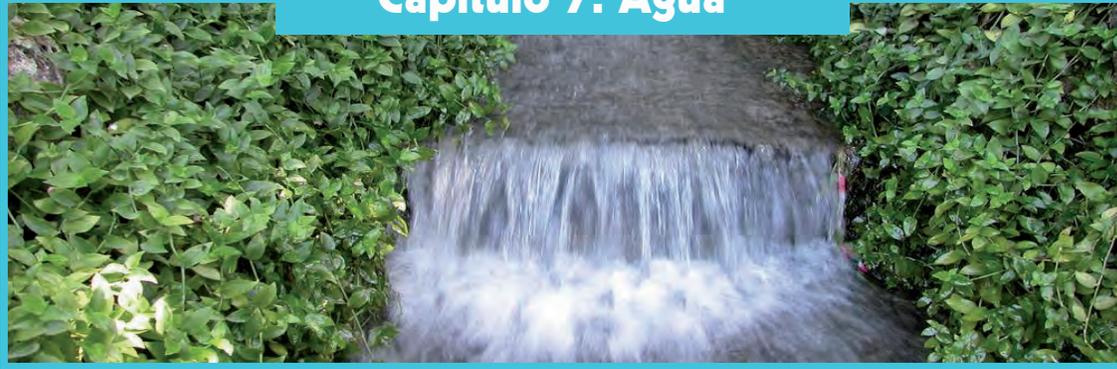
WRI. *A Guide to the Global Environment 1998-1999*. Oxford. Estados Unidos. 1998.

WRI. *World Resources 1998-99. A Guide to the Global Environment*. Oxford University Press. Estados Unidos. 1998.



# Capítulo 7. Agua

## Capítulo 7. Agua

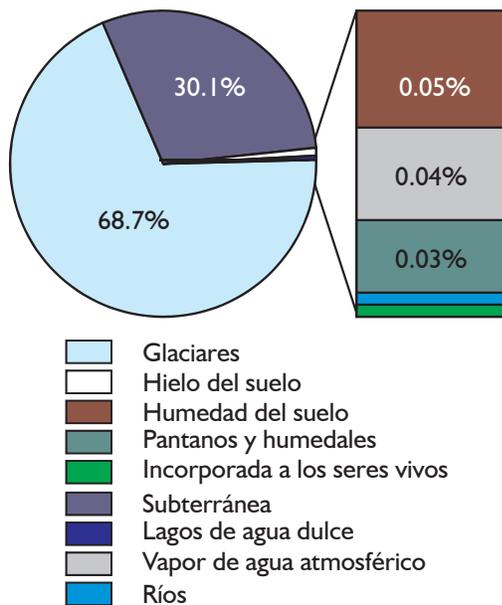


Si bien es cierto que existe una cantidad considerable de agua en el planeta, estimada en 1 400 millones de km<sup>3</sup>, sólo 2.5% es agua dulce y la mayor parte de ésta se encuentra en forma de hielo o en depósitos subterráneos de difícil acceso (Figura 7.1). De esta manera, el agua disponible para las actividades humanas se reduce, en teoría y en el mejor de los casos, a 0.01% del total. Además, esta mínima porción de agua frecuentemente se localiza en

lugares inaccesibles o está contaminada, lo que dificulta su aprovechamiento (PNUMA, 2002).

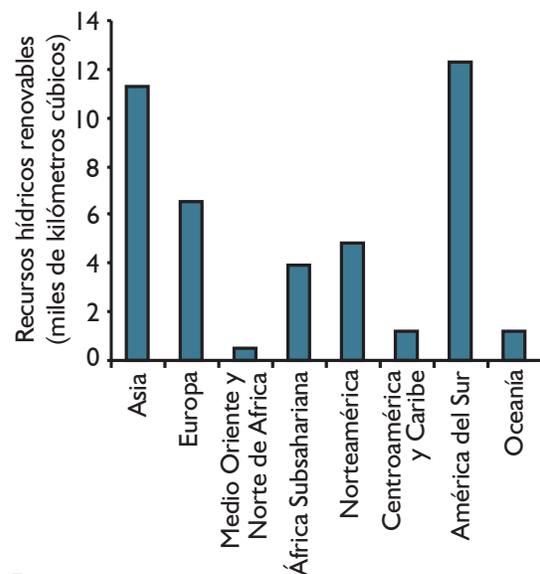
A nivel mundial, existen diferencias notables con respecto a la cantidad de agua disponible en cada región. Las regiones de Asia y América del Sur cuentan con recursos hídricos superiores a los 10 mil km<sup>3</sup>, en contraste con las de Medio Oriente y Norte de África, Oceanía, Centroamérica y Caribe, cuyos recursos hídricos renovables no alcanzan los 2 mil km<sup>3</sup> (Figura 7.2).

**Figura 7.1 Distribución del agua dulce en el mundo**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: PNUMA.  
*Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO-3.*  
Grupo Mundi-Prensa. España. 2002.

**Figura 7.2 Recursos hídricos renovables internos en el mundo**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: FAO. *Aquastat Information System on Water and Agriculture.* 2005. Disponible en <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/main/>



Bajo estas circunstancias, el agua es considerada como un factor crítico para el desarrollo de las naciones y, de hecho, quizá sea el recurso que define los límites del desarrollo sustentable (FNUAP, 2001), ya que no sólo es indispensable para el desarrollo económico y social de la humanidad sino también para el funcionamiento de los ecosistemas del planeta. De ahí la importancia de contar con información confiable acerca de la cantidad y calidad de este recurso, en términos de su disponibilidad, usos y grado de deterioro.

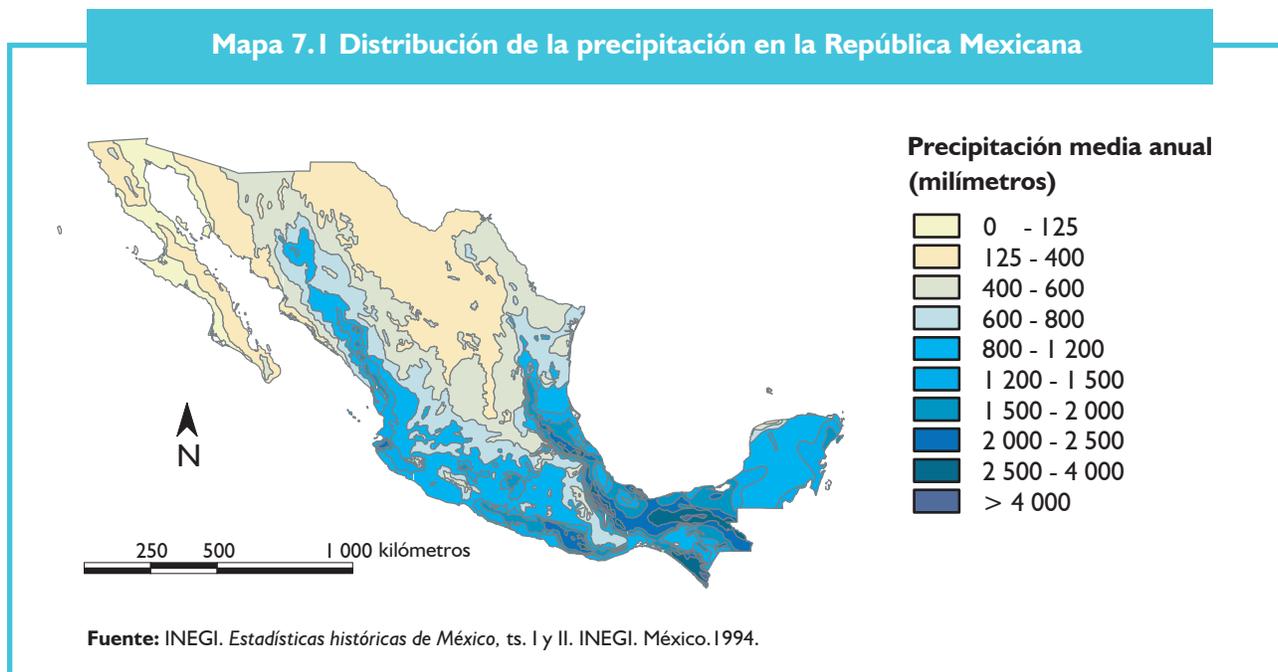
En México, el análisis de la situación del agua puede abordarse a diferentes escalas. Una evaluación global del país puede ser útil para la comparación con otros países o para medir el desempeño y compromisos adquiridos como nación, por ejemplo, con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), de la que México es miembro desde 1994. Sin embargo, un análisis a esta escala resulta de utilidad limitada para identificar los problemas locales y, por consiguiente, diseñar los programas pertinentes al interior del país. La alta heterogeneidad tanto ambiental como social que presenta el país, requiere un análisis a nivel regional o estatal que permita una evaluación más acorde con posibles estrategias de uso y manejo del

líquido. En este contexto, a continuación se examina la situación del agua en México considerando los niveles de país, región y estado, en función de la información disponible y su relevancia.

Las características físicas del territorio nacional producen condiciones hidrológicas muy particulares; su tamaño relativamente grande (casi dos millones de kilómetros cuadrados), la influencia que tienen los 11 208 km de costa tanto en el Pacífico como en el Atlántico, su ubicación geográfica, en particular en relación con los grandes cinturones de vientos y la trayectoria de los huracanes, su complicada topografía —en gran parte resultado de la actividad tectónica ocurrida durante el Cenozoico— y su relieve sumamente accidentado con grandes variaciones altitudinales, ocasionan intensos contrastes en la disponibilidad de agua en el país. Así, más de la mitad del territorio está ocupado por zonas áridas y semiáridas, donde las lluvias son escasas, aunque también existen amplias zonas húmedas y subhúmedas en el sureste (Mapa 7.1).

La mayor parte del territorio mexicano (66%) presenta régimen de lluvias de verano, donde la precipitación se concentra marcadamente en los meses de junio a septiembre, mientras que en

**Mapa 7.1 Distribución de la precipitación en la República Mexicana**



la temporada de invierno las lluvias son escasas (menores a 10% del total). El régimen de lluvias intermedio cubre 31% del país y corresponde a la frontera norte y a las zonas de mayor precipitación en el trópico mexicano. Finalmente, una pequeña porción ubicada en la parte norte de la vertiente del Pacífico de la Península de Baja California tiene régimen de lluvias de invierno, que se concentran en los meses fríos del año.

### Variación espacial y temporal

La precipitación promedio anual en México durante el periodo 1941-2004 fue de 773 mm, la que se considera abundante (OCDE, 1998). Sin embargo, esta cifra promedio resulta poco representativa de la situación hídrica del país, ya que existe una alta heterogeneidad espacial y temporal. Así, en estados como Baja California Sur, apenas se registran 177 mm de lluvia en promedio, mientras que en Tabasco la precipitación es más de 13 veces superior (Cuadro D3 AGUA01 01). Los estados localizados en la zona norte ocupan cerca de 50% de la superficie del país y contribuyen con sólo un poco más de 25% del agua que ingresa al país por lluvia, mientras que los estados localizados en la parte sur (Campeche, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz, Yucatán y Guerrero), con sólo 24% de la superficie nacional, reciben 45% de la lluvia (Tabla 7.1).

A nivel de regiones hidrológicas administrativas –una división del país que establece la Comisión Nacional del Agua (CNA) con base en criterios hidrológicos (Mapa 7.2) –, las diferencias también son muy claras. Las regiones I, II, III y VI, localizadas en la parte norte del país y que comprenden 45% del territorio nacional, reciben 26.2% de la precipitación, en contraste con las regiones administrativas IV, V, X, XI y XII, situadas en la parte sur del país, que ocupan 27.5% del territorio y reciben en promedio 49.6% de la lluvia (Tabla 7.2).

De la misma manera que el valor de 773 mm de precipitación promedio no refleja la heterogeneidad al interior del país, tampoco muestra las altas variaciones que ocurren entre los años. Por ejemplo, de 1990 a 1993 la precipitación fue casi 14% superior al promedio, mientras que en 1994, 1996 y 1997 estuvo muy por debajo de los 773 mm (7.1, 14 y 10.5%, respectivamente). De hecho, considerando a todo el país entre 1994 y 2002, la precipitación promedio estuvo por debajo de la media histórica, mientras que en los años 2003 y 2004 fue superior a la media (3 y 13 % respectivamente) (Figura 7.3).

No obstante esta tendencia general, existen diferencias importantes entre los estados de la República Mexicana con respecto al agua que han

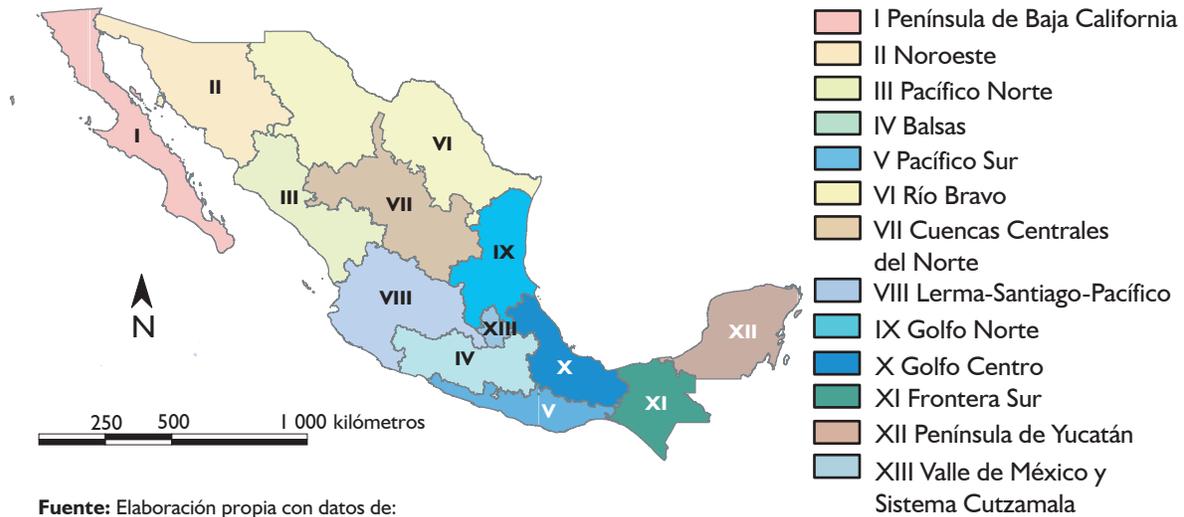
**Tabla 7.1 Superficie y contribución proporcionales de la precipitación de los estados del norte y sur de la República Mexicana, 1941-2004**

Norte	Superficie	Precipitación	Sur	Superficie	Precipitación
Estado	(%)	(%)	Estado	(%)	(%)
Baja California	3.65	0.96	Campeche	2.91	4.41
Baja California Sur	3.77	0.86	Chiapas	3.76	9.56
Coahuila	7.69	3.25	Oaxaca	4.75	9.34
Chihuahua	12.55	6.91	Quintana Roo	2	3.53
Nuevo León	3.3	2.53	Tabasco	1.26	3.93
Sinaloa	2.98	2.93	Veracruz	3.68	7.06
Sonora	9.22	5.02	Yucatán	2.22	2.86
Tamaulipas	4.07	4.07	Guerrero	3.31	4.64
<b>Total</b>	<b>47.23</b>	<b>26.53</b>	<b>Total</b>	<b>23.89</b>	<b>45.34</b>

Fuente:

Elaboración propia con datos de: CNA. *Sistema Meteorológico Nacional*. CNA. México. 2005.

Mapa 7.2 Regiones hidrológicas administrativas



Fuente: Elaboración propia con datos de: CNA. *Estadísticas del Agua en México 2005*. México. 2005.

Tabla 7.2 Superficie y precipitación media anual por región hidrológica administrativa, 1941-2004

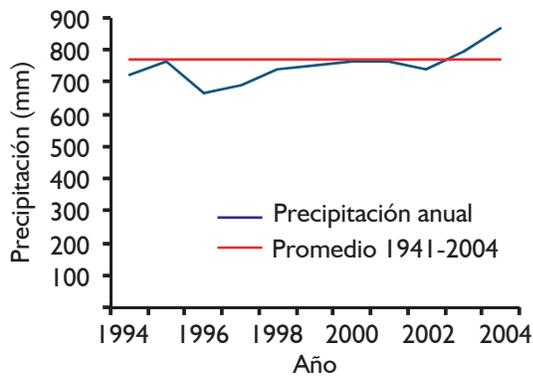
Región hidrológica administrativa	Superficie (miles de km <sup>2</sup> )	Precipitación	
		(mm)	(km <sup>3</sup> )
I Península de Baja California	145.5	202	29.4
II Noroeste	205.3	464	95.3
III Pacífico Norte	151.9	759	115.3
IV Balsas	119.2	963	114.8
V Pacífico Sur	77.1	1282	98.8
VI Río Bravo	379.6	414	157.2
VII Cuencas Centrales del Norte	202.4	394	79.7
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	190.4	854	162.6
IX Golfo Norte	127.2	816	103.8
X Golfo Centro	104.6	1891	197.8
XI Frontera Sur	101.8	2260	230.1
XII Península de Yucatán	137.8	1163	160.3
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	16.4	737	12.1
<b>Nacional</b>	<b>1959.2</b>	<b>773</b>	<b>1514.5</b>

Fuente: CNA. *Estadísticas del Agua en México, 2005*. CNA. México. 2005.

recibido por lluvia en los últimos años. En el último siglo se presentaron cuatro grandes periodos de sequía: 1948-1952, 1960-1964, 1970-1978 y 1993-1996, y una sequía severa en 1998, que afectaron principalmente a los estados del norte del país. La

sequía es un fenómeno que causa estragos en las actividades económicas, en especial las del sector primario, como la agricultura y la ganadería. En este tipo de fenómeno las consecuencias pueden prolongarse por meses o años debido a sus efectos

**Figura 7.3 Precipitación promedio anual, 1994-2004**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: CNA. *Sistema Meteorológico Nacional*. México. 2005.

en las condiciones de la tierra, que no permiten el desarrollo de la producción agrícola ni ganadera.

Los estados del territorio nacional donde se presentan con mayor frecuencia las sequías están localizados al norte. En orden de severidad de sus efectos desfavorables se encuentran: Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Baja California, Sonora, Sinaloa, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Tlaxcala. Entre los años 2000 y 2003, 18 estados fueron afectados por sequía. De acuerdo con Cenapred, éstos sufrieron pérdidas económicas valuadas en más de 1 800 millones de pesos. Tan sólo en 2002 y 2003, casi un millón de hectáreas de cultivo fueron afectadas y se perdieron más de 13 mil cabezas de ganado. Los estados más afectados en estos últimos años fueron Chihuahua, Sinaloa, Zacatecas, Veracruz y Sonora (Cenapred, 2001, 2002, 2003, 2004).

En México se presentan alrededor de 25 ciclones al año, con vientos mayores a 63 kilómetros por hora, repartidos en las costas del Pacífico (60%) y el Atlántico (40%), de los cuales cuatro, en promedio, tienen efectos importantes sobre el territorio (Cuadro DI DESASTRE00 01). La ocurrencia de

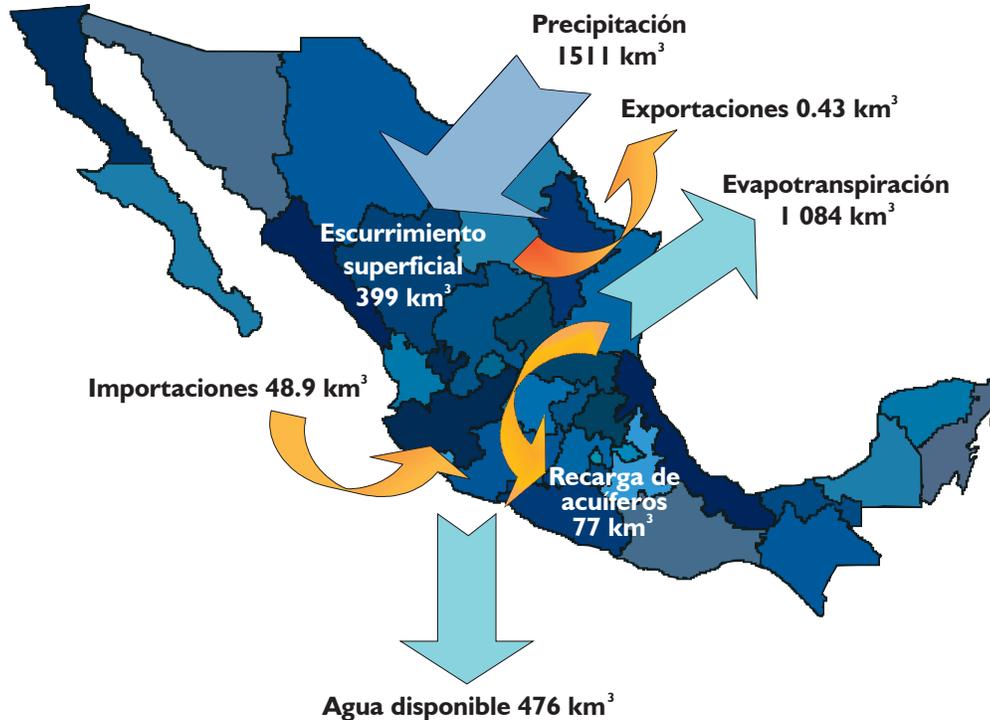
ciclones tropicales se concentra entre los meses de mayo a noviembre y genera lluvias intensas en cortos periodos que incrementan sustancialmente la cantidad de lluvia que reciben las entidades. Por ejemplo, en noviembre de 1993, en San José del Cabo, Baja California Sur, ocurrió una precipitación de 632 mm en un solo día, valor que es 3.5 veces mayor que la precipitación total anual promedio del estado. Cabe señalar que el agua que ingresa por estos meteoros, además de que frecuentemente ocasiona problemas de inundaciones y daños a las poblaciones asentadas cerca de las costas, no es aprovechable en muchos casos, ya que escurre muy rápidamente vertiéndose al mar.

### **Balace de agua**

El volumen total de agua que obtiene el país por precipitación cada año es de 1 511 km<sup>3</sup> en promedio, pero la mayor parte (73%) regresa a la atmósfera por evapotranspiración (1 084 km<sup>3</sup>). Además del agua por precipitación, México recibe 48 km<sup>3</sup> provenientes de Guatemala y 1.8 km<sup>3</sup> del río Colorado y, a su vez, entrega 0.44 km<sup>3</sup> del río Bravo a Estados Unidos de acuerdo con el Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales firmado entre los dos países en 1944. De esta forma, el balance general muestra que la disponibilidad media natural de México es de 476 km<sup>3</sup> de agua en promedio al año (Figura 7.4); valor superior al de la mayoría de los países europeos, pero muy inferior si se compara con Estados Unidos (2 071 km<sup>3</sup>), Canadá (2 902 km<sup>3</sup>) o Brasil (8 233 km<sup>3</sup>) (FAO, 2005).

Debido a que el volumen de agua que se recibe por precipitación es diferente año con año, la disponibilidad de líquido también muestra variaciones temporales y espaciales importantes. Una aproximación de la variación en la disponibilidad de agua que ha tenido México de 1995 a la fecha, si se considera que la evapotranspiración es del orden de 1 084 km<sup>3</sup> y no cambia significativamente entre años, muestra que en 1996 se tuvo cerca de 50% menos agua disponible, mientras que en 2003 y 2004 el volumen de agua disponible fue mayor en 10 y 45%, respectivamente, con respecto al promedio histórico.

Figura 7.4 Balance de agua en México



Fuente:  
CNA. Estadísticas del agua en México 2005. México, 2005.

Del total de agua disponible, 84% (399 km<sup>3</sup> en promedio) escurre superficialmente y el resto (77 km<sup>3</sup>) se incorpora a los acuíferos. El escurrimiento superficial también muestra variaciones importantes en el país. En la región de la frontera sur escurre cerca de 35% del total nacional, encauzado básicamente por los ríos Grijalva y Usumacinta, mientras que en las penínsulas de Baja California y Yucatán el escurrimiento superficial es mínimo y no llega a 1%, aunque por diferentes causas: en Baja California por su escasa precipitación y en Yucatán por su poco relieve y sustrato permeable que no facilitan la formación de escurrimientos superficiales de importancia –no obstante, en la planicie yucateca sí se favorece la recarga de agua subterránea (Tabla 7.3, Cuadro D3 AGUA01 04).

La mayor parte de los escurrimientos superficiales se canalizan por los grandes ríos de México. Los siete ríos principales (Grijalva, Usumacinta, Papaloapan, Pánuco, Coatzacoalcos, Balsas y Lerma-Santiago) captan, en conjunto, más de 70% del escurrimiento superficial (Cuadro D3 AGUA01 05). Debido al régimen climático del país, casi todos los ríos muestran una diferencia notable en el volumen de agua que acarrean en las épocas de lluvias y de secas. La variación se ve acentuada por las obras de retención de líquido e irrigación, de tal manera que muchos de los ríos que antes eran permanentes ahora se vuelven intermitentes, por lo menos en algunas partes de su recorrido, o han visto disminuido su caudal de manera notable (Figura 7.5) (Conabio, 1998), lo que trae consigo alteraciones a los ecosistemas acuáticos y costeros.

**Tabla 7.3 Disponibilidad natural, escurrimiento superficial y recarga de agua subterránea en las regiones hidrológicas administrativas del país, 2004**

Región hidrológica administrativa	Disponibilidad natural media total (hm <sup>3</sup> /año)	Escurrecimiento natural medio superficial total <sup>a</sup> (hm <sup>3</sup> /año)	Recarga de acuíferos (hm <sup>3</sup> )
I Península de Baja California	4 423	3 012	1 411
II Noroeste	8 213	5 459	2 754
III Pacífico Norte	24 839	22 159	2 680
IV Balsas	28 924	24 944	3 980
V Pacífico Sur	32 508	30 799	1 709
VI Río Bravo	14 182	8 962	5 219
VII Cuencas Centrales del Norte	6 841	4 729	2 112
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	36 977	29 594 <sup>b</sup>	7 383
IX Golfo Norte	23 347	22 070	1 277
X Golfo Centro	102 544	98 930	3 614
XI Frontera Sur	158 260	139 839	18 421
XII Península de Yucatán	29 646	4 330	25 316
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	3 934	1 996 <sup>c</sup>	1 938
<b>Nacional</b>	<b>474 638</b>	<b>396 823</b>	<b>77 814</b>

<sup>a</sup> Incluye importaciones y excluye exportaciones.

<sup>b</sup> Datos preliminares. En esa región aún no están concluidos los estudios al 100%.

<sup>c</sup> Se consideran las aguas residuales de la Ciudad de México.

**Fuente:**

CNA. *Estadísticas del Agua en México 2005*. CNA. México. 2005.

La capacidad de almacenamiento proporcionada por la infraestructura hidráulica del país es de 150 km<sup>3</sup>. De las 4 000 presas existentes, 667 están clasificadas como grandes presas de acuerdo con los criterios de la Comisión Internacional de Grandes Presas. La capacidad de almacenamiento conjunto equivaldría a 37% del escurrimiento promedio anual del país; sin embargo, en realidad cerca de 80% del agua se descarga al mar sin ningún aprovechamiento. Si bien las grandes presas podrían aportar agua en las temporadas desfavorables del año, su principal función está centrada en la generación de energía eléctrica y el control de avenidas (por ejemplo, La Angostura, El Malpaso e Infiernillo); en menor medida, y sobre todo en el norte del país, las presas se utilizan para proveer de agua a las actividades agrícolas (Cuadro D3 AGUA01 07). De hecho, sólo 18% del volumen de almacenamiento del país se

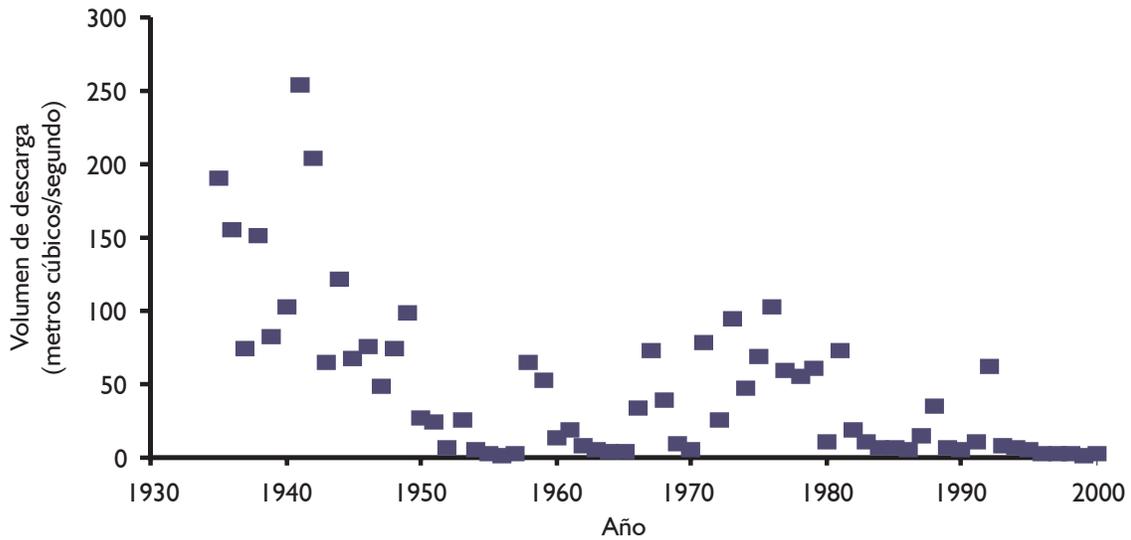
ubica en zonas por arriba de los 500 metros sobre el nivel del mar, siendo que en éstas habita más de 75% de la población y se localizan las mayores superficies de riego del país. El volumen de agua almacenado en lagos y lagunas es pequeño (poco más de 6 500 hm<sup>3</sup>), ya que México no cuenta con lagos extensos y profundos (Cuadro D3 AGUA01 06).

**Agua subterránea**

El número de acuíferos reportados en el país en el año 2004 fue de 653, distribuidos en todo el territorio nacional. El volumen estimado de agua que se extrae de los acuíferos es de 26.7 km<sup>3</sup>/año, cantidad 12% superior al volumen extraído en 1992. Este volumen corresponde a 34% de la recarga anual estimada para el país, lo que indicaría un balance positivo y, en teoría, todavía una reserva



Figura 7.5 Descarga en la desembocadura del Río Bravo, 1934-2000



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: The Global Runoff Data Centre. *Long Term Mean Monthly Discharges and Annual Characteristics of Selected GRDC Stations*. Koblenz, Germany, 2005. Disponible en: <http://grdc.bafg.de>

aprovechable importante. Sin embargo, a nivel regional la situación es muy diferente, las regiones Península de Baja California, Golfo Norte y Cuencas Centrales del Norte tienen déficits estimados de 6, 14 y 30%, respectivamente, y la región Lerma-Santiago-Pacífico tiene un balance prácticamente de cero (1% de sobreexplotación) (Tabla 7.4, Cuadro D3 AGUA02 01).

El problema de la sobreexplotación de los acuíferos es grave. En 1975 existían 32 acuíferos sobreexplotados, cifra que se elevó a 36 en 1981, 80 en 1985 y 104 en 2004 (CNA, 2005), lo que representa ya 16% del total de acuíferos registrados en el país. Los acuíferos sobreexplotados se concentran en las regiones de Baja California, Noroeste, Cuencas Centrales del Norte, Río Bravo y Lerma-Santiago-Pacífico (Mapa 7.3). Además de la sobreexplotación, 16 acuíferos tienen problemas de intrusión salina (12 de ellos están sobreexplotados), sobre todo aquellos que se localizan en las costas de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Veracruz y Colima. En amplias zonas de riego la sobreexplotación de los acuíferos ha acarreado que los niveles de agua subterránea se hayan abatido

decenas de metros, como es el caso de los acuíferos de Maneadero y Camalú en Baja California, que tienen registradas disminuciones del nivel estático de más de 12 metros en la zona cercana a la costa, lo que además ha favorecido la intrusión salina.

El uso racional del agua subterránea es indispensable, ya que cada vez un número mayor de regiones dependerá de sus reservas almacenadas en el subsuelo como la principal –y quizá única– fuente de líquido. Sin duda, en el futuro los acuíferos se convertirán en un recurso patrimonial estratégico (CNA, 2001). De hecho, en la actualidad 70% del agua que se suministra a las ciudades proviene de acuíferos y con ésta se abastece a alrededor de 75 millones de personas (55 millones en ciudades y 20 millones en comunidades rurales).

### **Disponibilidad del agua**

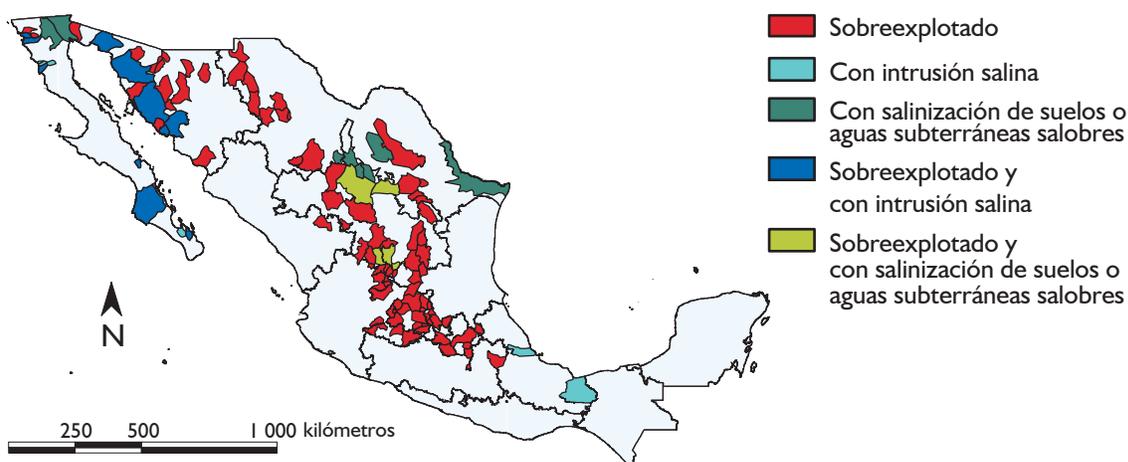
Por la importancia del agua como un recurso que puede ser limitante para el desarrollo económico y social de los países, en los últimos años se han intensificado los estudios para cuantificar la disponibilidad del líquido.

**Tabla 7.4 Características de los acuíferos en la República Mexicana por región hidrológica administrativa, 2004**

Región hidrológica administrativa	Recarga de acuíferos (hm <sup>3</sup> /año)	Extracción total (hm <sup>3</sup> /año)	Número de acuíferos			
			Total	Sobre-explotados	Intrusión salina	Con salinización de suelos y aguas subterráneas salobres
I Península de Baja California	1 411	1 493	87	7	9	4
II Noroeste	2 754	2 736	63	18	5	0
III Pacífico Norte	2 680	945	24	1	0	0
IV Balsas	3 980	2 242	43	2	0	0
V Pacífico Sur	1 709	237	38	0	0	0
VI Río Bravo	5 219	4 115	97	16	0	4
VII Cuencas Centrales del Norte	2 112	2 737	71	24	0	8
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	7 383	7 487	127	29	1	0
IX Golfo Norte	1 277	1 458	41	3	0	0
X Golfo Centro	3 614	592	21	0	2	0
XI Frontera Sur	18 421	525	23	0	0	0
XII Península de Yucatán	25 316	1 448	4	0	0	1
XIII Valle de México	1 938	1 915	14	4	0	0
<b>Nacional</b>	<b>77 814</b>	<b>27 930</b>	<b>653</b>	<b>104</b>	<b>17</b>	<b>17</b>

Fuente: CNA. *Estadísticas del Agua en México 2005*. CNA. México. 2005.

**Mapa 7.3 Situación de los acuíferos por región hidrológica administrativa, 2003**



Fuente: Elaboración propia con datos de: CNA. *Estadísticas del Agua en México 2004*. México. 2004.



Existen diversas formas para estimar la disponibilidad de agua de un país o región, pero la precisión y el realismo del valor calculado dependen mucho de la información con que se cuente. Una aproximación muy gruesa es la precipitación total. En este sentido, los 773 mm de precipitación anual que recibe el país lo clasifican en la categoría de países con abundante disponibilidad de agua. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la alta tasa de evapotranspiración disminuye en forma significativa el volumen de agua disponible. La evapotranspiración promedio estimada para México, es de aproximadamente 1 084 km<sup>3</sup> (75% de la precipitación total) y resulta menor que la de África (80%) pero mayor que las de Europa (64%), Asia (56%) o Australia (64%) (PNUMA, 2002). De acuerdo con este balance, el volumen de agua disponible en México es de casi 476 km<sup>3</sup>. Es importante resaltar que esta cantidad no sólo comprende el líquido disponible para uso humano, sino también el necesario para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos (ríos y lagos).

La disponibilidad del agua comúnmente se evalúa en términos del volumen de agua por habitante. Si consideramos la cifra de la proyección de población para 2004 (105.9 millones de habitantes), la disponibilidad natural de agua para ese año fue de 4 482 m<sup>3</sup> anuales por habitante, volumen que correspondió a una categoría de disponibilidad baja, cercana a los 5 000 m<sup>3</sup> por habitante por año, que es el límite de disponibilidad media (Tabla 7.5). Para poner en contexto esta cifra, en 1910 la disponibilidad promedio era de 31 000 m<sup>3</sup> por habitante, para 1950 ya sólo era de un poco más de 18 000 m<sup>3</sup> y en 1970 había caído por debajo de los 10 000 m<sup>3</sup>. Cabe señalar que esta reducción se explica fundamentalmente por el crecimiento de la población y no por una disminución de la cantidad de lluvia recibida por el país en esos años. Se estima que para 2010, de acuerdo con las proyecciones que realiza el Conapo sobre la población del país, la disponibilidad de agua por habitante se reducirá a 4 271 m<sup>3</sup> y para 2025 se limitará a 3 828 m<sup>3</sup>/hab/año. En un contexto mundial, la disponibilidad de agua por habitante en México en la actualidad es mucho menor que la de países como Canadá (91 567 m<sup>3</sup>/

**Tabla 7.5 Clasificación de la disponibilidad de agua**

Volumen de agua (m <sup>3</sup> /hab/año)	Categoría de disponibilidad
< 1 000	Extremadamente baja
1 000 - 2 000	Muy baja
2 000 - 5 000	Baja <sup>1</sup>
5 000 - 10 000	Media
10 000 - 20 000	Alta
> 20 000	Muy alta

<sup>1</sup>Peligrosa en años de precipitación escasa.

Fuente: UNDP, UNEP, World Bank and WRI. *World Resources 2000-2001*. WRI. USA. 2000.

hab/año), Estados Unidos (8 906 m<sup>3</sup>/hab/año), Brasil (32 256 m<sup>3</sup>/hab/año) y en general toda América del Sur, y es ligeramente superior al promedio de los países europeos (PNUMA, 2002).

Una disponibilidad inferior a 1 700 m<sup>3</sup>/hab/año se considera como situación de estrés hídrico (Indicador de Falkenmark, WRI, 2000), donde con frecuencia puede faltar el abastecimiento de agua para las diversas actividades (sobre todo en países con propensión a sufrir sequías, como es el caso de México). Cuando la disponibilidad es inferior a 1 000 m<sup>3</sup>/hab/año, las consecuencias pueden ser más severas y comprometen seriamente la producción de alimentos, el desarrollo económico del país y la protección de sus ecosistemas. Por lo común, en estas circunstancias se carece transitoriamente de agua en algunos lugares y es preciso tomar decisiones que involucran prioridades de uso entre las actividades agrícolas, industriales o el abasto a la población urbana y rural (FNUAP, 2001).

Debido a que una aproximación a escala de país puede enmascarar situaciones de estrés hídrico importante, recientemente se propuso que la disponibilidad de agua se estudie a nivel de cuenca o bien a una escala en la que se considere más estrechamente la fuente de agua con la población que la utiliza (WRI, 2000). En este contexto, si se examina por regiones, México presenta todo el espectro de categorías de disponibilidad de

agua. El Valle de México, con 186 m<sup>3</sup>/hab/año, se encuentra en la categoría de extremadamente baja, mientras que la región de la Frontera Sur, con más de 24 000 m<sup>3</sup>/hab/año, muestra una disponibilidad calificada como muy alta (Tabla 7.6, Mapa 7.4). Si se consideran las regiones del país con 1 700 m<sup>3</sup>/hab/año o menos, se tiene una población de 35 millones de habitantes en situación de estrés hídrico y otros 24 millones muy cerca de este nivel, de acuerdo con las proyecciones de población de Conapo a 2005.

De acuerdo con un estudio enfocado a detectar áreas donde la disponibilidad de agua puede caer por debajo de los 1 700 m<sup>3</sup>/hab/año para el año 2025 y realizado en diferentes cuencas de los principales ríos del mundo (de los cuales se tenía información confiable de aspectos hidrológicos y poblacionales), se identificó que en México las cuencas de los ríos Balsas, Grande de Santiago y Colorado podrían caer en esta situación (WRI, 2000). En el caso del Río Colorado, si bien la mayor parte de la población que

habita en su cuenca no se encuentra en territorio mexicano, actualmente más del 50% del agua superficial que se utiliza en la región de la Península de Baja California es importada de esa fuente, por lo que el suministro de líquido en esta región puede ser motivo en el futuro de conflictos en la relación bilateral México-Estados Unidos.

Otra forma de evaluar la disponibilidad de agua es mediante la determinación del grado de presión del recurso (GPR), que representa la proporción del agua disponible que se extrae en una zona ya sea para fines agrícolas, públicos, industriales u otros. De acuerdo con este valor, la Comisión para el Desarrollo Sustentable de la ONU define cuatro categorías que incluyen desde una presión fuerte (la extracción supera 40% de la disponibilidad natural) hasta una presión escasa (el agua extraída no rebasa 10% del líquido disponible). México, con un valor de GPR de 16% estimado para el año 2004, se encuentra en la categoría de presión moderada,

**Tabla 7.6 Disponibilidad de agua por región hidrológica administrativa, 2005**

Región hidrológica administrativa	Población <sup>a</sup> estimada 2005 (millones)	Disponibilidad natural por habitante (m <sup>3</sup> /hab/año)	Categoría de disponibilidad
I Península de Baja California	3.45	1 282	Muy baja
II Noroeste	2.65	3 099	Baja
III Pacífico Norte	4.24	5 858	Media
IV Balsas	10.85	2 666	Baja
V Pacífico Sur	4.2	7 740	Media
VI Río Bravo	10.64	1 333	Muy baja
VII Cuencas Centrales del Norte	4	1 710	Muy baja
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	20.65	1 791	Muy baja
IX Golfo Norte	5.04	4 632	Baja
X Golfo Centro	9.8	10 464	Alta
XI Frontera Sur	6.54	24 199	Muy Alta
XII Península de Yucatán	3.76	7 885	Media
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	21.16	186	Extremadamente baja
<b>Nacional</b>	<b>106.98</b>	<b>4 094</b>	<b>Baja</b>

<sup>a</sup>Proyección de población a diciembre de 2005, con base en proyecciones de Conapo. Para el cálculo de la disponibilidad natural por habitante, se utilizó como base el valor de la disponibilidad natural media reportada.

**Fuente:**

CNA. *Estadísticas del agua en México 2005*. México. 2005.

**Mapa 7.4 Disponibilidad natural media per cápita por región hidrológica administrativa, 2004**



valor ligeramente superior a 12% estimado para el promedio de los países de la OCDE (OECD, 2002). No obstante, el valor relativamente bajo de GPR que presenta México, está influido de manera muy significativa por la alta disponibilidad de agua en el sur del país, ya que regiones como la Frontera Sur, Golfo Centro, Península de Yucatán y Pacífico Sur extraen menos de 7% de su agua disponible; en contraste, las regiones de Baja California, Noroeste, Pacífico Norte, Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte y el Valle de México se encuentran en una situación completamente diferente, ya que su grado de presión tiene valores superiores a 40%, lo que indica que se ejerce una presión fuerte sobre el recurso hídrico (Tabla 7.7, Mapa 7.5).

Otra medida de la disponibilidad de agua, más cercana a las necesidades de la población, es la que se conoce como intensidad de uso (OCDE, 1998) o extracción per cápita. De acuerdo con este indicador, la extracción per cápita en México para 2004 fue de 712 m<sup>3</sup>/hab al año, valor semejante al calculado para Argentina (768.5 m<sup>3</sup>/hab) y Cuba (727.5 m<sup>3</sup>/hab) e inferior al de los Estados Unidos (1 647 m<sup>3</sup>/hab), Canadá (1 470 m<sup>3</sup>/hab), Australia (1 224 m<sup>3</sup>/hab) y al promedio de países miembros

de la OCDE, estimado en alrededor de 900 m<sup>3</sup>/hab (FAO, 2004, OCDE, 1998).

### Usos del agua

Se calcula que en 2004 se extrajeron 75 km<sup>3</sup> de agua de los ríos, lagos y acuíferos del país para los principales usos consuntivos, lo que representa 16% del agua disponible (presión de demanda). El uso consuntivo predominante en México es el agropecuario, ya que en la actualidad 76% del agua extraída se utiliza para el riego de 6.3 millones de hectáreas y para los usos pecuario, acuicultura y otros (estos últimos representan sólo 6.5% del volumen de agua empleada), le sigue el uso para abastecimiento público con 14% y el industrial con 10% (véase *Huella hídrica y patrones de consumo*). Las hidroeléctricas emplean para su funcionamiento un volumen promedio de 133 km<sup>3</sup> de agua para generar 28 435 GWh de electricidad (14% del total del país), pero no la consumen. Esta distribución del uso del agua es parecida a la que tienen países como Guatemala, Egipto y Turquía, pero muy diferente a la de países desarrollados, donde la proporción destinada a usos industriales es mucho mayor (Figuras 7.6 y 7.7).

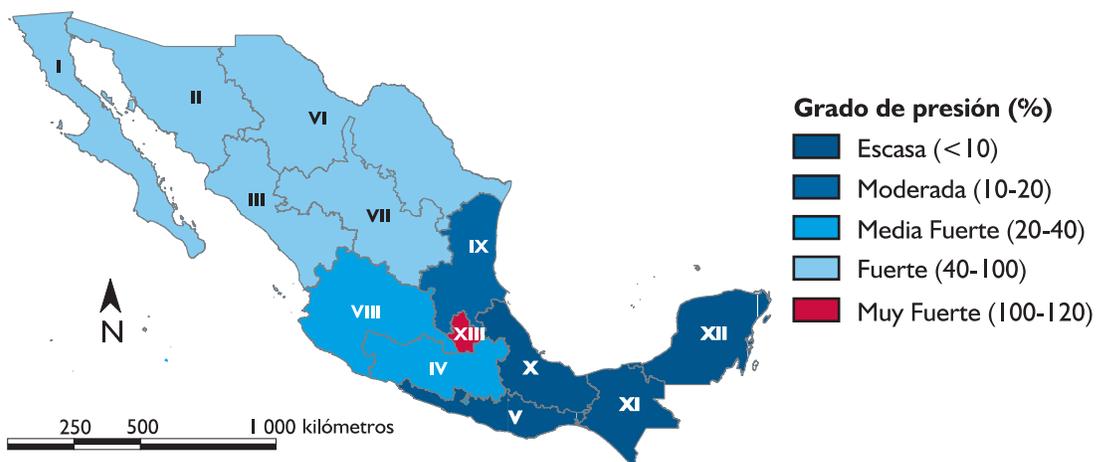
**Tabla 7.7 Grado de presión por región hidrológica administrativa, 2004**

Región hidrológica administrativa	Disponibilidad (hm <sup>3</sup> /año)	Extracción (hm <sup>3</sup> /año)	Grado de presión (%)	Categoría
I Península de Baja California	4 423	3 807	86	Fuerte
II Noroeste	8 213	6 419	78	Fuerte
III Pacífico Norte	24 839	10 491	42	Fuerte
IV Balsas	28 924	10 417	36	Media fuerte
V Pacífico Sur	32 508	1 264	4	Escasa
VI Río Bravo	14 182	8 539	60	Fuerte
VII Cuencas Centrales del Norte	6 841	3 745	55	Fuerte
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	36 977	13 210	36	Media fuerte
IX Golfo Norte	23 347	4 503	19	Moderada
X Golfo Centro	102 544	4 622	5	Escasa
XI Frontera Sur	158 260	1 999	1	Escasa
XII Península de Yucatán	29 646	1 708	6	Escasa
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	3 934	4 706	120	Fuerte
<b>Total</b>	<b>474 638</b>	<b>75 430</b>	<b>16</b>	<b>Moderada</b>

**Fuente:**

CNA. *Estadísticas del Agua en México 2005*. CNA. México. 2005.

**Mapa 7.5 Grado de presión sobre el recurso hídrico por región hidrológica administrativa, 2004**

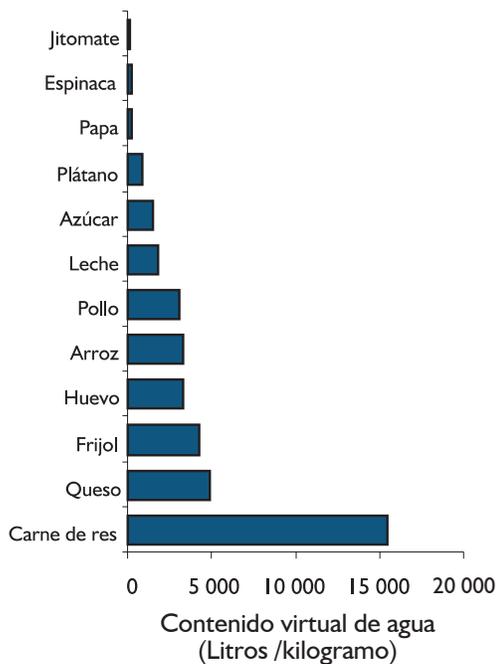


**Fuente:** Elaboración propia con datos de CNA. *Estadísticas del agua en México 2005*. México 2005.

## Huella hídrica y patrones de consumo

El hombre utiliza grandes cantidades de agua para sus actividades cotidianas (beber, cocinar, lavar, etc.) pero mucha más para producir alimentos, papel, ropa y demás productos que consume. La huella hídrica de un país se define como el volumen total de agua que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por sus habitantes; puede estimarse de dos maneras. Un enfoque es considerar el conjunto de todos los bienes y servicios consumidos y multiplicarlos por su contenido de agua virtual. El agua virtual es la cantidad de agua utilizada durante el proceso de producción de un bien (*Figura a*). Otra opción es calcularla sumando el uso de agua total de las fuentes domésticas y la importación de agua virtual asociada a los productos introducidos al país.

**Figura a** Contenido virtual de agua de algunos alimentos



La huella hídrica individual o per cápita es el volumen total de agua utilizado para producir los bienes y servicios que un individuo consume. Puede estimarse multiplicando todos los bienes y servicios consumidos por un habitante por su valor respectivo de contenido virtual de agua (*Tabla a*).

**Tabla a.** Contenido virtual de agua de algunos productos

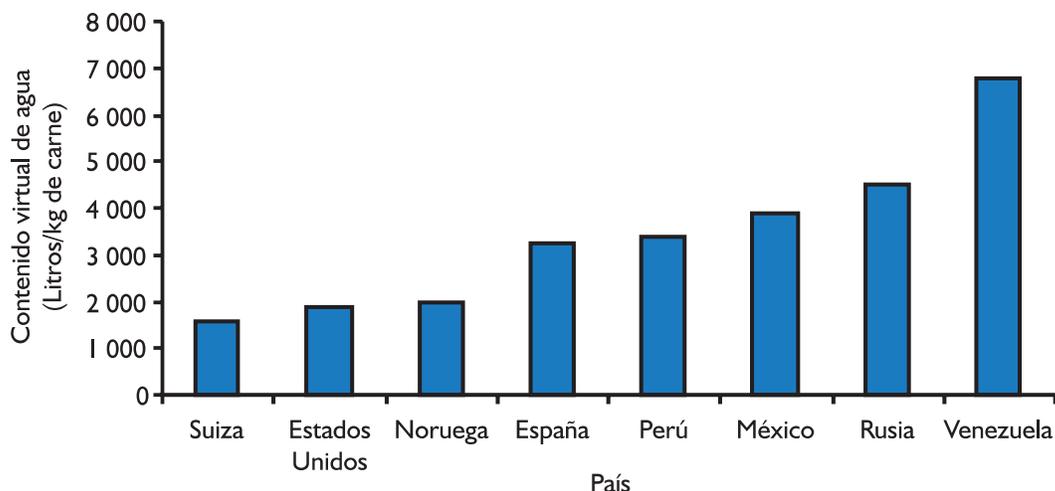
Producto	Contenido virtual de agua (Litros)
1 rebanada de pan (30 g)	40
1 papa (100 g)	25
1 manzana (100 g)	70
1 jitomate (70 g)	13
1 huevo (40 g)	135
1 hamburguesa (150 g)	2400
1 vaso de cerveza (250 ml)	75
1 vaso de leche (200 ml)	200
1 taza de café (125 ml)	140
1 copa de vino (125 ml)	120
1 vaso de jugo de naranja (200 ml)	170
1 par de zapatos (cuero)	8000
1 playera de algodón (mediana, 500 g)	4100
1 hoja de papel A4 (80 g/m <sup>2</sup> )	10
1 microchip (2 g)	32

El contenido virtual de agua de un determinado producto o servicio puede variar dependiendo del sitio y las condiciones en las que se produjo, por lo que debe hacerse una medición específica para cada lugar o población (*Figura b*).

El concepto de huella hídrica fue introducido con el fin de proporcionar información sobre el uso del agua en relación con el consumo, y complementa así a los indicadores tradicionales de uso de agua por los diferentes sectores. Como indicador agregado muestra los requerimientos totales

## Huella hídrica y patrones de consumo (continuación)

Figura b Volumen de agua utilizado para producir un kilogramo de carne de pollo en distintos países



de agua de un país, y es una medida del impacto del consumo humano sobre los recursos hídricos. A nivel global 86% de la huella hídrica está relacionada con el consumo de productos agrícolas, 10% con el consumo de bienes industriales y menos de 5% con los usos domésticos.

El hecho de que muchos de los productos que se consumen en un país pueden producirse en otro significa que la demanda real de agua de una población es frecuentemente mayor de lo que las extracciones de agua sugieren. Así por ejemplo, Japón exporta cada año, 7 km<sup>3</sup> de agua virtual contenida en sus productos, pero importa de otros países el equivalente a 98 km<sup>3</sup>, lo que lo coloca en el primer lugar mundial como importador neto. México se sitúa en el sexto lugar mundial con una importación neta de 29 km<sup>3</sup> de agua virtual.

Los principales factores que determinan la huella hídrica per cápita de un país son:

a. El consumo de agua promedio per cápita,

generalmente relacionado con el ingreso nacional bruto

b. Los hábitos de consumo de sus habitantes (p.ej., cantidad de carne consumida)

c. El clima, en particular la demanda evaporativa (condiciones de cultivo)

d. Las prácticas agrícolas (eficiencia en el uso del agua)

En los países desarrollados, donde el nivel de consumo de bienes y servicios es elevado, la huella hídrica per cápita es alta debido en parte al alto consumo de carne y productos industrializados. En contraste los países en vías de desarrollo, con un bajo consumo de carne, pueden también tener altas huellas hídricas per cápita, como resultado de una baja eficiencia en el uso del agua y condiciones de cultivo desfavorables.

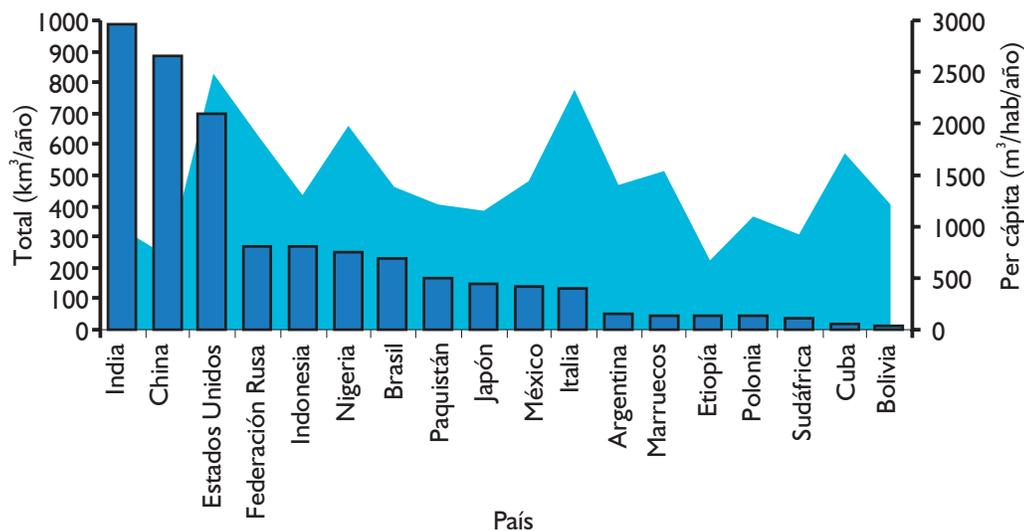
En el periodo 1997-2001, los países con mayor huella hídrica total fueron India, China y Estados Unidos, con un consumo virtual de agua superior a los 600 kilómetros cúbicos anuales. En contraste, Cuba y Bolivia

## Huella hídrica y patrones de consumo (continuación)

tuvieron huellas hídricas inferiores a 20 kilómetros cúbicos por año. México, con una huella hídrica total de 140 kilómetros cúbicos por año, es el décimo país a nivel mundial. En cambio, Estados Unidos ocupa el primer lugar mundial por su huella hídrica per cápita estimada en 2 mil 483 metros cúbicos por habitante por año, mientras que China (702 m<sup>3</sup>/hab/año) e India (980 m<sup>3</sup>/hab/año) ocupan posiciones bajas (134<sup>a</sup> y 108<sup>a</sup>, respectivamente). México tiene una huella hídrica per cápita estimada en mil 441 m<sup>3</sup>/hab/año (49<sup>a</sup> mundial) (*Figura c*).

mejorarse aplicando técnicas de cosecha de agua de lluvia y riego suplementario). Una segunda alternativa es optar por patrones de consumo que requieran menos agua (e. g., reduciendo el consumo de los productos que consumen una gran cantidad del líquido en su producción). La tercera alternativa para reducir la huella hídrica es desplazar las zonas de producción hacia áreas de mayor productividad, aumentando la eficiencia global de uso del agua.

**Figura c Huella hídrica total y per cápita en algunos países, 1997-2001**

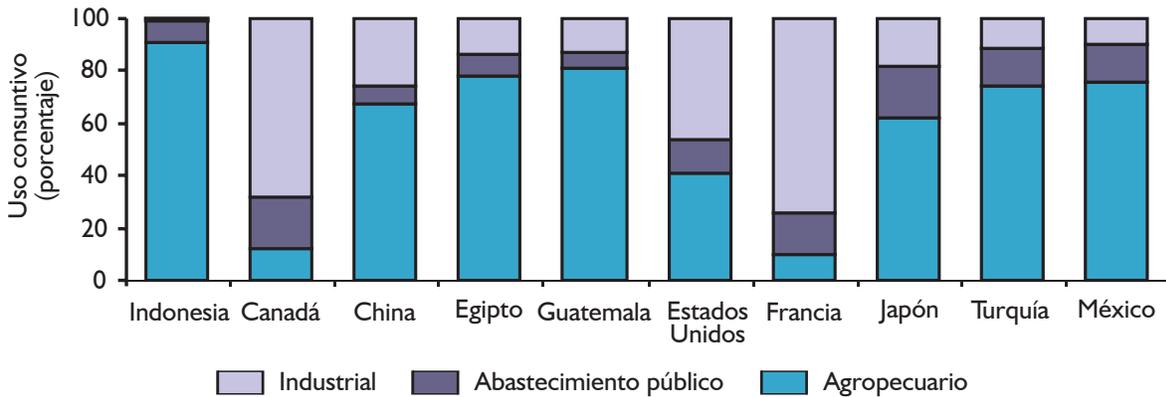


La huella hídrica de un país se puede reducir de varias maneras. Una primera opción es desvincular el crecimiento económico y el uso del agua, adoptando sistemas de producción que requieran menor cantidad de agua por unidad de producto (por ejemplo, la productividad del agua en la agricultura puede

**Fuente:**

Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2004) 'Water footprints of nations', Value of Water Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands. Disponible en: <http://www.waterfootprint.org/>

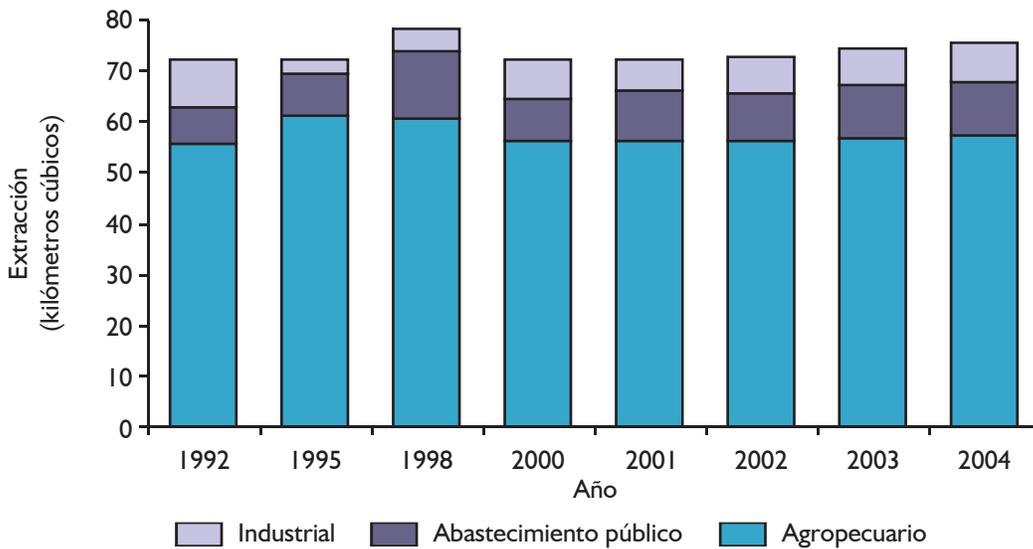
**Figura 7.6 Extracción de agua para uso consuntivo en México y otros países, 2003**



**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: FAO. *Review of World Water Resources by Country (Aqastat)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 2003. CNA. *Estadísticas del Agua en México 2005*. México. 2005.

**Figura 7.7 Extracción total para uso consuntivo, 1992-2004**



**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: Sedue. *Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1991-1992 y 1993-1994* México. 1993 y 1994.  
 Semarnap, INEGI. *Estadísticas del medio ambiente México, 1997 y 2000*. México. 1998 y 2001.  
 CNA. *Compendio básico del agua en México 2002*. CNA. México. 2002.  
 CNA. *Estadísticas del agua en México 2003, 2004 y 2005*. México. 2003, 2004 y 2005.

Las regiones del país que tienen una mayor extracción de agua son Lerma-Santiago-Pacífico, Pacífico Norte, Balsas y Río Bravo, mientras que las de menor consumo son Pacífico Sur, Frontera Sur y Península de Yucatán (Figura 7.8).

El 64% del agua consumida proviene de fuentes superficiales y el resto de fuentes subterráneas, pero existen diferencias marcadas al interior del país entre la proporción de agua superficial y subterránea que se utiliza. Por ejemplo, en las regiones del Pacífico



Norte, Golfo Centro y Balsas, el agua procede en mayor medida de fuentes superficiales (87, 83 y 83%, respectivamente), mientras que en las regiones de las Cuencas Centrales del Norte, Península de Baja California, Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala y Península de Yucatán se utiliza una fracción considerable de agua de origen subterráneo (67, 51, 49 y 98%, respectivamente) (Figura 7.8).

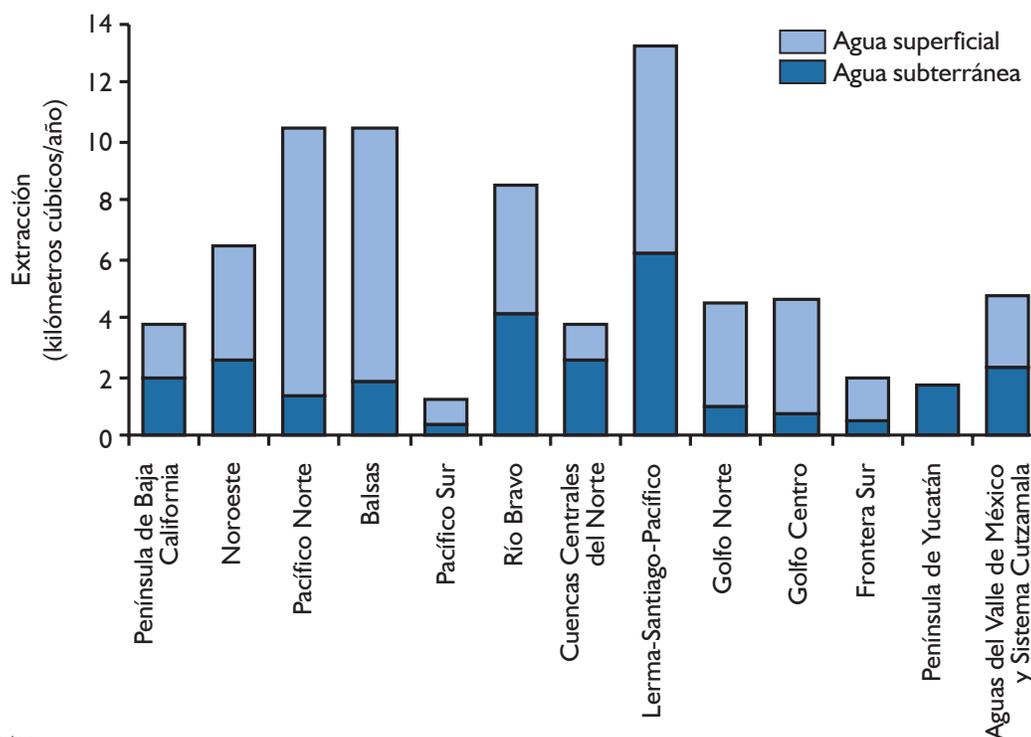
El uso de agua superficial se mantuvo con pocos cambios en la mayoría de las regiones del país entre los años 2000 y 2004, excepto en las regiones Balsas, Golfo Centro y Frontera Sur, donde el aumento en la extracción fue de 65, 44 y 25%, respectivamente. En la Península de Yucatán el uso del agua superficial se redujo 81%, pero la extracción de agua subterránea aumentó 45%. Otras regiones administrativas que incrementaron el uso de agua subterránea en este periodo fueron las de Península de Baja California (17%) y Río Bravo (12%), mientras que las de Balsas, Cuencas Centrales del Norte, Lerma-

Santiago-Pacífico, Golfo Centro y Frontera Sur tuvieron reducciones importantes: 28, 12, 12, 40 y 20%, respectivamente.

La proporción de agua que se dedica a distintas actividades muestra diferencias importantes. Mientras que en la región del Pacífico Norte más de 90% del agua se destina a actividades agrícolas, en la región del Golfo Centro no alcanza 50% (Figura 7.9). Las regiones Pacífico Sur (21%), Golfo Centro (16%), Frontera Sur (22%), Península de Yucatán (27%) y Valle de México (46%) son las que, en proporción, asignan más agua para el abastecimiento público. El agua reservada para uso industrial en general es inferior al uso público, excepto en las regiones del Balsas, Golfo Norte y Golfo Centro.

El abastecimiento de agua para uso agrícola y para la industria autoabastecida proviene en su mayor parte de fuentes superficiales (67 y 77%, respectivamente), en contraste con el agua que se

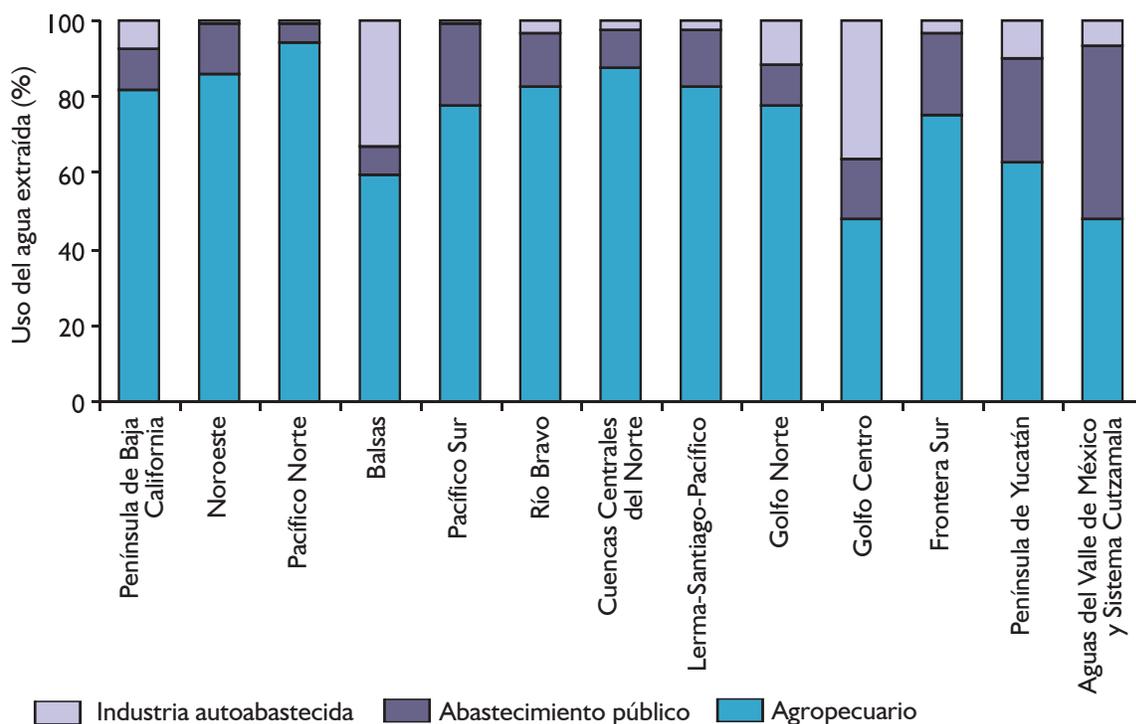
Figura 7.8 Extracción de agua por región hidrológica administrativa, 2004



Fuente:

Elaboración propia con datos de: CNA. *Estadísticas del Agua en México 2005*. México, 2005.

Figura 7.9 Uso consuntivo del agua por región hidrológica administrativa, 2004



Fuentes:

Elaboración propia con datos de: CNA. *Estadísticas del agua en México 2005*. México, 2005.

destina al uso público, que en su mayoría proviene de fuentes subterráneas (64%). Entre 2000 y 2004 el uso de agua subterránea para abastecimiento público se incrementó 20%, mientras que el uso de agua superficial aumentó 50%. En el caso de la industria autoabastecida, la extracción de agua subterránea se redujo a menos de la mitad, pero el uso de agua superficial se incrementó en más de 100% (Figura 7.10). En general, la extracción de agua de fuentes superficiales se incrementó 10% en ese periodo (Figura 7.11).

### Escenarios futuros

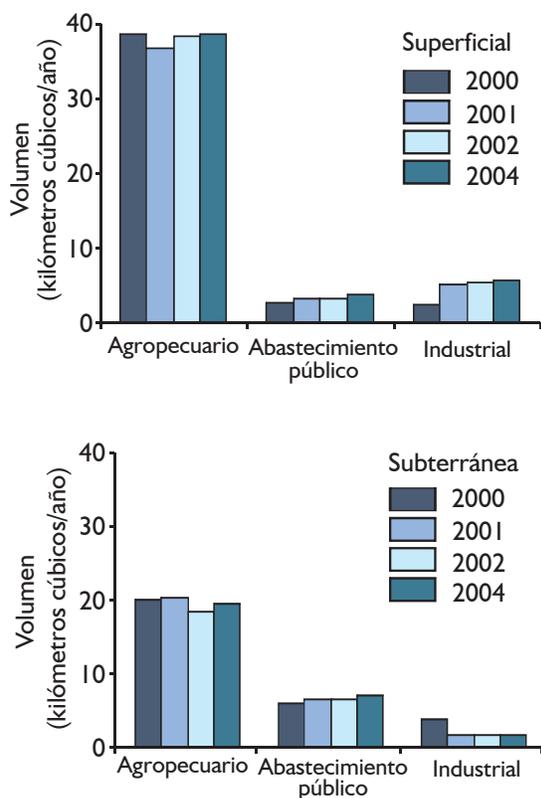
El problema básico con el agua es que el volumen de agua dulce sobre la superficie de la Tierra es prácticamente fijo: no puede ser aumentado ni disminuido de manera significativa. Por consiguiente, conforme la población aumenta y las aspiraciones y necesidades de los individuos crecen, cada vez se

tiene menos agua disponible por persona. A nivel regional o del país sucede algo equivalente. El impacto de la población sobre el ambiente depende de su tamaño, sus patrones de consumo y de las tecnologías de extracción y generación de que se disponga.

De acuerdo con las proyecciones de población de Conapo, en 2005 cuatro regiones hidrológicas administrativas presentarían disponibilidad per cápita muy baja y en la región Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala sería extremadamente baja. Un cálculo similar muestra que para el año 2025, bajo el supuesto de que la disponibilidad natural se mantiene constante, pronostica que dos regiones administrativas adicionales, Península de Baja California y Río Bravo, pasarían a la categoría de disponibilidad extremadamente baja, mientras que la región Golfo Centro, actualmente con disponibilidad per cápita alta, tendrá una disponibilidad media (Tabla 7.8).



**Figura 7.10 Extracción de agua para uso consuntivo, según fuente de abastecimiento, 2000-2004**



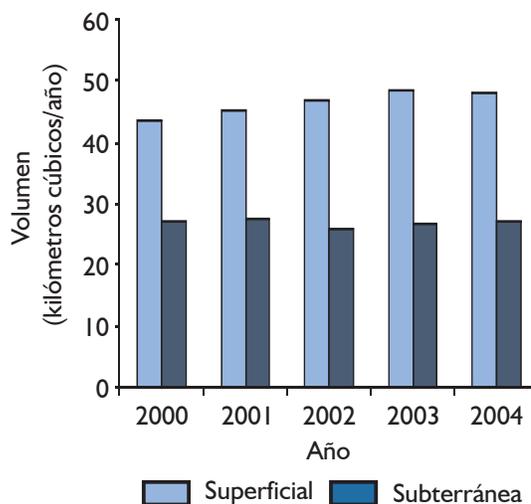
**Fuentes:** Elaboración propia con datos de: Sedue. *Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1991-1992 y 1993-1994*. México. 1993 y 1994. Semarnap, INEGI. *Estadísticas del medio ambiente en México, 1997 y 1999*. México. 1998 y 2000. CNA. *Compendio básico del agua en México 2002*. Comisión Nacional del Agua. México. 2002. CNA. *Estadísticas del agua en México 2003, 2004 y 2005*. Comisión Nacional del Agua. México. 2003, 2004 y 2005.

## Calidad del agua

La calidad del agua no es una característica absoluta, sino que es más un atributo definido socialmente en función del uso que se le piense dar al líquido (WRI, 2000); cada uso requiere un determinado estándar de calidad. Por esta razón, para evaluar la calidad del agua es necesario considerar el contexto del uso probable que tendrá.

Las estimaciones de disponibilidad del agua

**Figura 7.11 Extracción de agua para uso consuntivo, según origen, 2000-2004**



**Fuentes:** Elaboración propia con datos de: CNA. *Compendio Básico del Agua en México*. México. 2002. CNA. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2003, 2004 y 2005. México. 2003, 2004 y 2005.

no reflejan por completo el problema de las necesidades de este recurso, ya que en la mayor parte del mundo la calidad del agua está lejos de ser la adecuada. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), 1 100 millones de personas no tienen acceso a una fuente de agua potable mejorada (WHO, 2005), particularmente en áreas rurales donde no existe posibilidad de que el agua tenga un tratamiento previo que mejore su calidad y posibilite su uso general.

La calidad del agua está afectada por diversos factores como los usos del suelo, la producción industrial y agrícola, el tratamiento que se le da antes de ser vertida nuevamente a los cuerpos de agua, y la cantidad misma en ríos y lagos, ya que de ésta depende su capacidad de purificación (véase *Cambio de uso del suelo y servicios ecosistémicos*).

A nivel mundial en los países en desarrollo se da tratamiento a menos de 10% del agua. México se encuentra en una situación mejor con una cifra cercana a 20%, considerando ambos tipos de

Tabla 7.8 Disponibilidad natural media per cápita en el 2005 y 2025

Región hidrológica administrativa	Disponibilidad natural media per cápita 2005 (m <sup>3</sup> /hab/año) <sup>a</sup>	Clasificación 2005	Disponibilidad natural media per cápita 2025 (m <sup>3</sup> /hab/año) <sup>a</sup>	Clasificación 2025
I Península de Baja California	1 282	Muy baja	833	Extremadamente baja
II Noroeste	3 099	Baja	2 491	Baja
III Pacífico Norte	5 858	Media	5 517	Media
IV Balsas	2 666	Baja	2 403	Baja
V Pacífico Sur	7 740	Media	7 378	Media
VI Río Bravo	1 333	Muy baja	1 007	Extremadamente baja
VII Cuencas Centrales del Norte	1 710	Muy baja	1 606	Muy baja
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	1 791	Muy baja	1 583	Muy baja
IX Golfo Norte	4 632	Baja	4 200	Baja
X Golfo Centro	10 464	Alta	9 853	Media
XI Frontera Sur	24 199	Muy alta	19 790	Alta
XII Península de Yucatán	7 885	Media	5 786	Media
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	186	Extremadamente baja	162	Extremadamente baja

<sup>a</sup> Para el cálculo de la disponibilidad natural media per cápita, se utilizó como base el valor de la disponibilidad natural reportada.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: CNA. *Estadísticas del Agua en México, 2005*. CNA. México. 2005. Conapo. *Proyecciones de Población 2000-2030*. México. 2003.

descargas: urbanas e industriales (véase **Servicios y cobertura**). Esto significa, sin embargo, que la inmensa mayoría del líquido se vierte a ríos, lagos o mares sin ningún tratamiento previo, ocasionando la contaminación de éstos y, en consecuencia, la reducción del agua disponible para su uso.

La Comisión Nacional del Agua realiza la medición sistemática de la calidad del líquido a través de su Red Nacional de Monitoreo (RNM). En 2004, la RNM contaba con 964 sitios, de los cuales 379 corresponden a la red primaria, con 210 ubicados en cuerpos de agua superficiales, 42 en zonas costeras y 127 en acuíferos. En la red secundaria se tenían 283 estaciones, de las cuales 232 estaban localizadas en aguas superficiales, 21 en zonas costeras y 30 en aguas subterráneas.

Con el fin de evaluar la calidad o grado de contaminación del agua se han desarrollado diversos

índices de calidad tanto generales como de uso específico. En México se empleó por varios años el Índice de Calidad del Agua (ICA), que agrupa de manera ponderada 18 parámetros fisicoquímicos (entre los que se encuentran la demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, coliformes, fosfatos, pH y sólidos suspendidos) y denota el deterioro de la calidad del líquido (León, 1991). El índice considera valores en una escala de 0 a 100, donde a mayor valor, mejor calidad.

En 2003, los valores del ICA estimados a partir de los datos de la RNM, muestran que ninguno de los cuerpos de agua monitoreados estaba en la categoría de excelente (valores mayores a 85) y 11% tenía valores de entre 70 y 84, lo cual se considera aceptable. La mayor proporción (54%) se encontraba en el intervalo de 50 a 69, que –según el uso al que se destine– resulta aceptable para abastecimiento público, siempre y cuando haya



## Cambio de uso del suelo y servicios ecosistémicos

Los ecosistemas de una cuenca brindan numerosos servicios ambientales no sólo a la zona en la que se encuentran, sino también a regiones cercanas y, de manera indirecta, al resto del país. Entre estos servicios se cuentan la regulación de los ciclos biogeoquímicos (por ejemplo, por la captura de carbono y generación de oxígeno), el mantenimiento de los flujos hidrológicos, la recarga de los acuíferos, el mantenimiento de la productividad biológica y la biodiversidad, la regulación climática, la oferta de agua dulce, la protección y recuperación de suelos, el amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales, el reciclaje de nutrientes y la generación de espacios habitables para las poblaciones humanas.

En todos los ecosistemas, el agua es el factor que regula su productividad, estabilidad y la salud de los organismos que los habitan. Por esta razón, los factores que regulan el ciclo del agua controlan también la existencia o no de humedales, lagos y lagunas costeras. Estos ambientes donde el agua se almacena temporalmente constituyen ecosistemas clave para el ciclo hidrológico, por lo que su conservación es de vital importancia para asegurar la disponibilidad del agua con la calidad necesaria para mantener la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas.

El potencial hídrico de una región es el resultado de las interrelaciones entre los elementos bióticos y el agua en todas las etapas del ciclo hidrológico, sustentadas por las cuencas y los acuíferos subterráneos. Se ha demostrado que la cantidad y calidad del agua dependen en gran parte del uso que se da al suelo en las áreas que captan, conducen, almacenan, proveen y renuevan el recurso hídrico (véase Capítulo 2 **Vegetación y uso del suelo**). Sin embargo, como consecuencia

del crecimiento poblacional y el desarrollo económico, se generan presiones que conducen a cambios en el uso del suelo de las cuencas.

Las principales alteraciones que experimentan las cuencas como resultado del crecimiento de la población humana se deben a la expansión de la frontera agrícola, al establecimiento de pastizales para la engorda de ganado, a la urbanización asociada al crecimiento de las ciudades, al desarrollo de infraestructura para la generación de energía y a la contaminación asociada a la producción industrial y a la extracción de combustibles fósiles (**Tabla a**).

Muchos de los esquemas tradicionales de manejo ven el tema del agua de manera independiente a la gestión de los ecosistemas. Recientemente se han promovido los enfoques de tipo integral, que reconocen el papel que el agua cumple en los ecosistemas y asocian su gestión al manejo de los mismos. El manejo integrado de los recursos hídricos se basa en el concepto de que el agua forma parte integral de un ecosistema y constituye un recurso natural y un bien social y económico (Programa 21, Naciones Unidas, 1992). El manejo ecosistémico promueve el uso de los ecosistemas sin contribuir a su degradación; busca lograr un balance entre la oferta de los recursos naturales y la demanda de la población, mientras se mantiene la capacidad de los ecosistemas para suministrar dichos recursos de manera sostenible.

La introducción de este enfoque en México es reciente y se ha comenzado a aplicar a través del pago por servicios ambientales. Esto se lleva a cabo a través de dos programas: el Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos y el Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios

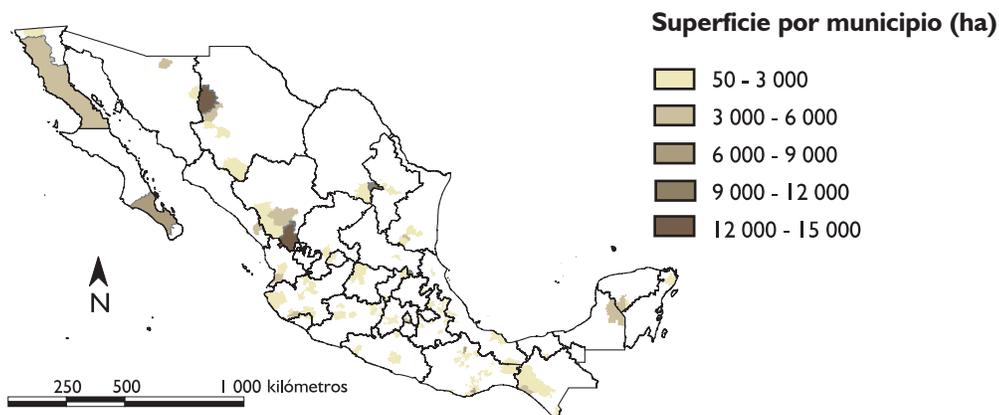
## Cambio de uso del suelo y servicios ecosistémicos (continuación)

Tabla a. Efectos de las actividades humanas realizadas en una cuenca hidrológica sobre los recursos hídricos

Actividad	Efecto inmediato	Efecto sobre los recursos hídricos
Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación de la vegetación natural.</li> <li>• Erosión del suelo.</li> <li>• Aplicación de fertilizantes y plaguicidas.</li> <li>• Aumento de la demanda de agua para riego.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificulta la retención e infiltración del agua al subsuelo.</li> <li>• Aumenta la presencia de sólidos suspendidos.</li> <li>• Incrementa la concentración de nutrientes y materia orgánica, lo que acelera los procesos de eutrofización.</li> <li>• Incrementa la concentración de sustancias tóxicas que contienen los plaguicidas.</li> <li>• Reduce la disponibilidad de agua para otros usos.</li> </ul>
Ganadería	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación de la vegetación natural.</li> <li>• Compactación del suelo.</li> <li>• Depósito de heces en el suelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificulta la retención e infiltración del agua al subsuelo.</li> <li>• Aumenta el contenido de materia orgánica y el riesgo de contaminación por microorganismos patógenos.</li> </ul>
Urbanización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento de las superficies cubiertas por asfalto o cemento.</li> <li>• Entubamiento de ríos.</li> <li>• Descarga de aguas residuales municipales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuye la infiltración del agua de lluvia; obstruye la recarga de mantos freáticos.</li> <li>• Mezcla de aguas pluviales (limpias) con aguas residuales municipales e industriales, lo cual dificulta su tratamiento y disminuye su disponibilidad y calidad.</li> <li>• Aumenta la concentración de materia orgánica y de contaminantes microbiológicos.</li> </ul>
Hidroeléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción de presas.</li> <li>• Fragmentación de ríos.</li> <li>• Inundación de cuencas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrumpe el cauce natural de los ríos.</li> <li>• Disminuye el caudal y cambia los patrones de flujo natural en las partes bajas de la cuenca.</li> <li>• Altera la calidad de agua cuenca abajo.</li> </ul>
Petroquímica e Industria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación por hidrocarburos y otros desechos en el suelo debido a derrames y fugas.</li> <li>• Crecimiento poblacional local y migración hacia ciudades pequeñas y medianas.</li> <li>• Descarga de aguas residuales industriales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta la concentración de sustancias contaminantes.</li> <li>• Aumenta la demanda de agua y disminuye su calidad.</li> <li>• Incrementa la generación de aguas residuales y arrastre de contaminantes.</li> </ul>

## Cambio de uso del suelo y servicios ecosistémicos (continuación)

Mapa a Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), 2003-2004



**Fuente:** Conafor. Padrón de beneficiarios del Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos, años 2003 y 2004. México. 2003 y 2004.

Ambientales por Captura de Carbono y los derivados de la Biodiversidad y para fomentar el establecimiento y mejoramiento de Sistemas Agroforestales.

El Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos tiene como objetivo impulsar proyectos que aseguren la conservación de los bosques y las selvas, favoreciendo el mantenimiento y la conservación de los recursos hídricos del país, teniendo prioridad las cuencas críticas y acuíferos sobreexplotados. Este programa establece un esquema de pagos para retribuir a los usuarios o dueños de terrenos con recursos forestales por los servicios ambientales hidrológicos que presta el buen estado de conservación de sus bosques y selvas y da prioridad al beneficio de las comunidades indígenas o con altos niveles de marginación que se ubican en zonas de recarga, captación y riego (*Mapa a*).

En la primera edición del Programa en el 2003, se canalizaron apoyos por 192 millones de pesos a 272 propietarios de 127 mil hectáreas de bosques templados, selvas y bosques mesófilos de montaña. En su segunda edición en 2004, los apoyos fueron por 96 millones de pesos adicionales para atender

cerca de 184 mil hectáreas.

El Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono y los derivados de la Biodiversidad y para fomentar el establecimiento y mejoramiento de Sistemas Agroforestales (PSA-CABSA) tiene por objetivos promover el acceso a los mercados de los servicios ambientales relacionados con la captura de carbono y con la biodiversidad de los ecosistemas forestales e impulsar el establecimiento de sistemas agroforestales mediante la reconversión del uso agrícola del suelo hacia un uso que integre elementos agrícolas y forestales, así como a través del fortalecimiento de sistemas agroforestales ya existentes. Si bien este programa no tiene como objetivo explícito la conservación de los ecosistemas en zonas de captación de agua, también contribuye a esta función al favorecer la conservación de la vegetación en las superficies apoyadas.

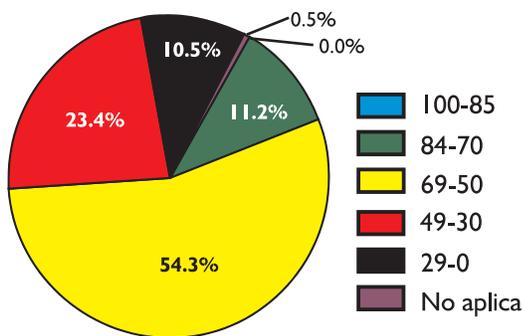
**Fuente:**

Andrade, A. y F. Navarrete. Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico. *Serie Manuales de educación y capacitación ambiental*. No. 8. PNUMA. México. 2004.

Conafor. *Padrón de beneficiarios del Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos*. México. 2003 y 2004.

recibido un tratamiento mayor, y no recomendable para uso recreacional, además de que puede afectar especies sensibles de vida acuática; no requiere tratamiento para su uso agrícola o industrial. El 23% de los cuerpos de agua se encontraba en la categoría de contaminados (30 a 49), por lo que el líquido sólo podría tener uso industrial o agrícola con tratamiento; su empleo para otros fines sería dudoso. Finalmente, 11% de los cuerpos de agua monitoreados se encontraba altamente contaminado (ICA menor a 30), lo que los vuelve prácticamente inaceptables para cualquier uso (Figura 7.12).

**Figura 7.12 Estaciones de monitoreo de calidad de aguas superficiales ubicada en cada categoría de ICA, 2003**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: CNA. Gerencia de planeación hidráulica. Subdirección General de Programación. México. 2005.

De acuerdo con los resultados del ICA en 2003, la región hidrológica administrativa con mayores problemas de contaminación era la de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala, con 55% de sus cuerpos de agua monitoreados altamente contaminados, seguida por la Península de Baja California, con 36%. La región del Noroeste era la que presentaba el líquido de mejor calidad con 80% de sus cuerpos de agua en la categoría de aceptable. En la región Lerma-Santiago-Pacífico 45% de sus sitios de monitoreo estuvieron en la categoría de contaminados. En las demás regiones la mayor parte de sus estaciones de monitoreo aparecieron como poco contaminadas.

A partir de 2004, la Comisión Nacional del Agua (CNA) dejó de reportar el ICA y anunció la sustitución de éste por un nuevo índice que considere la mayoría de las condiciones de las estaciones de medición de la RNM. Actualmente, la CNA está utilizando como indicadores de la calidad del agua, la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días ( $DBO_5$ ) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Estas variables muestran la influencia antropogénica desde el punto de vista de la afectación por la presencia de centros urbanos e industriales, los que por sus características producen desechos líquidos de calidad diferenciable.

En la tabla 7.9 se describen los criterios aplicables a otros parámetros que reflejan el estado de la

**Tabla 7.9 Criterios de calidad del agua: niveles máximos permisibles**

Parámetro	Fuente de abastecimiento de agua potable	Recreativo con contacto primario	Riego agrícola	Pecuario	Protección de la vida acuática
Coliformes fecales (Número más probable/100 ml)	1 000	200	1 000		200
Fosfato total (mg/l)	0.1				0.025 (lagos), 0.05 (afluentes de lagos), 0.1 (ríos)
Nitrato (mg/l)	5			90	

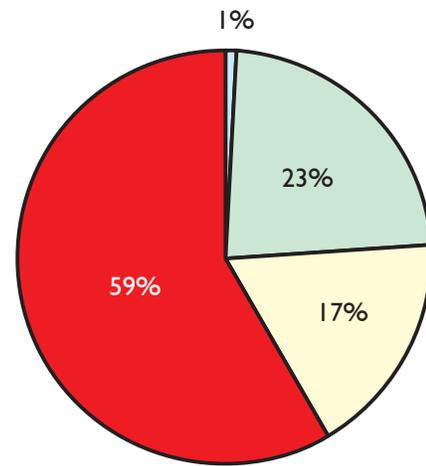
**Fuente:**  
DOF. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. CE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación. México. 1989 (2 de diciembre).

calidad del agua para diferentes usos. En 2003, 59% de los sitios de monitoreo del país y más de 75% de los correspondientes a las regiones Lerma-Santiago-Pacífico, Balsas y Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala presentaron concentraciones de coliformes fecales promedio anual mayores a 1 000 NMP/100 ml, que es el límite máximo para considerar apto un cuerpo de agua como fuente de abastecimiento de agua potable o para que el líquido sea utilizado en servicios al público con contacto indirecto u ocasional (NOM-003-SEMARNAT-1997) (Figura 7.13, Mapa 7.6).

En 2003, en más de 50% de los sitios de monitoreo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), era inferior a 3 mg/l, lo que se considera de buena calidad o excelente. No obstante, casi otra quinta parte de los cuerpos de agua monitoreados registró valores de DBO<sub>5</sub> mayores a 30 mg/l, que se considera el límite máximo permisible para protección de la vida acuática en ríos (Figura 7.14, Mapa 7.7).

La zona centro del país es la que presenta un mayor número de sitios de monitoreo con valores altos de DBO<sub>5</sub>. En las regiones Balsas y Aguas del

**Figura 7.13 Coliformes fecales en aguas superficiales. Estaciones de monitoreo en cada categoría, 2003**



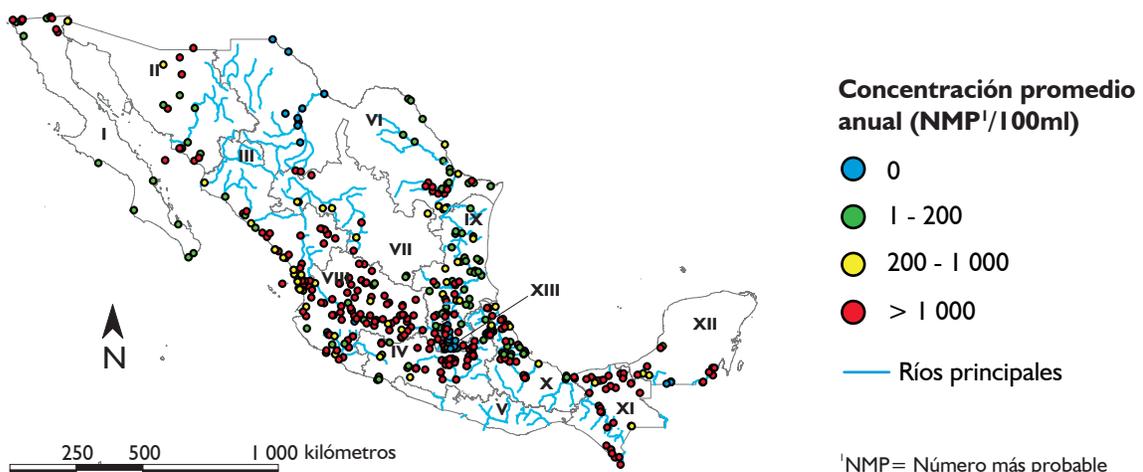
**Concentración de coliformes fecales (Número más probable/100 ml)**



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: CNA. Gerencia de Planeación Hidráulica. Subdirección General de Programación. México. 2005.

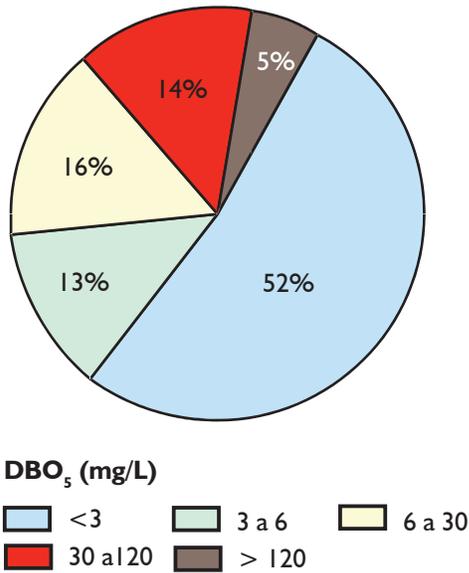
**Mapa 7.6 Coliformes fecales en cuerpos de agua superficiales, 2003**



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: CNA. Gerencia de Planeación Hidráulica. Subdirección General de Programación. México. 2004.

**Figura 7.14 Demanda Bioquímica de Oxígeno en aguas superficiales. Estaciones de monitoreo en cada categoría, 2003**



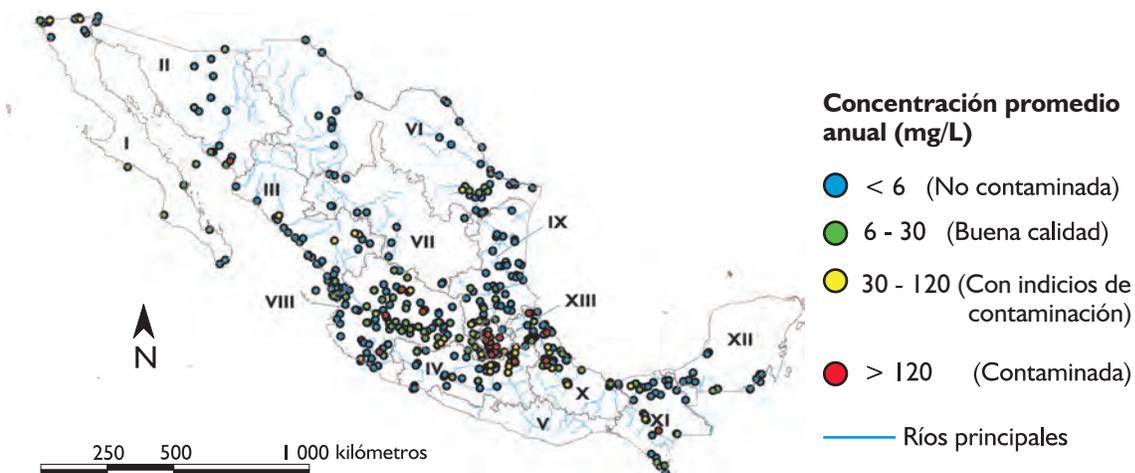
**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: CNA. *Estadísticas del Agua en México 2005*. Comisión Nacional del Agua. México. 2005.

Valle de México y Sistema Cutzamala 35 y 65% de sus estaciones, respectivamente, tienen valores promedio superiores a 30 mg/l, lo que indica contaminación.

Otro contaminante detectado frecuentemente en los cuerpos de agua son los fosfatos provenientes de los compuestos de fósforo, que se aplican como fertilizante en zonas agrícolas o se utilizan en la fabricación de detergentes. Se considera que el límite máximo para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y controlar la eutrofización acelerada de ríos y arroyos es 0.1 mg/l, (DOF, 1989). En 2003, en más de 70% de los sitios de monitoreo, la concentración de fósforo total fue superior a 0.1 mg/l. En el caso de la región Lerma-Santiago-Pacífico se superó este límite en 94% de los sitios (Figura 7.15, Mapa 7.8).

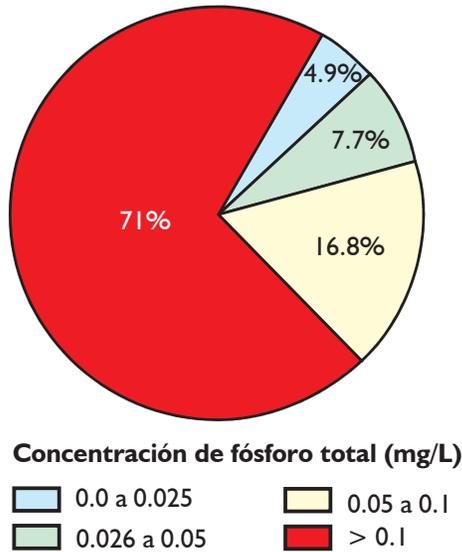
En el caso de los nitratos, se establece como concentración máxima 0.2 mg/l para el consumo a largo plazo, con el fin de prevenir la metahemoglobinemia en infantes (OMS, 2004). En 2003 se detectaron concentraciones superiores a 0.2 mg/l en 69% de los sitios de monitoreo de la RNM (Figura 7.16). En las regiones Noroeste,

**Mapa 7.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno en cuerpos de agua superficiales, 2003**



**Fuente:** Elaboración propia con datos de: CNA. Gerencia de Planeación Hidráulica. Subdirección General de Programación. México. 2004.

**Figura 7.15 Concentración de fósforo total en aguas superficiales. Estaciones de monitoreo que se ubica en cada categoría, 2003**

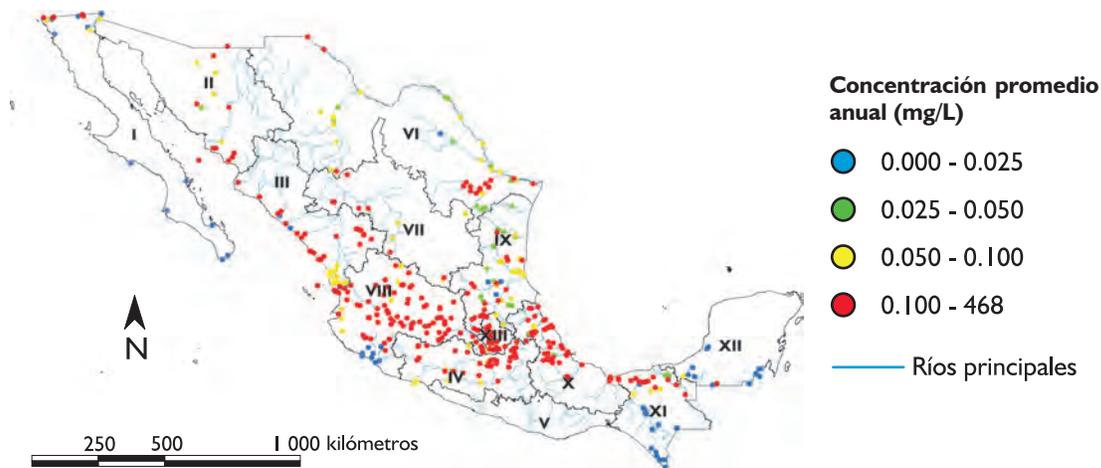


**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: CNA. Gerencia de planeación hidráulica. Subdirección General de Programación. México. 2005.

Balsas, Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte, Lerma-Santiago-Pacífico, Golfo Norte, Golfo Centro y Península de Yucatán, 50% o más de los sitios de monitoreo sobrepasaron ese nivel. Ese mismo año 5% de los sitios de monitoreo de las regiones Golfo Norte y Valle de México presentaron concentraciones de nitrato mayores a 5 mg/l que, en los ecosistemas acuáticos, puede favorecer el crecimiento de algas y la disminución de los niveles de oxígeno, tras su descomposición, dañando a los organismos que habitan esos ecosistemas (Mapa 7.9).

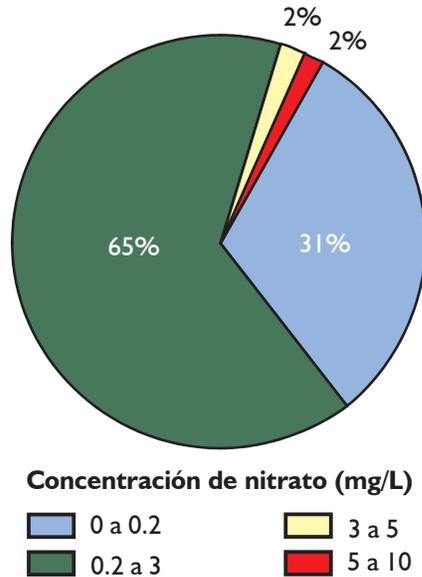
Desde 1974 comenzó a operar un programa de monitoreo de la calidad del agua de los cuerpos de agua más importantes del país y de aquellos en los que se habían detectado problemas de contaminación. En los lagos monitoreados, el hecho más notable es la tendencia a la disminución de la concentración de bacterias coliformes, que refleja un esfuerzo exitoso en el control de las descargas municipales a estos cuerpos de agua (Cuadro D3 AGUA04 01, Figura 7.17). Algunos lagos (Pátzcuaro, Chapala y Catemaco) han logrado mantener desde 2001 concentraciones de coliformes fecales por debajo de 1 000 NMP/100 ml.

**Mapa 7.8 Fosfato total en aguas superficiales, 2003**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: CNA. Gerencia de Planeación Hidráulica. Subdirección General de Programación. México. 2004.

**Figura 7.16 Nitrato en aguas superficiales. Estaciones de monitoreo en cada categoría, 2003**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: CNA. Gerencia de planeación hidráulica. Subdirección General de Programación. México. 2005.

En el caso de los demás contaminantes no se observa un patrón definido que indique el éxito en su control. La mayoría muestra oscilaciones alrededor de los valores que se registraron a principios de los años noventa. Solamente en el lago de Chapala y la laguna de El Rodeo se registran valores de  $DBO_5$  en la categoría de “excelente” (<3 mg/l); Catemaco, tendría calidad “buena”, Pátzcuaro, “aceptable”, y Almoloya, “contaminada” (Mapa 7.7). Los valores altos de  $DBO_5$  y su constancia en el tiempo indican una falta de control de desechos municipales e industriales (esto último puede inferirse por el cociente  $DBO_5/DQO$  mayor a tres, que es indicativo de contaminación industrial), así como una deficiencia en el tratamiento del agua antes de ser vertida.

En el acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89) (DOF, 1989), se indica que los fosfatos totales, medidos como fósforo, no deberán exceder de 0.05 mg/l en influentes a lagos o embalses, ni de 0.025 mg/l dentro del lago o embalse, para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y controlar la eutroficación acelerada; en ríos y arroyos, se permiten concentraciones de hasta

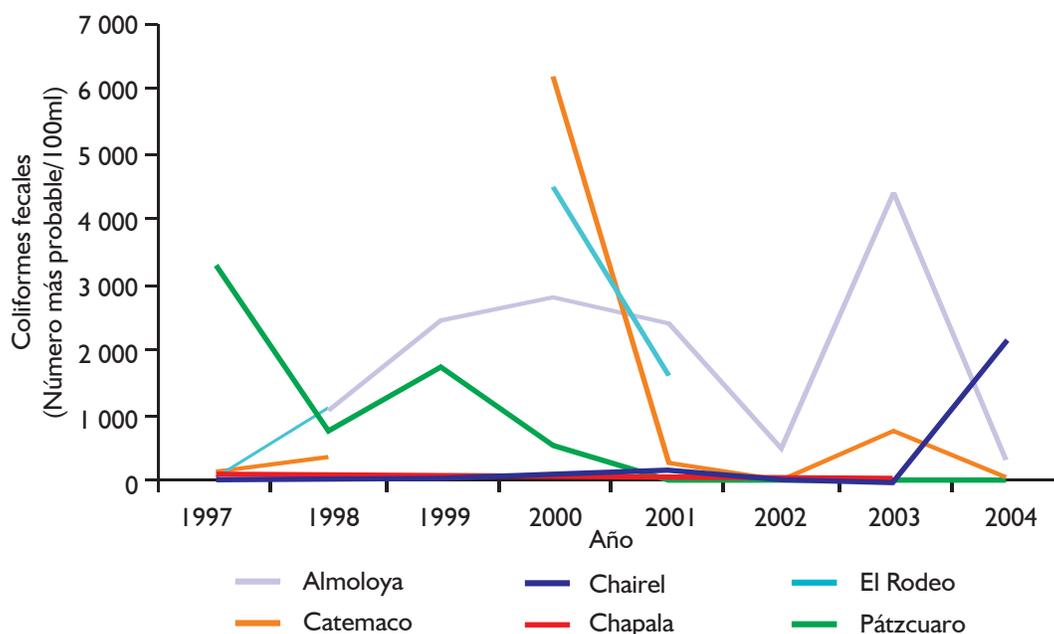
**Mapa 7.9 Nitrato en aguas superficiales, 2003**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: CNA. Gerencia de Planeación Hidráulica. Subdirección General de Programación. México. 2004.



**Figura 7.17 Concentración de coliformes fecales en los principales lagos monitoreados, 1997-2004**



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: Semarnat. Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. México. 2005.

0.1 mg/l (Tabla 7.9). La concentración promedio anual de fósforo en el agua de los lagos de Almoloya, Catemaco, El Rodeo, Pátzcuaro, Chairel y Chapala rebasó este nivel en 2003.

A diferencia de los lagos, en los ríos monitoreados no se observa alguna tendencia general en los niveles de contaminantes desde 1997. Algunos ríos muestran una tendencia decreciente en las concentraciones promedio de coliformes fecales (Balsas, Lerma y Tula). En otros casos, como el de los ríos San Juan, Pánuco, Jamapa, Soto La Marina y Papaloapan, siguen registrándose valores superiores a 1 000 NMP/100 ml. Sólo cuatro de los ríos monitoreados (Balsas, Bravo, Colorado y Moctezuma) han mantenido concentraciones inferiores a 1 000 NMP/100 ml en 2003 y 2004 (Figuras 7.18 y 7.19).

Desde 2002, la  $DBO_5$  se ha mantenido menor o igual a 3 mg/l en los ríos Pánuco, Colorado, Balsas, Bravo, Grijalva y Soto La Marina. A nivel nacional, en el mismo año, los cuerpos de agua monitoreados con

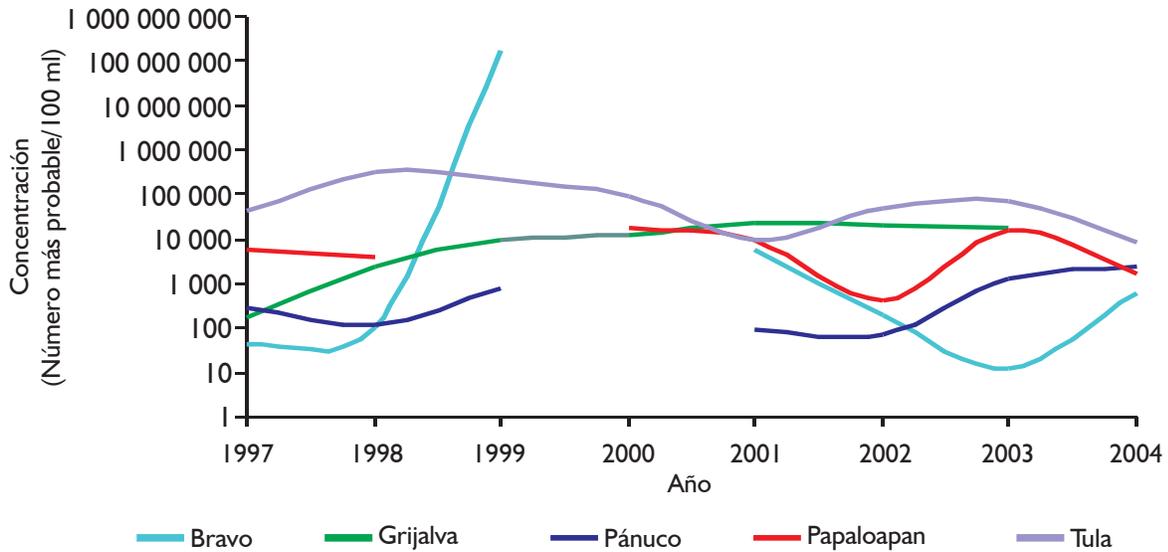
$DBO_5$  mayor a 120 mg/l, fueron los ríos Alseseca en la región Balsas, Turbio en la región Lerma-Santiago-Pacífico y Los Remedios en la región del Valle de México y Sistema Cutzamala.

La calidad del agua que llevan los ríos hacia el mar afecta la calidad del agua en las zonas costeras. Para monitorear y mejorar la calidad bacteriológica del agua de mar en localidades de playa frecuentadas por el turismo, se implementó en 2003 el “Programa Integral de Playas Limpias”, que registra, atiende y difunde los resultados de los muestreos realizados en las principales playas turísticas del país (ver [Calidad del agua en zonas costeras](#)).

### Servicios y cobertura

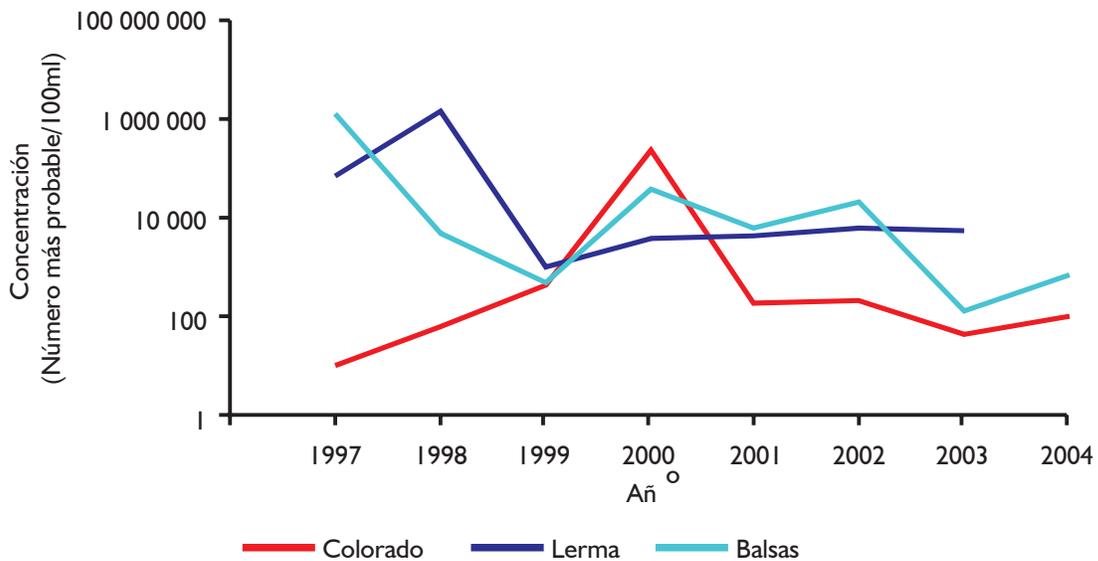
La cobertura mundial de agua apta para consumo humano se estima en alrededor de 82% (PNUMA, 2002), con grandes contrastes. Por ejemplo, países como Estados Unidos, Francia y Canadá tienen coberturas prácticamente de 100%, mientras que

**Figura 7.18 Coliformes fecales en algunos ríos monitoreados. Vertiente del Golfo de México, 1997-2004. El eje de las ordenadas se presenta en escala logarítmica.**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: Semarnat. Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. México. 2005.

**Figura 7.19 Concentración de coliformes fecales en ríos seleccionados. Vertiente del Pacífico, 1997-2004. El eje de las ordenadas se presenta en escala logarítmica.**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: Semarnat. Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. México. 2005.



## Calidad del agua en zonas costeras

Los mares y océanos constituyen el 97% del agua disponible en la Tierra y, durante muchos años, se consideró erróneamente, que vertir los desechos en los cuerpos de agua era una buena solución para deshacerse de ellos. Se tenía la idea de que por ser el volumen de aguas residuales mucho menor que el volumen de los ríos y océanos, la concentración de contaminantes se diluiría hasta niveles inocuos. Los cuerpos de agua tienen una gran capacidad para degradar y mineralizar gran cantidad de los contaminantes que se vierten en ellos, pero los microorganismos que realizan la degradación requieren de tiempo para ello. Si la descarga continua de contaminantes rebasa los tiempos de degradación, se pueden acumular contaminantes hasta alcanzar niveles tóxicos para los mismos organismos degradadores.

El origen de los contaminantes que se encuentran en los mares es muy diverso. Durante el recorrido que realizan los ríos a través del continente para llegar al mar, arrastran gran variedad de materiales, que van desde minerales y nutrientes, hasta toda clase de residuos generados por las actividades humanas: aguas residuales de los asentamientos humanos, fertilizantes y plaguicidas aplicados en las actividades agrícolas, desechos de la ganadería, sustancias químicas empleadas en la minería, residuos de la construcción de infraestructura en la franja costera y la descarga de aguas residuales industriales, entre otros. Las actividades terrestres son responsables de alrededor del 70% de la contaminación presente en los mares. Entre las actividades marinas, los derrames de combustibles y el tránsito de embarcaciones pueden afectar la calidad del agua de mar.

Desafortunadamente, además de su efecto sobre los ecosistemas marinos, muchos de los contaminantes que llegan al mar pueden generar un efecto negativo en la salud humana, dependiendo de su concentración y del tiempo de exposición. Los daños más comunes a la salud que pueden producirse por nadar en aguas contaminadas son las enfermedades gastrointestinales, irritación en la piel e infecciones en los ojos y oídos. A pesar de que estas infecciones generalmente no son graves, la industria del turismo puede afectarse por playas cuya agua carece de la calidad requerida por los turistas.

Para vigilar el estado de la calidad del agua a la que están expuestos los visitantes, en el 2003 se creó el Programa Integral de Playas Limpias, que tiene como objetivo proteger la salud de los usuarios, mejorar la calidad ambiental de las playas nacionales y elevar los niveles de competitividad de los destinos turísticos costeros, mediante acciones coordinadas de los tres niveles de gobierno y los sectores privado, social y académico. En abril de 2003 se inició el Sistema Nacional de Información sobre la Calidad del Agua en Playas Mexicanas, en donde participan las Secretarías de Marina, Medio Ambiente, Salud y Turismo. Este sistema tiene como objetivo establecer una red de monitoreo y comunicación de la calidad del agua de mar en cada uno de los destinos turísticos de mayor afluencia en los 17 estados costeros del país.

En 2005, se ha logrado ya sistematizar y homogeneizar los monitoreos del agua de mar de acuerdo con los criterios descritos por la Organización Mundial de la Salud para las aguas de mar con fines recreativos.

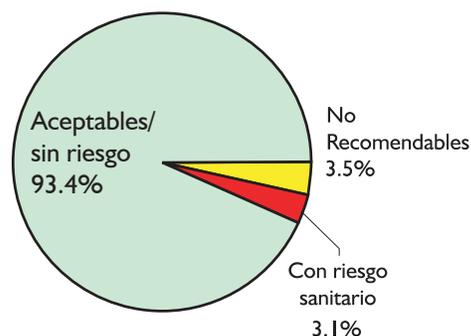
## Calidad del agua en zonas costeras (continuación)

Considerando que la determinación de todos los parámetros de calidad del agua tendría un costo elevado en tiempo y dinero, se utilizan organismos indicadores que denotan el grado de contaminación del agua de mar y el riesgo que se corre al nadar en ella. Los enterococos son microorganismos que se encuentran normalmente en el tracto gastrointestinal del hombre y los animales de sangre caliente. Son excretados en las heces, por lo que su presencia en el ambiente indica una probable contaminación de origen fecal. Esto los convierte en indicadores de la probable presencia de otro tipo de gérmenes patógenos. Hasta ahora no se ha alcanzado un consenso para determinar el nivel aceptable de enterococos en las playas, pero con base en contribuciones científicas recientes de todo el mundo, han podido establecerse los valores máximos para el agua empleada con fines recreativos. De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua, aguas con un contenido entre 201 y 500 enterococos en 100 mililitros no son recomendables para su uso recreativo, mientras que valores mayores a 500 enterococos representan riesgo sanitario.

Durante el periodo 2003-2005, de las 209 playas donde se realizaron los muestreos, 93% de las muestras resultaron con niveles de enterococos aceptables. Tan sólo 4% de las muestras tuvieron niveles no recomendables para su uso recreativo y 3% de las muestras representaban un riesgo para la salud (*Figura a*).

Las playas del estado de Veracruz presentaron el mayor número de muestras con niveles de enterococos no recomendables

**Figura a** Calidad del agua de mar, según su condición bacteriológica, 2003-2005



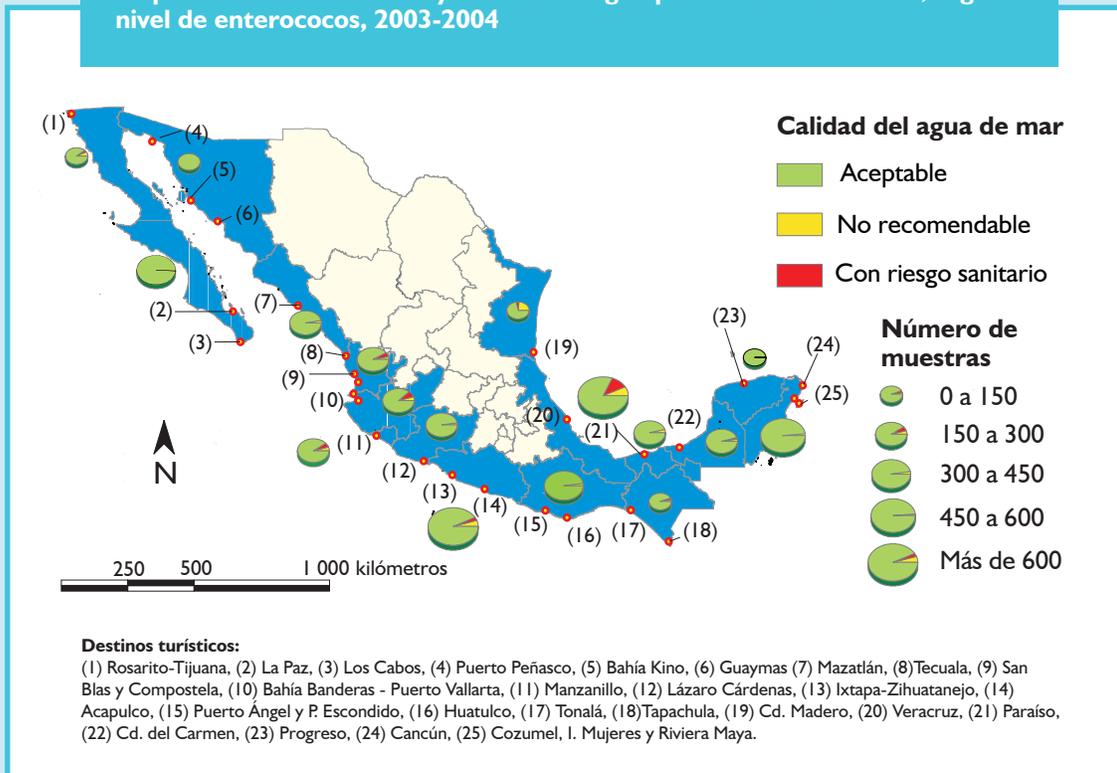
o con riesgo sanitario (18%), seguido por las de Guerrero, con 9% en Acapulco y 7% en Ixtapa-Zihuatanejo. La bahía de Acapulco es uno de los destinos más visitados y la presencia de enterococos puede ser consecuencia del número de personas que la visitan: una mayor ocupación de hoteles y restaurantes puede traducirse en una mayor descarga de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica. Entre las playas monitoreadas, Baja California y Sonora contaron con las playas más limpias del país (*Mapa a*).

**Fuente:**

Semarnat. Dirección General de Estadística e Información Ambiental. México. 2005. Disponible en: <http://portal.semarnat.gob.mx/semarnat/portal>

## Calidad del agua en zonas costeras (continuación)

Mapa a Destinos turísticos y calidad del agua por entidad federativa, según nivel de enterococos, 2003-2004



el promedio de África apenas llega a 62%. En 2000 en México se tenía identificada una cobertura de agua potable de 87.8%, ligeramente superior a la estimada para América Latina y el Caribe: 85% (PNUMA, 2003). Se considera que en 2003 la cobertura de agua potable fue de 89.4%, lo que representó 4 millones adicionales de habitantes en viviendas particulares con servicio, con respecto al 2000. Entre 2000 y 2003, la cobertura en zonas urbanas pasó de 95.1 a 95.9%; en zonas rurales la cobertura siguió siendo considerablemente menor, aunque también se incrementó en dicho periodo al pasar de 69% en 2000 a 70.6% en 2003 (Figura 7.20, Cuadro D3 AGUA06 02).

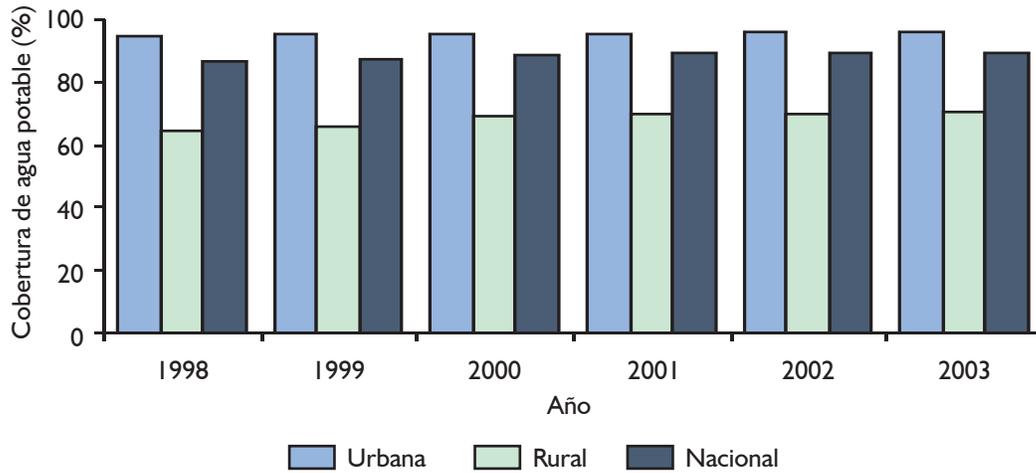
Al interior del país, durante el mismo periodo la mayoría de los estados incrementaron en términos reales la cobertura de este servicio (Cuadro D3 AGUA06 03), aunque existen diferencias importantes en la cobertura y los esfuerzos que ha realizado cada uno. Mientras que entidades como el

Distrito Federal, Aguascalientes, Colima y Coahuila tienen coberturas superiores a 98%, en Tabasco, Oaxaca, Veracruz y Guerrero no llega a 75% (Mapa 7.10).

También son notorias las diferencias en los esfuerzos por incrementar la cobertura. Por ejemplo, Baja California, Quintana Roo y Sinaloa incrementaron en más de 3% la cobertura del año 2000 al 2003 (Figura 7.21). En contraste, otros estados enfrentan un problema grande, ya que las tasas de crecimiento del servicio, aunque altas, resultan insuficientes para lograr niveles de cobertura aceptables en una población en continuo crecimiento (Cuadro D3 AGUA06 01).

En México, al igual que en el resto del mundo, se realizan más esfuerzos para suministrar agua de calidad aceptable al consumo humano que para servicios de alcantarillado y drenaje. En 2003 la cobertura de alcantarillado en el país fue de 77.2%,

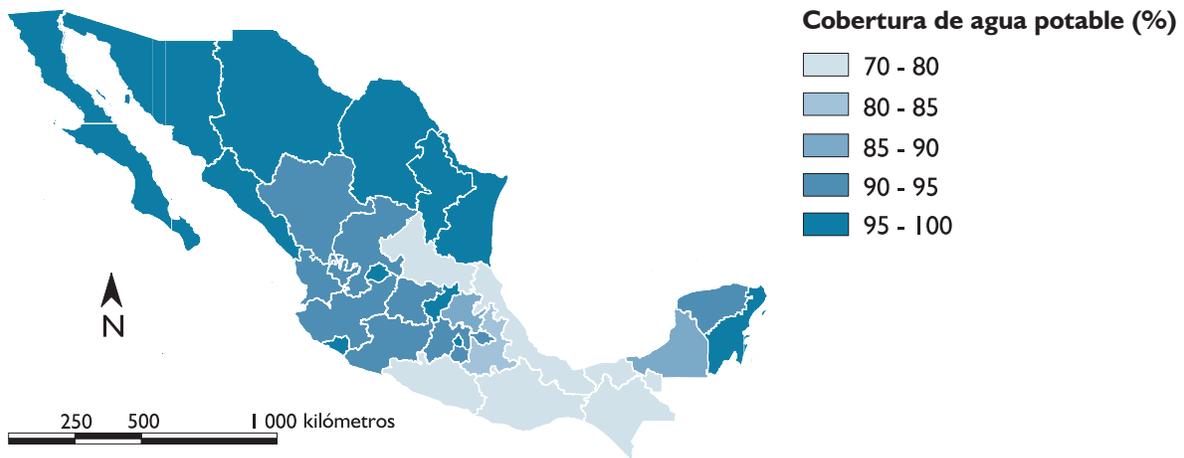
**Figura 7.20 Población con acceso a agua potable, 1998-2003**



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: CNA. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 2003*. Comisión Nacional del Agua. México. 2004.

**Mapa 7.10 Población con acceso a agua potable, 2003**



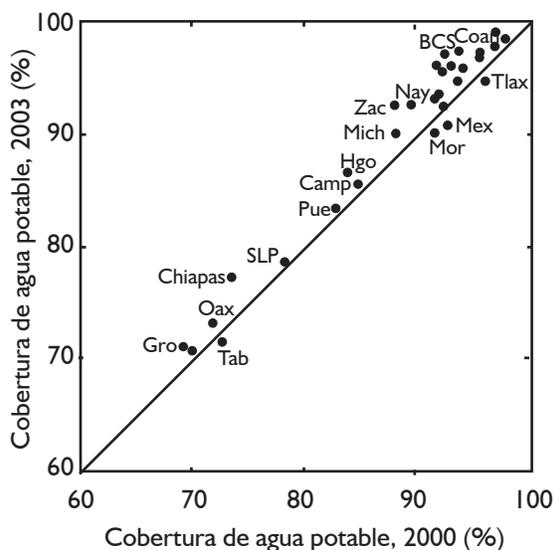
**Fuente:** CNA. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 2003*. México. 2004.

valor ligeramente inferior a lo estimado para América Latina y el Caribe, que es de 79% (PNUMA, 2003). Al igual que en la cobertura de agua potable, también en alcantarillado y drenaje existen diferencias muy marcadas entre las zonas urbanas y rurales. En las primeras se alcanzó una cobertura de 90.4% en 2003, mientras que en las segundas apenas se cubrió 38.5% (Figura 7.22).

Existen también diferencias notables entre los estados del país. En el Distrito Federal, Aguascalientes, Colima, Jalisco y Nuevo León se tienen coberturas mayores a 90%, mientras que en los estados de Oaxaca y Guerrero no llega a 50% (Mapa 7.11). Los estados que tienen mayores diferencias entre la cobertura de agua potable y alcantarillado son Yucatán (40.9%), Oaxaca (30.1%) y Campeche



**Figura 7.21 Incremento en la cobertura de agua potable, 2000-2003**



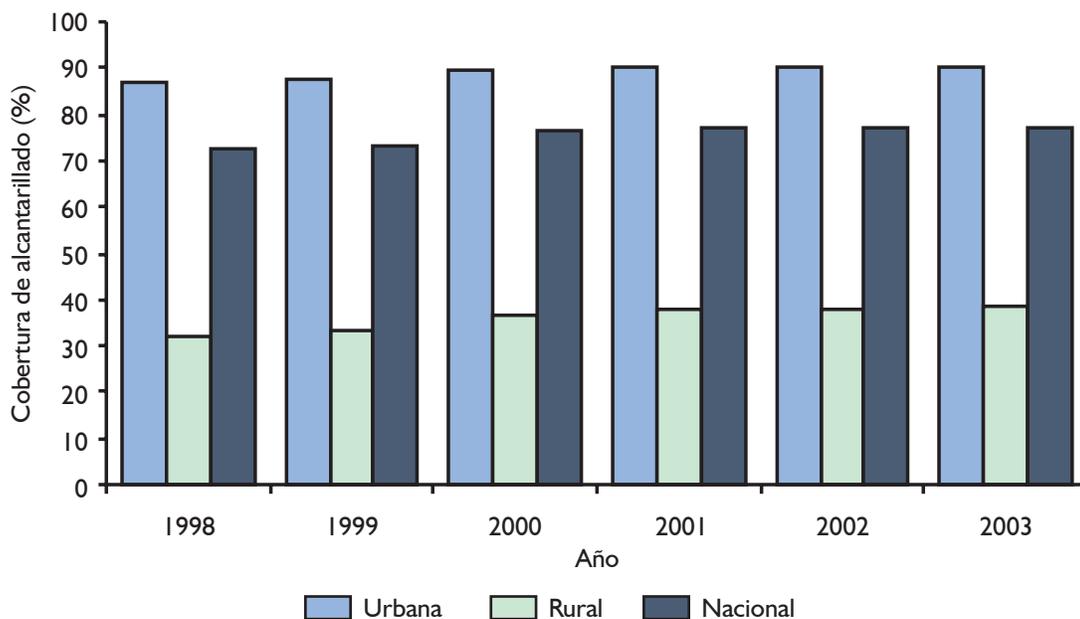
**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: CNA. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 2003*. Comisión Nacional del Agua. México. 2004.

(27.4%). El Distrito Federal, Aguascalientes, Colima y Jalisco tienen diferencias menores a 5%. Aunque la mayoría de los estados tuvieron un incremento en su cobertura de alcantarillado entre 2000 y 2003, sobresalen Baja California Sur, Chihuahua, Colima, Durango, Quintana Roo y Sinaloa con incrementos superiores a 5% (Figura 7.23, Cuadro D3 AGUA06 04).

El suministro de agua de buena calidad en los sistemas de abastecimiento es importante para la salud e higiene de la población, por lo que es necesaria la construcción de instalaciones específicas para potabilizar el agua. A nivel nacional en 2003 se suministraron 320 690 litros por segundo para consumo humano, de los cuales 95% por lo menos fue desinfectado y 26% potabilizado, en su gran mayoría por el proceso de clarificación completa (Cuadros D3 AGUA07 02 y D3 AGUA07 05).

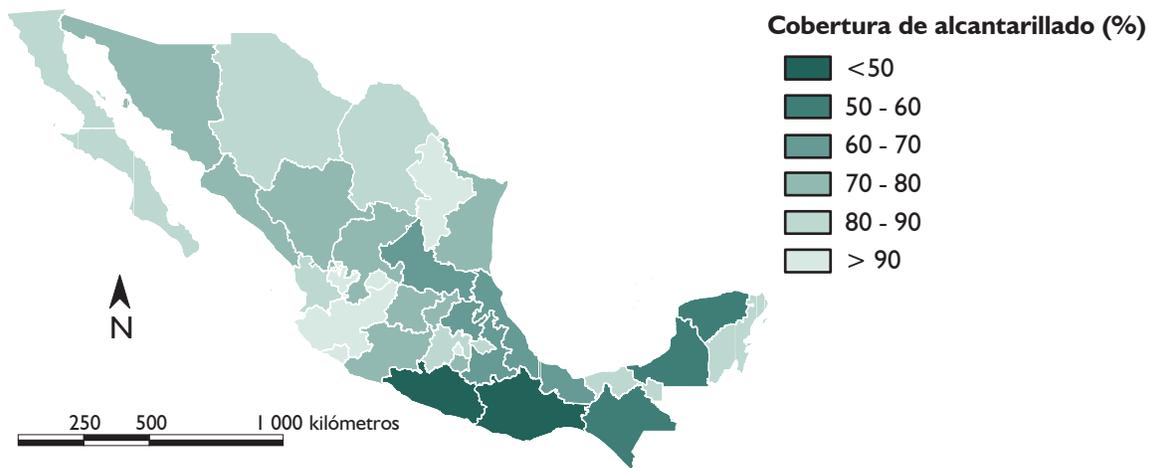
Estas cifras significan que se suministran alrededor de 264 litros por día por habitante en promedio a nivel nacional, lo que está por arriba de

**Figura 7.22 Cobertura de alcantarillado, 1998-2003**



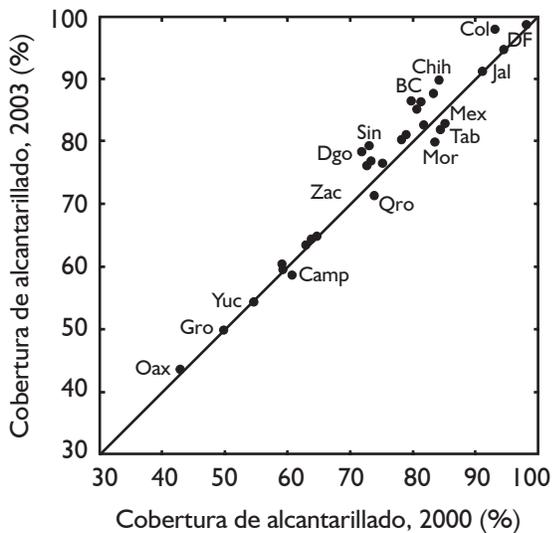
**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: CNA. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 2003*. Comisión Nacional del Agua. México. 2004.

Mapa 7.1 | Población con acceso a alcantarillado por entidad federativa, 2003



Fuente: CNA. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 2003. CNA. México. 2004.

Figura 7.23 Incremento en la cobertura de alcantarillado por entidad federativa, 2000-2003



Fuente: Elaboración propia con datos de: CNA. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 2003. Comisión Nacional del Agua. México. 2004.

A nivel estatal, Baja California Sur, Campeche, Colima, Chihuahua, Durango, Morelos y Sonora tienen suministros superiores a 400 litros diarios por habitante, mientras que Hidalgo y Puebla apenas sobrepasan 150 litros. Cabe resaltar el caso de Oaxaca, donde el suministro difícilmente alcanzó 100 litros diarios por habitante. En 2003, el agua potable suministrada que pasó por un proceso de potabilización completo y no sólo de desinfección fue de escasos 69 litros diarios por persona, en promedio a nivel nacional. Tamaulipas tiene el mayor volumen por habitante con poco más de 300 litros diarios de agua potabilizada por persona, mientras que estados como Morelos, Tlaxcala y Zacatecas carecen de plantas potabilizadoras (Cuadro D3 AGUA07 02).

El tratamiento de aguas residuales tanto municipales como industriales es bajo en términos generales. En 2003 se contaba con 1 360 sistemas municipales para el tratamiento de aguas con una capacidad instalada de 89.6 m<sup>3</sup>/s, de los cuales sólo 1 182 estaban en operación (87%) con un gasto tratado de 60.2 m<sup>3</sup>/s (67%). Los estados de Nuevo León, México, Baja California, Chihuahua, Distrito Federal, Guanajuato y Sonora, en conjunto, tratan poco más de 50% del agua residual municipal colectada en las alcantarillas (Cuadro D3 AGUA07 09).

lo mínimo recomendable según la ONU: 50 litros diarios por habitante para cubrir las necesidades mínimas básicas (alimento y aseo) y 100 litros para satisfacer las necesidades generales (FNUAP, 2001).



En 2003 se estimó que los centros urbanos generaron 255 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales, de las cuales 80% (203 m<sup>3</sup>/s) se colectó en el alcantarillado y de éstas 29.7% (60.2 m<sup>3</sup>/s) recibió algún tipo de tratamiento. Al conjuntar la eficiencia de captación y procesamiento del agua se tiene que a nivel nacional sólo 23.6% del agua residual municipal es tratada antes de ser vertida a los cuerpos de agua. La proporción de agua tratada en México, aunque baja, está por encima del promedio de América Latina, que apenas llega a 13%. La mayor parte del agua tratada en el país recibe tratamiento secundario mediante lodos activados y lagunas de estabilización, procesos que tienen una eficiencia de entre 80 y 90% para la remoción de DBO (Figura 7.24, Cuadro D3 AGUA07 094). La mayoría de los cuerpos de agua superficiales del país reciben descargas de aguas residuales sin tratamiento, lo que ocasiona distintos niveles de contaminación en prácticamente todos ellos.

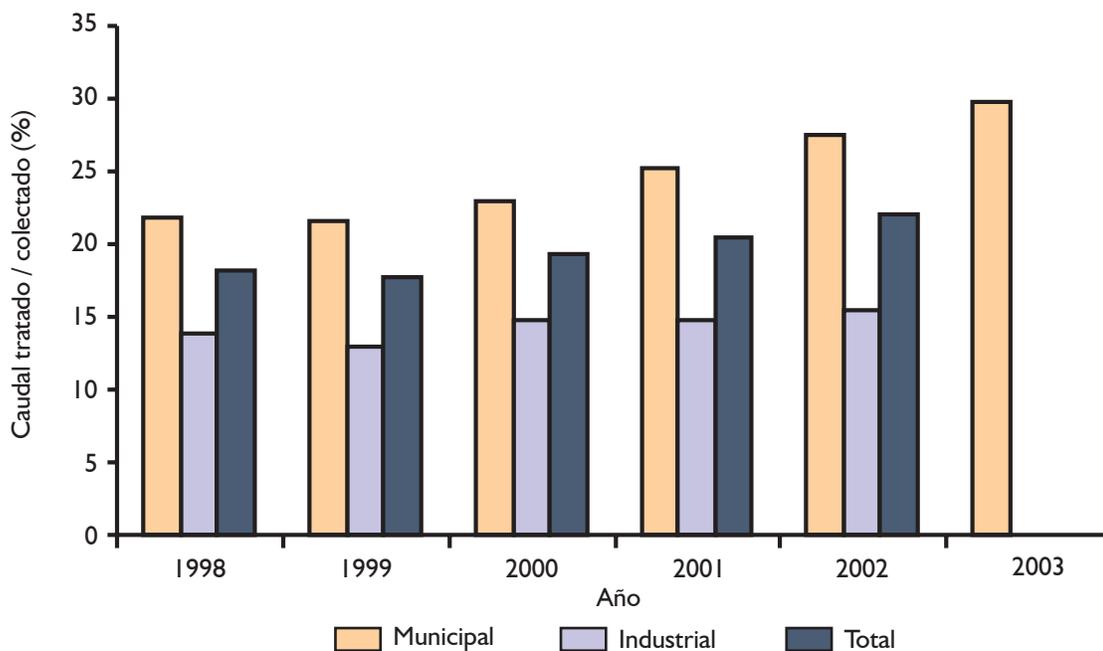
A nivel nacional en el año 2003 se trataron

en promedio 49.6 litros diarios de agua residual por habitante, con grandes diferencias entre los estados, ya que Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Nayarit, Durango y Nuevo León procesaron volúmenes por encima de 100 litros diarios por persona, mientras que Campeche, Chiapas, Hidalgo y Yucatán no llegaron a 10 litros diarios por habitante.

Un indicador aproximado del esfuerzo que hacen los estados para tratar el agua es la relación entre el líquido suministrado a la población y el agua tratada. Las entidades que procesan en mayor proporción el agua que suministran a su población son Nuevo León, Aguascalientes, Nayarit y Quintana Roo, con una relación entre el agua tratada y la suministrada mayor a 50%; en contraste, Zacatecas, Yucatán, Campeche, Chiapas e Hidalgo no alcanzan 3%.

En 2003 las industrias en todo el país descargaron alrededor de 8.14 km<sup>3</sup> (258 m<sup>3</sup>/s) de aguas residuales, que se traducen en más de 9.5

Figura 7.24 Agua residual que recibe tratamiento, 1998-2003

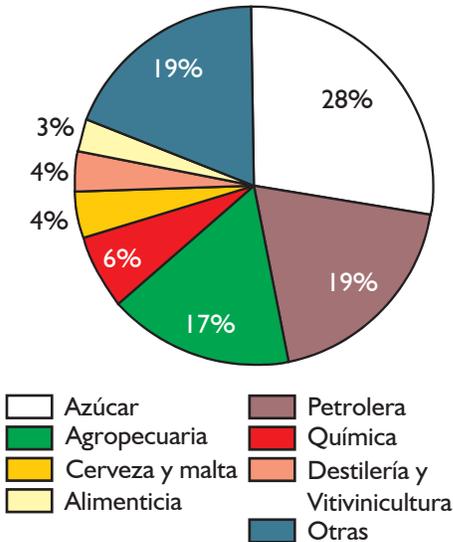


**Fuentes:**

Semarnap, INEGI. *Estadísticas del Medio Ambiente 1997 y 1999*. México. 1998 y 2000.  
CNA. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. CNA. México. Ediciones 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2004.  
CNA. *Estadísticas del Agua en México, 2004*. CNA. México. 2004.

millones de toneladas de DBO al año. En 2002, las industrias que contribuyeron con mayor carga de contaminantes fueron la azucarera, petrolera y agropecuaria (Figura 7.25).

**Figura 7.25 Materia orgánica descargada en aguas residuales industriales, 2002**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: CNA. *Estadísticas del Agua en México 2005*. Comisión Nacional del Agua. México. 2005.

A diciembre de 2003, el país contaba con 1 640 plantas de tratamiento de agua residual industrial que procesaban 27.4 m<sup>3</sup>/s (10.6%) del agua generada. El tipo de tratamiento más utilizado es el secundario, en 925 plantas y con un gasto de operación de 16 700 l/s. Además del bajo volumen de agua tratada, sólo 56.7% (15.5 m<sup>3</sup>/s) cumple con las condiciones particulares de descarga descritas en la NOM-001-SEMARNAT-1996. Veracruz es el estado que produce mayores descargas y también el que procesa más agua residual, con cerca de 40% del total nacional, seguido por Nuevo León, el Estado de México y Michoacán, que dan tratamiento a más de 1 000 litros por segundo (**Cuadro D3 AGUA07 12**).

## Referencias

Cenapred. *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2000*. Serie "Impacto socioeconómico de los desastres naturales". Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 2001.

Cenapred. *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2001*. Serie "Impacto socioeconómico de los desastres naturales". Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 2002.

Cenapred. *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2002*. Serie "Impacto socioeconómico de los desastres naturales". Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 2003.

Cenapred. *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2003*. Serie "Impacto socioeconómico de los desastres naturales". Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 2004.

CNA. *Compendio básico del agua en México*. Comisión Nacional del Agua. México. 2002.

CNA. *Estadísticas del agua en México, 2003*. Comisión Nacional del Agua. México. 2003.

CNA. *Estadísticas del agua en México, 2004*. Comisión Nacional del Agua. México. 2004.

CNA. *Estadísticas del agua en México, 2005*. Comisión Nacional del Agua. México. 2005.

CNA. *Programa Nacional Hidráulico 2001-2006*. CNA. México. 2001.

Conabio. *La diversidad biológica de México: estudio de país*. México. 1998.

Conapo. *Proyecciones a la población de México, 2000-2050*. Consejo Nacional de Población. México. 2002.



DOF. NOM-001-SEMARNAT-1996. *Diario Oficial de la Federación*. México. 1996 (11 de diciembre).

DOF. NOM-003-SEMARNAT-1997. *Diario Oficial de la Federación*. México. 1998 (21 de septiembre).

DOF. *Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua*. CE-CCA-001/89. *Diario Oficial de la Federación*. México. 1989 (2 de diciembre).

FAO. AQUASTAT. *Information System on Water and Agriculture*. 2005. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/main/>

FNUAP. *El estado de la población mundial 2001. Huellas e hitos: población y cambio del medio ambiente*. Fondo de Población de las Naciones Unidas. 2001.

León, L. F. *Índice de Calidad del Agua*, ICA. Inf. No SH-9101/01. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 1991.

OCDE. *Análisis del desempeño ambiental: México*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Francia. 1998.

OECD. *OECD in Figures: Statistics on the Member Countries*. Supplement I. Organisation for Economic Co-operation and Development. France. 2002.

PNUMA. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO-3*. Grupo Mundi-Prensa. España. 2002.

PNUMA. *GEO América Latina y el Caribe. Perspectivas del Medio Ambiente 2003*. PNUMA. Costa Rica. 2003.

OMS. *Guidelines for Drinking-water Quality. Vol. 1*. Ginebra. 2004.

WHO. *Facts and Figures updated November 2004*. World Health Organization. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/en/) Consultado en 2005.

WRI. *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems*. World Resources Institute. USA. 2000.





## Capítulo 8. Residuos

## Capítulo 8. Residuos



Como resultado de las diferentes actividades productivas que desarrollan las sociedades, se generan inevitablemente una serie de desechos sólidos, líquidos o gaseosos que pueden tener efectos negativos sobre el ambiente y la salud humana. De entre ellos, los residuos sólidos son importantes porque pueden tener efectos tóxicos importantes y frecuentemente se depositan en lugares donde la población humana puede estar expuesta: calles, orillas de caminos, barrancas, cuerpos de agua, etc. La cantidad y tipo de desechos que se generan, depende, entre otras cosas, del grado de desarrollo industrial y de servicios que tiene el país o región, así como de las mismas pautas de consumo de la sociedad.

De acuerdo con la fuente de generación y sus características, hasta hace poco tiempo los residuos se clasificaban en sólidos municipales -los provenientes de casa habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así como residuos industriales que no se deriven de su proceso-, y los llamados residuos peligrosos. A partir del año 2003, con la publicación de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (DOF, 2003), los residuos se clasifican como peligrosos, sólidos urbanos y especiales (véase **Tipos de residuos y generadores**). Dicha ley tiene como objetivo principal propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valoración y la gestión integral de los tres tipos de residuos; la prevención de la contaminación de sitios y la remediación de sitios ya contaminados.

### **Residuos sólidos municipales<sup>1</sup>**

Aunque los residuos sólidos municipales (RSM) son tan sólo una parte de los residuos generados, por su importancia consumen alrededor de la tercera parte de los recursos invertidos por el sector público para abatir y controlar la contaminación (OCDE, 2001).

Los residuos sólidos pueden tener varios efectos ambientales negativos. Cuando son vertidos en cuerpos de agua superficiales alteran la estructura física del hábitat e impactan negativamente la calidad del agua; el agua subterránea de los acuíferos puede contaminarse por la infiltración de los lixiviados derivados de los residuos que contienen materiales tóxicos depositados sobre ellos (Semarnat-INE, 2001 y 2004). Los residuos también afectan la calidad del aire, ya que están asociados frecuentemente a la generación de malos olores, así como a la producción de humos, gases y partículas en suspensión por la quema intencional o espontánea de la basura. Por otro lado, la presencia de ratas, cucarachas e insectos asociados a los tiraderos puede provocar la transmisión de enfermedades como el cólera, disentería, leptospirosis y amebiasis, entre otras.

### **Generación de residuos sólidos municipales**

El creciente volumen de residuos sólidos generados conlleva a problemáticas como la dificultad para su recolección y el agotamiento rápido de la vida útil de los rellenos sanitarios. De 1992 a 2004, la generación total de RSM se incrementó 57%, alcanzando 34.6 millones de toneladas en el último año (Figura 8.1). Este incremento está relacionado con el

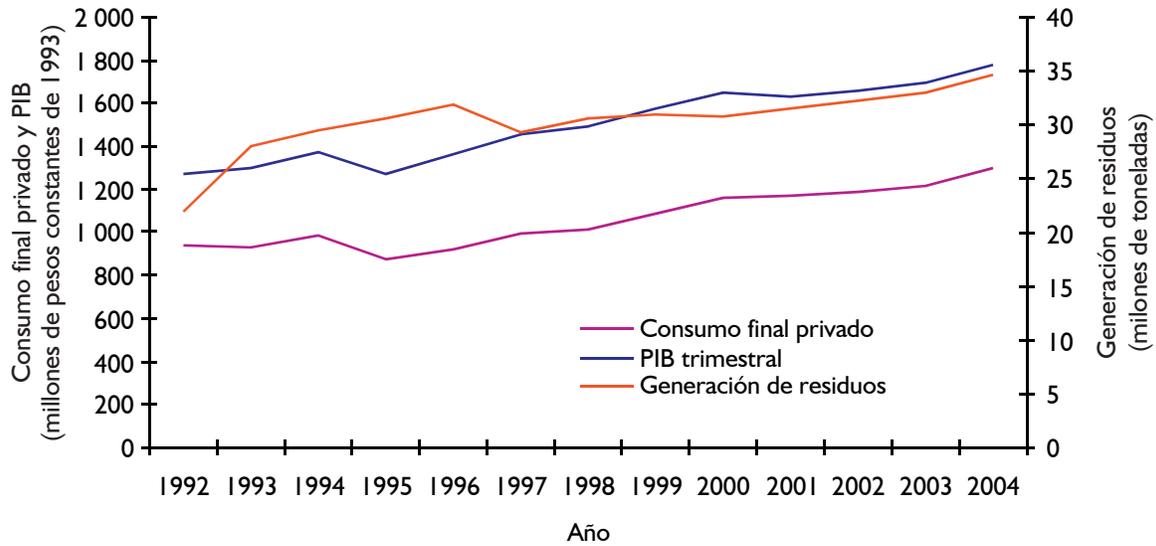
<sup>1</sup> A pesar de que la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos define claramente los residuos sólidos urbanos, en este documento se hará referencia a los residuos sólidos municipales, debido a que la información con que se cuenta fue generada con base en la Norma Mexicana NMX-AA-61-1985, que establece el método para la determinación de la generación de residuos sólidos municipales.



## Tipos de residuos y generadores

<i>Clasificación de residuos</i>	<i>Tipos de generadores</i>
<p><b>Residuos peligrosos:</b> Son aquellos que poseen alguna de las características CRETIB (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o agentes biológico-infecciosos) que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados al ser transferidos a otro sitio.</p> <p><b>Residuos sólidos urbanos:</b> Son aquellos generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas, de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole.</p> <p><b>Residuos de manejo especial:</b> Son aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.</p>	<p><b>Microgeneradores:</b> Producen hasta 400 kilogramos de residuos peligrosos.</p> <p><b>Generadores pequeños:</b> Producen de 0.4 a menos de 10 toneladas.</p> <p><b>Grandes generadores:</b> Producen 10 o más toneladas anuales.</p>
<p><b>Fuente:</b> DOF. <i>Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos</i>. México. 2003 (8 de octubre).</p>	

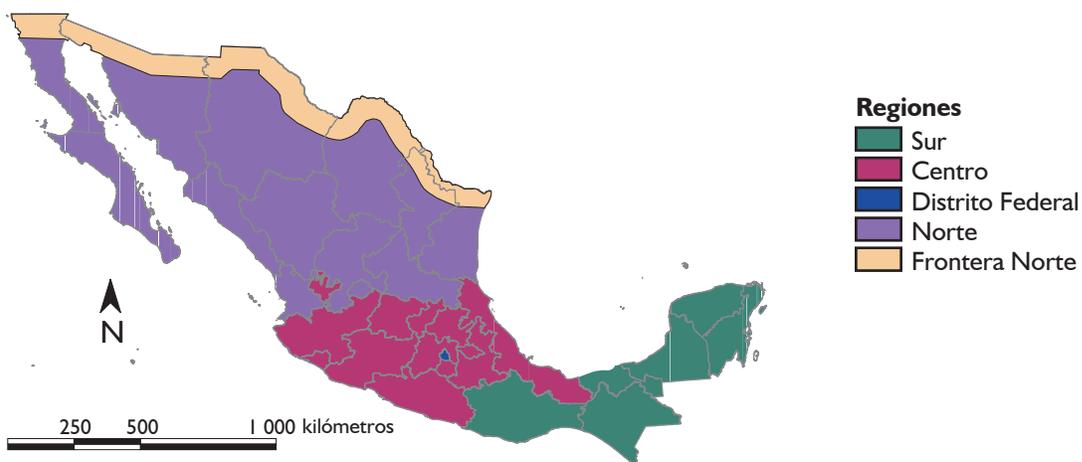
**Figura 8.1 Consumo final privado, producto interno bruto (PIB) y generación de residuos sólidos municipales, 1992-2004**



**Fuentes:**

INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México*. México. 2005. Disponible en: [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)  
 Sedesol. *Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio*. México. 2005.

**Mapa 8.1 Regionalización empleada para el análisis de generación de residuos sólidos municipales**



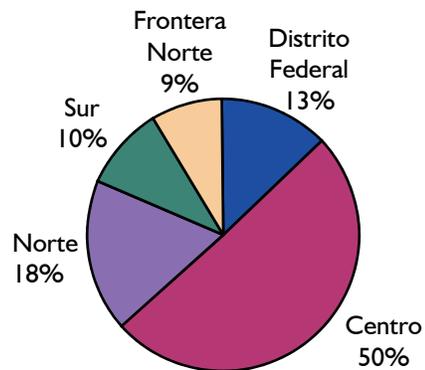
**Fuente:**

Semarnap. *Estadísticas del Medio Ambiente*. México. 1997.

crecimiento demográfico del país, pero también se debe a que la generación de residuos por habitante se ha incrementado (la variación porcentual en la generación de residuos es mayor al incremento poblacional), siendo ya uno de los más altos para América Latina y muy cerca del promedio de los países europeos. En México, como en la mayoría de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la generación de residuos se ha incrementado de manera lineal con el gasto en el consumo final privado<sup>2</sup> y el producto interno bruto (PIB).

Los RSM se producen mayormente en la región Centro (50%), siguiéndole la región Norte (18%), el Distrito Federal (13%), la región Sur (10%) y la Frontera Norte (9%) (Mapa 8.1; Figura 8.2). Durante el periodo 1997-2004 la zona Centro, la Frontera Norte y la zona Sur incrementaron de manera significativa su generación de residuos (24, 35 y 17% respectivamente), destacando por su volumen la zona Centro que generó alrededor de 17 millones de toneladas de RSM en 2004. El Distrito Federal y la zona Norte reportaron incrementos menores (9

**Figura 8.2 Generación de residuos sólidos municipales por región, 2004**

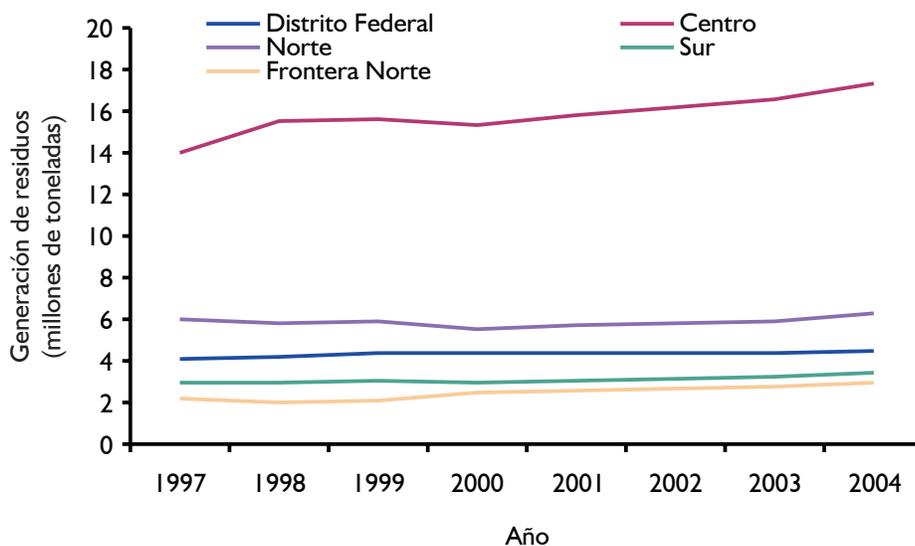


**Fuente:** Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2005.

y 5% respectivamente) (Figura 8.3).

A nivel estatal se observan diferencias muy marcadas en la generación de RSM: en 2003 el Estado de México, Distrito Federal y Jalisco fueron los mayores generadores de residuos sólidos del

**Figura 8.3 Generación de residuos sólidos municipales por región, 1997-2004**



**Fuente:** Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas México. 2005.

<sup>2</sup>Gasto de consumo final privado: valor total de todas las compras en bienes y servicios de consumo, individuales y colectivos, realizados por los hogares residentes, las instituciones sin fines de lucro residentes y el gobierno federal. Incluye los bienes duraderos y bienes y servicios no duraderos, tanto el gasto en el mercado interior como las compras netas directas en el mercado exterior (INEGI, 2004).



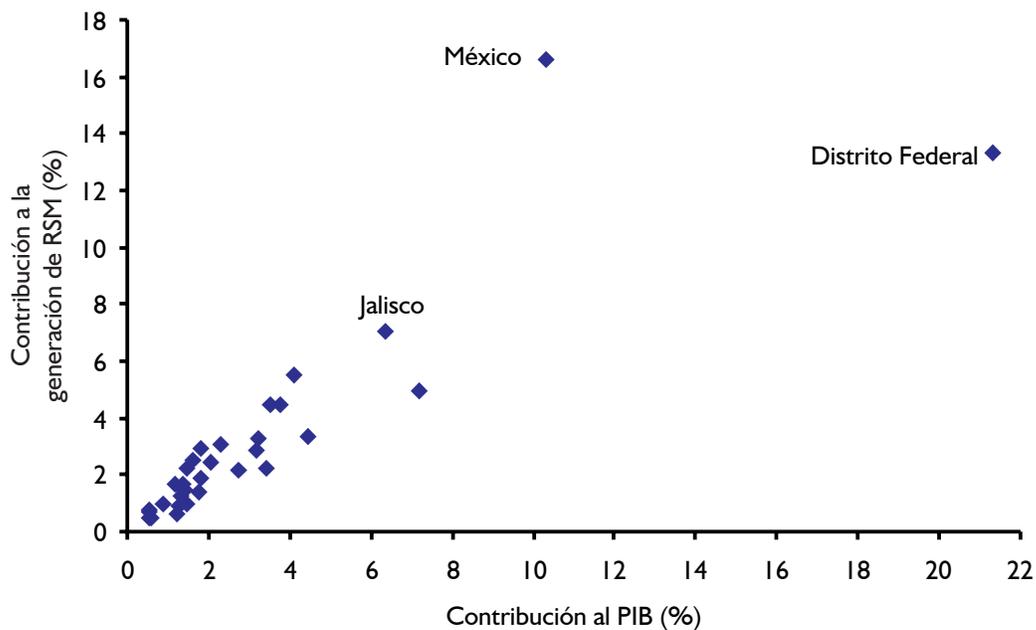
país, mientras que Nayarit, Colima, Tlaxcala y Baja California Sur resultaron los estados que menor cantidad de ellos produjeron. La generación de basura guarda una relación directa con la contribución relativa de dicho estado al producto interno bruto nacional (Figura 8.4).

Además del incremento en la cantidad total de residuos generados en el país, la generación per cápita también se ha incrementado. De 1997 a la fecha la generación per cápita se incrementó un promedio de 4 kilogramos al año, alcanzando la cifra de 328 kilogramos por habitante en el 2004 (Figura 8.5), valor que, sin embargo, aún se encuentra por debajo del promedio de los países miembros de la OCDE (Figura 8.6). La generación per cápita también muestra diferencias importantes entre los diferentes estados (Mapa 8.2). Los habitantes de estados muy urbanizados como el Distrito Federal, Nuevo León, Estado de México y Baja California generaron en el año 2000 más de un kilo de residuos diarios por persona, en contraste con lo

que generaron en promedio los habitantes de otros estados menos urbanizados como Oaxaca, Chiapas, Hidalgo y Zacatecas cuya generación no rebasó los 650 gramos diarios.

La composición de los RSM depende en gran medida de los niveles y patrones de consumo, así como de las prácticas de manejo y la minimización de residuos. En general, existe una correlación entre la composición de RSM generados y las condiciones económicas de los países; aquellos con menores ingresos generan menos residuos y sus componentes son menos reciclables (BID-OPS, 1997). En México, poco más de la mitad de los residuos son de naturaleza orgánica (residuos de comida, jardines y materiales orgánicos similares), correspondiendo el 49% restante a residuos inorgánicos como el papel y cartón (15%), vidrio (6%), plástico (6%), textil (2%), metal (3%) y otros tipos de basura (17%). De 1995 al año 2004 no se observaron, en México cambios importantes en la proporción de residuos orgánicos e inorgánicos (Figura 8.7).

**Figura 8.4 Relación de la contribución estatal al PIB y la generación total de residuos sólidos municipales, 2003**

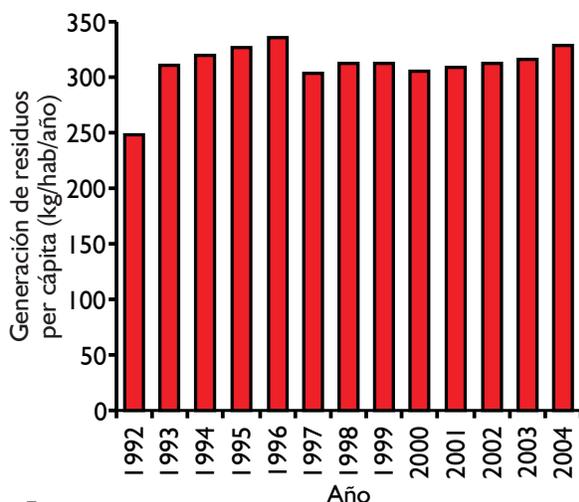


**Fuentes:**

INEGI. *Producto Interno Bruto por Entidad Federativa 1998-2003*. México. 2004  
Sedesol. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio. México. 2005..



**Figura 8.5 Generación nacional de residuos sólidos municipales per cápita en México, 1992-2004**



**Fuentes:**

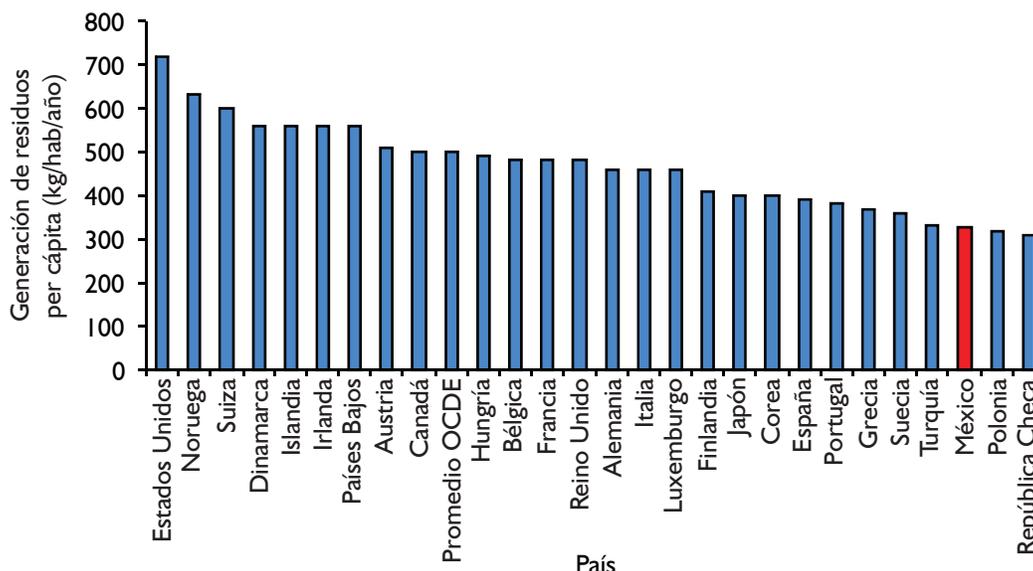
Sedesol. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio. México. 2002.  
Presidencia de la República. *Cuarto Informe de Gobierno, 2004. Anexo del Cuarto Informe de Gobierno.* México. 2004.

La generación de residuos varía también con el tipo de localidad, ya que es influenciada por factores culturales, niveles de ingreso, dinámicas de movimiento hacia los centros urbanos, etc. Así, la generación en las zonas metropolitanas además de ser mayor en términos absolutos (45% del total nacional en 2004), también ha crecido 40% en los últimos 8 años. Las ciudades pequeñas (8% del total de RSM) también incrementaron su generación en 40% durante el periodo 1997-2004. Las localidades rurales y semiurbanas aumentaron 13% la generación de residuos durante el mismo periodo, a diferencia de las ciudades medias que aunque producen alrededor del 33% de los RSM, son las únicas que a lo largo del tiempo muestran una disminución del 4% en la producción de RSM (Figuras 8.8 y 8.9).

**Manejo y disposición final de residuos sólidos municipales**

El manejo de los RSM comprende las diferentes

**Figura 8.6 Generación de residuos sólidos municipales per cápita en países OCDE, finales de los años noventa**



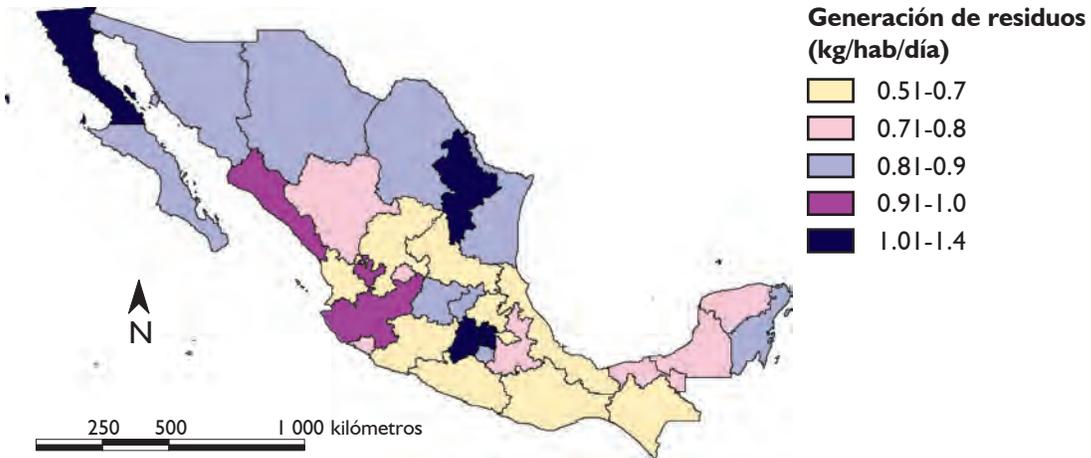
**Nota:**

Para México la generación de residuos corresponde al año 2004 y proviene de Sedesol.

**Fuentes:**

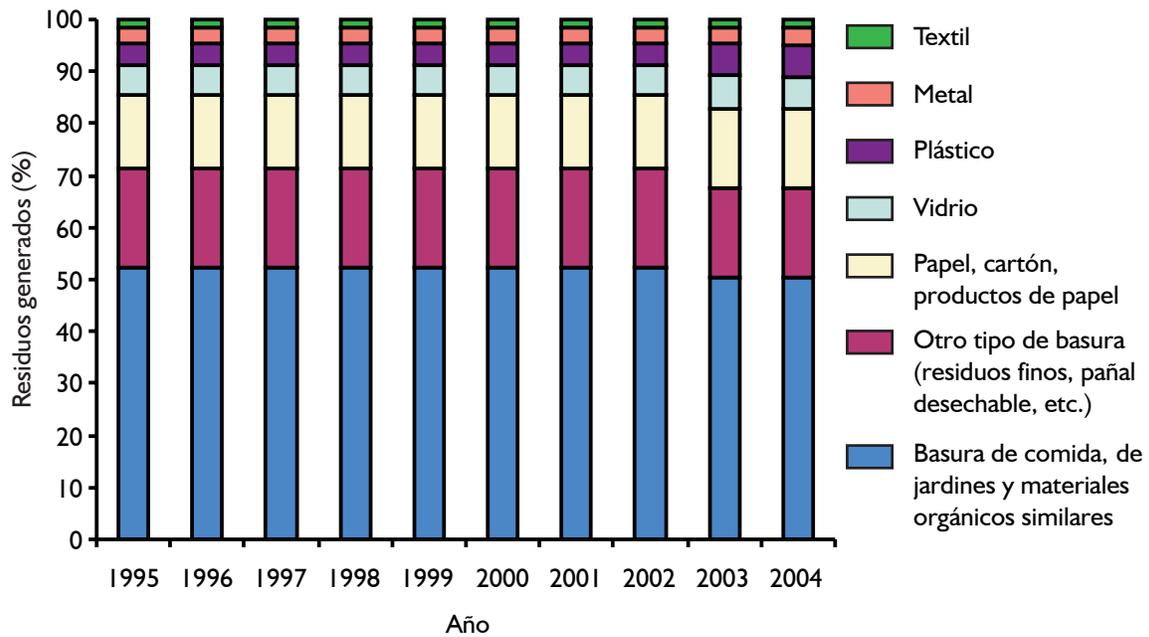
OCDE. *Environmental Indicators Towards Sustainable Development.* France. 2001.  
Sedesol. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio. México. 2005.

**Mapa 8.2 Generación de residuos sólidos municipales per cápita diaria por entidad federativa, 2000**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de: Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2004.

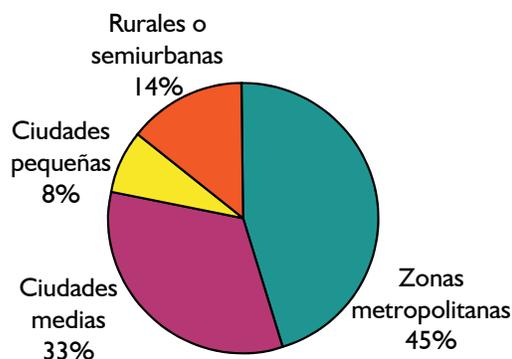
**Figura 8.7 Composición de los residuos sólidos municipales en México, 1995-2004**



**Fuente:**  
Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2005.

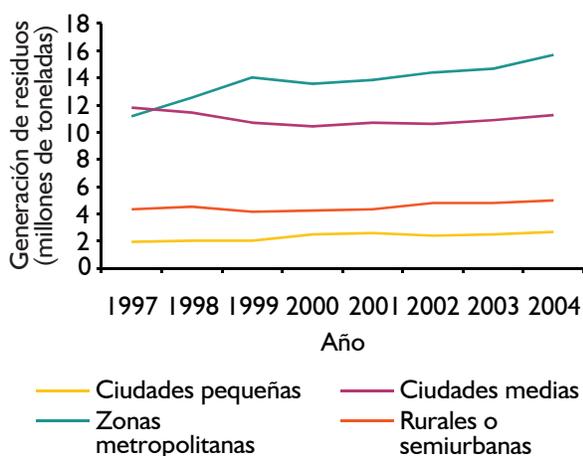


**Figura 8.8 Generación de residuos sólidos municipales por tamaño de localidad en México, 2004**



**Fuente:**  
Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2005.

**Figura 8.9 Generación de residuos sólidos municipales por tamaño de localidad, 1997-2004**



**Fuente:**  
Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2005.

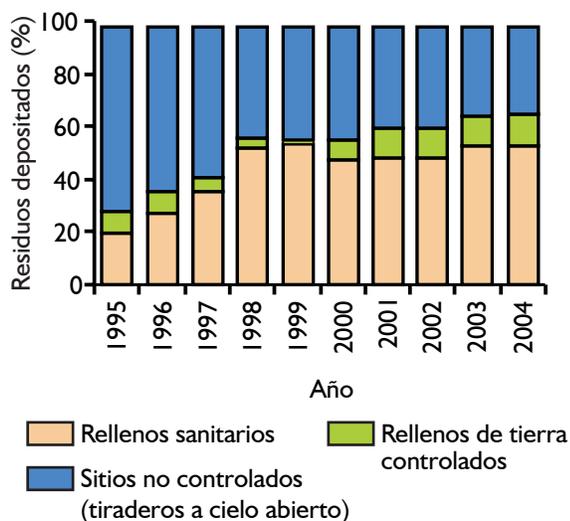
fases del ciclo de los residuos desde su generación, almacenamiento, transporte y tratamiento, hasta su disposición en algún sitio, todo ello con el objetivo principal de proteger la salud de la población,

reduciendo su exposición a lesiones, accidentes, molestias y enfermedades causados por el contacto con los desperdicios. En el pasado este manejo no fue el más adecuado y hoy en día aún no se han incorporado en todo el territorio nacional técnicas modernas para la solución de este problema, por lo que es relativamente frecuente que los residuos se viertan sobre depresiones naturales del terreno, muchas de ellas derivadas de la erosión.

A la fecha, la mejor solución para la disposición final de los residuos sólidos municipales son los rellenos sanitarios. Hasta el 2001 muy pocas ciudades contaban con este tipo de instalaciones operando en condiciones sanitarias adecuadas. Al 2004, sólo el estado de Oaxaca no reportaba la existencia de rellenos sanitarios. A pesar de ello, México ha logrado un enorme avance en el establecimiento de rellenos sanitarios. De 1995 a la fecha su número se ha triplicado con el consecuente incremento en la capacidad instalada. La cantidad de RSM que se depositaron en rellenos sanitarios se triplicó de 1995 al 2004, pasando de 5.9 a 18.3 millones de toneladas, que representaron 52% de los RSM generados en este último año. El resto aún se deposita en rellenos de tierra controlados (11.5%) y no controlados (tiraderos a cielo abierto, 32.9%) (Figura 8.10). También se han registrado avances en el sistema de recolección. A nivel nacional, los servicios de recolección que en 1995 recibían el 70% del volumen total generado, captaron cerca del 87% del volumen registrado en el año 2004 (Sedesol, 2005).

El volumen de RSM que se recicla en el país, aunque se ha incrementado, aún es muy bajo. De acuerdo a las cifras obtenidas de los sitios de disposición de residuos, en el país se recicla apenas 2.4% del volumen de los residuos generados; sin embargo, dado que mucha de la basura que se puede reciclar se recupera directamente en los contenedores y en los vehículos de recolección, esta cifra podría llegar al 12% (Sedesol, 2005). Los materiales considerados como reciclables, por orden de importancia en términos del volumen, son los productos de papel, vidrio, metal (aluminio, ferrosos y otros no ferrosos), plástico y textil. De

**Figura 8.10 Disposición final de los residuos sólidos municipales en México, 1995-2004**



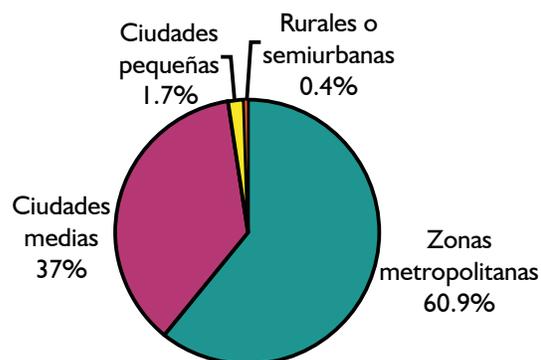
**Nota:**

El porcentaje total de disposición no llega a 100 debido a que una porción de los residuos es reciclada.

**Fuente:**

Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2005.

**Figura 8.11 Disposición final de residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios y de tierra controlados por tamaño de localidad, 2004**



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2005.

cada uno de estos productos la proporción promedio que se recicla con respecto a lo que se genera en los últimos diez años ha sido: 42.8% de papel y cartón, 33.3% de vidrio, 23.6% de metal, 0.2% de plástico y 0.1% de textil (Semarnat, 2005a).

En general, en América Latina, los avances en materia de rellenos sanitarios se orientan principalmente a las grandes ciudades (BID-OPS, 1997), y México no es la excepción. En 2004, 61% de los residuos depositados en rellenos sanitarios y de tierra controlados se ubicó en las zonas metropolitanas y 37% en ciudades medias (Figura 8.11).

El desafío que representa la gestión adecuada de los residuos municipales es una responsabilidad compartida entre los diferentes niveles de gobierno y la sociedad, lo que se refleja en las diversas iniciativas que se han instrumentado para su atención, tanto estatales como locales, así como de parte de los

sectores público y privado. La Tabla 8.1 muestra algunos ejemplos de los avances que se lograron en el país en materia de gestión de residuos hasta el año 2002.

### Residuos peligrosos

Gran parte del crecimiento industrial, tanto en México como en otros países, se desarrolló en tiempos donde no se consideraban, y muchas veces tampoco se conocían, los efectos que los residuos peligrosos podrían tener en la salud humana y en el medio ambiente. Como consecuencia de ello, su manejo y disposición no estaban sujetos a la regulación gubernamental, promoviendo que un gran número de empresas generadoras de estos residuos contaminaran los suelos adyacentes y cercanos a sus instalaciones. Actualmente existe evidencia suficiente para demostrar la relación entre los daños a la salud y la exposición a los compuestos tóxicos presentes en los residuos peligrosos (ATSDR, 2004). Entre los episodios donde la disposición inadecuada de residuos peligrosos ocasionaron graves daños a la salud humana se pueden mencionar las intoxicaciones por mercurio y cadmio ocurridas en Japón en 1953

**Tabla 8.1 Iniciativas de gestión de los residuos por entidad federativa, 2002**

<b>Entidad federativa</b>	<b>Iniciativa</b>
Aguascalientes	Manejo Integral de Residuos en el Estado (MIRE).
Baja California	Fomento de reciclaje de llantas de desecho en el estado (a partir de 1996, Mexicali-Tijuana-Ensenada).
Campeche	Programa Campeche la Ciudad más Limpia de México. Todos Unidos Contra la Basura (2000-2003). Ciudad del Carmen.
Distrito Federal	Selección y aprovechamiento de residuos sólidos. Procesamiento de residuos orgánicos. Laboratorio Central de Biología Ambiental (LCBA). Reciclable por Naturaleza (a partir de 1993). Escuela Limpia (a partir de agosto 1999). Programa para la Separación de Residuos Sólidos “Nuestros Residuos... Separemos”. Cruzada Nacional por un México Limpio en la Escuela.
Durango	Programa domiciliario de separación de residuos sólidos municipales en la ciudad de Durango.
Estado de México	Manejo de Residuos Sólidos Municipales en el Estado de México. Campaña de recolección de envases vacíos de refrescos (PET) para su reciclaje (a partir de febrero 2002). Actualización permanente a funcionarios del orden municipal.
Guanajuato	Manejo Integral de Residuos Sólidos Municipales No Peligrosos.
Guerrero	Programa Zi-Recicla, Zihuatanejo.
Morelos	Mi pueblo Unido...Mi pueblo limpio, Municipio de Ayala. Campañas de educación ambiental, separación y reciclaje de los desechos sólidos domésticos del Municipio de Jiutepec, Morelos. Recolección Diferenciada de Residuos Sólidos Urbanos, Jiutepec. Programa Composteo, Jiutepec. ECOPAPEL Cuernavaca.
Nuevo León	Programa Nuevo León Recicla.
Querétaro	Esquema para el Manejo Integral de Residuos Sólidos en todo el Estado. Promoción del reciclaje y del Composteo de los residuos sólidos no peligrosos en todo el estado. Centros de Acopio y Composteo. ¡Separa tu basura! Pretratamiento de Pet-Calidad Reciclaje Querétaro. Programa Campo Limpio, Recolección y Acopio de PET. Implementación de Bono Verde para el manejo ambiental de envases vacíos de plaguicidas. Programa de Formación a la Sustentabilidad; subprogramas de Mejoramiento Comunitario y Educación Ambiental en la Sierra Gorda.
Quintana Roo	Akumal Limpio. Yum Balam Limpio. Bacalar Limpio: “Véndame su basura”. Chetumal Limpio: Espacio Municipal de Composteo (EMCo).
Tlaxcala	METAMORFOSIS por la Ecología a limpiar Tlaxcala. Elaboración de composta Francisco I. Madero.
Veracruz	Producción de lombricomposta a partir de sub-productos orgánicos, Teocelo.

**Fuentes:**

Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. México. 2002 en: Cortinas, C. *Ejemplos de Avances Logrados en México en la Implantación de una Gestión Sustentable de los Residuos*. México 2002. Disponible en: <http://www.cristinacortinas.com>



y 1960, así como la contaminación por el cromo disuelto a cielo abierto y descargado en las aguas residuales en Tultitlán, Estado de México, entre 1974 y 1977 (Sedesol-INE, 1993).

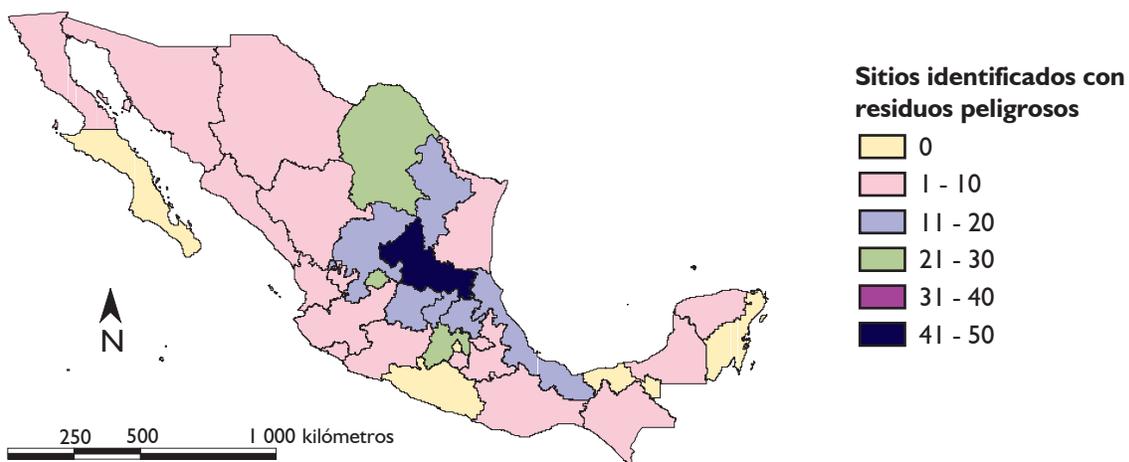
De manera formal, los residuos peligrosos (RP) se definen como aquellos que, sustancial o potencialmente, ponen en peligro la salud humana o el medio ambiente cuando son manejados en forma inadecuada y poseen una o más características CRETIB: Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico-Infecioso. La Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993 establece sus características así como un listado de las mismas y los límites que hacen peligroso a un residuo.

Por sus características de corrosividad, reactividad, explosividad o inflamabilidad, un manejo inadecuado de los residuos puede ocasionar accidentes severos. Los RP que tienen características de toxicidad y la inclusión de agentes infecciosos pueden afectar a la población y demás elementos de los ecosistemas a través de la contaminación de las fuentes de agua, tanto superficial como subterránea (Sedesol-INE, 1993). Entre las enfermedades asociadas con la exposición a los RP están el cáncer,

las malformaciones genéticas y los daños renales y hepáticos (Díaz-Barriga, 1996; Ostrosky *et al.*, 1996).

La problemática asociada a los RP tiene dos grandes líneas; por un lado, la que se deriva de la presencia de sitios ya contaminados y que requieren su remediación y por el otro, aquella orientada a la prevención de la contaminación proveniente de las fuentes en operación. En el país, hasta el año 2004, se tenían identificados 297 sitios contaminados con RP, de los cuales 119 se habían caracterizado -esto es, se clasificaron y priorizaron de acuerdo al grado de riesgo que representan para la salud y el ambiente-, y 12 se consideraban como rehabilitados o en proceso de rehabilitación (Semarnat, 2005b y 2005c). Los estados que concentran el mayor número de sitios con RP son San Luis Potosí con 46 sitios que equivalen a poco más del 15% del total, el Estado de México alberga 30 sitios (10%), Aguascalientes reporta 28 sitios (9.4%), Coahuila 21 sitios (7.1%) y Veracruz 20 sitios (6.7%). El número de sitios con RP en los demás estados varía entre uno y diecinueve, a excepción de los cinco estados que no reportan ningún sitio con RP: Baja California Sur, Distrito Federal, Guerrero, Quintana Roo y Tabasco (Mapa 8.3).

**Mapa 8.3 Sitios identificados con residuos peligrosos por entidad federativa, 2000-2004**



**Fuente:** Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2004.

## Generación de residuos peligrosos

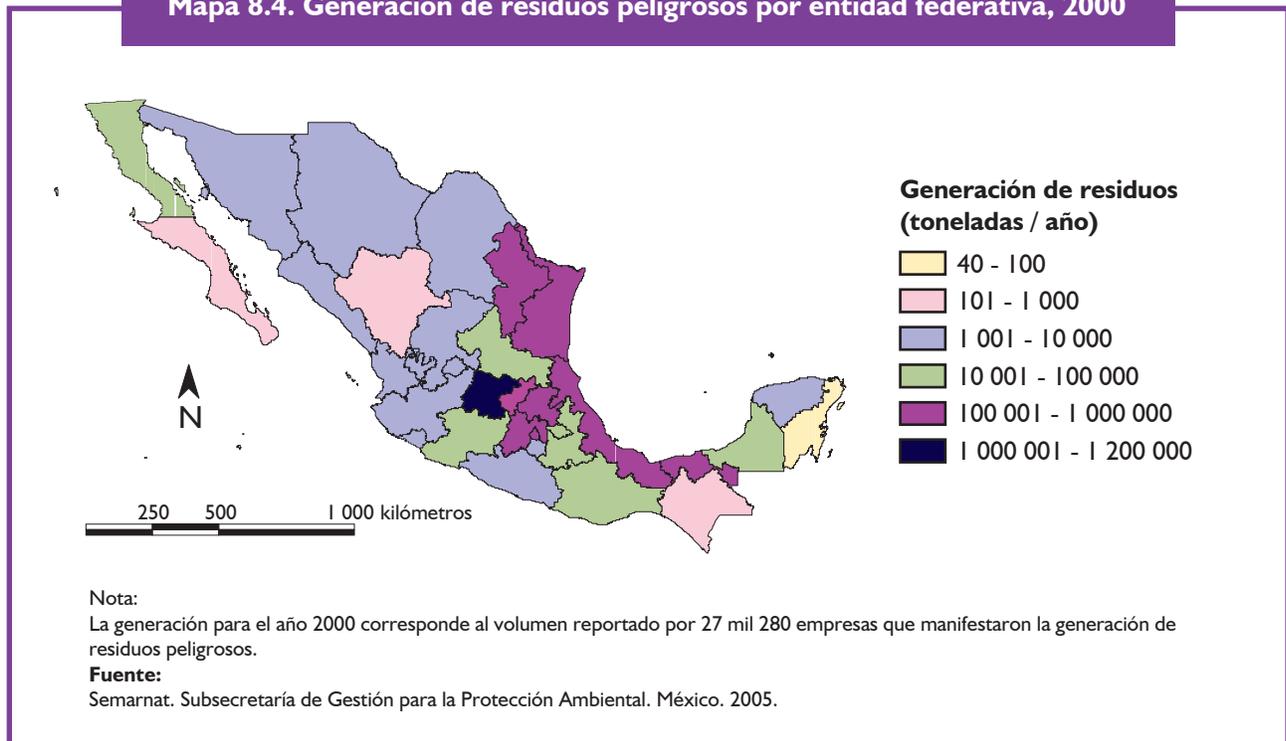
El primer estudio sistemático para estimar la generación de residuos industriales peligrosos en México fue realizado por el Instituto Nacional de Ecología (INE) en 1994. Ante la falta de información sobre la cantidad de residuos generados por las industrias mexicanas, el estudio utilizó como base la generación de residuos industriales en Canadá, suponiendo que las industrias mexicanas con el mismo giro y características producirían una cantidad equivalente. De acuerdo con este estudio, en México se generarían alrededor de ocho millones de toneladas anuales de RP. Otra estimación del INE, realizada en 1996 a partir de la información manifestada por cerca de 3 mil empresas, dio un valor considerablemente menor al anterior, situando la cifra en 2 mil 74 millones de toneladas.

En 1999, la generación de RP de 12 mil 514 empresas que manifestaron sus residuos, se estimó en casi 3.2 millones de toneladas, en el año 2000, con la información de 27 mil 280 empresas, la generación de RP se calculó en 3.7 millones de toneladas, mientras que en 2004 esta cifra subió a

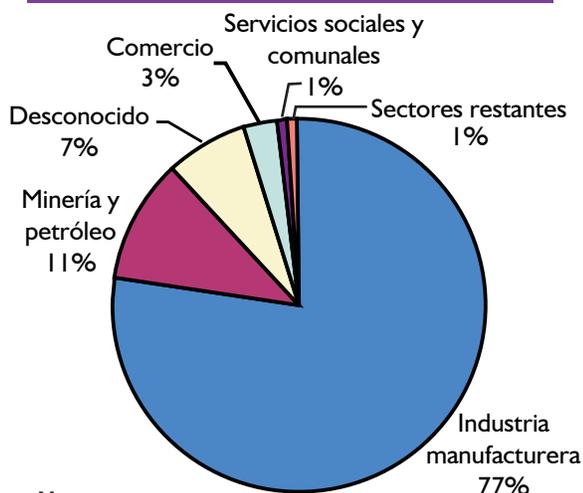
6.17 millones de toneladas de RP generados por 35 mil 304 empresas que lo manifestaron (Semarnat, 2005c). Este valor, que es una subestimación dado que no se contabilizó la generación de un gran número de micro, pequeñas y medianas empresas potencialmente generadoras de RP, se considera razonablemente cercano al real, ya que incluye a las principales industrias generadoras del país. Al considerar exclusivamente las cifras de las empresas que manifestaron generar este tipo de desechos en el año 2000, las entidades que más residuos produjeron fueron Guanajuato y el Distrito Federal que, en conjunto, declararon casi la mitad del total nacional (cerca de un millón 150 mil y 625 mil toneladas por año, respectivamente); en contraste los estados de Baja California Sur y Quintana Roo no sobrepasaron las 160 toneladas por año (Mapa 8.4).

Las fuentes generadoras más importantes de RP en el país son los sectores manufacturero y minero (Figuras 8.12 y 8.13). En 1996, la industria manufacturera generó 77% de los RP, mientras que el sector minero y petrolero fue responsable de la generación del 11%. Los tipos de residuos

Mapa 8.4. Generación de residuos peligrosos por entidad federativa, 2000



**Figura 8.12 Generación de residuos peligrosos por tipo de industria y sector en México, 1996**



**Nota:**

La categoría sectores restantes incluye el sector primario, electricidad y agua, construcción, comunicaciones y transportes y servicios financieros y administrativos.

**Fuente:**

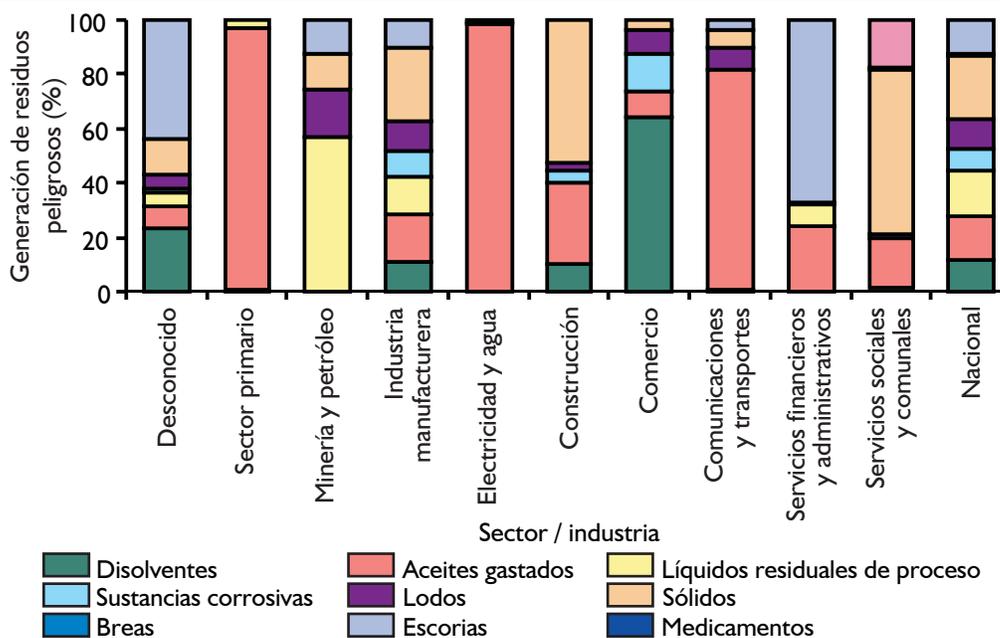
INE, RDS y PNUD. *Promoción de la minimización y manejo integral de residuos peligrosos*. México. 1999.

generados son muy diversos, estimándose que la mayor parte corresponde a sólidos generados a partir de las industrias textil, peletera, del asbesto, autopartes y otras. A estos le siguen los líquidos residuales de proceso, aceites gastados, escorias y disolventes.

De acuerdo con la Profepa, en el año 2003 operaban en México aproximadamente 26 mil establecimientos industriales y de servicios que generaban RP, dentro de los cuales destacaban las industrias química, automotriz y de servicios en materia de RP (Semarnat-Profepa, 2004).

En comparación con los RP industriales, los residuos biológico-infecciosos son definidos en la Norma NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 como aquellos materiales generados durante los servicios de atención médica que contengan agentes biológico-infecciosos<sup>3</sup>, según son definidos en la norma, y que puedan causar efectos nocivos a la salud y al ambiente (DOF, 2003). Estos RP representan sólo 1.9% del

**Figura 8.13 Tipos de residuos peligrosos generados en México por sector o industria, 1996**



**Fuente:**

INE-RDS-PNUD. *Promoción de la minimización y manejo integral de residuos peligrosos*. México. 1999.

<sup>3</sup> Agente biológico-infeccioso: cualquier microorganismo capaz de producir enfermedades cuando está presente en concentraciones suficientes (inóculo), en un ambiente propicio (supervivencia), en un hospedero susceptible y en presencia de una vía de entrada.



total del RP generados. Entre los residuos biológico-infecciosos se encuentran la sangre, cultivos y cepas, los patológicos, materiales y objetos punzocortantes que contengan residuos de las muestras biológico-infecciosas con las que estuvieron en contacto. Dado que este tipo de residuos se genera principalmente en hospitales y clínicas (incluidas las veterinarias), una aproximación al volumen total producido se obtiene a partir de la generación promedio de estos residuos por cama en instituciones hospitalarias. De acuerdo con esto, para todo el país se estima una generación total de alrededor de 69 mil toneladas anuales, considerando que cada cama produce 1.5 kilogramos al día y que existen alrededor de 127 mil camas para la atención hospitalaria en el país.

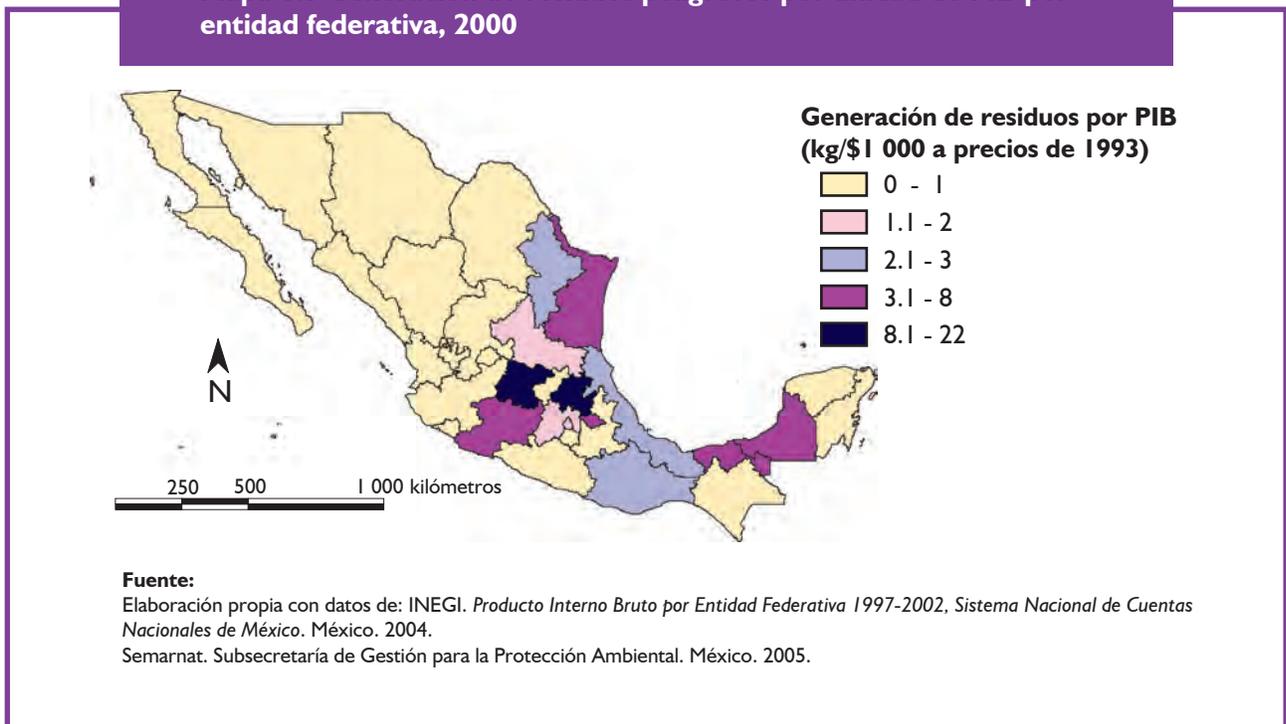
En lo que se refiere a la intensidad de generación, para el año 2000 se generaron en promedio 2.71 kilogramos de RP por cada mil pesos de PIB (en pesos constantes de 1993). Pero esta generación no es uniforme en todo el país, ya que existen diferencias muy marcadas en el volumen de generación de RP entre los estados (Mapa 8.5). Existen 19 estados con una intensidad de generación menor a un kilogramo

por unidad de PIB, es decir, generan menos de un kilogramo de RP por cada mil pesos que aportan al producto interno bruto nacional, mientras que 11 estados caen en el rango de uno a 10 kilogramos por unidad de PIB. Los dos estados que poseen la mayor intensidad de generación son Guanajuato e Hidalgo con 21.8 y 18.8 kilogramos por unidad de PIB.

### Gestión y manejo de residuos peligrosos

En México, la importación de RP sólo se permite con el fin de reutilizar o reciclar los residuos, mientras que la exportación sólo se autoriza cuando quienes lo solicitan cuenten con el consentimiento del país importador y de los gobiernos de los países por los que transiten los residuos. Cuando se importan insumos para ser procesados y se generan RP mediante tales procesos, éstos deben retornar al país de origen, siempre y cuando hayan ingresado bajo el régimen de importación temporal. Esta modalidad ocasiona que, en México, se presenten tres tipos de movimientos transfronterizos: importaciones, exportaciones y avisos de retorno de RP, siendo estos dos últimos lo que se consideran en los otros países como exportaciones.

Mapa 8.5 Generación de residuos peligrosos por unidad de PIB por entidad federativa, 2000





En el año 2004 se importaron un total 302 mil 838 toneladas para tratamiento y aprovechamiento; mientras que se exportaron 309 mil 112 toneladas (Figura 8.14). Del total de residuos exportados de 1995 a 2004, 86% correspondieron a recortes de perforación y 10% a baterías. Del total de importaciones, 74.7% correspondió a residuos sólidos y 23.5% a acumuladores. En los años 2001 y 2002 se observó un incremento importante de las exportaciones, debido a que aumentó el volumen exportado de los recortes de perforación. En lo que se refiere al retorno de RP al país de origen, en 2003 se reportaron 87 mil 305 toneladas y durante el 2004, 75 mil 419 toneladas (Semarnat, 2005c).

El manejo y/o disposición seguro de los RP se aborda de tres maneras. La primera es a través de acciones de prevención orientadas a la reducción de los volúmenes de generación de los RP que se liberan al ambiente. Entre las alternativas para la reducción del volumen de este tipo de residuos está la minimización de su generación, ya sea por reducción o eliminación de residuos derivados del cambio de tecnologías de producción (véase **Minimización de residuos peligrosos**). Otra estrategia consiste en la reducción de los RP por

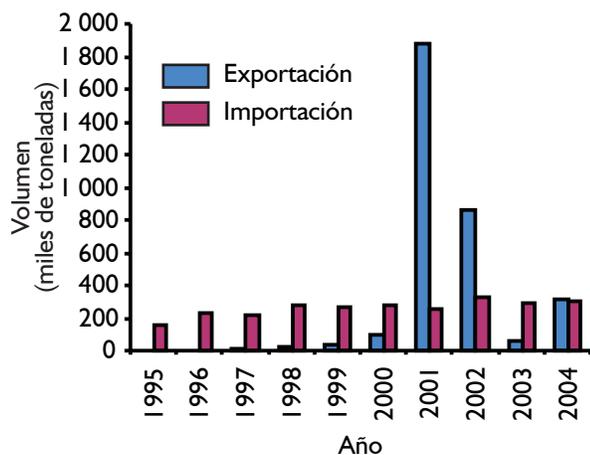
medio de su reciclaje y reuso, lo que maximiza su utilización antes de su tratamiento y disposición final. Por último, está el tratamiento de los residuos para reducir su peligrosidad o volumen.

Del año 2000 al 2004, la capacidad instalada acumulada para el manejo de RP industriales fue de casi 5.4 millones de toneladas. Los mayores avances se han registrado en la capacidad de reciclaje y tratamiento. Si se considera además la capacidad de manejo reportada para el año 1999 que fue de alrededor de 5.2 millones de toneladas, la capacidad actual de manejo a nivel nacional sería de aproximadamente 10.6 millones de toneladas. De acuerdo con los últimos datos disponibles por estado, la capacidad instalada se ha concentrado entre 2000 y 2004 en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, México, Tabasco y el Distrito Federal (Mapa 8.6).

En lo que se refiere al tratamiento de los residuos biológico-infecciosos, la infraestructura ha crecido rápidamente, de manera que en la actualidad se cuenta con una capacidad instalada superior a la demanda de servicios. Se estima que durante el periodo 1999 a 2005 se alcanzó una capacidad autorizada de tratamiento *in situ* de 196 mil 249 toneladas y 20 mil 995 toneladas de capacidad de incineración. Los estados de Nuevo León, Distrito Federal y Puebla concentraron casi 100% de la capacidad de tratamiento *in situ* (Mapa 8.7), mientras que México, Hidalgo y Puebla concentraron cerca del 70% de la capacidad de incineración (Mapa 8.8). Debe mencionarse que un problema particular es que la infraestructura instalada tanto de transporte, como de acopio y tratamiento de RP no se ha adaptado a los pequeños o medianos generadores de residuos biológico-infecciosos, en particular, cuando se encuentran dispersos (Semarnat, 2005b).

De acuerdo con lo establecido en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, los generadores y gestores de RP deben manejarlos de manera segura y ambientalmente adecuada (DOF, 2003). Para constatar lo anterior, la Profepa aplica los programas de inspección y vigilancia

**Figura 8.14 Exportación e importación de residuos peligrosos en México, 1995-2004**



**Fuente:**

Semarnat Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. México. 2005.

## Minimización de residuos peligrosos

Minimizar la producción de residuos forma parte de la estrategia de prevención de la contaminación que incluye cualquier medida que tome una empresa para reducir la cantidad de residuos creados por un proceso de manufactura antes de reciclar, tratar o disponer del residuo (EPA, 1993). Diversas asociaciones industriales, así como organizaciones nacionales e internacionales promueven acciones como financiamiento, asesoría y capacitación para mejores prácticas en materia ambiental. Cabe mencionar que aún no se cuenta con la información que permita evaluar el impacto de estas iniciativas en la reducción de generación de RP. A continuación se presentan algunos ejemplos.

### **Fondo para proyectos de prevención de la contaminación, (FIPREV):**

Es un fondo establecido por la Fundación Mexicana para la Innovación y Transferencia de Tecnología en la Pequeña y Mediana Empresa A. C. (FUNTEC) y la Comisión para la Cooperación Ambiental de Norte América (CCA). El FIPREV tiene como objetivo apoyar a la pequeña y mediana industria mexicana en la realización de inversiones y transferencia de tecnología, cuyo fin sea la prevención de la contaminación.

### **Agencia Alemana de Tecnología Ambiental (GTZ, por sus siglas en alemán):**

Promueve el programa *Public Private Partnership* (PPP) que fomenta las cooperaciones del desarrollo con el sector privado. Estas cooperaciones consisten en proyectos financiados conjuntamente por empresas del sector privado e instituciones de la cooperación al desarrollo, como la GTZ, para proyectos compatibles ecológica y socialmente. El programa incluye proyectos relacionados tanto con residuos sólidos municipales como peligrosos. En el programa PPP, la GTZ actúa por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ de Alemania).

### **Centro Mexicano para la Producción más Limpia (CMP+L):**

Este centro del Instituto Politécnico Nacional, fue creado en diciembre de 1995 como parte de un proyecto mundial de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Tiene como objetivo asistir a la industria nacional en el mejoramiento de su productividad y competitividad para facilitarle su acceso a más y nuevos mercados mediante la aplicación de Producción Más Limpia y herramientas como evaluación de Ciclo de Vida - Ecodiseño, además de promover la adopción de tecnología limpia y la colaboración internacional. Actualmente el centro tiene programas de colaboración con la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), la ONUDI y el PNUMA, entre otras instituciones.

### **Consejo Nacional de Industriales Ecológicas de México, A.C. (CONIECO):**

Es una asociación industrial sin fines de lucro conformada por más de mil 100 industriales que promueven la preservación ecológica. Entre algunas de sus funciones están la elaboración, revisión, verificación, certificación y análisis de las Normas Ecológicas Industriales y tiene como uno de sus objetivos centrales fomentar la cultura ecológica en los procesos industriales y promover el fortalecimiento de la industria del medio ambiente mexicano.

### **Iniciativa GEMI:**

Es una organización empresarial que surgió en México tomando la experiencia de la Iniciativa Global de Administración Ambiental (GEMI, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos. Es una organización sin fines de lucro, que busca fomentar la administración ambiental entre las empresas del país a través del desarrollo,

## Minimización de residuos peligrosos (continuación)

difusión e implementación de sistemas, herramientas y mecanismos basados en el enfoque de Calidad Total, considerando los ecosistemas mexicanos así como los principios del desarrollo sustentable. Colabora con diversas organizaciones industriales como el Centro Mexicano para la Producción más Limpia, que buscan minimizar el impacto de este sector sobre el ambiente.

### Fuentes:

ACS Medio Ambiente. *Fondo para proyectos de prevención de la contaminación, FIPREV*. México. 2005. Disponible en: <http://www.acsmedioambiente.com/LoNuevo/agosto2.htm>

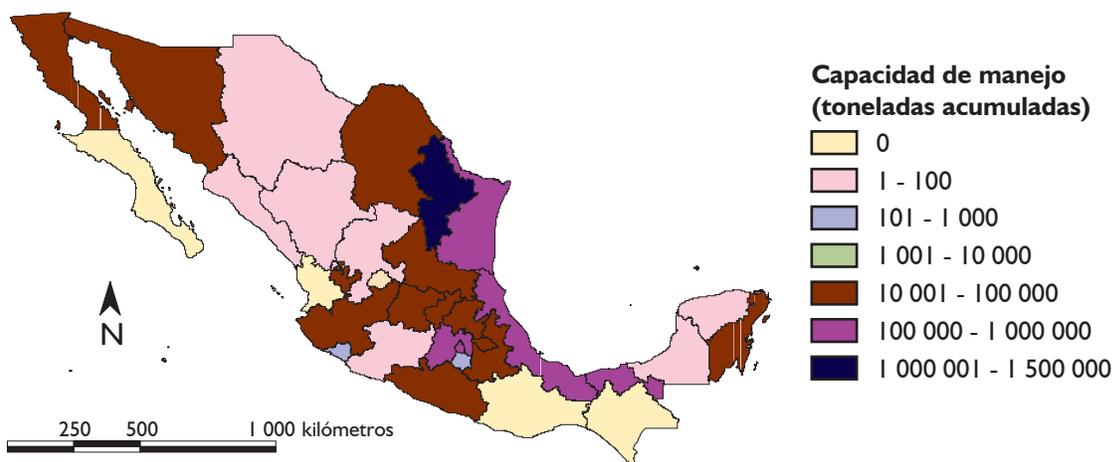
GTZ. *GTZ en México. Proyectos Public Private Partnership (PPP)*. 2005. Disponible en: <http://www.gtz.org.mx/>  
 Centro Mexicano para la Producción más Limpia. *Creación y misión del CMP+L*. México. 2005. Disponible en: <http://www.cmpl.com.mx/Portal/Default.asp>

CONIECO. *Presentación de CONIECO*. México. 2005. Disponible en: <http://www.conieco.com.mx/>  
 Iniciativa GEMI. *Iniciativa GEMI*. México. 2005. Disponible en: <http://www.gemi.org.mx/>

para verificar y promover el cumplimiento de la normatividad en materia de generación, transporte, tratamiento y disposición o confinamiento de RP (Semarnat-Profepa, 2003). Por medio de las visitas de inspección se identifican irregularidades, se dictan medidas correctivas y se imponen clausuras en caso de presentarse irregularidades graves que representen un riesgo inminente de desequilibrio ecológico, daño grave a los recursos naturales o contaminación con repercusiones peligrosas para los ecosistemas o la salud pública. El cumplimiento de estas medidas correctivas se vigila mediante las visitas de verificación. Los resultados de estas visitas muestran la condición de los generadores de RP, desde el punto de vista del cumplimiento de la normatividad.

A nivel nacional, en el año 2003, 27% de los establecimientos visitados que generaron RP cumplió con la normalidad respectiva, 70% presentó irregularidades leves y 3% cayó en irregularidades graves que podían significar un riesgo, por lo que se estableció su clausura (Figura 8.15). Entre las entidades federativas que presentaron más irregularidades graves destacan: Sonora con 51% de

Mapa 8.6 Capacidad instalada acumulada para el manejo de residuos peligrosos industriales por entidad federativa, 2000-2004



### Fuente:

Elaboración propia con datos de: Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2005.



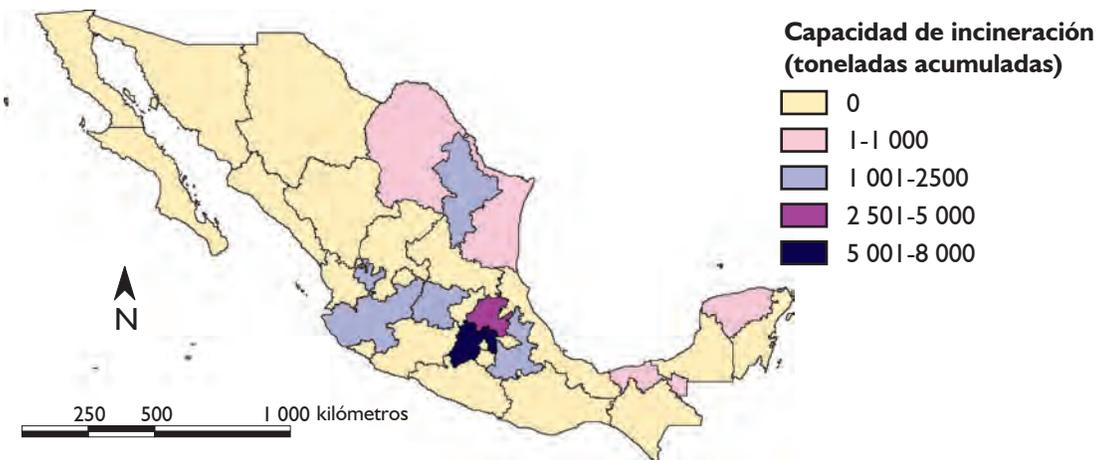
**Mapa 8.7 Capacidad autorizada de tratamiento *in situ* de residuos peligrosos biológico-infecciosos por entidad federativa, 1999-2005**



**Fuente:**

Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2005.

**Mapa 8.8 Capacidad autorizada de incineración de residuos peligrosos biológico-infecciosos por entidad federativa, 1999-2005**



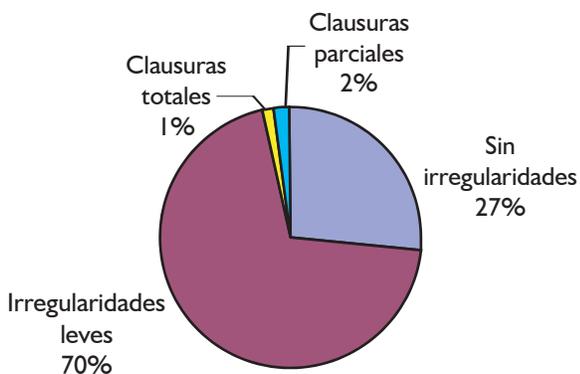
**Fuente:**

Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2005.

clausuras (41 clausuras) respecto al total de visitas de inspección y Coahuila con 21% (22 clausuras). En el caso de Quintana Roo que reportó 16% de clausuras, cabe mencionar que el total de visitas fue

mucho menor al de Sonora y Coahuila. Los estados que tuvieron un mayor porcentaje de visitas sin irregularidades fueron Nuevo León (67%), Sinaloa (63%) y Morelos (60%) (Figura 8.16).

**Figura 8.15 Resultados de las visitas de inspección a establecimientos en materia de residuos peligrosos, 2003**

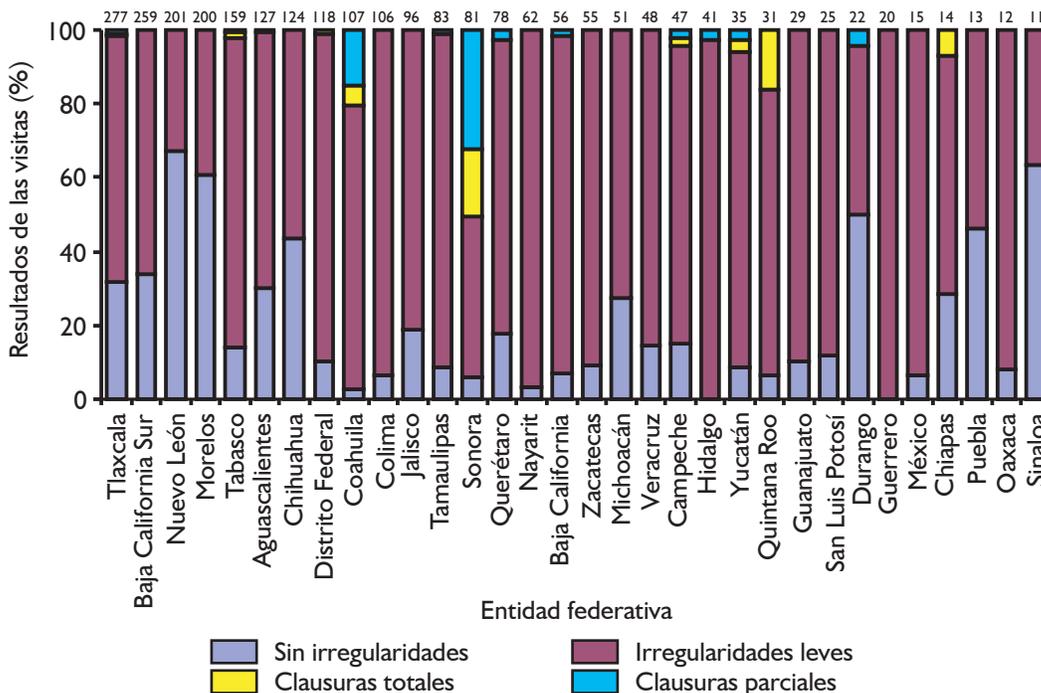


**Nota:** Las clausuras se realizan cuando los establecimientos caen en irregularidades graves.  
**Fuente:** Elaboración propia con datos de: Semarnat-Profepa. Sistema de Información Institucional. México. 2004.

En el 2003, la Profepa también realizó 486 visitas de verificación del cumplimiento de la ley en la clasificación, separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos biológico-infecciosos. De estas visitas, solamente en un caso se aplicó la clausura parcial-temporal como medida de seguridad por incumplimiento grave a la ley. Sin embargo, esta industria destacó como la de mayor cumplimiento de la normatividad ambiental (Semarnat-Profepa, 2004).

Otro instrumento de gestión que se aplica para la prevención de la contaminación son las auditorías ambientales, las cuales implican acuerdos voluntarios entre las empresas y las autoridades que permiten la revisión de aspectos no regulados por la normatividad, todo ello con el fin de lograr una gestión integral de las empresas. Las auditorías incluyen la evaluación de la contaminación del agua,

**Figura 8.16 Resultados de las visitas de inspección en materia de residuos peligrosos por entidad federativa, 2003. El número sobre las barras corresponde al total de visitas de inspección en cada entidad federativa.**



**Fuente:** Elaboración propia con datos de: Semarnat-Profepa. Sistema de Información Institucional. México. 2004.



aire y suelo por RP y no peligrosos, así como aspectos de riesgo, higiene y seguridad industrial (véase el capítulo de **Instrumentos de Planeación**).

## Referencias

ATSDR. *Tox FAQs*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. E.E.U.U. 2004. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_toxfaqs.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_toxfaqs.html).

BID-OPS. *Diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, D.C. Disponible en: <http://www.iadb.org/sds/doc/ENV107ARossinE.pdf>. 1997.

Díaz-Barriga, F. Los Residuos Peligrosos en México. Evaluación del Riesgo para la Salud. *Salud Pública de México*. 38: 280-291. 1996.

DOF. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. México. 2003 (8 de octubre).

DOF. NOM-087-SEMARNAT-SSAI-2002. México. 2003 (17 de febrero).

INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas de bienes y servicios, Metodología*. México. 2004. Disponible en: [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)

OCDE. *Environmental Indicators. Towards Sustainable Development*. France. 1998.

OCDE. *Environmental Indicators: Towards Sustainable Development*. France. 2001.

OCDE. *Main Economic Indicators*. France. 2004.

Ostrosky P, R. Rodríguez, H. Gutierrez y T. Fortoul. Efectos de los Residuos Peligrosos sobre la Salud En Rivero O, G. Ponciano y S. González. *Los Residuos Peligrosos en México*. Programa Universitario de Medio Ambiente. México. 55-80. 1996

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Norma Mexicana NMX-AA-61-1985 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de la Generación. México. 1985.

Sedesol-INE. *Residuos Peligrosos en el Mundo y en México*. Serie Monografías No. 3. México. 1993

Semarnat. *Indicadores básicos del desempeño ambiental de México: 2005*. México. 2005a.

Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2005b. Disponible en: [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2005c.

Semarnat-INE. *Contaminación por pilas y baterías en México*. México. 2004.

Semarnat-INE. *Minimización y Manejo Ambiental de los Residuos Sólidos en México*. México. 2001.

Semarnat-Profepa. *Informe anual Profepa 2002*. México. 2003.

Semarnat-Profepa. *Informe anual Profepa 2003*. México. 2004.





# Capítulo 9. Instrumentos de Planeación

## Capítulo 9. Instrumentos de planeación



### Ordenamiento ecológico del territorio

El territorio nacional cuenta con una gran diversidad de paisajes definidos por sus características físicas, climatológicas, orográficas y biológicas, entre otras, que dan como resultado una compleja heterogeneidad distribuida a lo largo y ancho de su superficie. En este escenario ambiental, la población realiza una amplia gama de actividades económicas que modifican su entorno en formas y magnitudes diversas. De esta manera, a cada localidad dentro del territorio pueden atribuirse características dentro de los tres subsistemas: físico, biótico (natural) y socioeconómico (productivo), mismos que interactúan y se determinan recíprocamente.

Uno de los aspectos destacados del territorio es el uso del suelo, el cual puede ser, entre otros, urbano, agrícola, pecuario o forestal. La decisión sobre qué uso darle a un terreno está determinada, al menos en parte, por su “aptitud ambiental”, es decir, por las características que lo vuelven útil para cierto fin, aunque frecuentemente está determinado por consideraciones económicas, sociales o históricas. Bajo estas condiciones, el resultado puede ser un uso inadecuado que a futuro se traduce en deterioro ecológico. Por ejemplo, una alta presión demográfica puede empujar a la agricultura hacia las pendientes pronunciadas de las montañas (perdiéndose su valioso uso forestal), lo que frecuentemente conduce a la ocurrencia de grandes extensiones de suelos desnudos que fácilmente se erosionan y que pierden su valor como suelos aptos para la agricultura. El caso opuesto, la subordinación de lo social a lo biológico, puede resultar igualmente conflictiva,

como sucede cuando se requiere desplazar grandes asentamientos humanos para el establecimiento de una reserva ecológica.

Para conciliar las aptitudes, prioridades y necesidades de los usos del suelo, se emplea el ordenamiento ecológico del territorio, el cual se define jurídicamente como “el instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente ; la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos” (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Título Primero, Art. 3, fracción XXIII).

En agosto de 2003 se aprobó el reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) en materia de Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET), el cual transforma la visión anterior del OET como un marco normativo rígido, por la de un instrumento de planeación ecológica que busca el balance entre las actividades productivas y la conservación de la naturaleza. El OET se concibe como un proceso en el que los distintos sectores con intereses en un territorio (incluido el de la conservación de la naturaleza), hacen explícitas sus necesidades e intereses (tanto actuales como futuras); buscando dilucidar, mediante la negociación y la conciliación de intereses, aquel patrón de ocupación del territorio que minimiza el conflicto entre sus actividades, suscribiendo un acuerdo de voluntades para adoptarlo y sujetarse a sus términos.

Evidentemente, un paso indispensable para formular un programa de ordenamiento es contar con información completa y confiable sobre los diferentes subsistemas involucrados, tales como el biológico, el social y el económico. Por ejemplo, en lo biológico es preciso contar con información sobre la distribución y el grado de conservación de los recursos, la presencia de especies endémicas o amenazadas cuya conservación es prioritaria, la fragilidad de los ecosistemas y de los servicios ambientales que éstos brindan a las actividades humanas (e. g., estabilización de laderas, control de erosión, captación de agua o la conservación de cuencas hidrológicas). En lo social son importantes las características de los sistemas productivos, así como los usos y costumbres, necesidades y expectativas de la población local. Éstos y otros datos se integran en un marco geográfico, a partir del cual se efectúa una regionalización que refleja la situación actual y sus tendencias. Finalmente, se elabora un diagnóstico y un plan que permitan alcanzar los objetivos particulares del ordenamiento. Obtenido el producto final puede orientarse el emplazamiento geográfico de las actividades productivas, así como las modalidades de uso de los recursos y los servicios ambientales.

El ordenamiento ecológico del territorio es un instrumento normativo básico o “de primer piso” sobre el cual se cimientan muchas otras acciones orientadas a la conservación, tales como el establecimiento de reservas, de zonas destinadas a la restauración ambiental y de los ciclos de aprovechamiento y descanso del suelo y de sus recursos. De ahí la gran importancia de contar con ordenamientos correctos y efectivos.

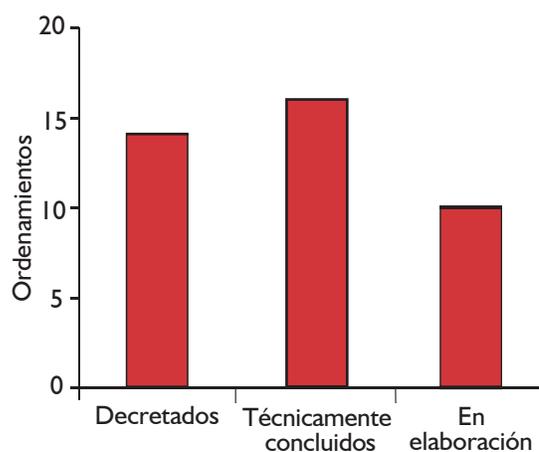
En México se considera el ordenamiento ecológico en cuatro modalidades. La primera de ellas es el ordenamiento ecológico general, de carácter indicativo, el cual se refiere a la totalidad del territorio; la segunda es el ordenamiento regional, aplicable a dos o más municipios, a todo un estado o parte de dos o más estados; la tercera es el ordenamiento local, que actúa a escala municipal y, finalmente, los ordenamientos ecológicos marinos que incluyen las aguas oceánicas y su franja de tierra

adyacente. Los diferentes tipos de ordenamiento son competencia de autoridades distintas (la federación, el estado o el municipio) y sus objetivos difieren como resultado de la diferencia de modalidad en la que se trabaja. De esta manera, el ordenamiento general busca establecer los lineamientos de una regionalización ecológica del territorio nacional, así como los lineamientos y estrategias generales para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

Los ordenamientos locales, por su parte, inciden directamente sobre la regulación del uso del suelo con el propósito de proteger el ambiente y preservar, restaurar y aprovechar de manera sustentable los recursos naturales respectivos, así como establecer los criterios de regulación ecológica adecuados para esos fines.

Hasta el año 2004 se tenían registrados 40 ordenamientos locales, de los cuales 10 se encontraban en elaboración, sólo 14 tenían decreto y los 16 restantes se consideraban como técnicamente concluidos (Figura 9.1). La mayoría de

**Figura 9.1 Ordenamientos ecológicos locales según su grado de avance, 2004**



**Fuente:** Semarnat. Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental. Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. México. 2004.

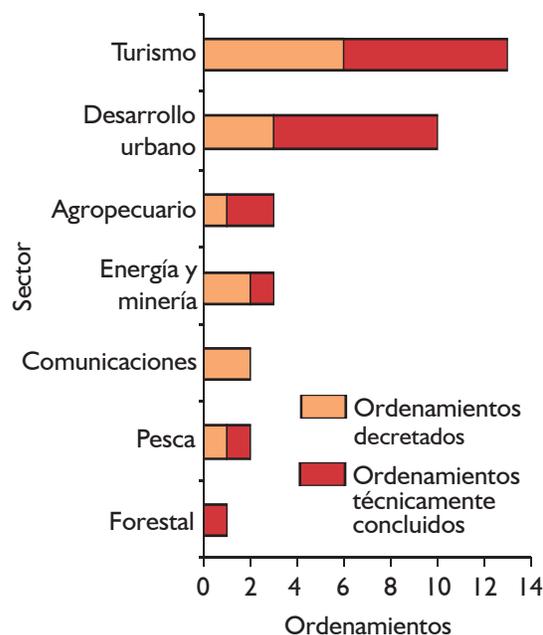


los ordenamientos se localizan en las penínsulas de Baja California y Yucatán y muchos de ellos involucran la participación de los sectores de desarrollo urbano y turístico (Figura 9.2, Mapa 9.1). Esto muestra la importancia que se da a la preservación del entorno para que siga resultando atractivo a los turistas, que son una de las fuentes de ingresos más importantes para ambas penínsulas. Esto no excluye que existan otros objetivos orientados hacia la preservación ecológica donde participan sectores como el agropecuario, pesquero y forestal.

En lo referente a los ordenamientos regionales, para 2004 existían un total de 82, de los cuales, solamente 19 contaban con decreto, 24 estaban en proceso de elaboración y 39 se encontraban técnicamente concluidos. Del total, 45 son subestatales, 23 estatales y 14 supraestatales (Figura 9.3, Mapa 9.2).

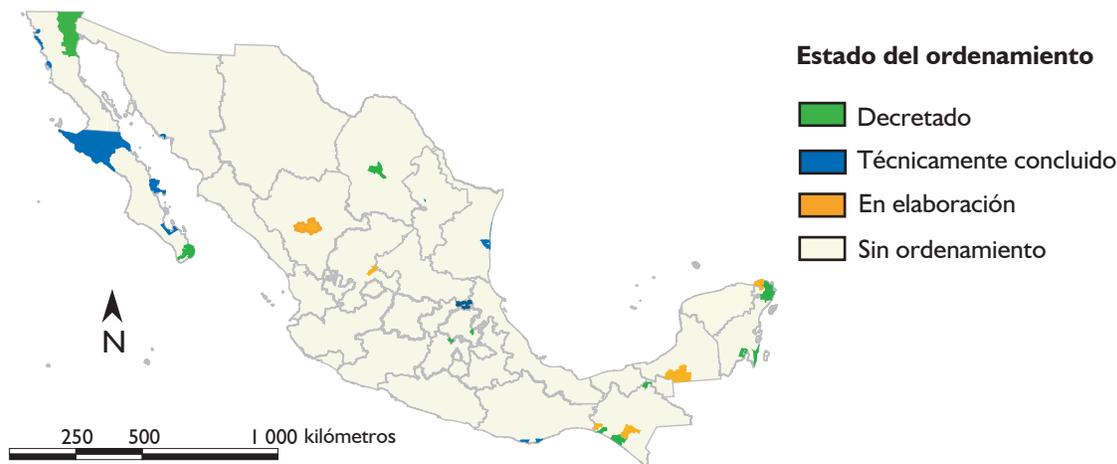
Con respecto a los ordenamientos marinos, actualmente sólo se cuenta con uno en proceso de elaboración, el correspondiente al Golfo de California. Este ordenamiento denominado Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California (OEMGC), incluye a los ordenamientos ecológicos de la escalera náutica y mar de Cortés

**Fig. 9.2 Ordenamientos ecológicos locales en los cuales participan varios sectores, 2004**



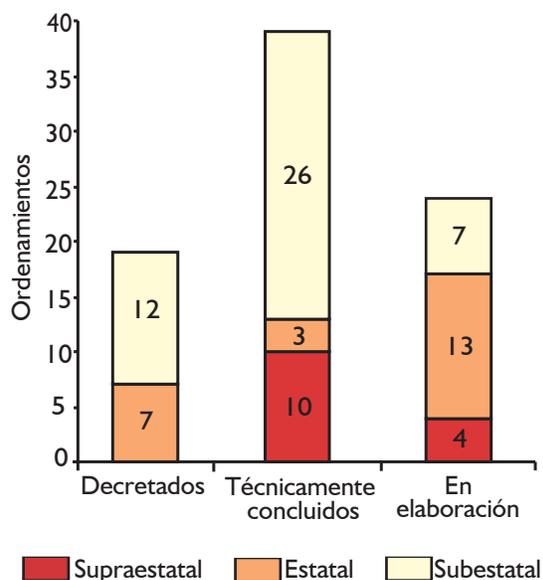
**Fuente:** Semarnat. Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental. Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. México. 2004.

**Mapa 9.1 Ordenamientos ecológicos locales, 2004**



**Fuente:** Semarnat. Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental. Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. México. 2004.

**Figura 9.3 Ordenamientos ecológicos regionales según su grado de avance y número de estados que abarcan, 2004**



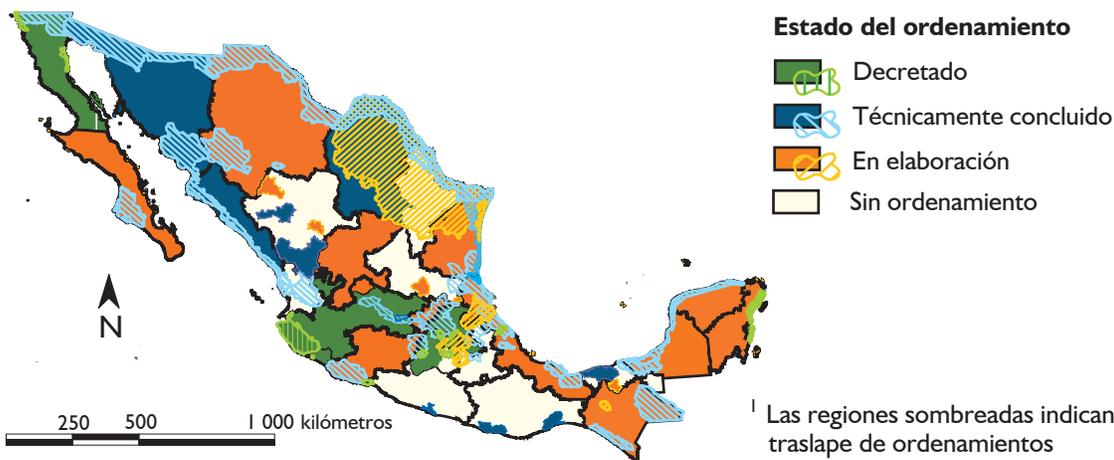
**Nota:** Un ordenamiento subestatal comprende parte de una entidad, el estatal la abarca en su totalidad, y el supraestatal comprende más de un estado.

**Fuente:** Semarnat. Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental. Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. México. 2004.

que se habían iniciado hace unos años. En junio del 2004 fue suscrito su convenio de coordinación a través del cual, el Gobierno Federal, representado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), invitó a los Gobiernos de Baja California, Baja California Sur, Nayarit, Sinaloa, Sonora y a las Secretarías de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (Sagarpa), de Comunicaciones y Transportes (SCT), de Turismo (Sectur), de Gobernación (Segob) y de Marina (Semar) para participar en un proceso de planeación regional que promueve el desarrollo sustentable de la zona del Golfo de California.

El OEMGC tiene entre sus objetivos más importantes el de inducir el desarrollo de las principales actividades humanas de la zona, tales como la pesca y el turismo hacia las zonas de mayor aptitud y menor impacto ambiental. Asimismo, busca la institución de un espacio regional de negociación y toma de decisiones plurales. Cabe señalar que el Golfo de California es a la vez uno de los ecosistemas marinos más productivos del mundo y un sitio con alta biodiversidad, encontrándose además en sus aguas dos especies muy importantes desde el punto de vista de la conservación: una especie de pez, la totoaba (*Totoaba macdonaldi*) y el cetáceo conocido como vaquita marina (*Phocoena sinus*).

**Mapa 9.1 Ordenamientos ecológicos regionales<sup>1</sup>, 2004**



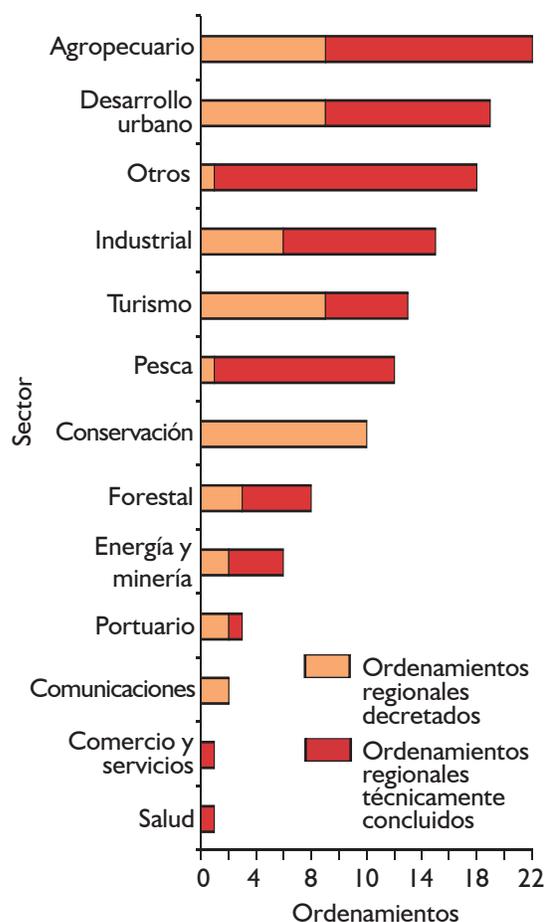
**Fuente:** Semarnat. Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental. Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. México. 2004.



Es importante mencionar que en los 17 estados costeros del país se ha implementado el Programa Especial de Aprovechamiento Sustentable de las Playas, la Zona Federal Marítimo-Terrestre y los Terrenos Ganados al Mar, mismos que servirán de gran apoyo para el ordenamiento ecológico. Las actividades de dicho programa están orientadas fundamentalmente a la delimitación cartográfica y a la descripción de las características de la zona costera, la regularización de los asentamientos humanos y de los terrenos ocupados por diferentes instancias del gobierno federal, la inspección y vigilancia en los terrenos ocupados por particulares (Recuadro D4 ZOFEMAT00 01).

Los sectores involucrados más frecuentemente en los ordenamientos ecológicos son aquellos que mayor impacto causan en el medio ambiente: la industria, el desarrollo urbano, la agricultura y la ganadería, y menos frecuente lo relacionado con la conservación de los recursos naturales (Figura 9.4). No se observa una tendencia clara en el tiempo que muestre un incremento en el número de ordenamientos ecológicos decretados. A pesar de que en el periodo 2002-2005 se concretó el decreto de 16 ordenamientos ecológicos, este esfuerzo ha sido insuficiente si se considera que todavía hay 55 ordenamientos considerados como técnicamente concluidos y que requieren de su decreto para lograr una administración real y sustentable de los recursos naturales con los que cuentan las diversas entidades federativas (Figura 9.5). Cabe destacar que existe una gran cantidad de ordenamientos concluidos técnicamente desde hace ya cerca de una década pero que aún no se han concretado en los decretos correspondientes. En este sentido, será tarea de la Secretaría conocer las razones que motivan el retraso en el decreto de los ordenamientos, a fin de promover la aplicación de los proyectos que sean procedentes y, en su caso, el replanteamiento de los que deban adecuarse para concretar dicho decreto. En México, a pesar de que más de la mitad del territorio cuenta con un ordenamiento ecológico estatal técnicamente concluido, solamente siete estados cuentan con un ordenamiento ecológico estatal decretado que cubre la totalidad de su superficie. Para el caso del

Figura 9.4 Ordenamientos ecológicos regionales en los cuales participan diferentes sectores, 2004



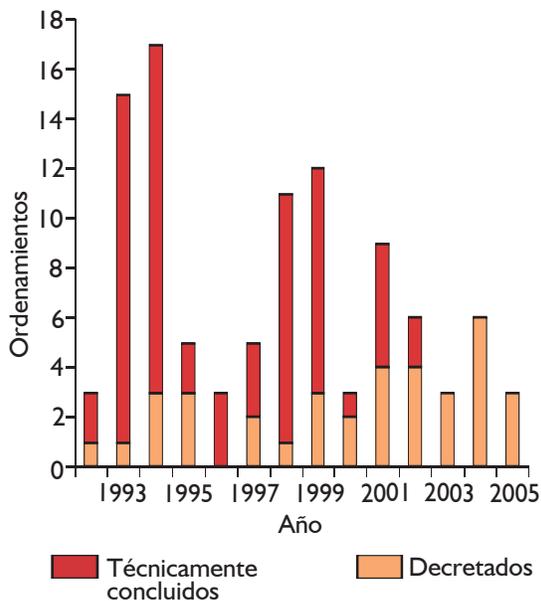
Fuente: Semarnat. Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental. Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. México. 2004.

Distrito Federal, se considera que el 100 por ciento del suelo de conservación, esto es el suelo que no es urbano, cuenta con un ordenamiento ecológico decretado (Mapa 9.3).

### Evaluación de impacto ambiental

El impacto ambiental se define como cualquier modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o la naturaleza. Sin embargo, sólo las modificaciones originadas por las actividades humanas son sometidas a evaluación por parte del Estado mexicano. En este sentido, la evaluación

**Figura 9.5 Ordenamientos ecológicos decretados o técnicamente concluidos por año, 1992-2005**

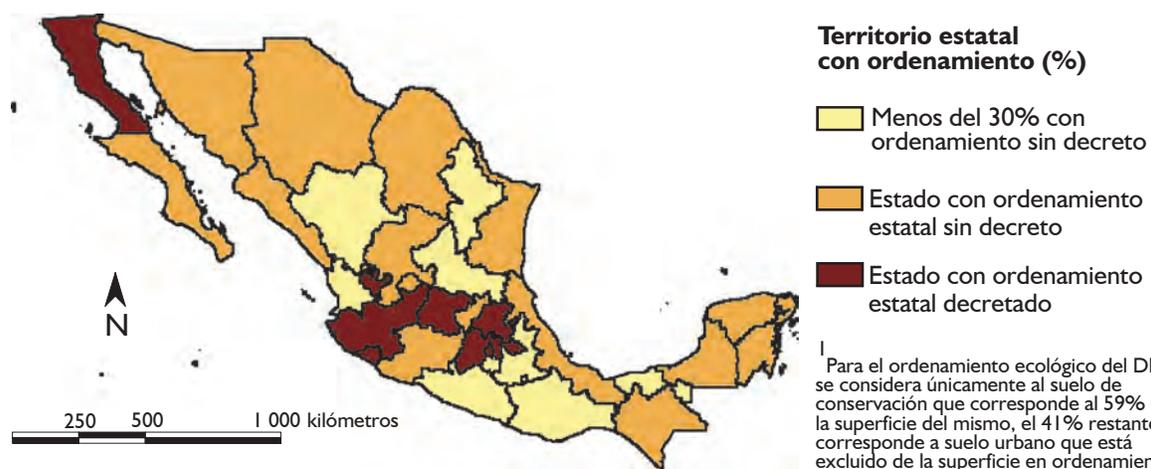


**Fuente:**  
Semarnat. Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental. Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. México. 2005.

del impacto ambiental (EIA) es un instrumento de la política ambiental dirigido al análisis detallado de diversos proyectos de desarrollo y del sitio donde se pretenden realizar, con el propósito de identificar y cuantificar los impactos que su ejecución puede ocasionar al ambiente. Con esta evaluación es posible establecer la factibilidad ambiental de cualquier proyecto (mediante el análisis costo-beneficio ambiental) y determinar –en caso de que se requiera– las condiciones para su ejecución, así como las medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales, a fin de evitar o reducir al mínimo los efectos negativos sobre el medio y la salud humana.

El procedimiento de evaluación del impacto ambiental se inició en México en 1988 con la publicación en el Diario Oficial de la Federación de la LGEEPA y su Reglamento en Materia de Impacto Ambiental. En el reglamento se establecieron tres modalidades para la presentación de la Manifestación de Impacto Ambiental: general, intermedia y específica. Asimismo, se determinó qué tipo de proyectos deberían ser sometidos al procedimiento de evaluación de impacto ambiental, junto con la forma precisa en que se debería

**Mapa 9.3 Superficie estatal con ordenamientos ecológicos decretados,<sup>1</sup> 2004**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de la Semarnat. Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental. Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. México. 2004.

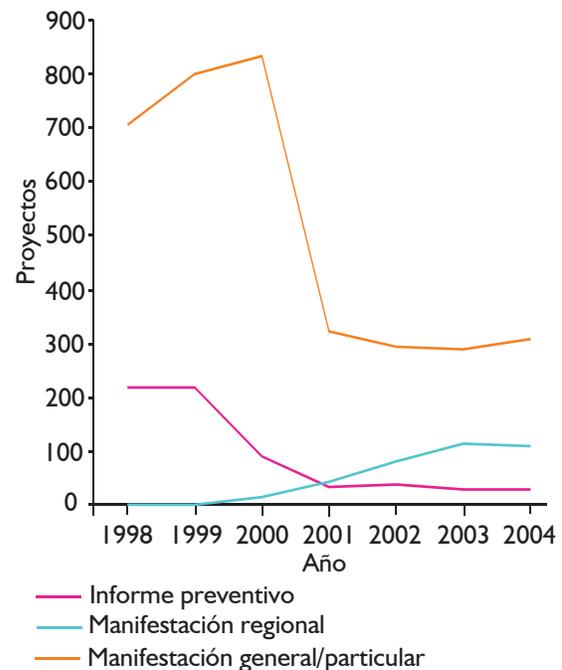


presentar la información contenida en ellos. El 30 de mayo de 2000 fueron publicadas las modificaciones al Reglamento en Materia de Impacto Ambiental, mismas que entraron en vigor el 29 de junio del mismo año. Una de las reformas más importantes fue el cambio de las modalidades general, intermedia y específica, por las de particular y regional.

En términos generales, las manifestaciones de impacto ambiental deben presentarse en la modalidad regional cuando se trata de proyectos que incluyan parques industriales, granjas acuícolas de más de 500 hectáreas, carreteras, vías férreas, proyectos de generación de energía nuclear, presas y, en general, proyectos que alteren las cuencas hidrológicas. También requieren esta modalidad de evaluación las obras que se pretendan desarrollar en zonas donde exista un programa de ordenamiento ecológico y en sitios donde se prevean impactos acumulativos, sinérgicos o residuales que pudieran ocasionar la destrucción, el aislamiento y/o la fragmentación de los ecosistemas. En los demás casos, la manifestación deberá presentarse en la modalidad particular. Para someter un proyecto a este procedimiento y obtener su autorización, el promovente (es decir, el promotor del proyecto) deberá entregar a la Semarnat un Informe Preventivo o una Manifestación de Impacto Ambiental en la modalidad que corresponda y que atienda el reglamento que su estado expide. En la Figura 9.6 se muestran los proyectos ingresados para la evaluación de impacto ambiental en cada modalidad durante el periodo 1998-2004. Es importante señalar que si el proyecto contempla actividades consideradas como altamente riesgosas, el estudio ambiental deberá acompañarse de un estudio de riesgo para su correspondiente evaluación y dictamen.

La Semarnat, con base en la información contenida en la EIA, emite la resolución correspondiente en la que puede negar o aprobar la autorización para la ejecución del proyecto, señalando, si lo considera necesario, las condiciones que se deberán cumplir para ello. En el reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental se especifican los tiempos límite para que la Semarnat, por medio de la Subsecretaría de Gestión para la Protección

**Figura 9.6 Proyectos ingresados bajo el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental por modalidad, 1998-2004**

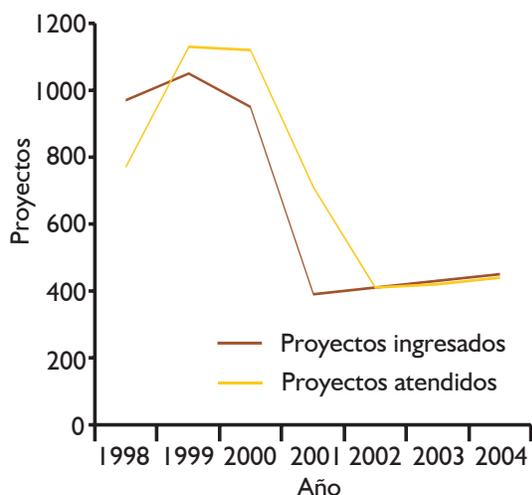


**Fuente:** Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental. México. 2005.

Ambiental, evalúe el estudio a partir de su ingreso y hasta la emisión de su resolución.

Desde 1998, la Semarnat ha recibido una cantidad importante de estudios, misma que a partir del 2000 empezó a disminuir drásticamente; cayendo de más de mil proyectos en 1999 a cerca de 450 en el 2004 (Figura 9.7). Cabe señalar, sin embargo, que parte de esta disminución puede explicarse por el hecho de que a partir de mayo del 2000 se transfirió a las Delegaciones Federales de la Semarnat la atención de proyectos que hasta esa fecha se evaluaban en oficinas centrales de dicha Secretaría. Esta descentralización ha permitido que a partir de entonces se atienda y se de respuesta en el tiempo establecido en el Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación del Impacto Ambiental, el 100 por ciento de los proyectos ingresados, lo que ha hecho más eficiente el proceso.

**Figura 9.7 Proyectos ingresados y atendidos bajo el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, 1998-2004**



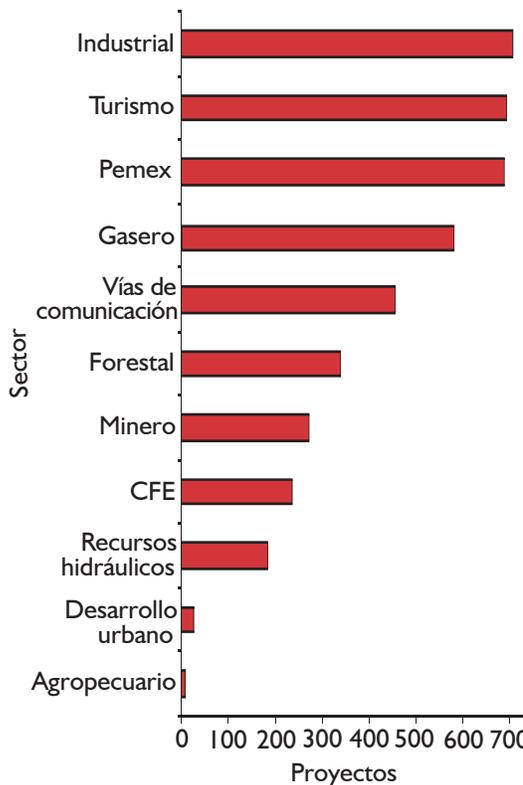
**Nota:** Los años en que se atienden más proyectos que los que ingresan, se debe a que se incluye el rezago de años anteriores. El hecho de que un proyecto sea reportado como atendido no implica que haya sido autorizado.

**Fuente:** Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental. México. Marzo 2005.

Durante el periodo 2001-2004, la Semarnat recibió mil 684 proyectos (421 en promedio por año) y atendió mil 985 evaluaciones de impacto ambiental para su análisis y, en su caso, autorización (Figura 9.7) (Cuadro D4 IMPACTO00 02). La mayoría de ellos correspondieron a obras y actividades de servicios de los sectores industrial, turismo, petroquímico (Pemex) y gasero, con 695, 680, 675 y 582 proyectos ingresados respectivamente (Figura 9.8).

Los estados que en los últimos años han tenido el mayor número de proyectos ingresados al procedimiento de impacto ambiental son Quintana Roo, Veracruz y Estado de México; en contraste, Aguascalientes, Yucatán, Zacatecas, Querétaro, Tlaxcala y Morelos son algunos de los estados que tienen menor demanda de evaluación de proyectos (Mapa 9.4; Cuadro D4 IMPACTO00 01).

**Figura 9.8 Proyectos ingresados bajo el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental por sector, 1998-2004**

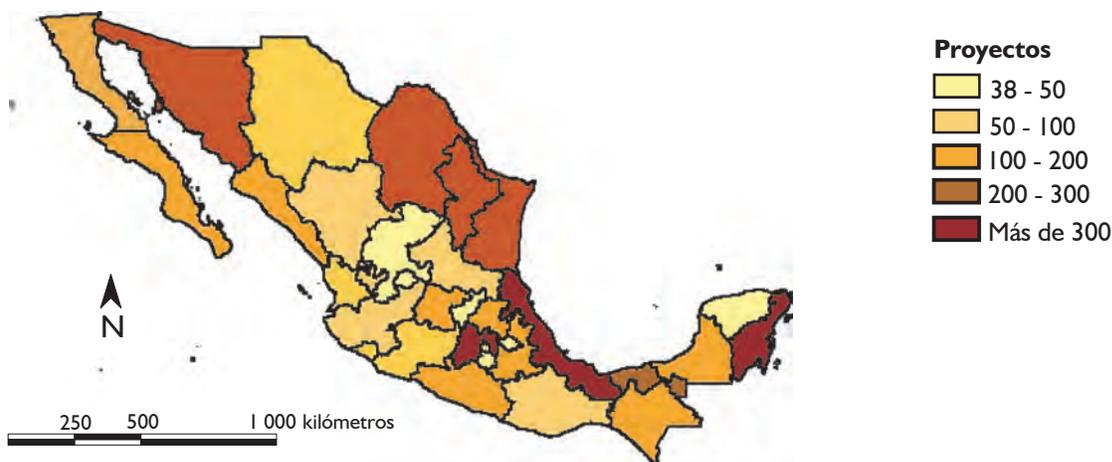


**Fuente:** Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental. México. Marzo, 2005.

El Centro de Información y Gestión Ambiental (CIGA), el cual forma parte de la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental de la Semarnat, atiende las necesidades de información generadas en los procesos de gestión para impacto y riesgo ambiental, manejo integral de contaminantes, zona federal marítimo-terrestre, ambientes costeros, vida silvestre y descentralización de servicios forestales y suelo. En su sitio de Internet se puede consultar el estado de cualquier estudio de impacto ambiental ingresando su clave, así como el proceso de cualquier trámite que se esté llevando en la Secretaría.

El tiempo promedio para generar una respuesta a una evaluación de impacto ambiental en su

**Mapa 9.4 Proyectos ingresados al procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental por entidad federativa, 1998-2004**



**Fuente:** Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental. México. 2004.

modalidad particular era de 90 días en el año 2000, reduciéndose a 60 días para el año 2005. También se han notado reducciones importantes de tiempo en la respuesta para las manifestaciones de impacto ambiental modalidad regional y para los informes preventivos.

### **Evaluación del riesgo ambiental y bioseguridad**

El riesgo se concibe como la probabilidad de que ocurra una situación que conduzca a una consecuencia negativa, no deseada. En este contexto, se pueden hablar de un sin número de tipos de riesgo a los que tanto el medio ambiente como el ser humano están expuestos. Si se considera únicamente el riesgo asociado a la contaminación del ambiente, nos encontramos ante dos tipos de situaciones: 1) el riesgo a contraer enfermedades o intoxicaciones como consecuencia de la exposición prolongada o crónica a sustancias contaminantes (p. e., en el aire que respiramos, el agua que bebemos o la carne y vegetales que consumimos) y 2) el riesgo a que suceda un evento catastrófico resultado del escape repentino de sustancias peligrosas para el medio y para la salud del ser humano (equivalente a una exposición aguda a un contaminante). A pesar de que

se tiene la preocupación del riesgo que corren tanto el ambiente como el ser humano, la evaluación de riesgos como instrumento de la política ambiental se enfoca a la segunda situación.

La Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA) es un instrumento de política ambiental, analítico y de alcance preventivo, que permite integrar todo proyecto que realice actividades altamente riesgosas (AAR) al medio ambiente, de la manera más segura posible, garantizando la identificación y el control de los puntos de peligro, lo que permite generar un plan de acción ante situaciones adversas (liberación de sustancias peligrosas al medio ambiente afectando negativamente a la población, los ecosistemas y los bienes materiales).

La peligrosidad de un material se evalúa en función de sus características CRETIB (Corrosivas, Reactivas, Explosivas, Tóxicas, Inflamables y Biológico-Infeciosas). Al manejo de las sustancias peligrosas en una cantidad específica o cantidad de reporte se le llama actividad altamente riesgosa. Existen dos listados de AAR publicados en el Diario Oficial de la Federación el 28 de marzo de 1990 y del 4 de mayo de 1992, respectivamente. En estos listados se encuentran, además de todas las sustancias que

se sabe cuentan con alguna característica CRETIB, la cantidad de reporte (volumen o peso) a partir del cual el manejo de estas sustancias se convierte en una AAR. Todas las empresas o instituciones que practican alguna AAR deben realizar un estudio de riesgo ambiental.

La ERA busca proteger a la sociedad y al ambiente, anticipando la posibilidad de liberaciones accidentales de sustancias peligrosas en las instalaciones y evaluando su impacto potencial, de manera tal que éste pueda prevenirse o mitigarse a través de: a) reconocimiento de peligros, b) evaluación de riesgos y c) determinación de medidas apropiadas para la reducción de estos riesgos. Al presentarse la ERA, las autoridades que analizan el proyecto cuentan con la información suficiente para identificar e interpretar sus niveles de riesgo. Con base en esta información se establece la conveniencia o no de que el proyecto estudiado sea autorizado.

El Estudio de Riesgo está compuesto por dos fases. La primera consiste en un diagnóstico para identificar y jerarquizar los riesgos, mientras que la segunda fase, conocida como “análisis de consecuencias”, pretende cuantificar y estimar dichas consecuencias, utilizando frecuentemente modelos matemáticos de simulación. Dependiendo del tipo de AAR que se realice, de las condiciones en las que éstas se almacenan, así como del lugar en donde se lleven a cabo, existen diferentes niveles en los que se puede realizar y presentar un estudio de riesgo (**Cuadro D3 D RESIDUOP02 01**):

- Nivel 0: aplica a cualquier proyecto que maneje sustancias consideradas como peligrosas a través de ductos.
- Nivel 1 (Informe preliminar de riesgos): cualquier proyecto en el que se pretenda almacenar, filtrar o mezclar alguna sustancia considerada como peligrosa a presión atmosférica y temperatura ambiente.
- Nivel 2 (Análisis de riesgos): semejante al anterior, pero involucra el empleo de altas presiones o temperaturas, lo cual incrementa la probabilidad de accidentes.

- Nivel 3 (Análisis detallado de riesgos): se atribuye a cualquier proyecto que maneje una lista reducida de sustancias particularmente peligrosas, a complejos químicos o petroquímicos o que en sus procesos generen alguna sustancia o producto altamente tóxico.

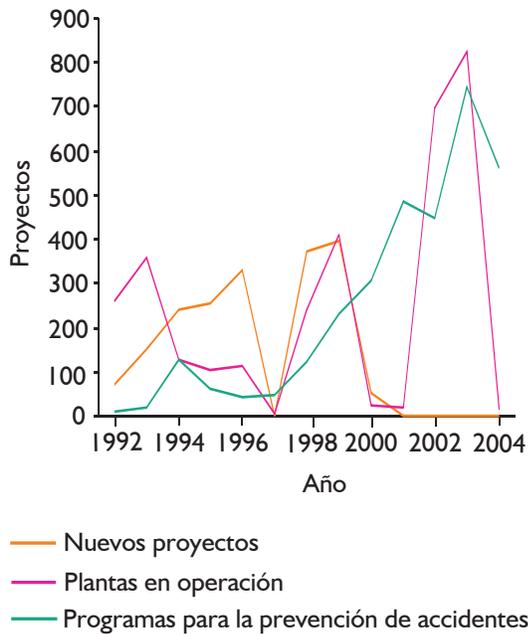
El estudio debe incluir información concerniente a la probabilidad de que ocurran accidentes por explosión, incendio, fuga o derrame que involucren materiales peligrosos; los posibles radios de afectación fuera de las instalaciones correspondientes; la severidad de la afectación en los distintos radios; las medidas de seguridad a implantar para prevenir que ocurran los accidentes; así como el Programa de Emergencia Interno en caso de que ocurra un accidente (incluidas en el Programa para la Prevención de Accidentes (PPA)). A partir de dicha evaluación, las secretarías de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Gobernación, Energía, Economía, Salud y del Trabajo y Previsión Social, valoran tanto el riesgo como la idoneidad de los programas propuestos para la prevención de accidentes.

En los últimos años ha habido un incremento notable en la evaluación del riesgo ambiental. Durante el periodo comprendido entre mediados de los años noventa y el año 2004 se observó un aumento continuo en los Programas de Prevención de Accidentes: para el año 2004 se tenían 561 programas, trece veces más que los 43 que se tenían en 1996 (Figura 9.9, **Cuadro D3 RESIDUOP02 02**).

La creciente presentación de proyectos relativos a estos temas ha significado una mayor presión sobre las instancias de evaluación de la Semarnat, elevándose considerablemente el número de dictámenes que tiene que resolver cada dictaminador. Con respecto a los estudios de riesgo se incrementó de 45 dictámenes por dictaminador en el 2002 a 74 en el 2004, y para el caso de los PPA se incrementó de 61 a 93 en el mismo periodo (Figura 9.10, **Cuadro D3 RESIDUOP02 01**).

A pesar de los grandes avances en el tema, en el 2004 en México se presentaron un total de 503

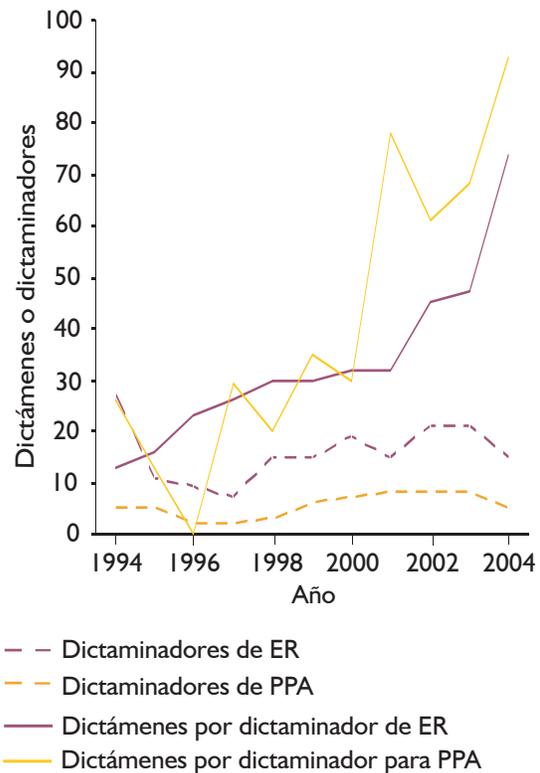
**Figura 9.9 Estudios de riesgo ambiental según tipo, 1992-2004**



**Fuente:**  
Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2005.

emergencias ambientales, es decir, accidentes que involucraron sustancias peligrosas (véase el capítulo 8 de **Residuos**), cantidad que se ha mantenido en promedio constante. Durante el periodo 2000-2004, el promedio fue de 514 emergencias ambientales. Un porcentaje importante ocurrió en los ductos localizados en los estados petroleros del Golfo de México, tales como Veracruz, Tabasco y Campeche (Mapa 9.5), lo que pone de manifiesto la magnitud del aporte de la industria petrolera al total de las emergencias ambientales del país. Pemex, en el año 2002, reportó 249 emergencias ambientales, en las cuales se derramaron y fugaron 143 mil 421 barriles de hidrocarburo en zonas continentales, lo que representa 80 emergencias menos con respecto a las reportadas para el año 2000. Otros estados con una alta incidencia de emergencias son aquellos con una gran actividad industrial, como el Estado de México, Guanajuato, Puebla y Nuevo León.

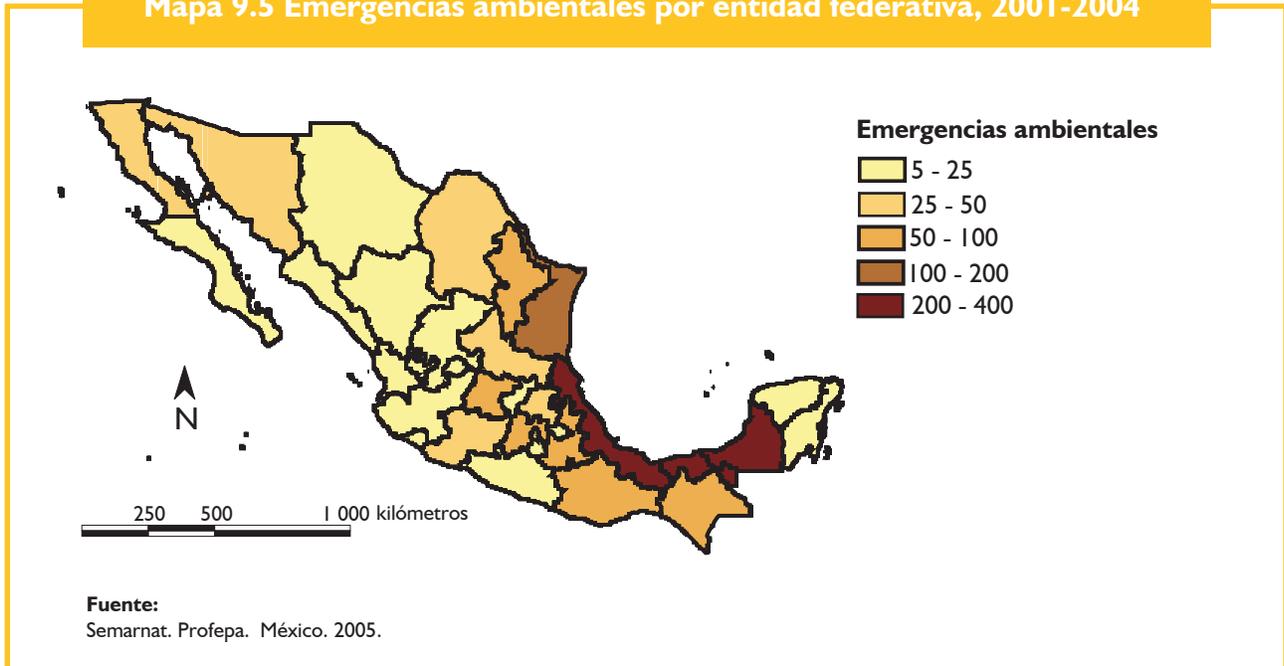
**Figura 9.10 Dictámenes y dictaminadores de Estudios de Riesgo (ER) y Programas para la Prevención de Accidentes (PPA), 1994-2004**



**Fuente:**  
Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2005.

Otra fuente de riesgos potenciales para el ambiente y la salud humana procede de la industria biotecnológica. A partir de los avances recientes en la genética han surgido los llamados organismos genéticamente modificados (OGM), también conocidos como organismos transgénicos, a los cuales se les han incorporado en su genoma otros genes procedentes de otras especies (e.g., plantas o bacterias), los cuales les confieren características deseables como son la maduración lenta de los frutos o la resistencia a plagas o herbicidas (**Recuadro D4 RBIOSEG00 04**). Los OGM pueden representar riesgos debido a que existe la posibilidad de que esos genes se transfieran a otros organismos en los ecosistemas, lo que podría alterar sus interacciones con otros organismos y el medio, pudiendo

Mapa 9.5 Emergencias ambientales por entidad federativa, 2001-2004



ocasionar desplazamientos e incluso extinciones locales, disminuyendo así la biodiversidad existente en un sitio y la calidad de los servicios ambientales que brinda. Por otro lado, no todos los transgénicos están autorizados para el consumo humano, por lo que un mal manejo de los mismos podría ocasionar que productos cuyos efectos sobre la salud no son del todo conocidos fueran consumidos por la población.

Como respuesta a esta problemática y en cumplimiento del Protocolo de Cartagena (firmado en Canadá en el 2000 –después de cinco años de sendas negociaciones– con el propósito de contribuir a garantizar un nivel adecuado de protección en la transferencia, manipulación y la utilización segura de los OGM vivos) se elaboró la Ley de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM), la cual entró en vigor el 2 de mayo del 2005. En esta ley se especifica que para realizar cualquier tipo de liberación de estos organismos al medio ambiente es obligatorio contar con un permiso que otorgará la autoridad competente, así como la realización de un Estudio de Riesgo amplio. Esta ley designa a la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (Cibiogem), como la

instancia encargada de coordinar las políticas de la administración pública federal mexicana relativas a la bioseguridad y a la producción, importación, exportación, movilización, propagación, consumo y, en general, al uso y aprovechamiento de los OGM, así como sus productos y subproductos.

En México se han evaluado y autorizado para consumo humano los productos derivados de 6 especies vegetales (algodón, papa, jitomate, canola, soya y maíz) obtenidos a partir de OGM, las cuales en su mayoría han sido modificadas a fin de conferirles mayor resistencia a plagas y tolerancia a herbicidas (Recuadro D4 RBIOSEG00 04). Para el año 2003 se habían autorizado ensayos con organismos transgénicos en cerca de 36 mil 500 hectáreas, principalmente a la compañía estadounidense Monsanto. Esta compañía utiliza el 99 por ciento de la superficie autorizada para realizar dichos estudios (Figura 9.11, Cuadro D4 BIOSEG00 03). La gran mayoría de los ensayos han sido efectuados con variedades de algodón, aunque también se han ensayado variedades de soya y la bacteria *Rhizobium etli* (Figura 9.12, Cuadro D4 BIOSEG00 02). El organismo encargado de evaluar las solicitudes para estos ensayos es el Servicio Nacional de Sanidad e Inocuidad Alimentaria (Senasica), que depende de

## Los organismos genéticamente modificados y sus riesgos al ambiente

La modificación genética producto de la selección convencional involucra experimentar con la variabilidad genética ya existente en las variedades o razas de una especie, o entre unas cuantas especies emparentadas entre sí, o, aunque más raro, entre especies de géneros hermanos. Cuando la variabilidad genética dentro del germoplasma del cultivo no permite seleccionar determinados atributos, los productores han recurrido a métodos como la irradiación (de neutrones, rayos X o gamma) o al uso de compuestos químicos mutagénicos para crear nuevas variantes y seleccionar rasgos de interés. En las últimas tres décadas, investigadores en biotecnología han descubierto y desarrollado técnicas para intercambiar fragmentos de ADN entre plantas, animales, bacterias y otros organismos. La llamada tecnología del ADN recombinante permite combinar fragmentos de la molécula de ADN de dos o más fuentes diferentes o de regiones diferentes del genoma. Esto abre la posibilidad de insertar genes que codifican características útiles de un organismo a otro rompiendo las barreras de la reproducción.

En principio, si un organismo tiene algún carácter deseable y se determina cuál es la región del ADN que lleva a cabo la codificación de dicho carácter, ésta puede ser transferida a otro organismo que no la tiene. Una planta o un animal que ha sido modificado recibiendo ADN de una fuente externa a su propio genoma, es llamado organismo transgénico u organismo genéticamente modificado (OGM). La transgénesis se puede llevar a cabo a nivel de células embrionarias y de células somáticas; se utiliza en la producción de fármacos, en terapia génica y en el desarrollo de plantas, microorganismos y animales transgénicos, para diversos usos en la agricultura y la industria. El número de productos modificados genéticamente está creciendo rápidamente. Las primeras investigaciones y aplicaciones de la biotecnología moderna, que surgen con

la capacidad de manipulación genética de los seres vivos, se encaminaron durante los años 80 fundamentalmente hacia el sector salud. La insulina humana es uno de los primeros productos transgénicos que se usan para el tratamiento de los enfermos de diabetes. En este caso los organismos receptores que se producen son bacterias transgénicas a las que se les inserta el gen humano que codifica para la insulina. Otros ejemplos en este campo corresponden a la producción de la hormona del crecimiento humano y a la heritropoyetina, una hormona que aumenta la producción de hematocitos.

La historia del desarrollo de la ingeniería genética en las plantas inicia en 1983 con las primeras modificaciones de células vegetales. En 1984 se producen las primeras plantas transgénicas y en 1986 se llevan a cabo las primeras pruebas de campo y se desarrollan plantas resistentes a algunos virus. En 1988 se desarrollan plantas resistentes a plagas (insectos) y tolerantes a herbicidas, en 1989 se trabaja en la maduración de los frutos y en 1990 hay más de 100 pruebas experimentales en el campo. En 1995 se obtienen los primeros productos comerciales.

De manera simplificada, la producción de una planta transgénica involucra cuatro pasos básicos: primero, se aísla el gen que codifica la información genética para producir una proteína particular; en el caso de las plantas resistentes a insectos se trata de un gen que produce una proteína que es tóxica para algunos insectos. En segundo lugar se cortan y pegan –mediante el uso de enzimas de restricción y ligasas– los fragmentos de ADN del gen seleccionado con un gen marcador.

Los marcadores que comúnmente se utilizan les confieren resistencia a las células a algún antibiótico o herbicida. Estas moléculas se insertan a las células del organismo receptor, mediante métodos físicos o biológicos. Un tercer paso lo constituye la identificación

## Los organismos genéticamente modificados y sus riesgos al ambiente

de las células que han recibido los genes mediante su exposición a un antibiótico y su selección. Por último, se induce el desarrollo de las células modificadas para que crezcan en una planta completa. Estas plantas y sus semillas producirán el gen de la resistencia. La ingeniería genética ha desarrollado mecanismos para modificar no sólo el genoma de microorganismos y plantas sino también el de los animales. Esto se hace mediante manipulación genética in vitro. Los primeros experimentos exitosos de transgénesis en animales fueron en ratones a los que se les había insertado el gen que produce la hormona del crecimiento de ratas en 1982. Existen en la actualidad diferentes mecanismos para crear animales transgénicos. Esta tecnología ha permitido el estudio de las funciones de los genes y la producción de proteínas con fines farmacéuticos. Entre algunos de los vertebrados que han sido genéticamente modificados se encuentran cerdos, vacas, borregos, pollos y varios peces como la trucha, el salmón y la tilapia. Aunque se tienen importantes usos potenciales para los animales transgénicos, aún existen aún muchas limitaciones para su uso.

### Los Organismos genéticamente modificados en el ambiente

Se ha detectado una serie de riesgos potenciales al ambiente asociados con la liberación al campo de los organismos genéticamente modificados (OGM) y con la transferencia de los transgenes. Estos riesgos se pueden explorar a nivel genómico, de individuos y poblaciones y de ecosistemas. Además, se deben considerar efectos a corto, mediano y largo plazo.

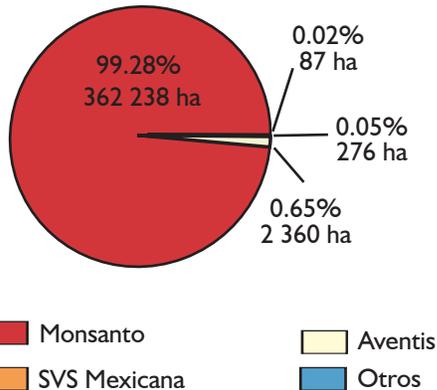
La introducción de las construcciones transgénicas puede ocurrir de dos maneras: por transferencia vertical hacia variedades criollas o a parientes silvestres cercanos, y por transferencia horizontal a otros

organismos como virus y bacterias. Los riesgos asociados con estos procesos, así como las probabilidades de que ocurran, varían en función de distintos factores. Una preocupación relacionada con la introducción de los transgenes a variedades criollas es la erosión que potencialmente puede sufrir la biodiversidad del germoplasma del cultivo. Esto ya ha ocurrido con la introducción de variedades mejoradas por métodos convencionales. La introducción de los transgenes en las variedades criollas sólo disminuiría la diversidad genética del cultivo si la presión de selección a favor de las plantas transgénicas fuera muy intensa. Una vez que la hibridación ha ocurrido, el impacto en el ambiente va a depender del transgén en cuestión y de su expresión en un nuevo contexto genético. Otros de los riesgos que se han asociado con los organismos genéticamente modificados es que puedan causarle daño a insectos benéficos o a especies que no se intenta controlar, y con esto disminuir la biodiversidad y alterar en diferente medida las comunidades bióticas y los ciclos biológicos.

Por lo anterior, el uso de los organismos transgénicos debe hacerse con una seria evaluación de los riesgos que puedan representar para el medio ambiente, la biodiversidad y la salud humana. Esta evaluación de riesgo debe basarse en la mejor información científica posible y en los principios de caso por caso; es decir considerar el trinomio organismo receptor de la modificación, la modificación genética y el ambiente en donde se pretende llevar a cabo la liberación del transgénico; además en el principio precautorio.

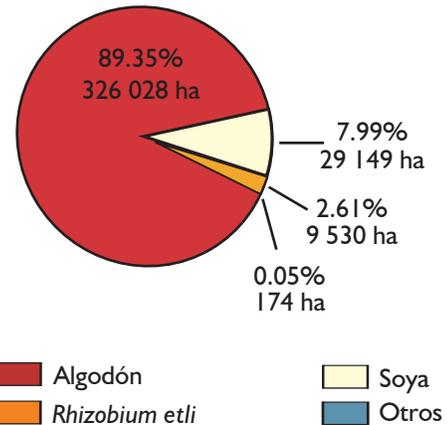
**Fuente:** Ortiz, S. y E. Ezcurrea. Los organismos genéticamente modificados y el medio ambiente. *Gaceta Ecológica* 60: 83 -92. 2001.

**Figura 9.11 Superficies sobre las que se han registrado ensayos con organismos genéticamente modificados, según compañía responsable**



Fuente:  
Cibiogem. México. 2005.

**Figura 9.12 Superficies sobre las que se han realizado ensayos con organismos genéticamente modificados, según organismo transgénico**



Fuente:  
Cibiogem. México. 2005.

la Sagarpa, cuya labor se ha venido intensificando, atendiendo a un mayor número de solicitudes (Cuadro D4 BIOSEG00 01). A partir de la entrada en vigor de la Ley de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados, para que la Sagarpa otorgue un permiso de liberación al ambiente se requiere de un dictamen favorable por parte de la Semarnat.

En octubre de 2003 fue inaugurado en su primera etapa el Laboratorio de Genómica y Análisis Molecular en el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (Cenica) del Instituto Nacional de Ecología (INE), el cual cuenta con los equipos y el diseño de procedimientos propios para detectar los marcadores de uso más común en la construcción de transgénicos, lo que representa un apoyo para el desarrollo de proyectos de investigación, cuyos resultados son fundamentales para la toma de decisiones en materia de bioseguridad y de los riesgos potenciales causados

por la liberación al ambiente de los OGM (ver cuadro *Los organismos genéticamente modificados y sus riesgos al ambiente*)

Esta publicación consta de 3 000 ejemplares  
y se terminó de imprimir en Diciembre de 2005  
en  
Impreta

