

INFORME DE LA SITUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO

Compendio de Estadísticas Ambientales

Edición 2008



GOBIERNO
FEDERAL

SEMARNAT



www.gobiernofederal.gob.mx
www.semarnat.gob.mx



Vivir Mejor

INFORME DE LA SITUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO

Compendio de Estadísticas Ambientales

Edición 2008

DR © 2009, SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Edificio sede
Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209
Jardines en la Montaña, CP 14210
Tlalpan, México D. F.

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

INFORME DE LA SITUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO.
Edición 2008. COMPENDIO DE ESTADÍSTICAS AMBIENTALES.

Impreso en México

ISBN 978-968-817-910-9

Como citar esta obra:

Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Edición 2008. Compendio de Estadísticas Ambientales*. México. 2008.

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

Dirección General de Estadística e Información Ambiental
Dirección de Análisis e Indicadores Ambientales
Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209
Jardines en la Montaña, CP 14210
Tlalpan, México D. F.
Teléfono 56 28 08 54, Fax 56 28 08 53



Esta publicación es parte del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Su contenido y edición estuvieron a cargo de la Dirección General de Estadística e Información Ambiental. **INFORME DE LA SITUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO. Coordinación general:** Arturo Flores Martínez, César E. Rodríguez Ortega y Verónica E. Solares Rojas. **Integración y edición:** Yonatan Aguilar Cruz, Mildred Castro Hernández, Miguel Chipole Ibáñez, Teresa González Ruiz, Miguel de Jesús Gutiérrez Ladrón de Guevara y Edmundo Huerta Patricio. **Diseño gráfico:** Ariadna Jaimes Chacón y Esperanza Martínez Vargas. **Desarrollo Web:** Rogelio Chávez Pérez. **COMPENDIO DE ESTADÍSTICAS AMBIENTALES. Coordinación general:** Georgina Alcantar López y Armando Yáñez Sandoval. **Integración y edición:** Luz María Barajas, Adriana Caballero Castillo, Gabriela Carmona Huerta, Gerardo Cervantes Corte, Dalia Angélica Daza Zepeda, Anayeli Máximo Coporo, Arturo Mondragón Montes de Oca, José Marcelo Sánchez López, José Luis Rojas Villasana y Rebeca Serafín Pulido.



El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), a través de los Proyectos PNUD-SEMARNAT, “Espacios públicos de concertación social para procesos de desarrollo sustentable local” y “Construcción de ciudadanía y espacios de participación para el desarrollo sustentable” apoyó parcialmente la elaboración de esta obra, con objeto de mejorar la cantidad, calidad y accesibilidad de la información ambiental.

Índice

Abreviaturas	X
Presentación	XV
Introducción	XVII
1. Población y medio ambiente	1
POBLACIÓN	2
Población mundial	2
Población de México	7
DESCRIPCIÓN SOCIOECONÓMICA DE LA POBLACIÓN MEXICANA	12
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	12
Índice de Marginación (IM)	15
Pobreza	16
Población en zonas de riesgo ambiental	19
Economía y medio ambiente	20
ACTIVIDADES HUMANAS Y AMBIENTE	21
REFERENCIAS	29
2. Ecosistemas terrestres	31
LA VEGETACIÓN NATURAL Y EL USO DEL SUELO EN MÉXICO	32
CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO	42
PROCESOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO	50
Deforestación	50
Alteración de bosques y selvas	59
Degradación de matorrales	62
Fragmentación	64
Otras amenazas a los ecosistemas terrestres	65
FACTORES RELACIONADOS AL CAMBIO DE USO DEL SUELO	69
Población	71
Crecimiento de la frontera agropecuaria	72
Urbanización	73
USO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES	74
Recursos forestales maderables	76
Recursos forestales no maderables	82

CONSERVACIÓN Y MANEJO SUSTENTABLE DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES Y SUS RECURSOS NATURALES	85
Conservación de los ecosistemas terrestres y sus servicios ambientales	86
Uso sustentable de los recursos naturales de los ecosistemas terrestres	89
Recuperación de los ecosistemas terrestres	93
Otros instrumentos indirectos de protección de los ecosistemas terrestres	99
REFERENCIAS	109
3. Suelos	111
SUELOS DE MÉXICO	112
LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS EN MÉXICO	118
Erosión hídrica	121
Erosión eólica	122
Degradación química	127
Degradación física	129
Relación entre la degradación del suelo y la cobertura vegetal	132
TIERRAS FRÁGILES: EL PROBLEMA DE LA DESERTIFICACIÓN	134
Distribución de las tierras secas	135
Magnitud de la desertificación	137
Conservación y restauración de suelos	140
REFERENCIAS	145
4. Biodiversidad	147
MÉXICO, PAÍS MEGADIVERSO	148
Los servicios ambientales de la biodiversidad	153
AMENAZAS A LA BIODIVERSIDAD	153
Ecosistemas terrestres	153
Especies en riesgo	163
PROTECCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD	165
Áreas Naturales Protegidas (ANP)	171
Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Suma)	186
Centros de Conservación e Investigación de la Vida Silvestre (CIVS)	188
REFERENCIAS	190
5. Atmósfera	191
CALIDAD DEL AIRE	193
Inventarios de emisiones	193

Emisiones en la Zona Metropolitana del Valle de México	205
Normatividad y monitoreo de la calidad del aire	207
Calidad del aire en las ciudades del país	210
CAMBIO CLIMÁTICO	218
Emisiones antropogénicas de GEI	219
Emisiones mundiales	221
Emisiones nacionales	222
Concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera	226
Evidencias del cambio climático	227
Efectos del cambio climático sobre la biodiversidad	234
El clima del futuro y sus consecuencias	235
OZONO ESTRATOSFÉRICO	241
Consumo y concentración de SAO	247
Protección de la capa de ozono	251
REFERENCIAS	254
6. Agua	259
EL AGUA DULCE EN EL MUNDO	261
Recursos hídricos mundiales	261
DISPONIBILIDAD DEL AGUA	262
Balance de agua regional	262
Variabilidad espacial y temporal en la disponibilidad del agua	263
Disponibilidad natural	267
Disponibilidad per cápita	269
Grado de presión	270
EXTRACCIÓN Y USOS CONSUNTIVOS DEL AGUA	272
Escenarios futuros	279
CALIDAD DEL AGUA	281
Descarga de aguas residuales	282
Monitoreo de la calidad del agua	283
EL AGUA Y EL BIENESTAR DE LA POBLACIÓN	289
Servicios y protección al ambiente	289
Agua potable	290
Alcantarillado	292
Tratamiento de aguas residuales	293
ECOSISTEMAS ACUÁTICOS	295
Biodiversidad dulceacuícola y marina	299

Bienes y servicios ambientales de los ecosistemas acuáticos	301
Servicios ambientales de los ecosistemas acuáticos: el caso de la pesca	305
Impactos sobre la biodiversidad acuática continental	306
Instrumentos para la conservación de la biodiversidad acuática	315
REFERENCIAS	320
7. Residuos	325
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	326
Generación de residuos sólidos urbanos	326
Manejo y disposición final de los residuos sólidos urbanos	332
Recolección	332
Reciclaje	333
Disposición final	334
RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL	336
RESIDUOS PELIGROSOS	338
Generación de residuos peligrosos	338
Movimiento transfronterizo de residuos peligrosos	345
Manejo de residuos peligrosos	346
GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, DE MANEJO ESPECIAL Y PELIGROSOS	350
RIESGO AMBIENTAL	353
SITIOS CONTAMINADOS	353
Pasivos ambientales	355
REFERENCIAS	357

Índice de recuadros

1. Población y medio ambiente

Servicios ambientales de los ecosistemas y bienestar humano	3
La huella ecológica de México	26

2. Ecosistemas terrestres

La vegetación en México	36
La transformación y pérdida de los ecosistemas terrestres mundiales	44
Tasas de deforestación en México	54
ProÁrbol: conservación, recuperación y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas terrestres de México	87
Ordenamientos ecológicos marinos	101

3. Suelos

¿Qué es el suelo y cómo se forma?	113
Los servicios ambientales del suelo	114
¿Es posible recuperar los suelos degradados?	143

4. Biodiversidad

La invasión biológica global	157
Especies invasoras en México: el caso de la palomilla del nopal	161
Crisis global de los anfibios	166
La extinción global	169
Las tortugas marinas mexicanas	173

5. Atmósfera

Inventarios locales de emisiones	194
Lluvia ácida: causas y consecuencias	215
¿Qué motiva el cambio en el clima?	220
Impactos sociales del cambio climático	236
¿Están relacionados el cambio climático y el adelgazamiento de la capa de ozono?	250

6. Agua

Huella hídrica, patrones de consumo y comercio internacional	273
Problemas globales de los ecosistemas marinos	307
Humedales y sitios Ramsar	318

7. Residuos

Impactos de los residuos sobre la población y los ecosistemas	327
Residuos de Manejo Especial	337
El universo de las sustancias químicas	339
La problemática de las pilas y baterías	341
Jales mineros y recortes de perforación	343
Regulación ambiental para los residuos en el país	351

Abreviaturas

AAR	Actividad altamente riesgosa	Conabio	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
ANP	Áreas Naturales Protegidas	Conafor	Comisión Nacional Forestal
APFF	Áreas de protección de flora y fauna	Conanp	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
AIDCP	Agreement on the international dolphin conservation program (Acuerdo sobre el programa internacional de conservación de delfines)	Conapo	Consejo Nacional de Población
APRN	Áreas de protección de los recursos naturales	Conaza	Comisión Nacional de Zonas Áridas
BID	Banco Interamericano de Desarrollo	Coneval	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
CBD	Convention on Biological Diversity (Convenio sobre la Diversidad Biológica)	COT	Compuestos orgánicos totales
CCF	Consumo de capital fijo	Cotecoca	Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero
CDS	Comisión para el Desarrollo Sustentable	COV	Compuestos orgánicos volátiles
CFC	Clorofluorocarbonos	CPCTM	Centros de Protección y Conservación de las Tortugas Marinas
CFE	Comisión Federal de Electricidad	CRETIB	Corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológico-infeccioso
Cemda	Centro Mexicano de Derecho Ambiental	CTADA	Costos totales por el agotamiento y la degradación ambiental
Cenapred	Centro Nacional de Prevención de Desastres	Cytrar	Confinamiento y tratamiento de residuos
CEPAL	Comisión Económica para América Latina	DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
Cespedes	Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable	DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno a cinco días
CH₄	Metano	DET	Dispositivos excluidores de tortugas
CIAT	Comisión Interamericana del Atún Tropical	DGVS	Dirección General de Vida Silvestre
CIESIN	Center for International Earth Science Information Network (Centro para la Red Internacional de Información sobre Ciencias de la Tierra)	DOF	Diario Oficial de la Federación
CIGA	Centro de Información y Gestión Ambiental	DQO	Demanda química de oxígeno
CITES	Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Flora and Fauna (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres)	EA	Emergencias ambientales
CIVS	Centros de Conservación e Investigación de la Vida Silvestre	EIA	Evaluación de Impacto Ambiental
CO	Monóxido de carbono	EMA	Estaciones de monitoreo automático
CO₂	Bióxido de carbono	Enacc	Estrategia Nacional de Cambio Climático
CO_{2e}	Bióxido de carbono equivalente	ENOS	El Niño-Oscilación del Sur
COA	Cédula de Operación Anual	EPA	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)
Comegei	Comité Mexicano para Proyectos de Reducción y Captura de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	ERA	Estudio de riesgo ambiental
		FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)
		Firco	Fideicomiso de Riesgo Compartido
		FNUAP	Fonds des Nations Unies pour la Population (Fondo de las Naciones Unidas para la Población)
		Fomecar	Fondo Mexicano de Carbono
		FRA	Forest Resources Assessment

GDF	Gobierno del Distrito Federal	LGPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
GEF	Global Environment Facility (Fondo para el Medio Ambiente Mundial)	LMD	Límite de mortalidad incidental de delfines
GEI	Gases de efecto invernadero	MAB	Man and the Biosphere Programme (Programa El Hombre y la Biosfera)
GISP	Global Invasive Species Programme (Programa Mundial sobre Especies Invasoras)	MBR	Bromuro de metilo
GEO	Global Environment Outlook (Perspectivas Mundiales sobre el Medio Ambiente)	MCF	Metilcloroformo
GPR	Grado de presión del recurso	MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Agencia Alemana de Tecnología Ambiental)	MEA	Millenium Ecosystem Assessment (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio)
GW	Gigawatt	MN	Monumentos naturales
H₂S	Ácido sulfhídrico	N₂O	Óxido nitroso
HC	Hidrocarburos	NASA	National Aeronautics and Space Administration (Aeronáutica Nacional y Administración Espacial)
HCFC	Hidroclorofluorocarbonos	NH₃	Amoniaco
HFC	Hidrofluorocarbonos	NH₄	Amonio
hm³	Hectómetros cúbicos	NO₂	Bióxido de nitrógeno
IDH PI	Índice de Desarrollo Humano de los Pueblos Indígenas	NO_x	Óxidos de nitrógeno
IDH	Índice de Desarrollo Humano	O₃	Ozono
IEA	International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)	OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
IM	Índice de Marginación	OECD	Organization for Economic Cooperation and Development (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos)
Imeca	Índice Metropolitano de la Calidad del Aire	OEMGC	Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California
INE	Instituto Nacional de Ecología	OET	Ordenamiento Ecológico del Territorio
INEGEI	Inventario Nacional de Emisiones y Gases de Efecto Invernadero	OMS	Organización Mundial de la Salud
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía	ONG	Organización no gubernamental
INEM	Inventario Nacional de Emisiones de México	ONU	Organización de las Naciones Unidas
INFP	Inventario Nacional Forestal Periódico	OPS	Organización Panamericana de la Salud
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático)	PAO	Potencial de agotamiento del ozono
IPN	Instituto Politécnico Nacional	Pb	Plomo
ISSG	Invasive Species Specialist Group (Grupo de especialistas de especies invasoras)	PIB	Producto Interno Bruto
LAU	Licencia Ambiental Única	PECC	Programa Especial de Cambio Climático
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	Pemex	Petróleos Mexicanos
		PFC	Perfluorocarbonos
		PFNM	Productos forestales no maderables
		pH	Potencial de hidrógeno
		Piasre	Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva en zonas de Siniestralidad Recurrente

PIMVS	Predios e Instalaciones que Manejan Vida Silvestre	S	Santuarios
PINE	Producto Interno Neto Ecológico	Sagarpa	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
PM₁₀	Partículas menores a 10 micrómetros	SAO	Sustancias agotadoras del ozono
PM_{2.5}	Partículas menores a 2.5 micrómetros	SCBD	Secretariat of the Convention on Biological Diversity (Secretariado de la Convención sobre Diversidad Biológica)
PN	Parques nacionales	SE	Secretaría de Economía
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo	Sectur	Secretaría de Turismo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente	Sedesol	Secretaría de Desarrollo Social
ppm	Partes por millón	Semar	Secretaría de Marina
PREP	Programas de Recuperación de Especies Prioritarias	Semarnap	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
Procoref	Programa de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales	Semarnat	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Procymaf	Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable de Recursos Forestales	SEP	Secretaría de Educación Pública
Prodefor	Programa de Desarrollo Forestal	SF₆	Hexafluoruro de azufre
Prodeplan	Programa de Plantaciones Forestales Comerciales	SIEIM	Sistema de Información sobre Especies Invasoras en México
Profepa	Procuraduría Federal para la Protección al Ambiente	Simat	Sistema de Monitoreo Atmosférico
Pronare	Programa Nacional de Reforestación	Sinades	Sistema Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Degradación de Recursos Naturales
PSA	Pago por Servicios Ambientales	SIOVM	Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados
PSA-CABSA	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	SARH	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
PSAH	Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos	Sisco	Sistema Informático de Sitios Contaminados
PST	Partículas suspendidas totales	SISSAO	Sistema de Información y Monitoreo de Importaciones, Exportaciones y Producción de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono
PyRE	Parques y Reservas Estatales	SNIB	Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad
RB	Reservas de la Biosfera	SO₂	Bióxido de azufre
RCE	Reducciones certificadas de emisiones	SO_x	Óxidos de azufre
Redda	Red de Depósito Atmosférico	SRA	Secretaría de la Reforma Agraria
RETC	Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes	SS	Secretaría de Salud
RHP	Regiones Hidrológicas Prioritarias	SSSA	Soil Science Society of America (Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo)
RME	Residuos de manejo especial	SST	Sólidos suspendidos totales
RNM	Red Nacional de Monitoreo	Suma	Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre
RP- BI	Residuos peligrosos biológico-infecciosos	TET	Tetracloruro de carbono
RP	Residuos peligrosos	UD	Unidades Dobson
RPM	Regiones Prioritarias Marinas		
RSM	Residuos sólidos municipales		
RSU	Residuos sólidos urbanos		

- IUCN** International Union for Conservation of Nature (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza)
- Uma** Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre
- UNAM** Universidad Nacional Autónoma de México
- UN** United Nations (Naciones Unidas)
- UNCCD** United Nations Convention to Combat Desertification (Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación y la Sequía)
- UNDP** United Nations Development Program (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo)
- UNEP** United Nations Environment Program (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente)
- UNESCO** United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)
- UNFCCC** United Nations Framework Convention on Climate Change (Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático)
- UNFPA** United Nations Population Fund (Fondo de Población de las Naciones Unidas)
- UNICEF** United Nations Children's Fund (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia)
- USCUSS** Uso de suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura
- UV** Ultravioleta
- WBCSD** World Business Council for Sustainable Development (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable)
- WHO** World Health Organization (Organización Mundial de la Salud)
- WMO** World Meteorological Organization (Organización Meteorológica Mundial)
- WRI** World Resources Institute (Instituto de Recursos Mundiales)
- WWAP** World Water Assessment Programme (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos)
- WWF** World Wildlife Fund (Fondo Mundial para la Naturaleza)
- ZMG** Zona Metropolitana de Guadalajara
- ZMM** Zona Metropolitana de Monterrey
- ZMVM** Zona Metropolitana del Valle de México
- ZMVP** Zona Metropolitana del Valle de Puebla
- ZMVT** Zona Metropolitana del Valle de Toluca
- ZPE** Zonas de Preservación Ecológica de los Centros de Población

Presentación

Durante muchos años, los temas ambientales fueron ignorados o considerados secundarios y supeditados al crecimiento económico y al desarrollo social. Por tal motivo, los impactos ambientales del crecimiento demográfico, de la heterogénea distribución de la población, de la expansión de las actividades productivas y de la urbanización fueron poco conocidos y valorados. En consecuencia, no resulta sorprendente que ahora tengamos problemas ambientales que demandan una atención decidida: una buena parte de la cubierta vegetal y de los suelos del país se han perdido o degradado, más de dos mil especies de plantas y animales están en alguna condición de riesgo, numerosos acuíferos se hallan sobreexplotados y la calidad del aire y del agua no es adecuada en varias zonas del país, por citar sólo algunos de los problemas ambientales más conspicuos que hoy enfrentamos como país. A estos, ahora debemos sumar el cambio climático, un fenómeno que compromete seriamente la viabilidad de muchas naciones en el mundo, incluido México.

Afortunadamente, desde hace algunos años se ha empezado a reconocer el valor del capital natural como un elemento fundamental para alcanzar el verdadero desarrollo sustentable, lo cual ha significado el establecimiento de 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. Sin embargo, para el diseño e implementación de estas medidas no basta sólo la buena voluntad de los gobiernos, sino que éstas deben estar sustentadas en información confiable y actualizada acerca del estado del ambiente y de los recursos naturales del país para que den los resultados esperados.

Es en este contexto que cobra importancia El Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, en su edición 2008. Este Informe es parte del esfuerzo de la Semarnat por brindar información ambiental, confiable y oportuna, acerca del estado del medio ambiente y los recursos naturales del país, así como de las acciones efectuadas para su mejoramiento, conservación y manejo. En él se analizan los principales cambios y tendencias en los diversos elementos del ambiente que se han seguido en años recientes. Los grandes temas tratados en el Informe son Población y medio ambiente, Ecosistemas terrestres, Suelos, Biodiversidad, Atmósfera, Agua y Residuos. 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 al Informe. Estos dos productos forman 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. La elaboración del Informe que hoy ponemos en manos del público ha sido posible gracias al trabajo cotidiano y a la participación activa de múltiples áreas de la Semarnat y de otras dependencias del gobierno federal. Este documento es fruto también del esfuerzo que la Semarnat realiza para consolidar el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, base de información confiable y oportuna con la que el sector ambiental no sólo realiza actividades de planeación y evaluación, sino también con la que mantiene informada a la sociedad del país sobre el estado que guardan el ambiente y sus recursos naturales.

Juan Rafael Elvira Quesada
Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Abril 2009

Introducción

La historia y desarrollo de la humanidad se hallan inexorablemente vinculados al estado del medio ambiente. No obstante, muchas naciones del mundo, incluido México, enfrentan actualmente problemas ambientales derivados de su propio desarrollo, algunos de gran importancia y que requieren de soluciones que garanticen el futuro de las generaciones por venir.

Durante mucho tiempo, los temas ambientales carecieron de la importancia que requerían en la agenda de desarrollo de los países. Sin embargo, la combinación de un mejor conocimiento de la situación del medio ambiente y los recursos naturales con los efectos sociales del deterioro ambiental –vistos, por ejemplo, en las enfermedades asociadas a la contaminación del aire, agua y suelos; o la mala calidad y escasez del agua; marcaron la necesidad de considerar el componente ambiental en las políticas de desarrollo.

En México, al igual que en muchos otros países, el interés y reclamo de la sociedad por atender los problemas ambientales confrontó al gobierno con la preocupante realidad de la insuficiencia de conocimiento e información sobre los ecosistemas naturales que permitiera evaluar objetivamente la situación del ambiente y los recursos naturales, los factores que los afectan y el resultado de 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.

Una de las acciones que ha desarrollado la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) en este sentido, ha sido la creación y el desarrollo del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN), que integra de manera organizada información estadística y

geográfica relacionada con el medio ambiente y los recursos naturales del país, así como productos de integración y análisis, como son el Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA) y los informes sobre la situación del medio ambiente, entre otros.

El Informe sobre la Situación del Medio Ambiente en México, en su edición 2008, constituye una obra integral del SNIARN. El Informe está organizado en siete capítulos que abarcan tanto los principales factores que afectan al ambiente como la descripción del estado que guardan los componentes bióticos y abióticos del ambiente: población y medio ambiente, ecosistemas terrestres, suelos, biodiversidad, atmósfera, agua y residuos.

Las tendencias demográficas y las características socioeconómicas de la población mexicana se examinan en el primer capítulo. Además, se hace un análisis de la relación existente entre la población, la economía y el ambiente. En el capítulo dos se describe la situación y los usos de los ecosistemas terrestres en el país, así como los procesos que generan el cambio de uso del suelo (p. e., la deforestación, la degradación de la vegetación y su conversión hacia usos agropecuarios). Al final del capítulo se exponen las medidas y acciones gubernamentales implementadas para la conservación, uso sostenible y recuperación de los ecosistemas terrestres nacionales.

El suelo es el tema del capítulo tres. Además de una breve descripción de los suelos y de sus existencias en el país, se presentan los resultados de las evaluaciones nacionales existentes sobre su pérdida y degradación, los principales procesos que los degradan y se examinan algunos de sus factores causales. Como parte final del capítulo, se expone el tema de la desertificación en regiones especialmente frágiles, como son las zonas áridas, y se muestran algunos avances en la gestión de los suelos.

En el cuarto capítulo se revisa la situación de la biodiversidad en México y sus amenazas más importantes, tanto a nivel de ecosistemas como de especies. Se expone la importancia de los servicios ambientales derivados de la biodiversidad, y, finalmente, las estrategias más importantes desarrolladas para proteger nuestra gran riqueza biológica.

Los temas de la calidad del aire, cambio climático y el adelgazamiento de la capa de ozono se abordan en el capítulo cinco. Se describen 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 las causas, consecuencias y medidas tomadas para enfrentar el cambio climático global y la reducción del espesor de la capa de ozono.

La situación hídrica del país se trata con detalle en el capítulo seis, tanto en términos de la disponibilidad como de la calidad de este vital recurso. Se examina la cobertura de servicios de agua potable y alcantarillado, así como la infraestructura disponible para el tratamiento de las aguas residuales. Es importante mencionar que, por vez primera en la edición del Informe, se ha incluido también la perspectiva ambiental del recurso, es decir, la importancia de los ecosistemas acuáticos –tanto marinos como continentales– para garantizar el aprovisionamiento de los bienes y servicios ambientales que producen, así como las actividades humanas que los amenazan y los instrumentos diseñados e implementados para su conservación.

Finalmente, en el capítulo siete se aborda la problemática de los residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos. El análisis se hace considerando de manera integral su ciclo de vida, es decir, desde su generación hasta su manejo y disposición final.

La descripción de la situación del medio ambiente presentada en el Informe trata 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. En los casos que se consideró relevante, también se ha incluido información dentro del contexto internacional. De manera similar a como se hizo en informes anteriores, 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. Estos textos pueden omitirse en la lectura sin afectar su continuidad, ya que están elaborados para ser revisados de forma independiente por aquellos lectores que tengan intereses particulares.

En el Informe, algunas de 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. Para el público interesado en consultar la información a detalle, en algunos párrafos se han adicionado referencias a los cuadros del Compendio de Estadísticas Ambientales –marcadas en color azul claro– y a los indicadores del Conjunto Básico y Clave –cuya clave aparece resaltada en negritas, ya sea como IB o IC, respectivamente, y acompañada por el logotipo del SNIA en el margen del párrafo en donde aparecen mencionados–. Los cuadros y los indicadores deberán consultarse en el disco compacto anexo a la obra, el cual incluye, además de la versión “html” del Informe, el Compendio de Estadísticas Ambientales y los conjuntos completos de los Indicadores Básicos y Clave. No debe dejar de mencionarse que éstos y otros productos del SNIARN pueden consultarse a través del Internet en la dirección electrónica: (<http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/index-sniarn.aspx>).

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 tanto para que las autoridades ambientales como la sociedad en general tengan una visión integrada 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 no sólo a detener el deterioro ecológico que sufre el país, sino también a promover

un manejo sustentable de los recursos naturales y fomentar una cultura ambiental que contribuya a la conservación de la naturaleza. Esperamos que la información recopilada, tanto en el Informe como en la base de datos estadística y los indicadores del SNIARN, 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 en México.

Capítulo 1. Población y medio ambiente





Población y medio ambiente

En toda la historia de la humanidad, el hombre ha dependido de manera directa o indirecta de la naturaleza para satisfacer todas sus necesidades básicas de alimento, vestido y vivienda. El consumo de agua, plantas, animales y otros servicios que se obtienen de ella, así como la disposición de los residuos producto de sus diferentes actividades, necesariamente han tenido efectos sobre los ecosistemas naturales. Sin embargo, en los últimos dos siglos estos impactos han sido de tal magnitud que han modificado significativamente la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas en el mundo.

A diferencia de muchos otros problemas que enfrentan las sociedades actuales, los ambientales no respetan los límites políticos o administrativos de los países o regiones, por lo que su solución requiere de acciones de carácter local, regional y multinacional. Un ejemplo es el calentamiento global, causado principalmente por las emisiones de gases de efecto invernadero de los países desarrollados y no desarrollados, cuyos efectos se resienten en todo el mundo.

En los últimos dos siglos el impacto humano en los ecosistemas ha sido de tal magnitud que se ha modificado significativamente su estructura y funcionamiento.

El bienestar de la población depende en gran medida de los servicios ambientales que sólo los ecosistemas en buenas condiciones pueden proveer adecuadamente: alimentos, energía, recursos genéticos, control de inundaciones, formación de suelos, regulación de enfermedades, regulación climática y transformación de sus desechos. Por ello, la preservación de los ecosistemas es un tema que rebasa al campo estrictamente ambiental y está siendo incluido en las agendas social, económica y de salud de los diferentes gobiernos del mundo (ver el Recuadro *Servicios ambientales de los ecosistemas y bienestar humano*).

La importancia de incluir a la población en un informe del medio ambiente radica en que muchos de los agentes de presión ambiental, así como las posibles soluciones a su deterioro y la posibilidad de hacer un uso sustentable de los recursos naturales, dependen de las características socioeconómicas de la población ahí asentada.

Además, desde la perspectiva del desarrollo sustentable, la preservación de la naturaleza requiere incorporar el componente humano como un agente más del sistema. En este contexto, la intención de este capítulo, más que ser

una descripción de la población en México y el mundo¹, es resaltar algunas de sus características más importantes que tienen relación directa con el ambiente.

POBLACIÓN

Población mundial

El hombre moderno tiene varios miles de años habitando el planeta, pero su número se había mantenido bajo hasta hace relativamente poco tiempo. Se requirieron varios miles de años para que la población alcanzara la cifra de mil millones de habitantes, lo cual ocurrió en 1804, pero tan sólo 123 años más para llegar a los 2 mil millones

¹La información sobre la población en el mundo puede encontrarse en la página del Fondo de Población de las Naciones Unidas (www.unfpa.org) y sobre la de México en la página del Conapo (www.conapo.gob.mx).

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005) considera a los ecosistemas como un complejo dinámico de elementos abióticos, comunidades de plantas, animales (incluyendo a los humanos) y microorganismos que interactúan como una unidad funcional. Señala que los ecosistemas son el capital natural que, adecuadamente gestionado, genera los servicios ambientales esenciales para el bienestar y el desarrollo de las sociedades humanas (MEA, 2005).

Los servicios ambientales se definen como los beneficios que la población humana obtiene de los ecosistemas. Se agrupan en cuatro categorías: soporte, regulación, provisión y culturales.

Los **servicios de soporte** son la base para la producción de las otras tres categorías y difieren de ellas en que su impacto en la población es indirecto y ocurre después de largos periodos. Estos servicios incluyen:

- a) *Formación de suelo*. Muchos servicios de provisión dependen de su tasa de formación y fertilidad.
- b) *Fotosíntesis*. Produce el oxígeno necesario para el sostenimiento de la vida aerobia en el planeta.
- c) *Ciclos de nutrientes*. Son los movimientos de los nutrientes entre los reservorios biológico, geológico y químico, que los hace estar en diferentes concentraciones en las distintas partes del ecosistema.

d) *Ciclo del agua*. Es el movimiento del agua entre sus fases líquida, sólida y gaseosa.

Los **servicios de regulación** son los beneficios que se obtienen de los procesos de regulación de los ecosistemas. Algunos ejemplos son:

- a) *Regulación de la calidad del aire*. Los ecosistemas emiten (por ejemplo, metano) y extraen químicos de la atmósfera (por ejemplo, bióxido de carbono), lo que influye en muchos aspectos de la calidad del aire.
- b) *Regulación climática*. Los ecosistemas influyen en el clima local, regional y global. Los cambios en la cubierta vegetal afectan la temperatura, humedad relativa y precipitación, entre otras variables, además de que secuestran o emiten gases de efecto invernadero.
- c) *Regulación del agua*. Los cambios en la cubierta vegetal influyen en la periodicidad y magnitud de los escurrimientos, inundaciones y recarga de acuíferos.
- d) *Regulación de la erosión*. La vegetación tiene un papel importante en la retención del suelo y en la prevención de deslizamientos de tierra.
- e) *Purificación y tratamiento de agua*. Los ecosistemas filtran y descomponen los compuestos químicos a través de procesos que se realizan en el suelo y subsuelo.
- f) *Regulación de enfermedades*. Los cambios en los ecosistemas pueden regular la abundancia

y distribución de patógenos que afectan a los humanos, como el cólera; y de sus vectores, como los mosquitos que transmiten la malaria, fiebre amarilla o dengue.

g) *Regulación de los riesgos naturales*. La presencia de ciertos ecosistemas (como los manglares y los arrecifes de coral) reduce el daño causado por los huracanes o inundaciones en las zonas cercanas a la costa.

Los **servicios de provisión** son los productos obtenidos de los ecosistemas. Incluyen:

a) *Alimentos*. Todos los productos alimenticios derivados de plantas, hongos, animales y microorganismos.

b) *Fibras*. Materiales como algodón, seda, lana, etc.

c) *Combustibles*. Maderas, excretas y otros materiales biológicos que sirven como fuente de energía.

d) *Recursos genéticos*. Genes e información genética usada en el mejoramiento animal, vegetal y la biotecnología.

e) *Medicamentos naturales, compuestos químicos y farmacéuticos*. Muchos medicamentos, biocidas y aditivos para alimentos se obtienen de las especies que forman parte de los ecosistemas.

f) *Recursos ornamentales*. Son productos como las pieles, conchas, flores o plantas usadas en partes o completas, para la elaboración de vestidos, joyas y adornos, entre otros productos.

Los **servicios culturales** son los beneficios no materiales que la gente obtiene de los ecosistemas a través de un enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, reflexión, recreación y experiencias estéticas. Estos servicios incluyen:

a) *Diversidad cultural*. La diversidad de los ecosistemas es uno de los factores que influye en la diversidad de las culturas. Muchas de ellas otorgan un valor no material al mantenimiento de sus paisajes o especies significativas.

b) *Valor espiritual y religioso*. Muchas religiones atribuyen valor espiritual a los ecosistemas o sus componentes.

c) *Valor educativo y científico*. Los ecosistemas, sus componentes y procesos proveen las bases para la educación formal e informal en muchas sociedades.

d) *Valor estético y de inspiración*. Los escenarios naturales pueden ser la fuente de inspiración de manifestaciones artísticas, folclóricas e incluso, pueden ser el origen de símbolos nacionales.

e) *Recreación y ecoturismo*. Los paisajes naturales brindan oportunidades de apreciación y disfrute con fines de esparcimiento.

Muchos de estos servicios están íntimamente conectados, por ejemplo, la producción de biomasa se relaciona directamente con la fotosíntesis, o los ciclos de nutrientes con el ciclo del agua. Por ello, la modificación

en un servicio repercute en el resto del sistema biológico. Incluso, algunos de ellos pueden caer en dos categorías, por ejemplo, la regulación de la erosión se puede clasificar dentro de los servicios de soporte o de regulación, dependiendo de la escala de tiempo y de su impacto en la población humana. Otro caso es el agua, que puede ser un servicio de provisión o de soporte debido a que es indispensable para la existencia de la vida.

Si bien la intervención humana ha potenciado los beneficios de los servicios ambientales e incrementado la calidad de vida de muchas personas, cada vez es más evidente que también ha debilitado la capacidad de los

ecosistemas para producir estos servicios, lo que disminuye considerablemente las perspectivas de un desarrollo sustentable y del bienestar humano³, introduciendo además profundas desigualdades ecológico-distributivas entre las distintas regiones del planeta.

Referencias:

PNUMA. GEO4: *Perspectivas del medio ambiente mundial. Medio ambiente para el desarrollo*. Dinamarca. 2007.

MEA. *Ecosystems and human well-being: Synthesis report*. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. Washington, DC. 2005.

González, J.A., C. Montes, I. Santos y C. Monedero. *Invirtiendo en capital natural: un marco para integrar la sostenibilidad natural a las políticas de cooperación*. *Ecosistemas* 17: 52-69. 2008.

³El bienestar humano es el estado en que los individuos tienen la capacidad y la posibilidad de tener la vida que consideran satisfactoria. Implica que las personas tengan la libertad para tomar las decisiones y actuar con base en su seguridad personal y ambiental, buena salud, paz social y el acceso a bienes materiales necesarios para llevar una vida digna. El lado opuesto es la pobreza, que se define como una marcada disminución de los componentes del bienestar humano.

en 1927. En 1972, 45 años después, la población mundial volvió a duplicarse debido principalmente a la disminución en la tasa de mortalidad por el uso de vacunas, antibióticos e insecticidas que se inició a mediados de los años cincuenta. Esta tendencia de crecimiento se mantuvo y a finales del siglo XX ya se habían rebasado los 6 mil millones de habitantes en el planeta. La División de Población de las Naciones Unidas (UN, 2008) prevé que la población mundial seguirá aumentando para alcanzar más de 9 mil millones en el año 2050 (Figura 1.1). Este crecimiento ha ocasionado, por supuesto, que la densidad poblacional y la

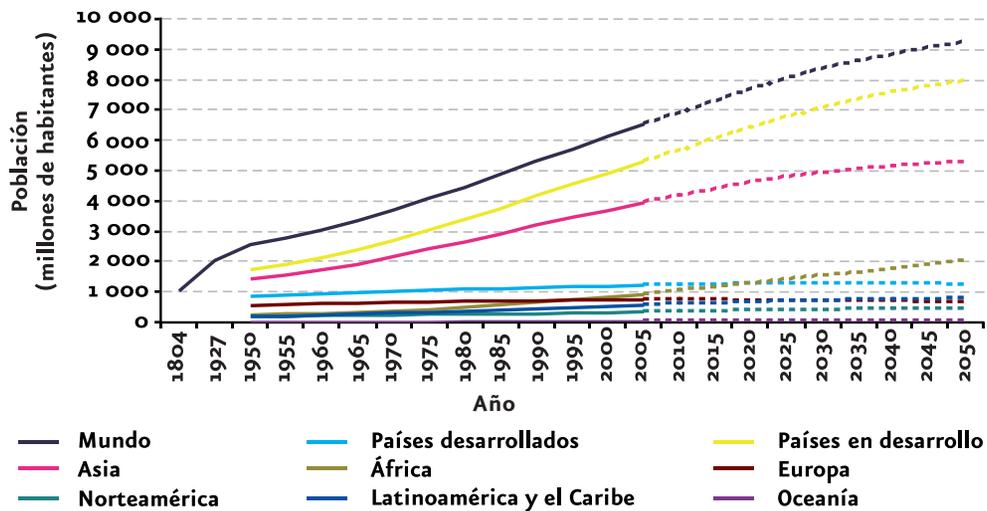
Se estima que en el año 2050, la población mundial será de 9 mil millones de personas con una densidad poblacional de 68 habitantes/km².

ocupación de territorios también se incrementa y, con ello, la presión sobre los ecosistemas naturales. En 1950, la densidad promedio mundial fue de 19 habitantes/km², en 2000 se alcanzó el valor de 45 habitantes/km², y se estima que en el año de 2050 llegue a 68 habitantes/km² (Figura 1.2).

En 2005, la mayor parte de la población mundial (81.3%) se concentraba en los países menos desarrollados, siendo además los que experimentaron las mayores tasas de fertilidad global (2.8 niños por mujer contra 1.6 en los países desarrollados) y la mayor densidad poblacional (64

Figura 1.1

Población mundial por región y grado de desarrollo, 1804 - 2050¹



Nota:

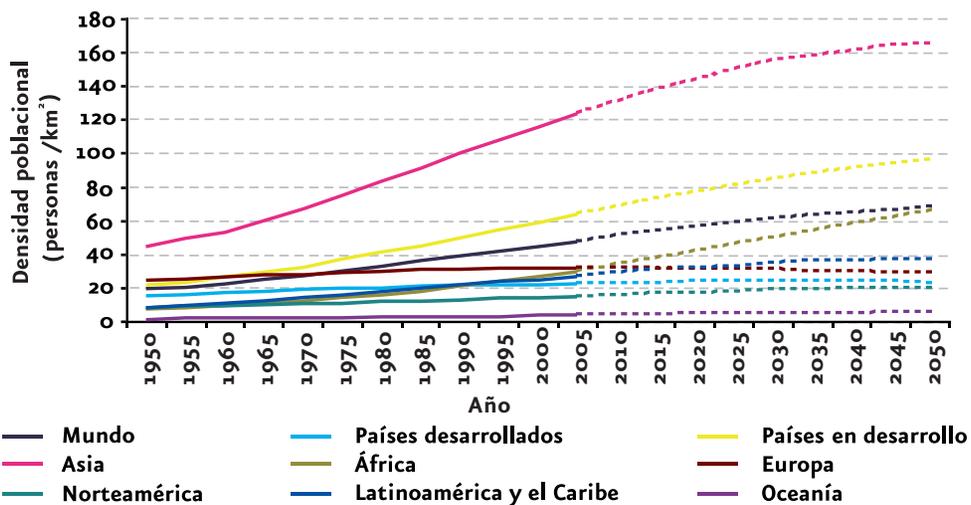
¹Las líneas discontinuas representan proyecciones.

Fuente:

UN. *World Population Prospects: The 2006 Revision. Population Database*. Population Division of Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat. Disponible en: <http://esa.un.org/unpp/> Fecha de consulta: 15-10-2008.

Figura 1.2

Densidad poblacional mundial por región y grado de desarrollo, 1950 - 2050¹



Nota:

¹Las líneas discontinuas representan proyecciones.

Fuente:

UN. *World Population Prospects: The 2006 Revision. Population Database*. Population Division of Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat. Disponible en: <http://esa.un.org/unpp/> Fecha de consulta: 15-10-2008.

habitantes por km²). Las proyecciones indican que en 2050, su población alcanzará alrededor de 8 mil millones de habitantes (86.5% de la población mundial).

El incremento poblacional trae consigo la demanda de una mayor cantidad de recursos básicos como alimentos, agua y materias primas, lo que presiona fuertemente su disponibilidad en la naturaleza y favorece el deterioro de los ecosistemas de donde se extraen. Por ejemplo, la producción de carne que se requería para satisfacer la demanda de los países en desarrollo pasó de 27 a 147 millones de toneladas entre 1970 y 2005 (FAO, 2007), lo que implicó la destrucción y sustitución de enormes superficies de selvas y bosques para dedicarlos a la crianza y alimentación del ganado.

Población de México

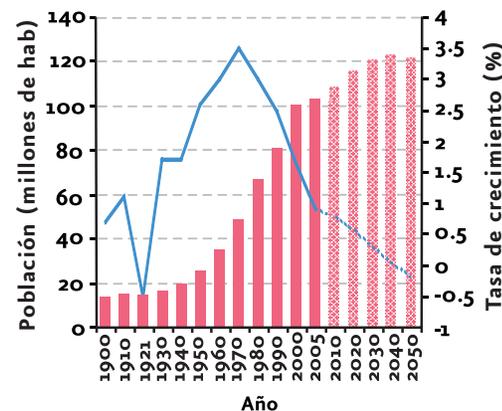
México no ha sido ajeno al crecimiento poblacional mundial ni al impacto de la población en el ambiente. Comenzamos el siglo XXI con una tasa de crecimiento natural semejante a la observada 70 años atrás, pero con un tamaño poblacional siete veces mayor. A mediados de 2006, en México habitaban 104.9 millones de personas: 50.7% de mujeres y 49.3% de hombres.

De acuerdo con los indicadores nacionales de crecimiento poblacional, nos encontramos en una fase avanzada de transición demográfica². Las proyecciones del Consejo Nacional de Población, 2005-2050 (Conapo, 2006a) señalan que el crecimiento poblacional seguirá hasta llegar a 108.4 millones en 2010 y 120.9 millones en 2030. Según estas estimaciones, la población del país comenzará a decrecer por primera vez desde el fin de la Revolución Mexicana (1921) a partir del año 2042 (Figura 1.3).

A mediados de 2006, en México habitaban 104.9 millones de personas: 50.7% de mujeres y 49.3% de hombres.

Figura 1.3

Población y tasa de crecimiento poblacional en México, 1900 - 2050¹



■ Población — Tasa de crecimiento

Nota:

¹Las líneas y barras discontinuas representan proyecciones.

Fuente:

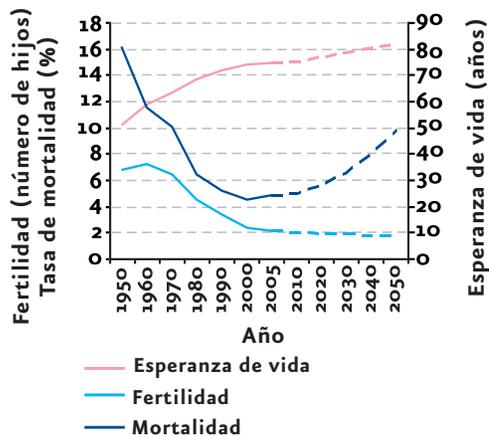
Conapo. Proyecciones de la Población de México 2005-2050. México, 2006. Disponible en: www.conapo.gob.mx/publicaciones/indice2005.htm Fecha de consulta: 12-09-08.

La disminución proyectada de la población mexicana es consecuencia de varios factores, pero el más importante es el mantenimiento de la reducción de la fecundidad que comenzó hace más de 30 años. Durante la década de los 70, el promedio de hijos por mujer era de 6.4; mientras que en 2005 ya fue de sólo 2.2. Otro componente es el incremento paulatino de la tasa de mortalidad a partir de los primeros años del siglo XXI, la cual se espera que pase de 5% en 2010 a 6.8% en 2050. El incremento de la población está relacionado con los avances en salud pública que han permitido que la esperanza de vida se incremente de 74.6 años en 2005 (72.2 en hombres y 77 en mujeres) a 78.8 años en 2030 (76.6 y 81 años respectivamente; Figura 1.4).

²La transición demográfica es el cambio de un régimen de niveles altos de mortalidad y fecundidad hacia niveles bajos y controlados.

Figura 1.4

Fertilidad, mortalidad y esperanza de vida de la población mexicana, 1950 - 2050¹



Nota:

¹Las líneas discontinuas representan proyecciones.

Fuente:

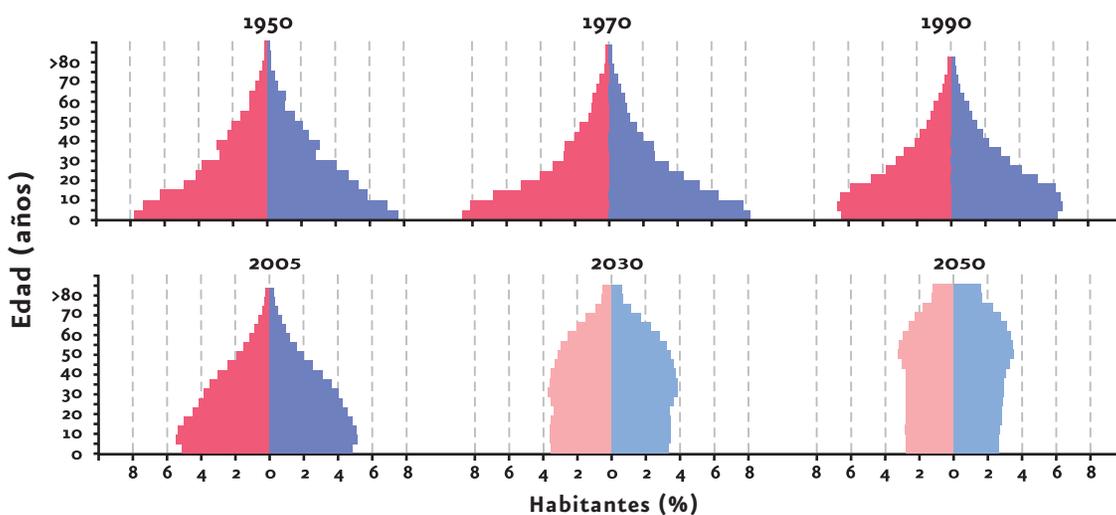
Conapo. Proyecciones de la Población de México 2005-2050. México. 2006. Disponible en: www.conapo.gob.mx/publicaciones/indice2005.htm Fecha de consulta: 12-09-08.

Los cambios en la estructura y composición de la población forman parte de la transición demográfica que vive el país. Cada vez es menor la proporción de niños, y se está incrementando la de jóvenes y adultos mayores. La proyecciones muestran que la proporción relativa de niños en edades preescolares (0 a 5 años) se reducirá de 12.2% en 2005 a 8.2% en 2030 y 6.6% en 2050. En cambio, la población en edad productiva (15 a 65 años) y los adultos mayores de 65 años, representarán proporciones cada vez más altas de la población. Con el envejecimiento poblacional, la edad promedio de la población que en 2005 fue de 28 años, pasará a 36.7 en 2030; y a 42.7 en 2050 (Figura 1.5).

La transición demográfica actual está generando una relación positiva entre la población en edades dependientes (niños y adultos mayores) y la de edades productivas. Esta relación se mide por la

Figura 1.5

Pirámides de edad en México, 1950 - 2050¹



Nota:

¹ Los datos de 2030 y 2050 representan proyecciones.

Fuentes:

INEGI. Censos de Población y Vivienda, 1950 a 2000. México. Conapo. Proyecciones de la población de México 2005-2050. México. 2006. Disponible en: www.conapo.gob.mx/publicaciones/indice2005.htm Fecha de consulta: 12-09-08.

■ Hombres ■ Mujeres

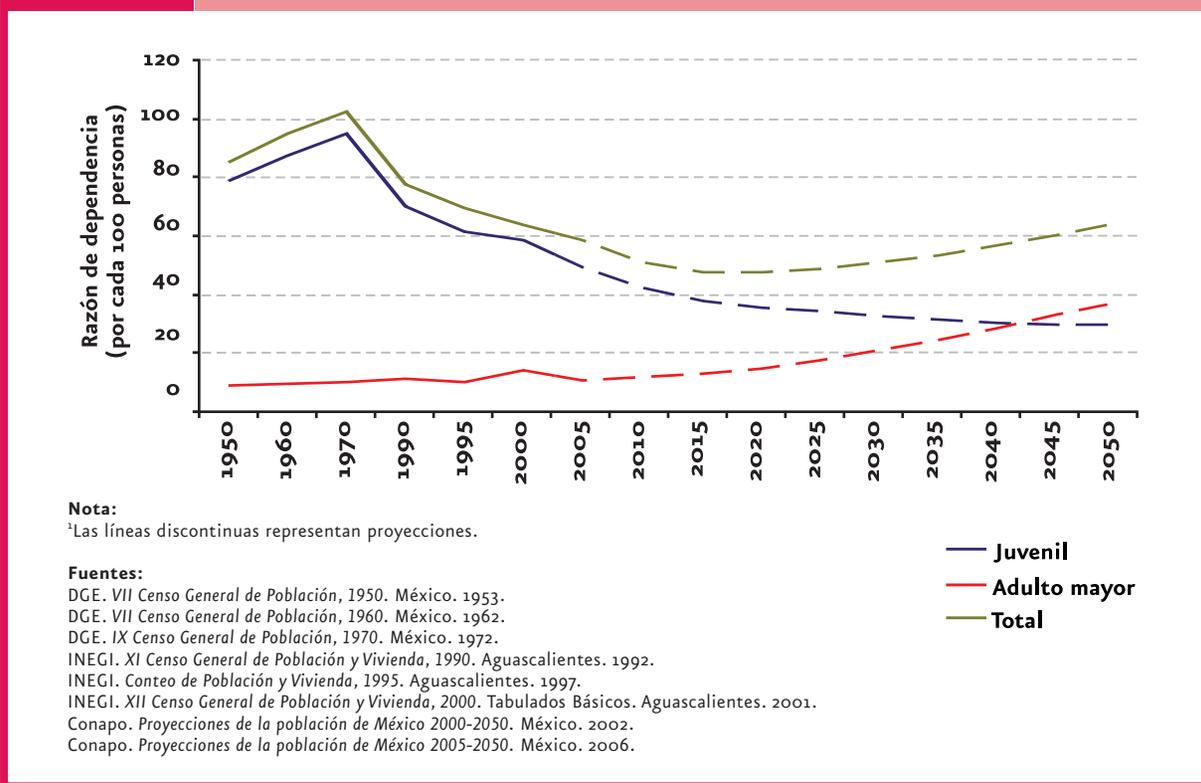
razón de dependencia³; la cual señala que en los próximos años habrá menos personas dependientes y más personas potencialmente productivas. Por ejemplo, en 1950 había 83 personas dependientes por cada 100 en edad productiva; para 1970, el número de dependientes ya era de 108 por cada 100 productivas. Sin embargo, con el descenso en la fecundidad, la razón de dependencia total invirtió su tendencia y disminuyó a 78 dependientes en 1990 y a 61.3 en el 2000. A este cambio se le denomina “bono demográfico” porque es el momento dentro de las proyecciones poblacionales de un país en que habrá mayor cantidad de personas productivas. Este bono permanecerá hasta casi mediados del siglo XXI, alcanzando su condición más ventajosa

alrededor de 2020. Posteriormente, la razón de dependencia aumentará por la acumulación de adultos mayores que entrarán a la categoría de personas dependientes (Figura 1.6).

De manera paralela a los cambios numéricos en la población mexicana, se registran cambios en su distribución geográfica. La tendencia actual es la de una urbanización acelerada a costa de la transformación de los ecosistemas locales. En el año 1900, aproximadamente 75% de la población habitaba en localidades rurales⁴ distribuidas a lo largo de todo el territorio nacional; en 2005 sólo 23.5% permanecía en esta categoría, de tal manera que ahora dos terceras partes de la población se concentran en una centena de ciudades.

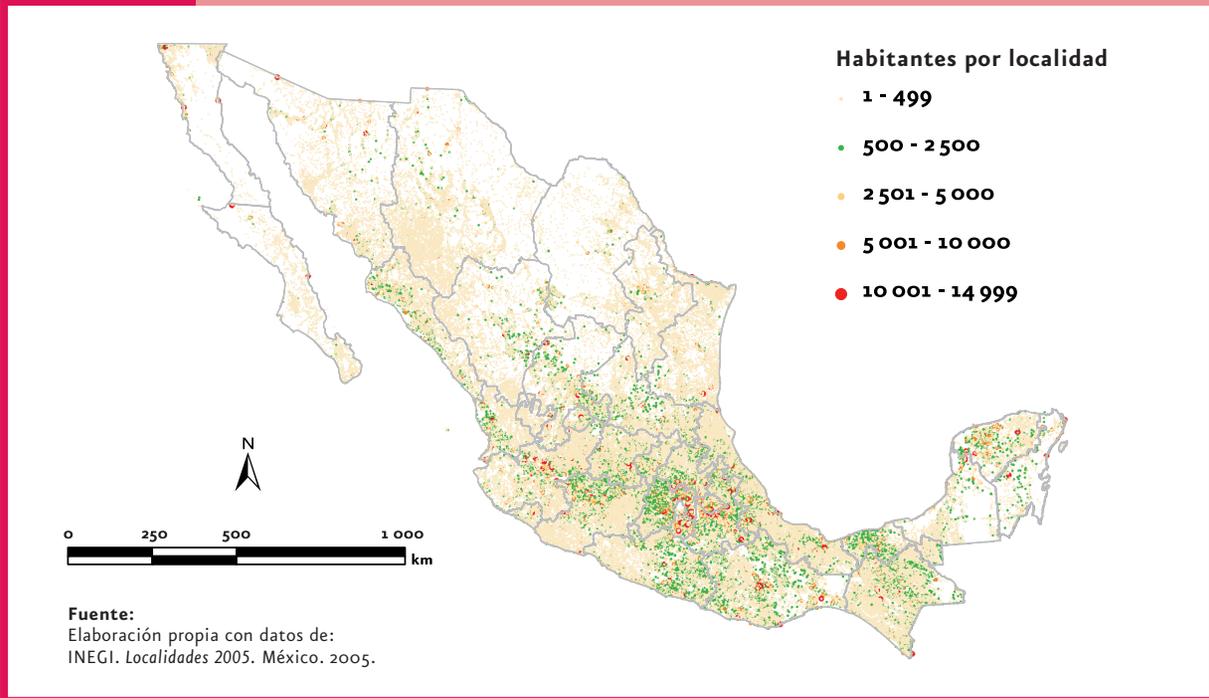
Figura 1.6

Razón de dependencia juvenil, adulto mayor y total en México, 1950 - 2050¹



³La razón de dependencia tiene dos componentes: la dependencia juvenil que es el cociente de dividir a la población menor de 15 años entre la población en edad laboral (15 a 64 años); y la de adulto mayor, que es el resultado de dividir a la población de 65 años o más entre la de edad laboral. La razón de dependencia total es la suma de ambos indicadores.

⁴Las poblaciones rurales son asentamientos humanos de menos de 2 mil 500 habitantes; en las mixtas o en transición rural-urbana residen entre 2 mil 500 y 14 mil 999; y en las urbanas, 15 mil habitantes o más (Ansaldo-Gómez y Rivera-Vázquez, 2006).

Mapa 1.1**Distribución de las localidades con menos de 15 mil habitantes, 2005**

En 2005 se contabilizaron casi 185 mil localidades rurales que, en suma, tenían 24.58 millones de habitantes: 43% se ubicaba en zonas cercanas a carreteras, 25% en la periferia de centros de población más grandes y el resto (32%) se encontraba alejado de ciudades y de vías de comunicación transitables todo el año (Mapa 1.1). Esta condición de aislamiento dificulta las oportunidades de desarrollo económico y el abastecimiento de los servicios básicos de educación, salud, agua potable, saneamiento, energía eléctrica y telefonía, lo cual se relaciona directamente con los elevados índices de marginación encontrados en estas localidades y con el incremento en su vulnerabilidad.

En 2005, las poblaciones urbanas mexicanas estaban organizadas en 363 ciudades: 273 ciudades pequeñas de entre 15 mil y 100 mil

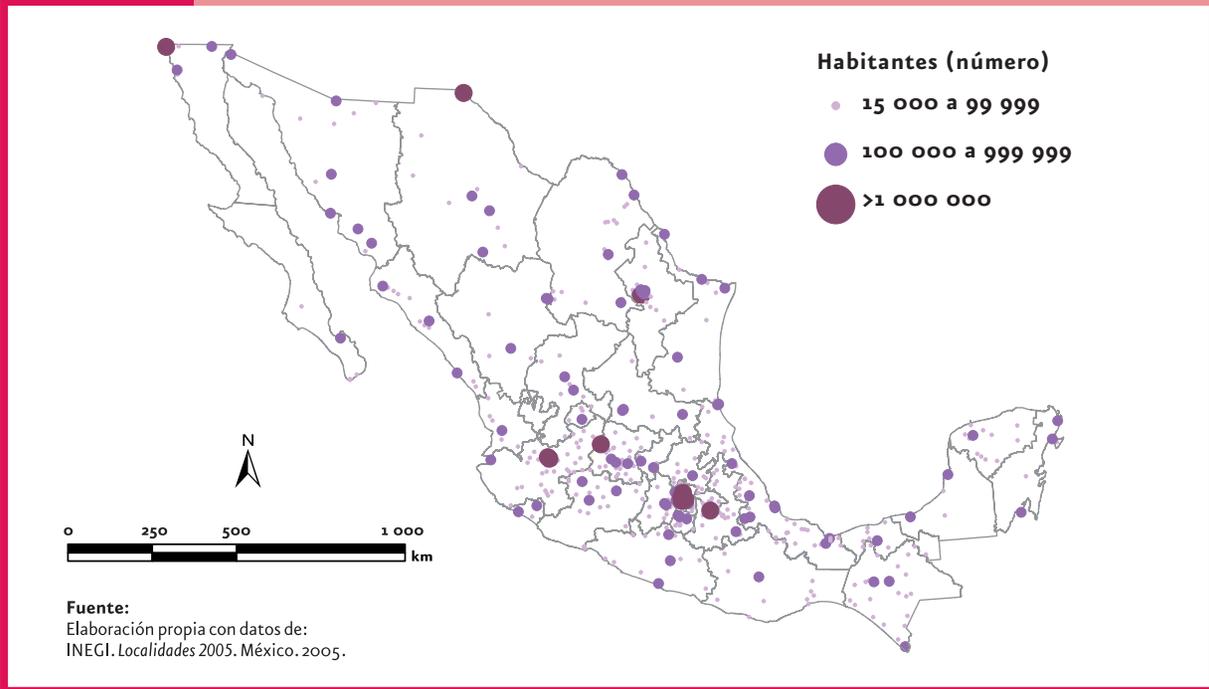
habitantes (donde habitaba menos de 9% de la población total del país), 81 ciudades medias con población entre 100 mil y un millón de habitantes (donde residía cerca de 27% de la población) y nueve grandes zonas metropolitanas con más de un millón de habitantes (en las que se concentró aproximadamente 35% de la población del país; 36.1 millones). Entre estas últimas destacan las zonas metropolitanas del Valle de México (ZMVM, 19.2 millones), Guadalajara (4.1 millones) y Monterrey (3.7 millones; Mapas 1.2 y 1.3).

La excesiva concentración de personas en las zonas urbanas y sus necesidades económicas y laborales frecuentemente tiene consecuencias negativas en el ambiente, más allá de su delimitación geográfica y política. Por ejemplo, los precursores de lluvia ácida (NO_x y SO_2) que se emiten en las zonas industriales del norte de la ZMVM son arrastrados por los vientos

En 2005, en México había casi 185 mil localidades rurales y 363 zonas urbanas: 273 ciudades pequeñas, 81 ciudades medianas y 9 grandes zonas metropolitanas.

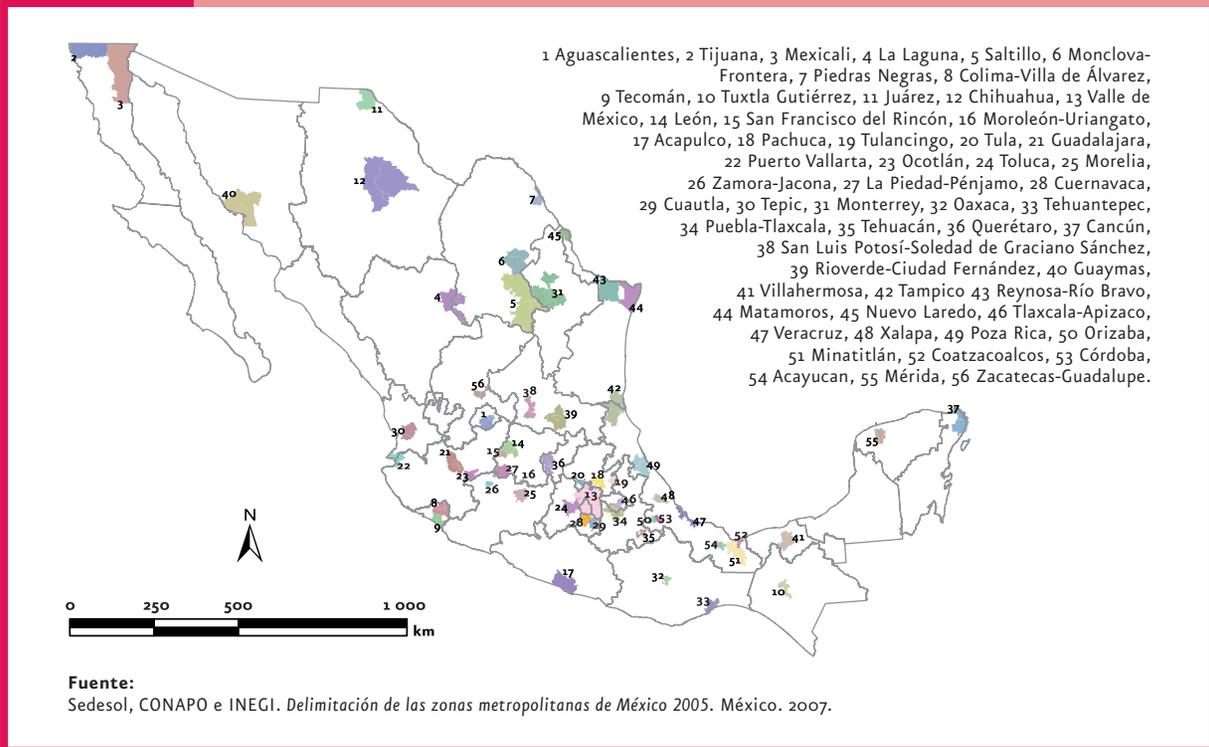
Mapa 1.2

Distribución de las localidades con más de 15 mil habitantes, 2005



Mapa 1.3

Zonas metropolitanas de México, 2005



dando lugar a la precipitación pluvial con mayor acidez en las zonas agrícolas y forestales del sur y poniente del Valle de México (Velasco-Saldaña et al., 2002).

Otra consecuencia de la heterogénea distribución de la población en México se da en la disponibilidad de agua. Aunque el grado de presión sobre este recurso es de 17% a nivel nacional (lo cual se considera en la clasificación internacional como de nivel moderado); en las regiones Centro, Norte y Noreste, donde se concentra la mayor parte de la población y la actividad económica del país, la presión alcanza 47%, que es un grado considerado como fuerte, lo que ha ocasionado la sobreexplotación de sus fuentes de abastecimiento de agua (en 2007 15% de los acuíferos del país estaban sobreexplotados; Conagua, 2008). En zonas donde existe sobreexplotación de los acuíferos, ha sido necesario importar agua de otros sitios, como en el caso de la Ciudad de México, en donde para satisfacer las necesidades de la población es necesario traer el agua desde los estados de México, Guerrero y Michoacán.

DESCRIPCIÓN SOCIOECONÓMICA DE LA POBLACIÓN MEXICANA

De la misma manera que las variables relacionadas con la edad y la distribución geográfica de la población mexicana presentan una alta heterogeneidad, las variables socioeconómicas muestran también diferencias muy importantes a lo largo del país. Las variables que se utilizan en este informe son: Índice de Desarrollo Humano (IDH), Índice de Marginación (IM) y la situación de pobreza.

Índice de Desarrollo Humano (IDH)

El IDH fue desarrollado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

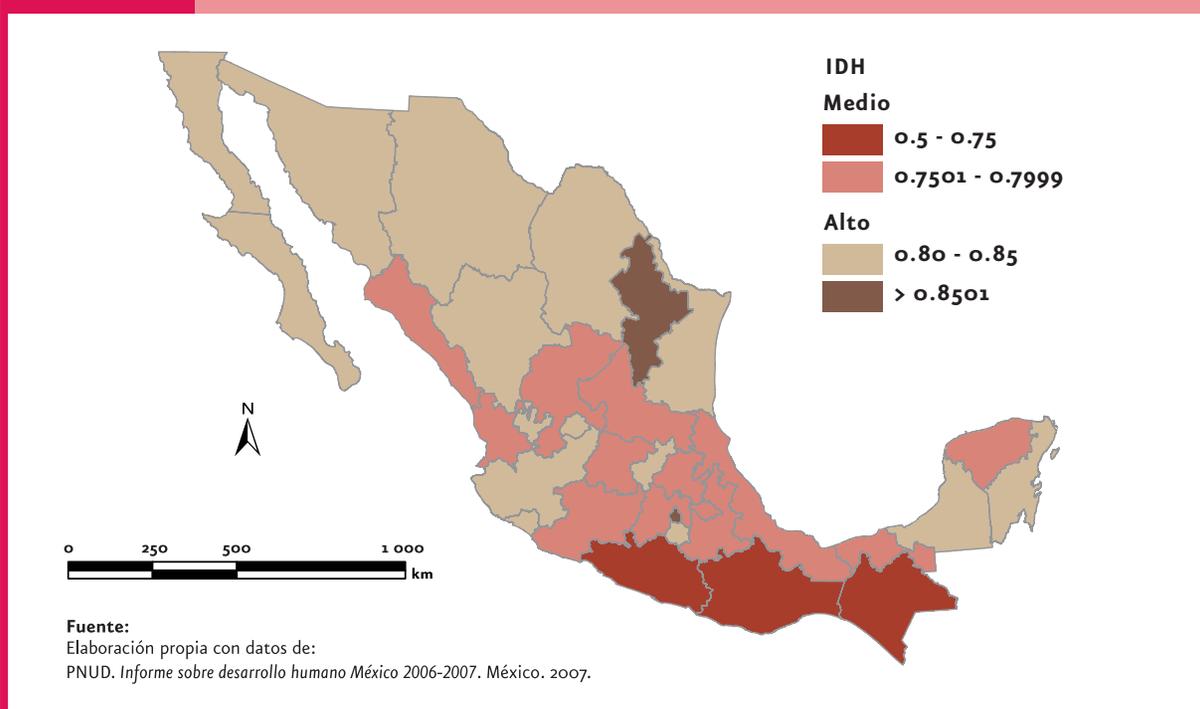
(PNUD) y clasifica a los países o regiones en función de tres aspectos básicos de la población: salud, educación e ingreso. El resultado es un valor entre 0 y 1 que agrupa tres categorías: IDH bajo, con valores menores a 0.5; IDH medio, entre 0.5 y 0.79; e IDH alto, entre 0.8 y 1 (PNUD, 2007a).

El primer informe sobre IDH en México fue publicado en 2003 con datos del año 2000. En ese año, el IDH nacional fue de 0.794, el cual se ha incrementado ligeramente desde entonces: en el año 2001 fue de 0.7962; en 2002, de 0.7986 y en 2003 de 0.8003. En la evaluación más reciente publicada en 2007 con datos del 2004, se estimó en 0.8031. Este valor se encuentra ligeramente por arriba del límite que separa a los países de IDH alto del resto del mundo. Sin embargo, este valor enmascara una considerable desigualdad en los niveles de desarrollo entre las diferentes entidades federativas y municipios, e incluso, entre los grupos indígenas y no indígenas.

A nivel entidad federativa, el IDH más alto en 2004 lo tenían el Distrito Federal (0.8837) y Nuevo León (0.8513) y los más bajos, Chiapas (0.7185) y Oaxaca (0.7336) (Mapa 1.4; PNUD, 2007b).

La diferencia en el desarrollo humano nacional se hace más evidente cuando se considera la división política por municipios y delegaciones políticas y la presencia de grupos indígenas. Los valores más recientes de IDH a nivel municipal corresponden a 2005 y fueron publicados en 2008. La delegación Benito Juárez en el Distrito Federal, y los municipios de San Pedro Garza García en Nuevo León y San Sebastián Tutla, en Oaxaca, tienen el IDH más alto del país (0.9509, 0.95, 0.9204, respectivamente), mientras que cuatro municipios se encontraron en el grupo de IDH bajo: Tehuipango (Veracruz, 0.4985), Coicoyán de las Flores (Oaxaca, 0.4768), Batopilas (Chihuahua, 0.4734) y Cochoapa el Grande (Guerrero, 0.4354; Mapa

En el año 2005, 606 municipios tenían IDH alto; mil 844, IDH medio; y cuatro, IDH bajo. El IDH municipal más alto se registró en la delegación Benito Juárez, en el Distrito Federal (0.9509) y el más bajo en Cochoapa el Grande, Guerrero (0.4354).

Mapa 1.4**Índice de Desarrollo Humano (IDH) por entidad federativa, 2004**

1.5). Los municipios de IDH alto se encuentran en el mismo rango de valores que los de países desarrollados como Estados Unidos, Dinamarca, Reino Unido o Nueva Zelanda. En el extremo de IDH bajo, los municipios antes señalados son comparables a países del África subsahariana como Eritrea, Nigeria, Angola o Zambia. La entidad federativa que tiene la menor diferencia en el desarrollo humano entre sus municipios es Baja California, y la de mayor diferencia es Oaxaca (Figura 1.7; PNUD, 2008).

México es un país multicultural y pluriétnico en donde se hablan 68 agrupaciones lingüísticas (DOF, 2008) y viven alrededor de 10.2 millones de personas indígenas (CDI-PNUD, 2006). En 2006 se publicó el Primer Informe sobre Desarrollo Humano de los Pueblos Indígenas (IDH PI, con datos del año 2000), el cual reporta para este sector de la población un valor de 0.7057, muy por debajo del valor promedio nacional del año 2000 (0.794). Cabe señalar que aun dentro de la propia población

indígena existen grandes diferencias entre grupos y regiones (CDI-PNUD, 2006). El lugar de residencia y la pertenencia étnica se reflejan en los valores de IDH PI registrados en el país. En 11 municipios con mayoría de población indígena, el IDH PI estimado se encuentra por debajo de 0.5. Coicoyán de las Flores, en la región Mixteca de Oaxaca, tiene el IDH PI más bajo de todas las demarcaciones territoriales del país (0.4455). Coicoyán es un municipio rural con más de 98% de población indígena. La principal actividad económica es la agricultura de subsistencia y sólo una pequeña parte de la población económicamente activa se dedica al comercio y las artesanías. En el otro extremo, la delegación Benito Juárez en el Distrito Federal registró el IDH PI más alto del país, con 0.9242. En el año 2000, la población indígena de esta demarcación era superior a 10 mil personas, pero apenas representaba 2.9% de la población total que la habitaba. A diferencia de los municipios con IDH PI bajo, Benito Juárez es una zona urbana con una elevada calidad de vida (Mapa 1.6).

Mapa 1.5

Índice de Desarrollo Humano (IDH) por municipio, 2005

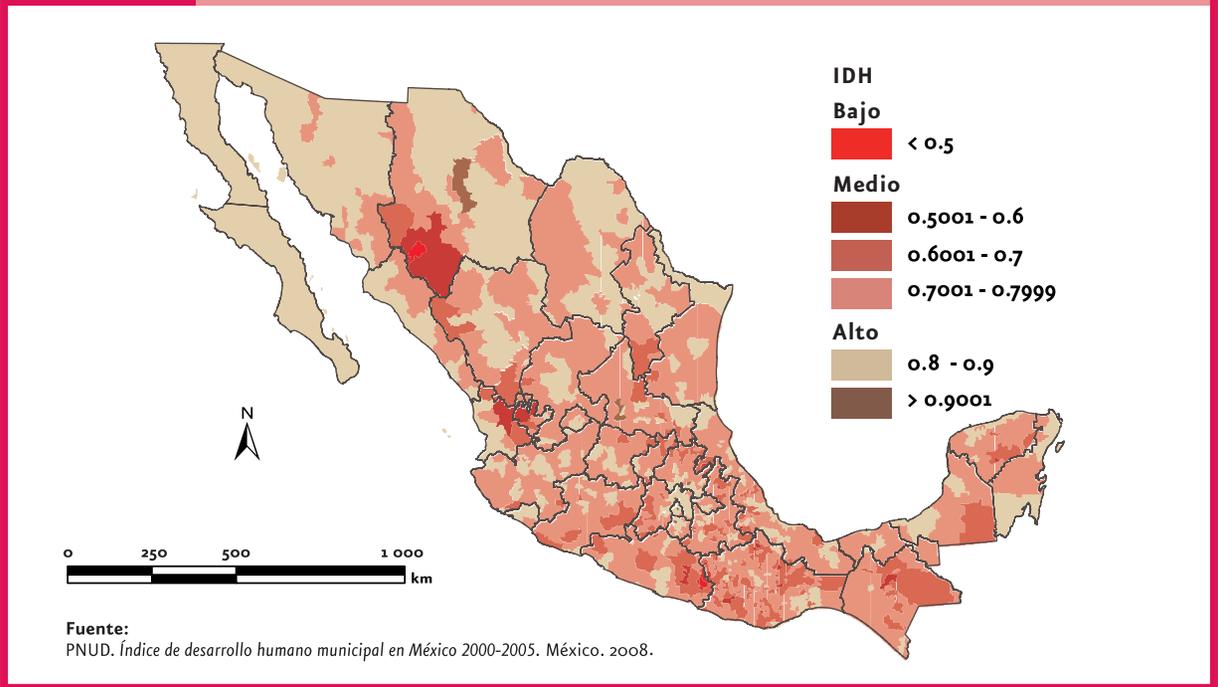
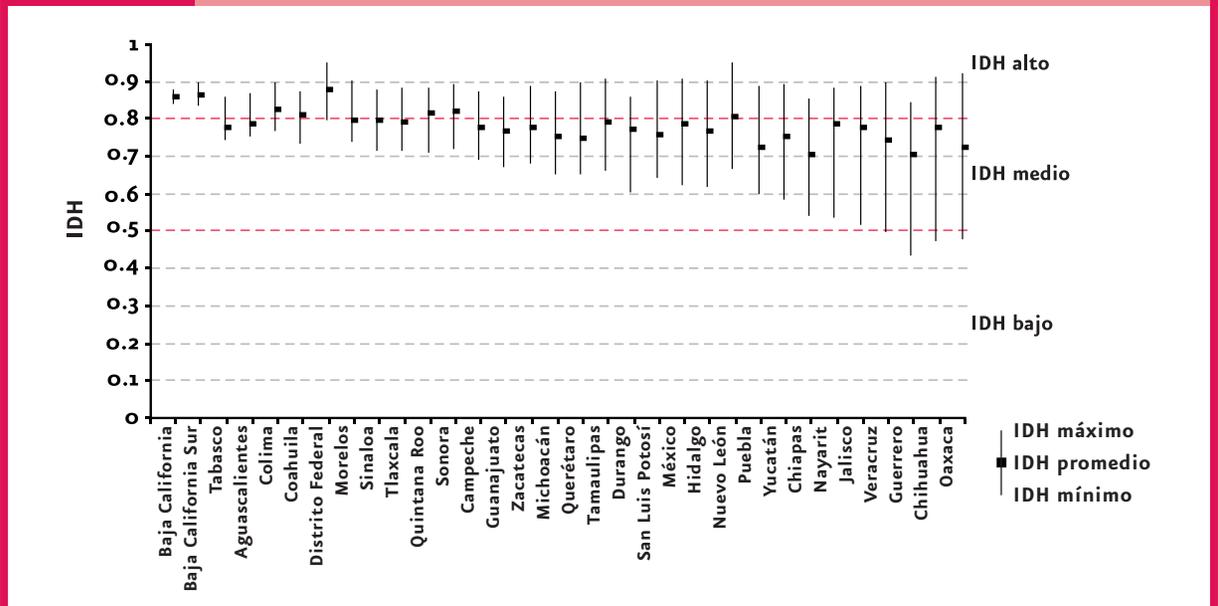


Figura 1.7

Índice de Desarrollo Humano (IDH) municipal¹ y por entidad federativa: valores promedio, máximo y mínimo, 2005



Nota:

¹Los valores representan el promedio, máximo y mínimo del IDH de los municipios de cada entidad federativa.

Fuente:

PNUD. Índice de desarrollo humano municipal en México 2000-2005. México. 2008.

En las zonas en donde se asienta una alta proporción de población indígena se encuentra también una parte importante de los bosques y selvas mejor conservadas del país, así como la parte alta de las cuencas de captación de agua de los principales ríos. Desafortunadamente, las comunidades indígenas han estado frecuentemente excluidas de los modelos nacionales de desarrollo, por lo que no es casualidad que los municipios con mayor índice de marginación y pobreza sean los que presenten menores índices de desarrollo humano.

No obstante, muchos grupos indígenas conservan una gran cantidad de conocimiento tradicional acerca del manejo de los recursos naturales, por lo que es importante que las políticas públicas ambientales consideren explícitamente a este sector de la población en el diseño de políticas encaminadas a alcanzar un desarrollo sustentable.

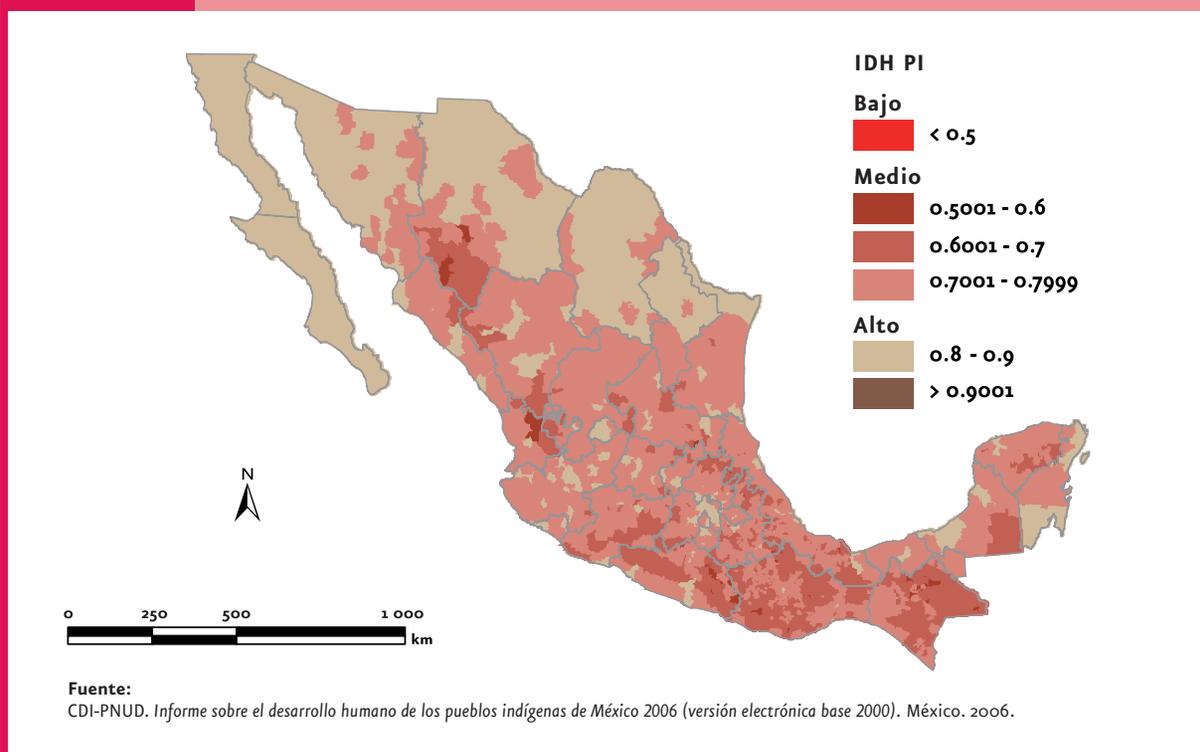
Índice de Marginación (IM)

El IM se diferencia del IDH en que clasifica a la población con base en sus privaciones y carencias en cuanto a educación, vivienda, ingresos y distribución de la población. El cálculo del IM arroja valores positivos y negativos. Entre mayor es el valor del índice, también es mayor el grado de marginación.

El IM de los 2 mil 454 municipios existentes en el país en 2005 confirma la desigualdad mostrada por el IDH. En términos generales, los municipios con menor IDH tienen también el mayor grado de marginación. En ese año, mil 254 municipios tenían grado de marginación alto y muy alto, y en ellos vivían 17 millones de personas (16.5% de la población del país). El conjunto de municipios con grado de marginación medio ascendió a 502, con 11.9 millones de personas (11.6% de la población). Los restantes 698 municipios con 74.3 millones

Mapa 1.6

Índice de Desarrollo Humano de los Pueblos Indígenas (IDH PI) por municipio, 2000



de personas (72% de la población del país), tienen grados de marginación bajo y muy bajo (Conapo, 2006b).

El municipio de reciente creación Cochoapa el Grande, Guerrero, es la unidad político-administrativa con mayor marginación en el país. Su población apenas rebasa las 15 mil personas; 76% de los habitantes de 15 o más años de edad es analfabeta y 88% no terminó la educación primaria; 95% de la población ocupa viviendas con piso de tierra y sin drenaje ni sanitario; seis de cada diez personas habitan viviendas sin energía eléctrica y sin agua entubada; 83% de las viviendas tienen algún grado de hacinamiento; 77% de la población vive en localidades menores a 700 habitantes y 87% de sus trabajadores obtiene ingresos que no sobrepasan dos salarios mínimos.

En 2005, mil 254 municipios tenían grado de marginación alto y muy alto; 502, grado medio; y 698 grado bajo y muy bajo.

El menor grado de marginación del país se encuentra en la delegación Benito Juárez, en el Distrito Federal, donde viven más de 350 mil personas; tan sólo 1% de la población de 15 o más años está en condición de analfabetismo y menos del 0.2% de sus residentes habita en viviendas con piso de tierra o no cuentan con drenaje ni sanitario o energía eléctrica (Mapa 1.7).

Pobreza

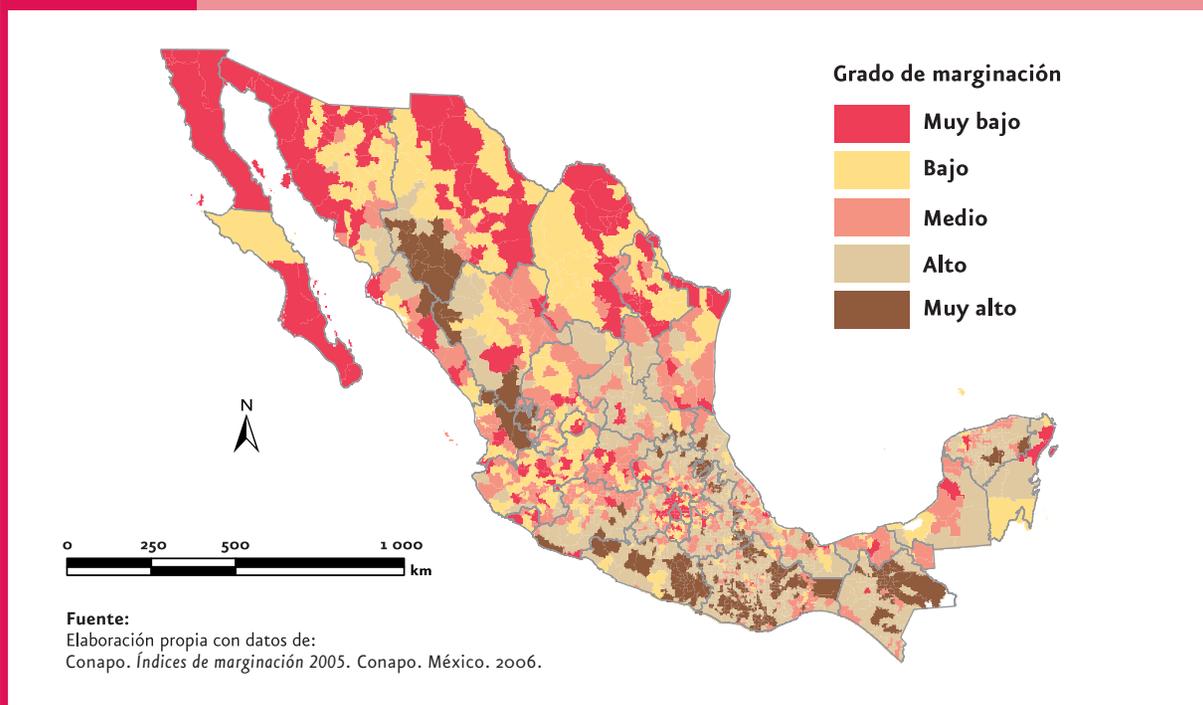
El tercer indicador socioeconómico de la población mexicana es la condición de pobreza.

El Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval) es el organismo oficial encargado de su medición, y la clasifica en tres tipos:

a) *Pobreza de patrimonio*: son los hogares o las personas cuyo ingreso per cápita es insuficiente

Mapa 1.7

Grado de Marginación por municipio, 2005



para cubrir satisfactores indispensables como vivienda, vestido, calzado y transporte público para cada uno de los miembros del hogar. En 2006, el límite de ingreso mensual en el ámbito rural era de mil 86.40 pesos, y en el urbano de mil 624.92 pesos.

El Coneval clasifica a la pobreza por ingresos en: alimentaria, de capacidades y de patrimonio.

b) *Pobreza de capacidades*: son los hogares o las personas cuyo ingreso per cápita es menor al necesario para invertir de manera mínimamente aceptable en la educación y salud de cada miembro del hogar. En 2006, el límite de ingreso mensual en el ámbito rural era 707.84 pesos, y en el urbano de 993.31 pesos.

c) *Pobreza alimentaria*: son los hogares o las personas cuyo ingreso per cápita mensual es menor al necesario para adquirir la canasta básica alimentaria INEGI-CEPAL. En 2006, este límite mensual en el ámbito rural era de 598.7 pesos, y en el urbano de 809.87 pesos.

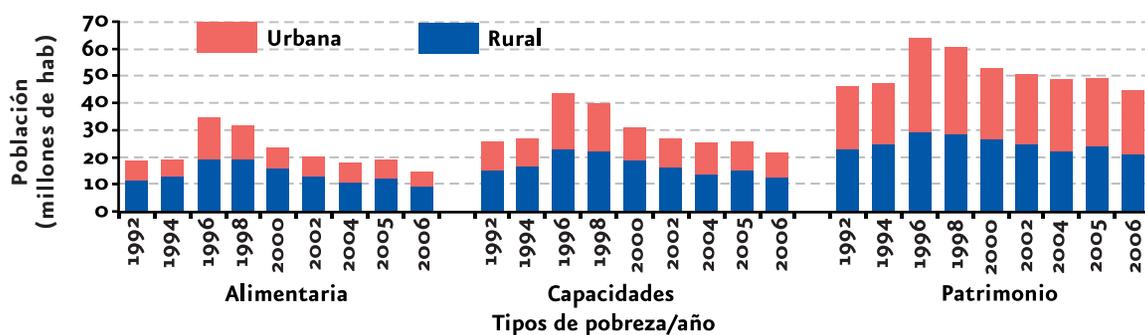
Para 2006, el Coneval estimó que en México había 44.7 millones de personas (42.6% de la población) y 9.4 millones de hogares en situación de pobreza de patrimonio, de los cuales 14.4 millones de personas (13.8% de la población) y 2.8 millones de hogares se encontraban en pobreza alimentaria. La mayoría de estas personas (9.4 millones) y hogares (1.8 millones) se encuentran en zonas rurales.

Para 2006, el Coneval estimó que a nivel nacional había 44.7 millones de personas (42.6% de la población) y 9.4 millones de hogares en situación de pobreza de patrimonio, de los cuales 14.4 millones de personas (13.8% de la población) y 2.8 millones de hogares se encontraban en situación de pobreza alimentaria. La mayoría de estas personas (9.4 millones) y hogares (1.8 millones) se encuentran en zonas rurales (Figura 1.8; Coneval, 2007b).

La medición de la pobreza a nivel municipal en 2005 mostró que existían mil 856 municipios con más de 50% de su población en condición de pobreza de patrimonio (Mapa 1.8a); 780 municipios con más de 50% de su población en condición de pobreza de capacidades (Mapa 1.8b) y 503 municipios con más de 50% de su población en condición de pobreza alimentaria (Mapa 1.8c; Coneval, 2007a).

Figura 1.8

Población rural y urbana según tipo de pobreza en México, 1992 - 2006

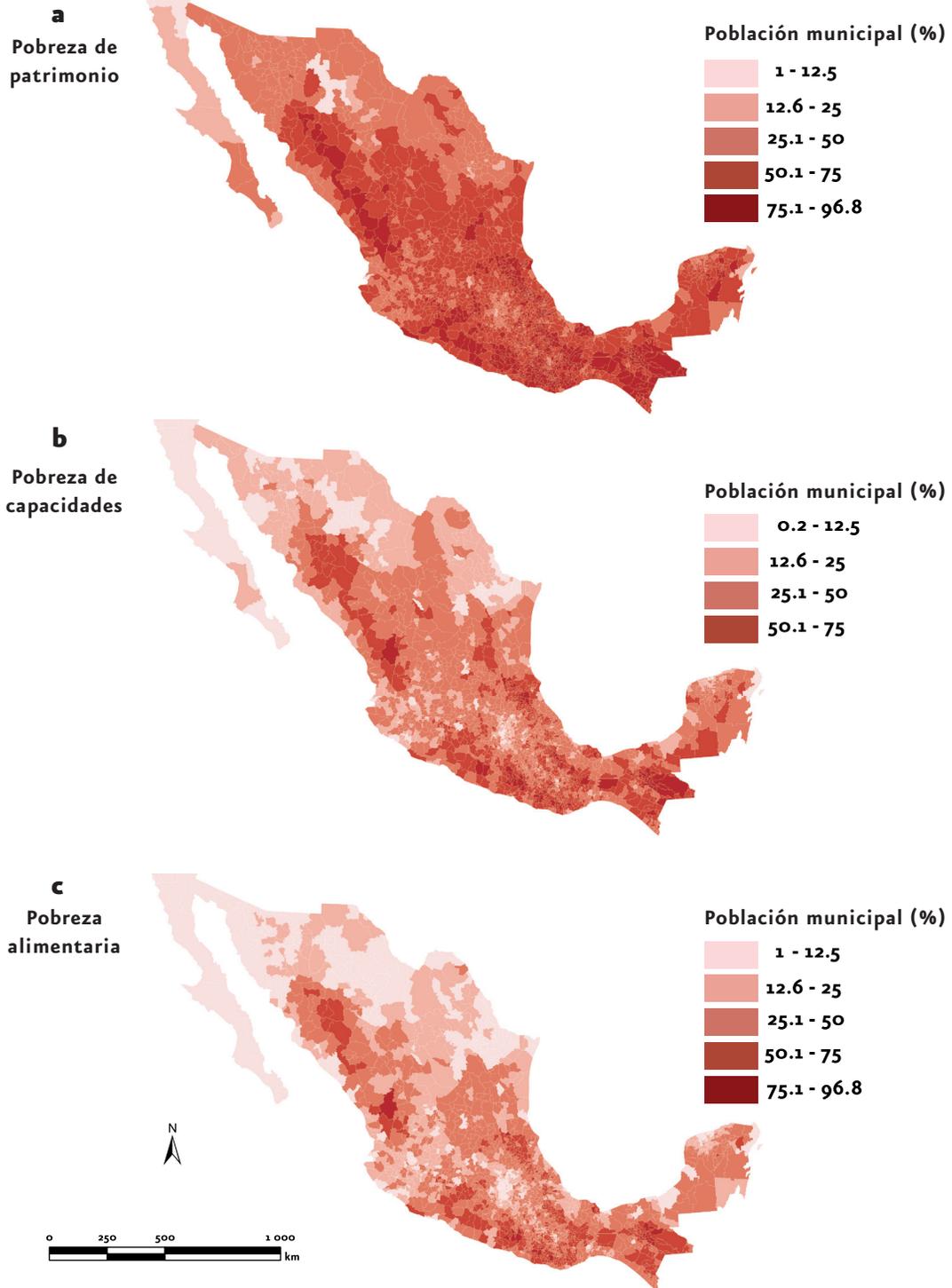


Fuente:

Coneval. Comunicado Núm. 002/2007. Reporta Coneval cifras actualizadas de pobreza por ingresos 2006. México 2007. Disponible en: www.coneval.gob.mx Fecha de consulta: 11-09-2008.

Mapa 1.8

Tipos de pobreza en México por municipio, 2005



Fuente:
Coneval. Mapas de pobreza por ingreso y rezago social 2005. México. 2007.

Los municipios más pobres y con mayor rezago social se encuentran en las mismas regiones montañosas y de difícil acceso en donde el IDH es bajo y el IM es elevado. Esta condición de dispersión y aislamiento dificulta el desarrollo humano de sus pobladores, debido a que las mayores carencias en los servicios sanitarios en las viviendas y el acceso a los servicios de salud están estrechamente relacionadas con la ubicación y el tamaño de las localidades. El 62% de la población de habla indígena del país habita en localidades rurales con menos de 2 mil 500 habitantes.

Población en zonas de riesgo ambiental

La situación de pobreza de la mayor parte de la población rural está acompañada por condiciones precarias de vivienda, infraestructura social y vías de comunicación que, al combinarse con

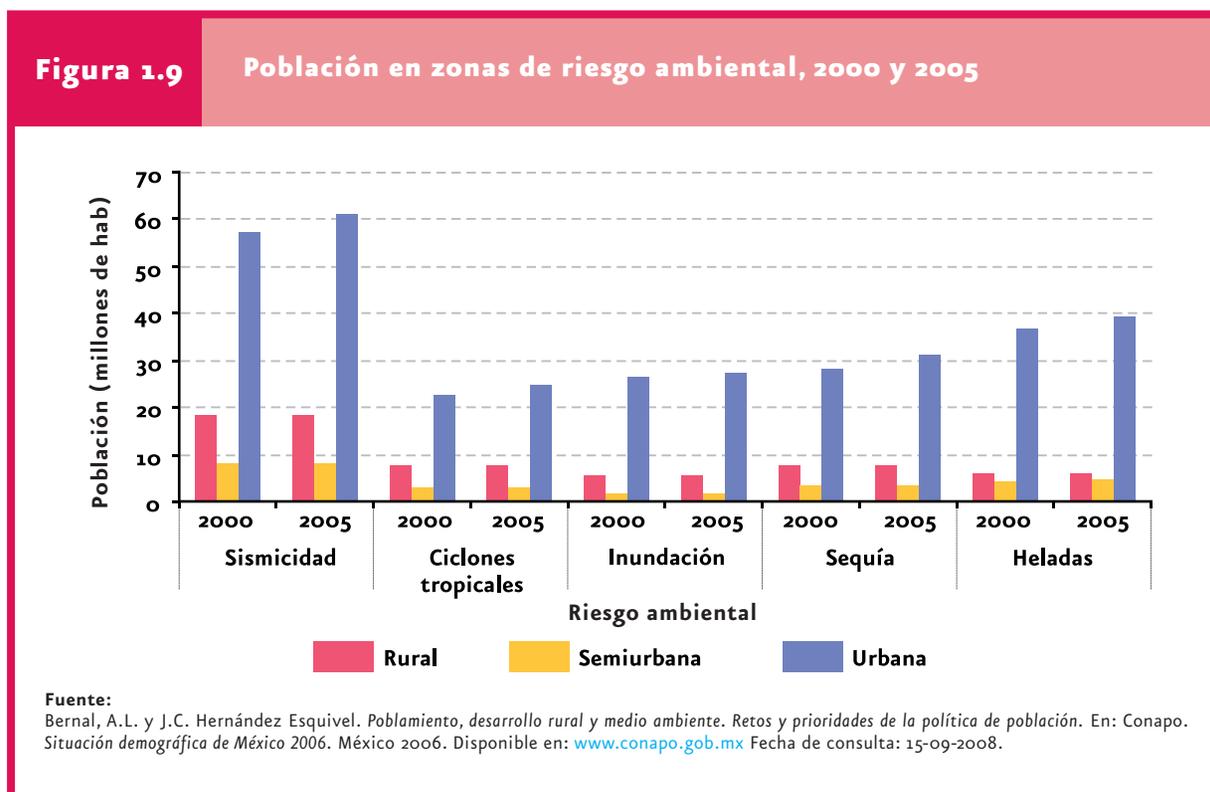
la deforestación, la degradación del suelo y la dispersión e instalación de asentamientos humanos en zonas no aptas para ello, incrementa la vulnerabilidad de la población ante la ocurrencia de fenómenos naturales como ciclones, inundaciones, sequías y heladas.

En 2005, 18.3 millones de habitantes de los municipios rurales residían en alguna de las zonas sísmicas del país. De éstos, 6.2 millones se encontraban en las zonas de mayor sismicidad de las regiones Pacífico y Centro. Las inundaciones también producen graves afectaciones a la población rural. Pueden ocurrir por exceso de lluvia, desborde de ríos, drenajes y cuerpos de agua o por el ascenso del nivel del mar. Aproximadamente 5.6 millones de personas viven en municipios susceptibles a inundaciones, los cuales se localizan principalmente en Sinaloa,

El Conapo estimó que en 2005, 18.3 millones de habitantes de municipios rurales residían en alguna de las zonas sísmicas del país y que aproximadamente 5.6 millones de personas vivían en municipios susceptibles a inundaciones, y 7.6 millones en zonas susceptibles a sequías.

Figura 1.9

Población en zonas de riesgo ambiental, 2000 y 2005



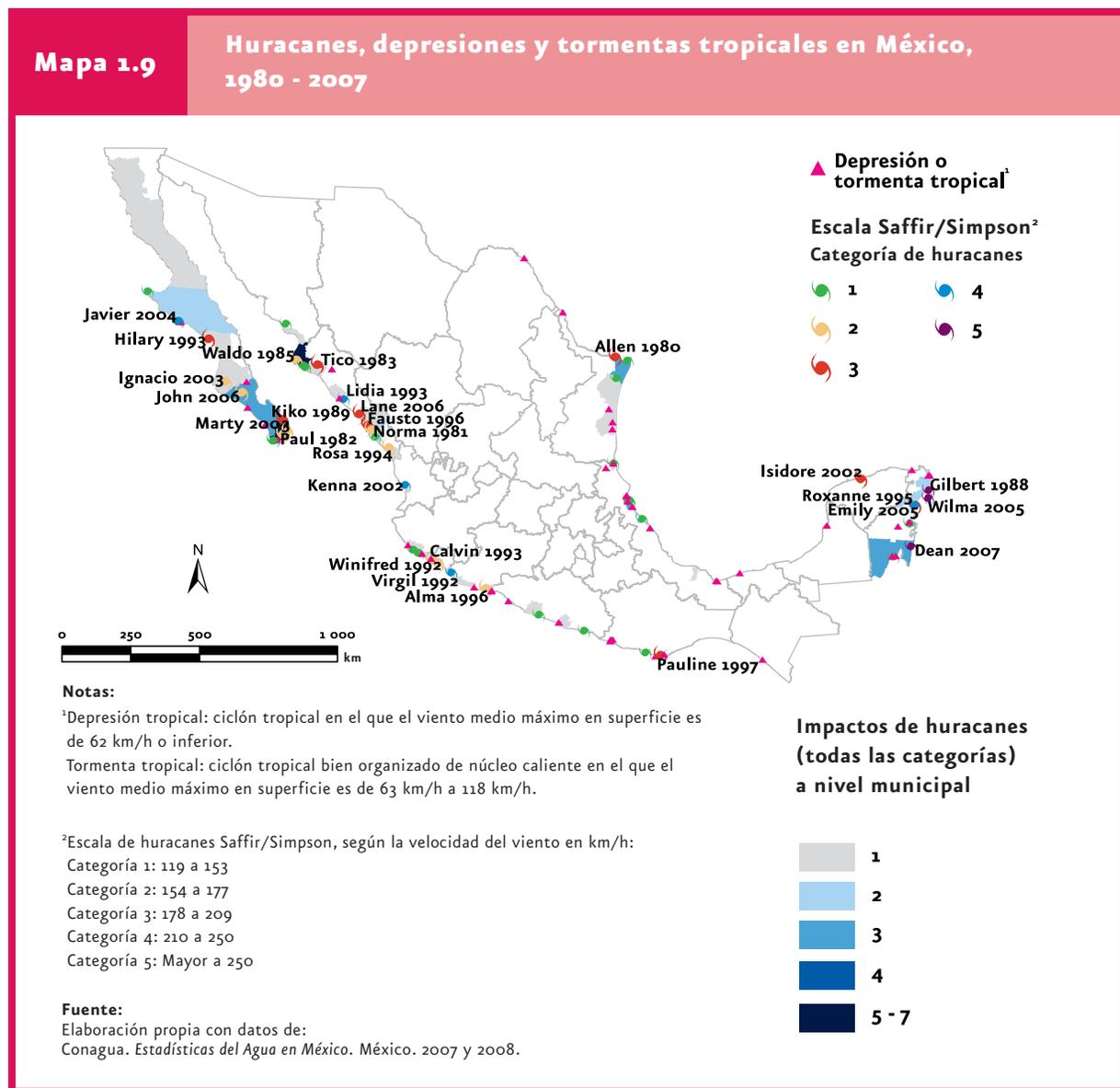
Durango, Sonora, Nayarit, Jalisco, Tamaulipas, Veracruz, Guerrero, Oaxaca, Chiapas y Tabasco. En contraste, se estima que en las zonas susceptibles a la sequía en el Norte y Centro del país habitan 7.6 millones de personas, de las cuales 4.6 millones se encuentran en condiciones de muy alta marginación (Figura 1.9).

Otros fenómenos hidrometeorológicos de gran importancia son los ciclones tropicales. Se estima que 560 municipios rurales de las costas y próximos a éstas son susceptibles de ser afectados. Las zonas con mayor exposición se encuentran en la

península de Yucatán, en las costas de Tamaulipas, Veracruz, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Baja California Sur y Sinaloa (Figura 1.9, Mapa 1.9).

Economía y medio ambiente

Durante mucho tiempo se aceptó que el deterioro ambiental era un costo inevitable del desarrollo económico de los países y una condición necesaria para aliviar la pobreza, así como que los problemas ambientales se atenderían una vez resuelta la problemática económica y social.



Afortunadamente, esta visión del dominio del hombre sobre el medio natural que surge a partir de la Revolución Industrial y que fue diseñada para la explotación intensiva de los recursos naturales, ahora está siendo reemplazada por el reconocimiento de que el bienestar humano depende del buen estado de los ecosistemas. La percepción de los recursos naturales como “bienes libres” y de oferta ilimitada está cambiando por la visión relativamente reciente de que son escasos y que su ritmo actual de aprovechamiento afecta su disponibilidad, y en consecuencia, la productividad sostenida de la economía, con efectos en la salud y el bienestar humano.

La preocupación por mantener el crecimiento económico de los países frecuentemente deja en segundo plano los costos ambientales de corto y mediano plazo generados por las propias actividades económicas. En México, el INEGI ha calculado los costos económicos de la degradación ambiental y del agotamiento de los recursos naturales que ha tenido el país en los últimos años. De 1996 a 2006, los costos totales por el agotamiento y la degradación ambiental (CTADA) se incrementaron 3.5 veces, pasando de 259 mil millones a 903.7 mil millones de pesos corrientes. En términos proporcionales al Producto Interno Bruto nacional, el CTADA se había mantenido alrededor de 10% del PIB (Tabla 1.1), lo cual es un costo excesivamente alto para el desarrollo del país (aunque la tendencia general es a disminuir: en 2006 esa proporción bajó a 8.8% del PIB).

Si el CTADA se compara con el gasto desembolsado en materia de protección ambiental por el Gobierno, incluida la recolección de

residuos sólidos urbanos por los hogares (Tabla 1.2), es evidente el desbalance entre lo que se está perdiendo en términos del capital natural del país y lo que se está invirtiendo en su protección y recuperación.

De 1996 a 2004, los costos totales por el agotamiento y la degradación ambiental (CTADA) se incrementaron 2.7 veces, pasando de 259 mil millones a 712 mil millones de pesos. Esto representa alrededor del 10% del PIB.

A pesar de que en los últimos dos años se ha incrementado de manera importante el gasto federal en rubros como la reforestación y el manejo forestal sustentable a través del programa ProÁrbol, la consolidación de la Comisión Nacional de Áreas Naturales

Protegidas, así como el manejo de los recursos hídricos, es evidente que se requieren reducir los costos ambientales del desarrollo del país. En este contexto es necesario que los procesos productivos incorporen estos costos y que se generalicen los estudios de costo-beneficio de proyectos que tomen en cuenta explícitamente el valor del ambiente y de los servicios ambientales de los ecosistemas. Por ejemplo, en el análisis de la factibilidad y pertinencia de un desarrollo turístico sobre manglares o ecosistemas costeros se debería incluir, entre otros aspectos, los costos económicos y ambientales de la reducción potencial de las actividades pesqueras que dependen de estos ecosistemas o el incremento en la vulnerabilidad de la línea de costa ante fenómenos meteorológicos.

ACTIVIDADES HUMANAS Y AMBIENTE

Aunque la biomasa de la población humana no llega a 1% del total de la biomasa de los heterótrofos⁵ que habitan el planeta, es el principal consumidor de sus recursos. La apropiación humana de la productividad primaria neta terrestre mundial se estima en 23.8% (Haberl et al., 2007), de la productividad de la plataforma oceánica,

La apropiación humana de la productividad primaria neta terrestre mundial se estima en 23.8%, de la productividad de la plataforma oceánica, principalmente por las pesquerías industriales, en 35%, y del agua de escurrimientos en 54%.

⁵Los heterótrofos son organismos que obtienen su energía de otros organismos.

Tabla 1.1
Sistema de cuentas ecológicas y económicas de México, 1996 - 2006

Año ³	Producto Interno Bruto (PIB) ¹	Consumo de capital fijo (CCF) ¹	Producto interno neto (PIN) ¹	Costos totales por agotamiento y degradación ambiental (CTADA) ¹	Producto interno neto ecológico (PINE) ^{1,2}	CCF como porcentaje del PIB (CCF/PIB)	CTADA como porcentaje del PIB (CTADA/PIB)
1996	2 525.6	273.1	2 252.5	259.0	1 993.5	10.81	10.26
1997	3 174.3	323.5	2 850.8	344.1	2 506.7	10.19	10.84
1998	3 846.3	397.2	3 449.1	418.1	3 031.0	10.33	10.87
1999	4 594.7	461.9	4 132.9	500.4	3 632.5	10.05	10.89
2000	5 491.7	525.6	4 966.1	573.2	4 393.0	9.57	10.44
2001	5 809.7	568.5	5 241.2	591.4	4 649.8	9.79	10.18
2002	6 263.1	614.2	5 649.0	620.8	5 028.2	9.81	9.91
2003	7 555.8	683.4	6 872.4	719.6	6 152.9	9.00	9.50
2004	8 557.3	759.2	7 798.1	771.5	7 026.6	8.90	9.00
2005	9 199.3	804.0	8 395.3	727.2	7 668.1	8.70	7.90
2006	10 306.8	882.7	9 424.2	903.7	8 520.4	8.60	8.80

Notas:
¹ En miles de millones de pesos a precios corrientes.

² PINE: Producto Interno Neto Ecológico (PINE = Producto Interno Neto - Costos Totales de Agotamiento y Degradación Ambiental).

³ Las estimaciones anteriores a 2003 no son estrictamente comparables con las posteriores ya que en estas últimas se modificó ligeramente la metodología, se incorporaron otras variables al cálculo y se utilizó como año base el 2003, a diferencia de los años anteriores al 2003 en que se utilizó como año base a 1993.

Fuente:

 INEGI. Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México. Disponible en: www.inegi.org.mx Fecha de consulta: 05-02-2009.

principalmente por las pesquerías industriales, en 35% (Pauly y Christensen, 1995), y del agua dulce accesible en 54% (Postel et al., 1996).

Según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005), en los últimos 50 años, los seres humanos han cambiado los ecosistemas más rápida y extensamente que en cualquier periodo comparable de la historia humana, en gran parte para satisfacer las demandas crecientes de alimento, agua, madera, fibras y combustibles. Estos cambios han generado ganancias sustanciales

netas en el bienestar humano y el desarrollo económico, pero con consecuencias negativas ambientales que no están incluidas en el costo de producción. Por ejemplo, en la agricultura tecnificada, la producción de alimentos no incluye los daños fuera de sitio como la eutrofización de los cuerpos de agua provocada por la lixiviación de los fertilizantes y agroquímicos; o en el sector transporte, el precio de los combustibles no contempla los problemas de salud asociados a las emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y demás contaminantes.

Tabla 1.2
Gasto en protección ambiental como proporción del PIB (millones de pesos a precios corrientes), 1990 - 2006

Año ²	Producto interno bruto (PIB) a precios de mercado	Gasto en protección ambiental ¹	Gastos en protección (% PIB)
1990	676 067	2 536	0.4
1991	868 219	3 248	0.4
1992	1 029 005	4 414	0.4
1993	1 155 132	5 494	0.5
1994	1 306 302	6 190	0.5
1995	1 678 835	6 096	0.4
1996	2 296 675	7 182	0.3
1997	2 873 273	9 493	0.3
1998	3 517 782	13 995	0.4
1999	4 594 724	26 436	0.6
2000	5 491 708	30 112	0.5
2001	5 809 688	32 293	0.6
2002	6 263 137	36 361	0.6
2003	7 555 803	42 416	0.6
2004	8 557 291	46 288	0.5
2005	9 199 316	51 063	0.6
2006	10 306 839	58 573	0.6

Notas:

¹Se refiere a los gastos utilizados exclusivamente en los rubros del presupuesto ejercido, discriminando aquellos que aunque estuvieron programados no se ejercieron. Las cifras de 1998 en adelante no son comparables con las anteriores, en virtud de que recientemente se tuvieron importantes mejoras en los cálculos, como resultado de una ardua y exhaustiva investigación que condujo a la detección de nueva y detallada información, permitiendo de esta manera la identificación de proyectos y gastos en forma específica y más clara a partir del año de gestión.

²Las estimaciones anteriores a 2003 no son estrictamente comparables con las posteriores ya que en estas últimas se modificó ligeramente la metodología, se incorporaron otras variables al cálculo y se utilizó como año base el 2003, a diferencia de los años anteriores al 2003 en que se utilizó como año base a 1993.

Fuente:

INEGI. Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México. Disponible en: www.inegi.org.mx Fecha de consulta: 05-02-2009.

Una de las formas en que se ha evaluado la presión humana sobre los ecosistemas es a través de la llamada huella ecológica. La World Wildlife Fund (WWF por sus siglas en inglés, 2008) la definió como un indicador de la demanda humana sobre los ecosistemas en términos de la superficie

agrícola, pecuaria, forestal y de zonas pesqueras; así como el área ocupada por la infraestructura y los asentamientos humanos y la requerida para absorber el bióxido de carbono liberado por la quema de combustibles. La huella ecológica de un individuo, de un país o mundial es la suma de

las hectáreas globales⁶ de todas estas superficies (Mapa 1.10). La huella ecológica no incluye el consumo de agua dulce porque su demanda y uso no se pueden expresar en términos de hectáreas globales, aunque ya hay una propuesta semejante llamada “huella hídrica” (ver el capítulo de *Agua*).

La diferencia en hectáreas globales entre la huella ecológica y la biocapacidad⁷ de un país muestra la existencia de una deuda o un crédito ecológico de sus recursos naturales. En 2005, la biocapacidad estimada del planeta fue de 13.6 millones de hectáreas globales o 2.1 hectáreas globales por persona; y la huella ecológica para el mismo año fue de 17.5 millones

de hectáreas globales o 2.7 hectáreas globales por persona. Esto significa que la superficie necesaria para atender las necesidades humanas excedió a la superficie disponible en 30%, lo que muestra claramente condiciones de no sustentabilidad en el uso de los recursos naturales.

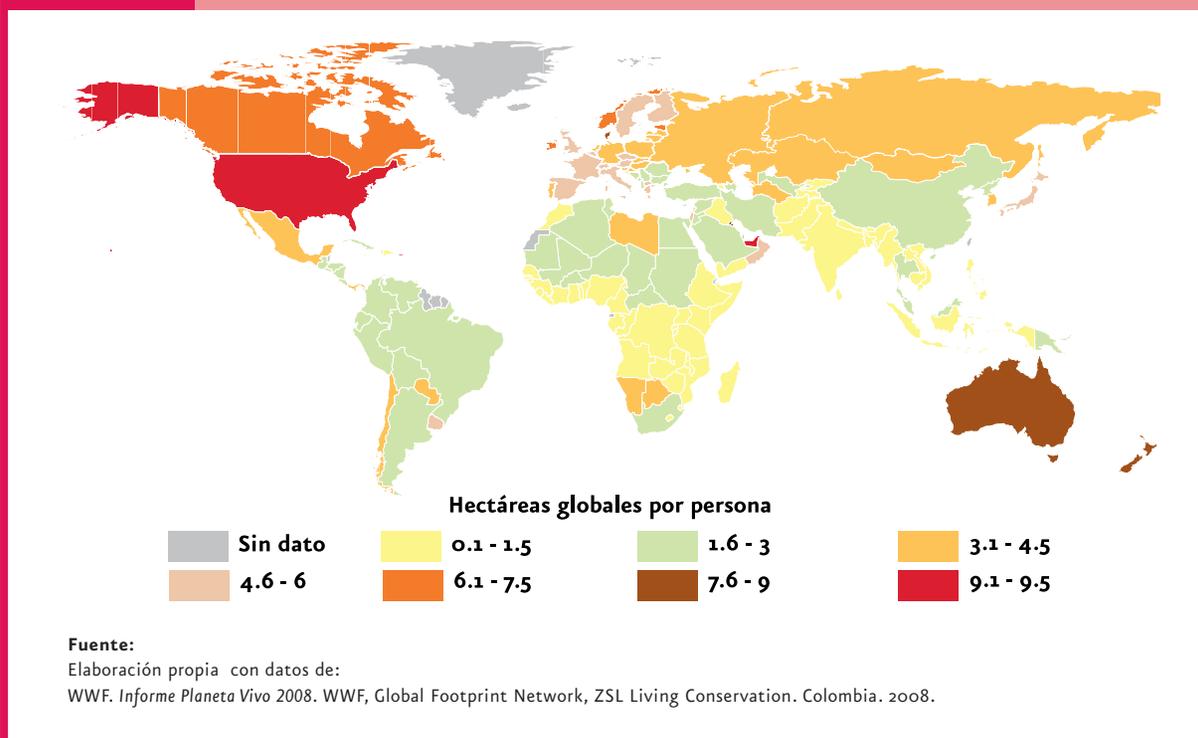
En 2005, la superficie terrestre necesaria para atender las necesidades humanas excedió en 30% la superficie disponible.

A nivel regional, América del Norte tiene el déficit más alto, ya que un habitante promedio utiliza 2.7 hectáreas globales por arriba de las disponibles

en esa región; le sigue la Unión Europea, con un déficit por persona de 2.4 hectáreas globales. En el otro extremo está América Latina en su conjunto, con un crédito ecológico promedio de 2.4 hectáreas globales por persona. Si se considera

Mapa 1.10

La huella ecológica en el mundo, 2005



⁶La hectárea global es una hectárea con la capacidad biológica para producir recursos y absorber desechos sin importar el país donde se encuentre o si está ocupada por desiertos, selvas o hielos perpetuos.

⁷La biocapacidad es el área biológicamente productiva de tierras agrícolas, praderas, bosques y zonas pesqueras que está disponible para satisfacer las necesidades humanas. La biocapacidad de un país está determinada por el tipo y cantidad de hectáreas biológicamente productivas dentro de sus fronteras, así como de su rendimiento promedio.

a México de manera independiente, somos un país con déficit ecológico, con una huella de 3.4 hectáreas globales por persona y una biocapacidad de 1.7, es decir, un déficit de 1.7 hectáreas globales por persona. La huella ecológica de México en 2005 fue la número 43 a nivel mundial (ver el Recuadro *La huella ecológica de México*).

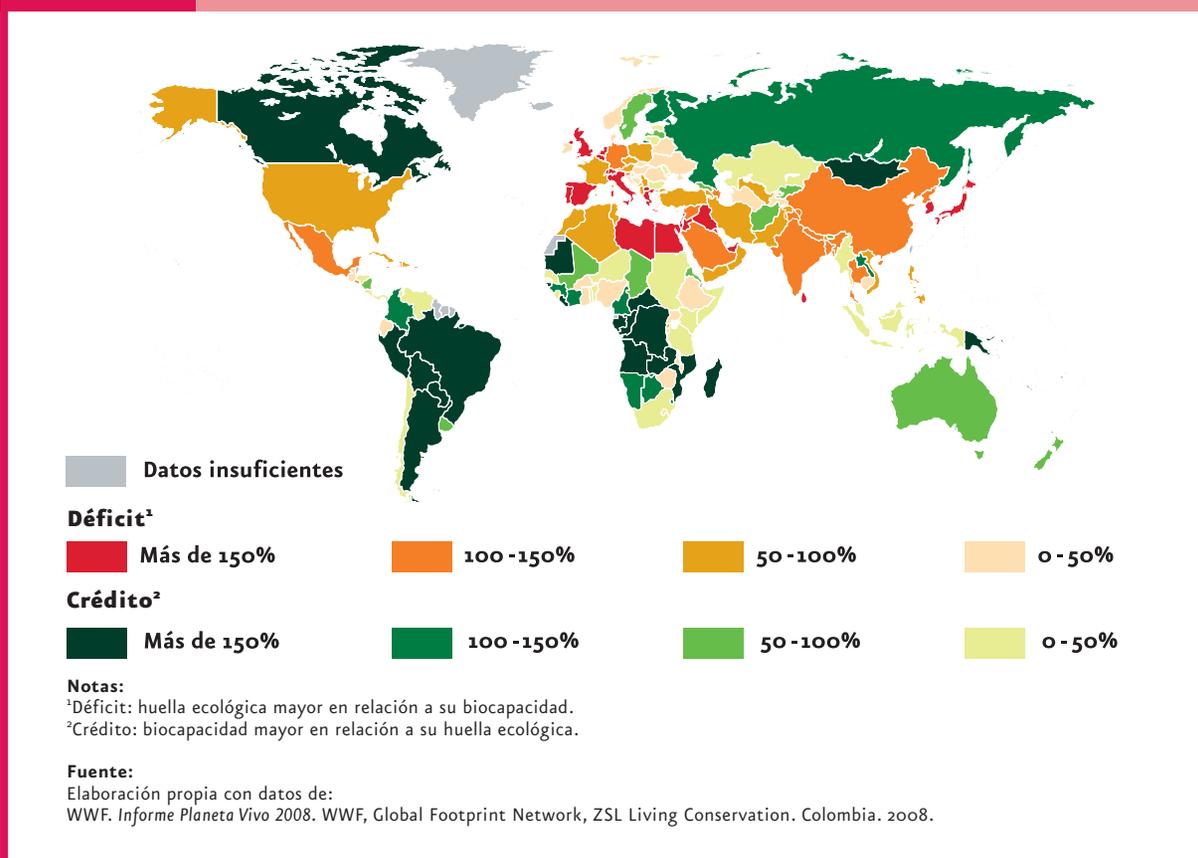
En 2005, 85 países del mundo tenían déficit ecológico, el cual incluyó el consumo de recursos naturales externos a su territorio o la sobreexplotación de los propios. Dentro de este grupo se encuentran los 23 países que en 2005 tuvieron más de 20 mil dólares de PIB per capita anual; pero también hay 22 países con menos de mil dólares de PIB per capita anual (World Bank, 2008). Sin embargo, aunque muchos países pobres tienen déficit ecológico, los países más

desarrollados son los que controlan el acceso a la mayor parte de los servicios ambientales, los consumen a mayor tasa, y además están protegidos contra los cambios en su disponibilidad gracias a que pueden importarlos de otras regiones del mundo, debido a su capacidad económica. Cabe señalar que el crédito ecológico que muestran muchos países, tanto desarrollados como no desarrollados, no necesariamente significa que sus recursos están bien manejados y que no son susceptibles a la degradación (Mapa 1.11).

En términos generales, los países que tienen IDH alto tienen huellas ecológicas por arriba de la biocapacidad promedio mundial (2.1 ha globales por persona), es decir, tienen déficit ecológico, lo cual significa que su desarrollo económico y social no está asociado a un manejo sustentable de sus

Mapa 1.11

Países con crédito y déficit ecológico, 2005



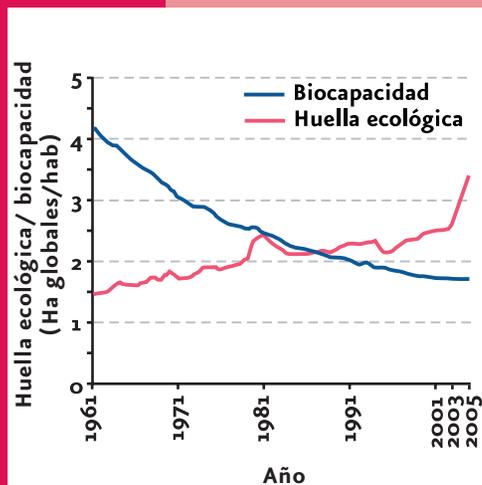
El mal uso de los recursos naturales que se presenta en todo el mundo, ha hecho que la huella ecológica de los países vaya en aumento a costa de su biocapacidad. México no es ajeno a esta dinámica. En 1961, su biocapacidad era de 4.1 hectáreas globales, con una huella ecológica de 1.4 hectáreas globales por persona (Figura a). Para 2005, la biocapacidad disminuyó hasta 1.7 hectáreas globales por persona y la huella ecológica se incrementó a 3.4. Esto significa

que cada habitante del país tuvo un déficit ecológico de 1.7 hectáreas globales; es decir, que en promedio cada mexicano utiliza una mayor cantidad de superficie para satisfacer su demanda de alimentos y productos y para absorber sus desechos de la que tiene disponible de manera sustentable en el país.

De los componentes de la huella ecológica, la superficie necesaria para absorber el CO₂ de combustibles fósiles es la que ha tenido el mayor incremento. En 1961 era de 0.07 hectáreas globales por persona mientras que en 2005 se había incrementado a 1.92 hectáreas globales por persona (Figura b).

A la fecha no se ha calculado la huella ecológica de las grandes ciudades mexicanas, pero es de esperar que también sea grande. Una de las ciudades que cuenta con una evaluación de este tipo es Xalapa en el estado de Veracruz. En esta ciudad, la huella ecológica se calculó en 2.9 hectáreas globales por persona. Otro ejemplo es en Jalisco, donde la huella ecológica promedio de las zonas urbanas de tres municipios (Cabo Corrientes, Tomatlán y Puerto Vallarta) se calculó en 2.75, con un déficit ecológico de 0.80 hectáreas globales por persona y la de las zonas rurales en 2.38, con un déficit de 0.38. Para los turistas nacionales que asisten a Puerto Vallarta, la huella ecológica fue de 4.36, con un déficit ecológico de 3.56 y para los extranjeros, de 11.29, con un déficit de 9.49 hectáreas globales por persona.

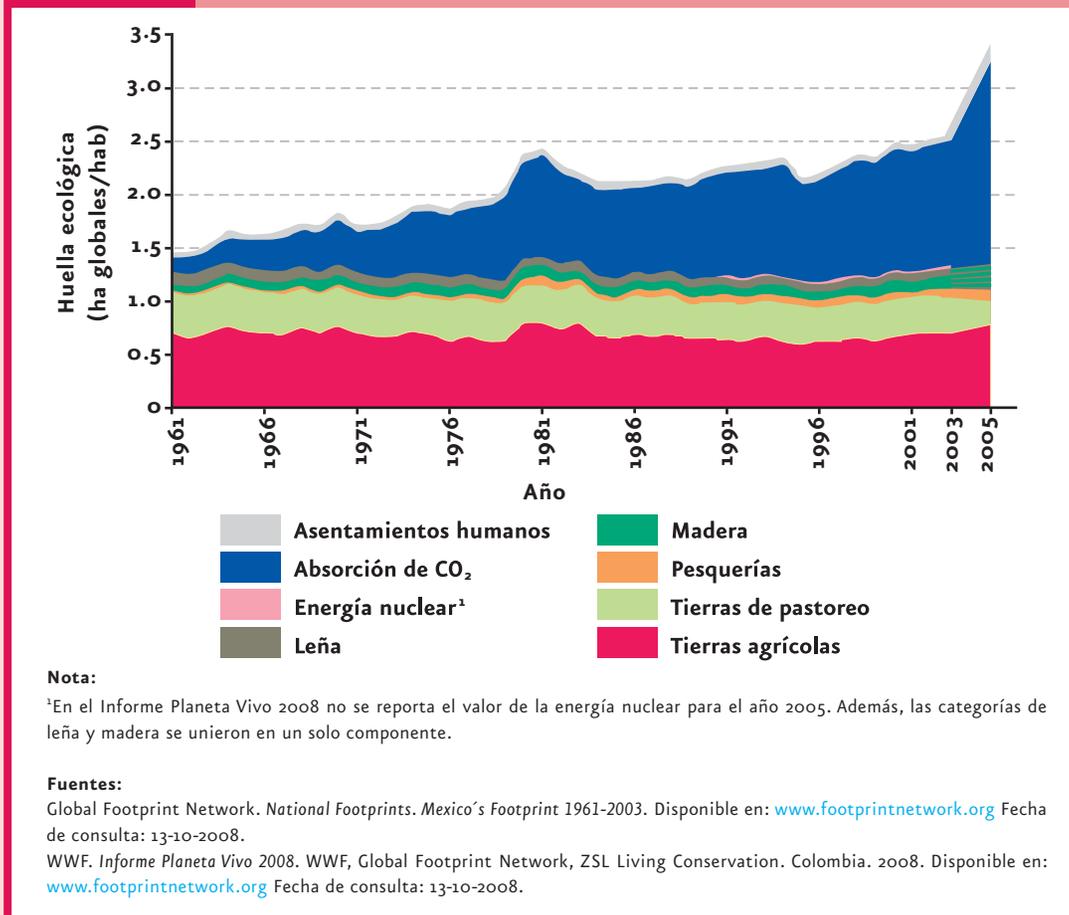
Figura a Huella ecológica y biocapacidad en México, 1961 - 2005



Fuentes:

Global Footprint Network. *National Footprints. Mexico's Footprint 1961-2003*. Disponible en: www.footprintnetwork.org Fecha de consulta: 13-10-2008.
 WWF. *Informe Planeta Vivo 2008*. WWF, Global Footprint Network, ZSL Living Conservation. Colombia. 2008. Disponible en: www.footprintnetwork.org Fecha de consulta: 13-10-2008.

Figura b Huella ecológica por componente en México, 1961 - 2005



Referencias:

Chávez-Dagostino, R.S., J.L. Cifuentes-Lemus, E., Andrade-Romo, R. Espinoza-Sánchez, B.H. Massam y J. Everitt. Huellas ecológicas y sustentabilidad en la costa norte de Jalisco, México. *Teoría y Praxis* 5:147-144. 2008. Disponible en: www.teoriaypraxis.uqroo.mx/doctos/Numero5/Chavez-Andrade.pdf Fecha de consulta: 01-10-2008.

Global Footprint Network. *Mexico's Footprint 1961-2003*. 2006. Disponible en: www.footprintnetwork.org/webgraph/graphpage.php?country=mexico Fecha de consulta: 01-10-2008.

Nieto Caraveo, L.M. *La huella ecológica. ¿Qué tantos recursos naturales tenemos? ¿Qué tantos recursos naturales usamos?* 1999. Disponible en: <http://ambiental.uaslp.mx/docs/LMNC-AP990325.pdf> Fecha de consulta: 01-10-2008.

WWF. *Informe Planeta Vivo 2008*. WWF, Global Footprint Network, ZSL-Living Conservation. Colombia. 2008.

recursos naturales. México se encuentra en esta situación, con IDH de 0.8031 (en 2004) y huella ecológica de 3.6 (en 2005). Los casos más extremos son Emiratos Árabes Unidos y Estados Unidos, que tienen las huellas ecológicas más grandes del mundo (9.5 y 9.4 hectáreas globales por persona), y al mismo tiempo se encuentran dentro del grupo de países con mayor IDH (0.868 y 0.951, respectivamente). En el otro lado se encuentran los países cuya huella ecológica está por debajo de la disponibilidad promedio mundial (tienen crédito ecológico) pero su IDH es bajo, como muchas naciones del África subsahariana (Figura 1.10).

Dentro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ONU, 2008) se establece explícitamente la sostenibilidad ambiental (Objetivo 7) como un

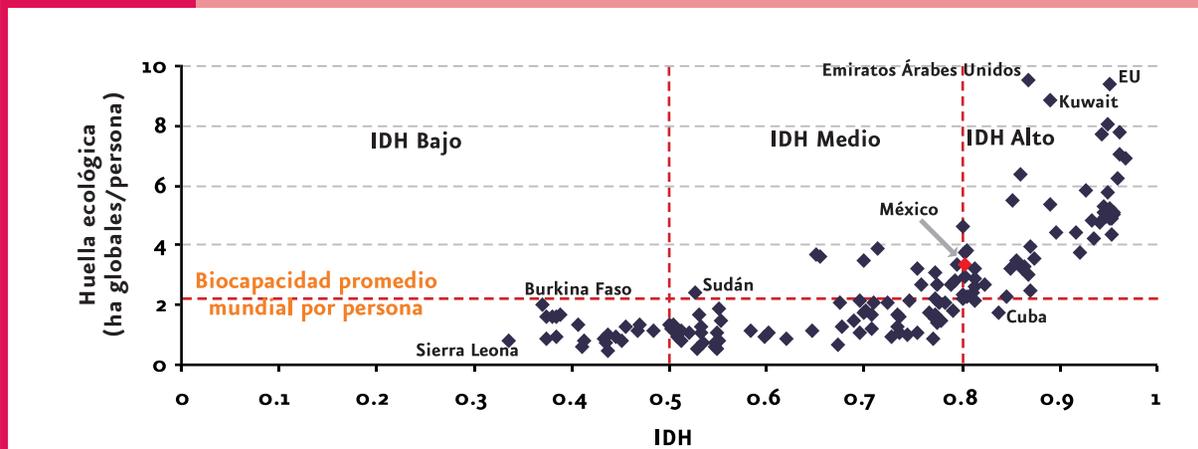
En México, el IDH en 2004 fue de 0.8031 y la huella ecológica, en 2005, de 3.4. Con estos valores nos encontramos en el grupo de países con déficit ecológico e IDH alto.

El Objetivo 7 de los Objetivos de Desarrollo del Milenio establece la necesidad de asegurar la sostenibilidad del medio ambiente, teniendo como metas la incorporación de los principios de desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales y la reducción de la pérdida de recursos naturales y de la diversidad biológica.

componente del desarrollo a la par de objetivos relacionados con la salud, educación e igualdad de las personas. Aunque en la propuesta original las metas relacionadas con el tema ambiental eran muy generales, en el año 2007 se propuso una ampliación que ya incluía temáticas como el cambio climático (a través de las emisiones de gases de efecto invernadero), la protección de la biodiversidad (especies amenazadas o en riesgo de extinción) y a las poblaciones de ambientes acuáticos. Esto muestra el reconocimiento de la importancia del componente ambiental en el desarrollo sostenible. De hecho, se reconoce que la posibilidad de cumplir algunos de los objetivos sociales (por ejemplo, la reducción de algunas enfermedades) requieren de un ambiente no deteriorado.

Figura 1.10

Relación entre el Índice de Desarrollo Humano (IDH) y la huella ecológica de algunos países del mundo, 2005



Fuentes:

WWF. Informe Planeta Vivo 2008. WWF, Global Footprint Network, ZSL-Living Conservation. Colombia. 2008.
 PNUD. Informe sobre desarrollo humano 2007-2008. La lucha contra el cambio climático: solidaridad frente a un mundo dividido. Nueva York. 2007.
 PNUD. Informe sobre desarrollo humano México 2006-2007. Migración y desarrollo humano. México. 2007.

El reto hacia el futuro es alcanzar el desarrollo social y económico de las sociedades sin que esto implique una reducción mayor del valioso capital natural del que aún se dispone. De esta manera, la conservación del ambiente, la promoción del desarrollo humano y la mitigación de la pobreza son tareas que para ser efectivas deben planificarse de manera paralela y conjunta. Para alcanzar las metas antes señaladas es necesario poner en práctica esquemas novedosos que conjuguen la protección ambiental con efectos positivos para los más pobres (por ejemplo, el pago de servicios ambientales) que fomenten el desarrollo social y que al mismo tiempo, resulten benéficos o al menos no nocivos para los ecosistemas (como el ecoturismo planificado).

REFERENCIAS

- Anzaldo-Gómez, C. y A. Rivera Vásquez. Evolución demográfica y potencial de desarrollo de las ciudades de México. En Conapo: *Situación demográfica de México, 2006*. México. 2006.
- CDI-PNUD. *Informe sobre desarrollo humano de los pueblos indígenas de México 2006 (versión electrónica base 2000)*. México. 2006.
- Conagua. *Estadísticas del Agua en México 2008*. México. 2008.
- Conapo. *Proyecciones de la población de México 2005-2050*. México. 2006a. Disponible en: www.conapo.gob.mx/oocifras/proy/RM.xls Fecha de consulta: 10-10-2008.
- Conapo. *Índices de marginación, 2005*. México 2006b. Disponible en: www.conapo.gob.mx/publicaciones/indice2005.htm Fecha de consulta: 12-09-08.
- Coneval. *Mapas de pobreza por ingreso y rezago social 2005*. México. 2007a.
- Coneval. Comunicado Núm. 002/2007. *Reporta Coneval cifras actualizadas de pobreza por ingresos 2006*. Coneval. México. 2007b. Disponible en: www.coneval.gob.mx/coneval/comunicado2/Comunicad_prensa_002_CONEVAL_Anexo.pdf Fecha de consulta: 11-09-2008.
- DOF. Catálogo de las lenguas indígenas nacionales: variantes lingüísticas de México con sus autodenominaciones y referencias geoestadísticas. Diario Oficial de la Federación. México. 2008 (14 de enero).
- FAO. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Colección FAO: Agricultura, No. 38. Roma. 2007. Disponible en: www.fao.org/docrep/010/a1200s/a1200s00.htm Fecha de consulta: 13-10-2008.
- Haberl, H., K. Heinz-Erb, F. Krausmann, V. Gaube, A. Bondeau, C. Plutzer, S. Gingrich, W. Lucht y M. Fischer-Kowalski. Quantifying and zapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 12942-12947. 2007.
- MEA. *Ecosystems and Human Well-Being: Our Human Planet*. Summary for Decision Makers. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. Washington D.C. 2005.
- ONU. *Objetivos de desarrollo del Milenio*. Informe 2008. Nueva York. 2008. Disponible en: www.un.org/spanish/millenniumgoals/pdf/MDG_Report_2008_SPANISH.pdf Fecha de consulta: 15-10-2008.
- Pauly, D. y V. Christensen. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature* 374: 255-257. 1995.
- World Bank. USA. 2008. Disponible en: www.bancomundial.org/datos/datos.html Fecha de consulta: 15-10-2008.

PNUD. *Informe sobre desarrollo humano 2007-2008. La lucha contra el cambio climático: Solidaridad frente a un mundo dividido*. USA. 2007a. Disponible en: hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2007-2008/chapters/spanish/ Fecha de consulta: 15-10-2008.

PNUD. *Informe sobre desarrollo humano en México 2006-2007. Migración y desarrollo humano*. México. 2007b. Disponible en: www.undp.org.mx/desarrollohumano/informes/index.html Fecha de consulta: 15-10-2008.

PNUD. *Índice de Desarrollo Humano Municipal en México 2000-2005*. México. 2008. Disponible en: www.undp.org.mx/desarrollohumano/competividad/index.html Fecha de consulta: 15-10-2008.

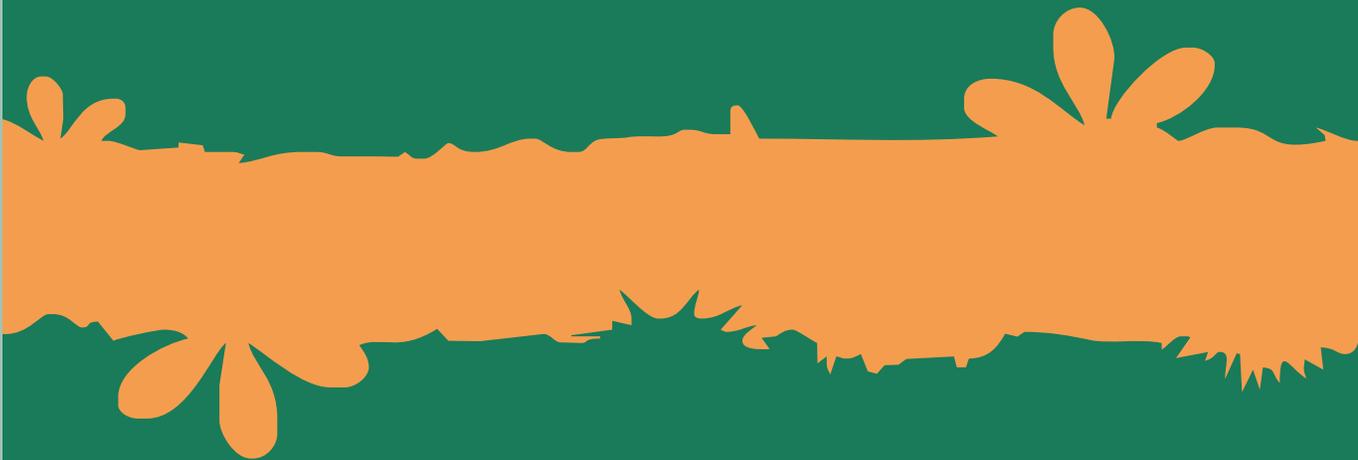
Postel, S.L., G.C. Daily y P.R. Ehrlich. Human appropriation of renewable fresh water. *Science* 271: 785-788. 1996.

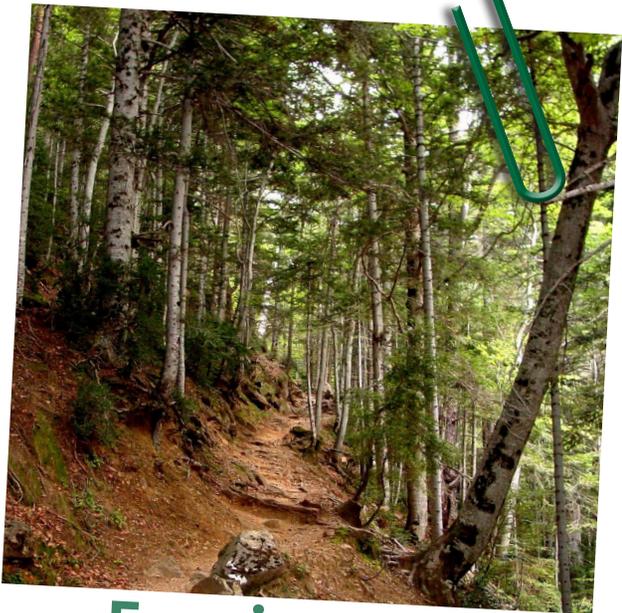
UN. *World Population Prospects: The 2006 Revision. Population Database*. Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat. 2007. New York, United Nations. Disponible en: www.un.org/esa/population/publications/wpp2006/wpp2006.htm Fecha de consulta: 11-09-2008.

Velasco-Saldaña. H.E., E. Segovia-Estrada, M. Hidalgo-Navarro, S. Ramírez-Vallejo, H. García-Romero, I. Romero, A.M. Maldonado, F. Ángeles, A. Retama, A. Campos, J. Montaña y A. Wellens. *Lluvia ácida en los bosques del poniente del Valle de México*. XXVIII Congreso Internacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. México 2002.

WWF. *Informe Planeta Vivo 2008*. Colombia. 2008. Disponible en: assets.panda.org/downloads/lpr_2006_spanish.pdf. Fecha de consulta: 11-09-2008.

Capítulo 2. Ecosistemas terrestres





Ecosistemas terrestres

La situación geográfica de México, su variedad de climas, topografía e historia geológica han producido una de las riquezas biológicas más impresionantes del mundo. Ésta queda manifiesta en la gran diversidad de comunidades vegetales que pueden encontrarse en su territorio continental e insular, y que van desde las propias de zonas alpinas, hasta aquéllas de dunas costeras y humedales, pasando por matorrales xerófilos, bosques templados, selvas húmedas, bosques mesófilos de montaña y pastizales naturales.

Los ecosistemas en general, y los terrestres en particular, han sido el sustento de las poblaciones humanas desde sus albores: han provisto de multitud de bienes, como alimentos (carne, frutos, verduras y condimentos), madera para construcción, leña, papel y fibras para telas, entre muchos otros. Además deben mencionarse los servicios ambientales que proveen, como son los de la purificación del aire y el agua, la generación y conservación de los suelos, la descomposición de los desechos, el reciclaje y movimiento de nutrientes, 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, por citar sólo los más importantes.

Sin embargo, el enorme crecimiento poblacional global ocurrido durante el siglo XX, acompañado por el intenso desarrollo industrial y urbano, trajeron consigo la mayor transformación de los ecosistemas terrestres registrada por el hombre. Enormes superficies de ecosistemas fueron degradadas o transformadas en zonas de cultivos y potreros, o bien, abiertas para el establecimiento y desarrollo de poblados, ciudades y de infraestructura de caminos, eléctrica y de almacenamiento de agua. Se calcula que la magnitud de esta transformación podría alcanzar entre 33 y 50% de la superficie terrestre mundial (Vitousek et al., 1997).

México no ha sido la excepción en este proceso de degradación y pérdida de ecosistemas terrestres. Una importante proporción de su superficie se ha transformado en campos agrícolas, pastizales y zonas urbanas y rurales. De algunos ecosistemas que anteriormente cubrieron amplias zonas del territorio, hoy quedan reducidos remanentes en condiciones primarias y amplias superficies degradadas. Este capítulo hace una descripción del estado actual de los ecosistemas terrestres nacionales, con particular énfasis en los procesos y factores que han promovido su transformación en las décadas recientes. Se ha incluido también una sección con los aspectos relativos a su uso, principalmente en lo que a la explotación de productos forestales maderables y no maderables se refiere. El capítulo finaliza con una sección que trata sobre las respuestas gubernamentales encaminadas hacia la conservación de la cubierta vegetal remanente, así como aquéllas dirigidas hacia la recuperación y el uso sustentable de los recursos naturales que se encuentran en los ecosistemas terrestres nacionales.

LA VEGETACIÓN NATURAL Y EL USO DEL SUELO EN MÉXICO

A la forma en la que se emplea un terreno y su cubierta vegetal se conoce como “uso del suelo”. La evaluación más reciente de los usos del suelo en México es la Carta de uso del suelo y vegetación Serie

III, a escala 1:250 000, elaborada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y que describe la vegetación en el año 2002. La Serie IV, que incluirá información sobre el uso del suelo y la vegetación en el 2007 (en escala 1:250 000), estará disponible durante el año 2009. Dado el número de tipos de vegetación y usos de suelo presentes en esta carta, su agregación con fines

de análisis resulta indispensable. En la Tabla 2.1 se muestra esta agregación, junto con sus respectivas superficies en el país y las extraídas de otras cartas de uso del suelo anteriores para los años de 1976¹ y 1993 y la de la vegetación potencial. Mayores detalles acerca de las características de algunos tipos de vegetación natural pueden consultarse en el Recuadro *La vegetación de México*.

Tabla 2.1		Uso de suelo y vegetación en México: vegetación potencial, 1976, 1993 y 2002			
Formación vegetal	Tipo de vegetación	Potencial	Superficie (ha)		
			Año		
			1976	1993	2002
Bosque mesófilo de montaña	Bosque mesófilo de montaña	3 088 256	1 838 523	1 813 946	1 825 205
Bosque templado	Bosque de ayarín	37 863	25 739	40 045	40 008
	Bosque de cedro	868	2 501	2 521	2 314
	Bosque de encino	16 544 438	10 926 831	11 394 691	11 242 271
	Bosque de encino-pino	5 644 967	4 026 438	4 322 085	4 306 491
	Bosque de oyamel	402 462	164 848	147 520	142 269
	Bosque de pino	10 310 430	7 575 650	7 538 064	7 453 237
	Bosque de pino-encino	10 634 315	8 808 362	8 939 085	8 809 048
	Bosque de táscate	378 835	343 836	326 416	333 895
	Matorral de coníferas	1 445	70	911	975
	Bosque bajo abierto	-	1 349 348	-	-
Selva húmeda	Selva alta perennifolia	9 833 140	4 582 495	3 830 625	3 440 928
	Selva alta subperennifolia	100 035	149 132	176 189	160 883
	Selva baja perennifolia	78 306	61 535	55 980	46 774
	Selva baja subperennifolia	1 432 078	1 408 285	5 847 411	11 456
	Selva mediana subperennifolia	7 811 775	6 480 234	-	5 805 224
	Selva mediana perennifolia	-	1 528	1 098	636

¹Aunque la Carta de uso del suelo y vegetación Serie I hace referencia al año 1976, se empleó para su elaboración información de prácticamente toda la década de los años setenta.

Tabla 2.1

Uso de suelo y vegetación en México: vegetación potencial, 1976, 1993 y 2002 (continúa)

Formación vegetal	Tipo de vegetación	Superficie (ha)			
		Potencial	Año		
			1976	1993	2002
Selva subhúmeda	Matorral subtropical	3 787 854	2 825 997	1 355 489	1 349 324
	Selva baja caducifolia	20 540 764	16 412 025	15 465 672	14 506 027
	Selva baja espinosa	4 292 140	895 190	-	749 295
	Selva baja subcaducifolia	49 666	69 949	74 511	70 770
	Selva mediana caducifolia	975 425	120 931	1 108 817	1 109 638
	Selva mediana subcaducifolia	6 224 708	4 765 127	4 609 236	4 661 031
	Selva baja espinosa caducifolia	-	-	705 012	-
	Selva baja espinosa subperennifolia	-	-	1 034 448	1 024 229
Manglar	Manglar	1 450 899	1 045 328	914 610	924 806
Matorral xerófilo	Matorral crasicaule	2 170 405	2 233 169	1 589 640	1 560 151
	Matorral desértico micrófilo	22 852 473	22 810 128	22 024 843	21 575 964
	Matorral desértico rosetófilo	10 666 689	10 604 170	10 647 796	10 559 438
	Matorral espinoso tamaulipeco	5 152 485	4 248 913	3 456 304	3 413 721
	Matorral rosetófilo costero	561 387	482 348	490 115	475 066
	Matorral sarcocaulé	5 681 886	6 362 147	5 425 573	5 313 642
	Matorral sarcocrasicaule	2 493 412	1 138 456	2 373 235	2 321 649
	Matorral sarcocrasicaule de neblina	758 616	537 246	580 515	568 972
	Matorral submontano	3 375 389	3 127 365	2 817 715	2 826 820
	Vegetación de desiertos arenosos	2 207 778	2 274 278	2 172 960	2 167 072
	Huizachal	-	56 602	-	-
Otra vegetación hidrófila	Vegetación de galería	189 465	217 923	175 515	138 031
	Vegetación subacuática	1 540 618	-	-	-
	Popal	-	94 379	157 855	131 665
	Tular	-	1 057 879	894 416	935 761
	Bosque de galería	-	36 182	24 980	21 488
	Selva de galería	-	3 348	2 782	4 940
	Petén	-	-	44 708	45 005
	Vegetación halófila hidrófila	-	-	462 847	399 368

Tabla 2.1
Uso de suelo y vegetación en México: vegetación potencial, 1976, 1993 y 2002 (conclusión)

Formación vegetal	Tipo de vegetación	Superficie (ha)			
		Potencial	Año		
			1976	1993	2002
Pastizal natural	Pastizal natural	16 257 438	9 360 617	10 412 369	10 299 346
	Pradera de alta montaña	21 643	17 873	17 069	16 587
	Pastizal - huizachal	-	606 553	-	-
Vegetación halófila y gipsófila	Pastizal gipsófilo	72 938	69 195	42 306	45 318
	Pastizal halófilo	1 944 666	1 806 681	1 922 640	1 975 150
	Vegetación gipsófila	37 211	56 546	46 149	46 035
	Vegetación halófila	3 281 630	3 093 345	2 675 860	2 571 836
Otros tipos de vegetación	Area sin vegetación aparente	734 929	-	957 282	954 378
	Chaparral	2 205 736	3 147 347	2 141 152	2 097 199
	Mezquital	7 464 372	3 640 295	3 087 510	2 940 221
	Palmar	521	138 649	12 741	13 781
	Sabana	381 187	707 250	292 690	207 541
	Vegetación de dunas costeras	237 127	176 299	169 125	155 485
	Área desprovista de vegetación	-	-	6 031	14 263
	Palmar inducido	-	-	112 103	105 098
Pastizal inducido o cultivado	Pastizal cultivado	-	8 509 055	-	-
	Pastizal inducido	-	5 810 142	6 218 119	6 336 240
	Sabanoide	-	-	170 904	144 090
Plantación forestal	Bosque cultivado	-	30 622	290	-
	Bosque inducido	-	-	-	4 825
Zonas urbanas	Zona urbana	-	199 948	1 108 232	1 107 664
	Asentamiento humano	-	-	-	151 656
TOTAL		193 910 669	166 534 853	152 438 754	149 662 202

Fuentes:

Potencial: INEGI. *Carta de vegetación primaria potencial (escala 1:1 000 000)*. México. 2001.
 1976: INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie I (1968-1986), escala 1:250 000*. México. 1993.
 1993: INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie II (Reestructurada) (1993), escala 1:250 000*. México. 2004.
 2002: INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002), escala 1:250 000 (Continuo Nacional)*. México. 2005.

Recuadro

La vegetación de México

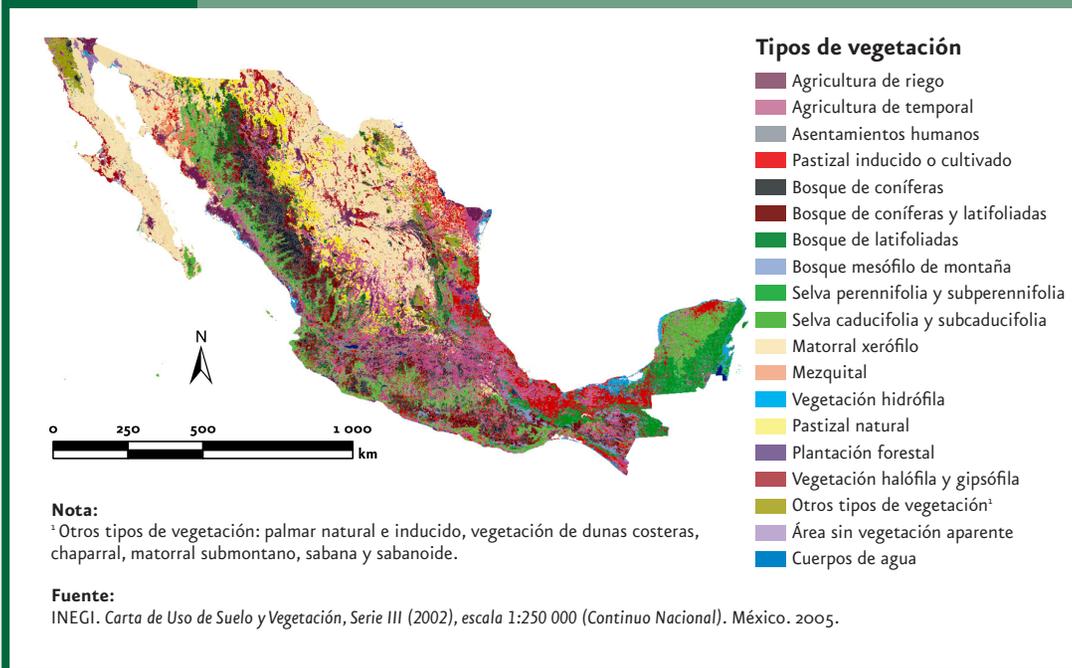
La vegetación de nuestro país es sumamente heterogénea. El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) utiliza un sistema de clasificación jerárquica que considera en su nivel más alto a las formaciones vegetales, que son categorías caracterizadas principalmente por rasgos fisonómicos y ecológicos (p. e. bosque, selva, matorral, etc.), dentro de las que se incluyen los tipos de comunidad que se definen por sus rasgos fisonómicos, ecológicos y florísticos (p. e. chaparral, rosetófilo, sarcocaulo, mesófilo de montaña, etc.) y los tipos de vegetación que combinan el nombre de la formación y el tipo de comunidad (p. e. 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 ellas los pinos (*Pinus*) y oyameles (*Abies*), como los más ampliamente distribuidos, aunque también están los pinabetes (*Pseudotsuga*), enebros (*Juniperus*) y cedros (*Cupressus*). Generalmente se presentan en los 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 (p. e., desmontes o incendios).

Bosque de encinos. Vegetación dominada por árboles de hoja ancha, principalmente

Mapa a

Vegetación y uso del suelo en México, 2002



encinos (*Quercus*), la mayoría caducifolios. Frecuentemente se les llama también bosques de latifoliadas. Se les encuentra sobre todo en climas templados en las montañas, frecuentemente por debajo del nivel altitudinal de las coníferas, aunque en ocasiones pueden desarrollarse en sitios francamente cálidos. Se les aprovecha especialmente para producir carbón y criar ganado. 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 (epífitas). Una porción importante de la flora del bosque mesófilo en México 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 de los árboles 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). Bajo los árboles más altos hay varios estratos de vegetación de diferentes estaturas. Es una de las comunidades biológicas más diversas del mundo. La explotación de algunas especies de alto valor comercial, como la caoba (*Swietenia*) o el cedro rojo (*Cedrella*) 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 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 hasta 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.

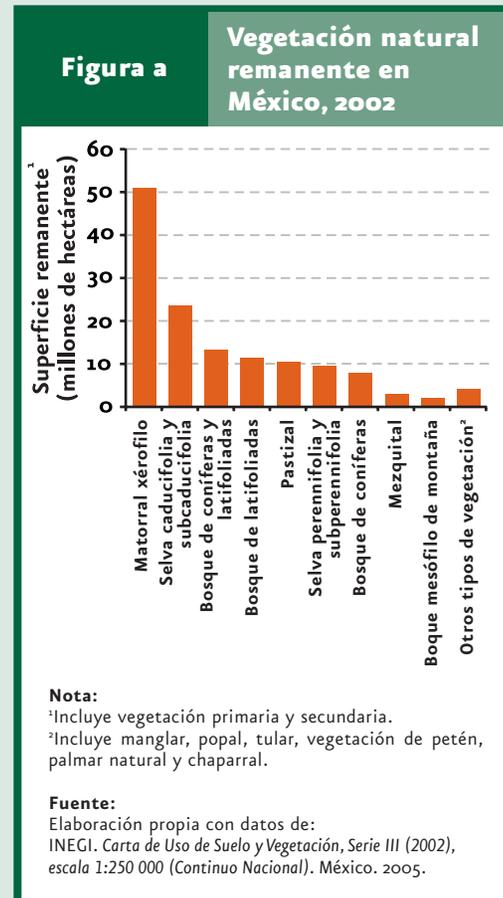
Mezquital. Vegetación dominada por árboles espinosos, principalmente mezquites (*Prosopis*). Se le encuentra en climas más bien áridos. Estos árboles permanecen verdes durante la temporada seca, ya que emplean las aguas subterráneas mediante sus largas raíces. Crecen en suelos profundos y planos, muy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

Matorral xerófilo. En esta categoría están incluidos un conjunto diverso y extenso de tipos de vegetación (matorrales rosetófilos, sarcocaulales, crasicaulales, etc.). Está dominado por arbustos y es típico de las zonas áridas y semiáridas. 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 gramínoideas). 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 cuatro mil 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 algunos de los más escasos (Figura a).



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.

Referencia:
 Modificado de:
 Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales 2005*. México. 2005.

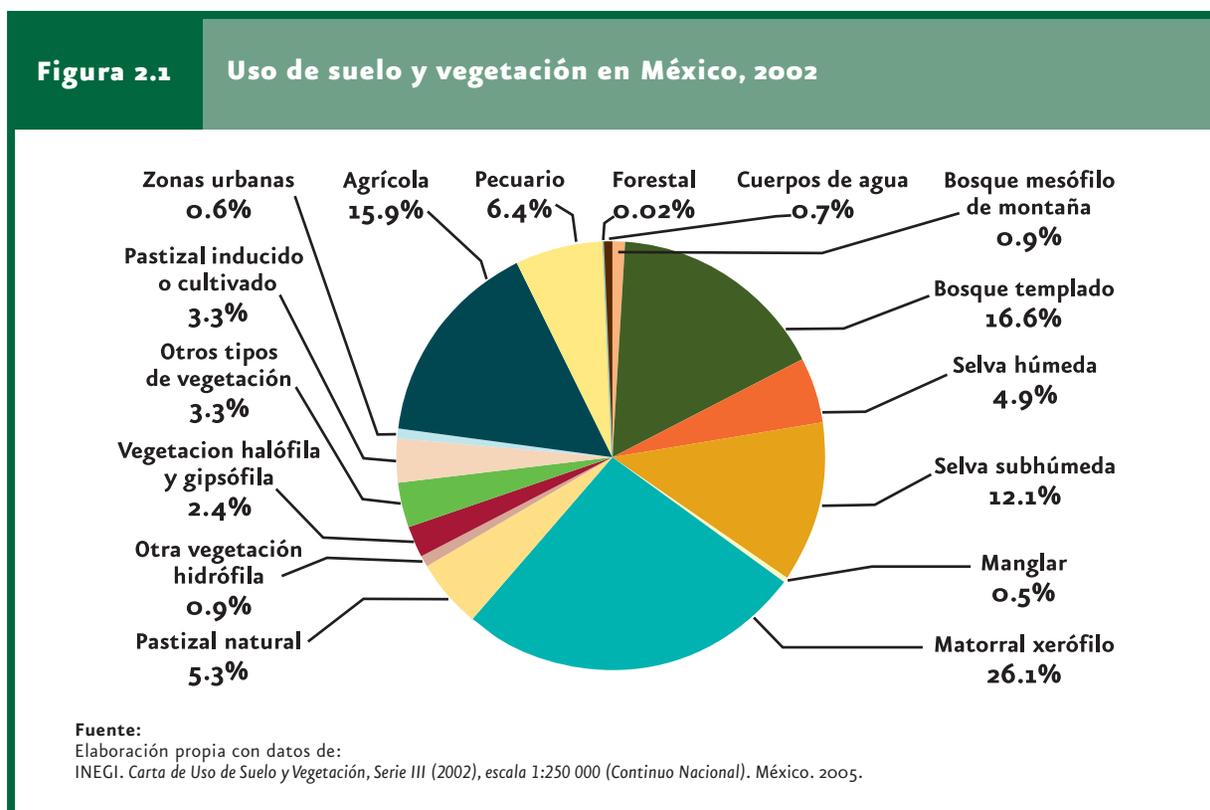
De acuerdo con esta carta, en el 2002, 72.6% del país estaba cubierto por comunidades naturales; el restante había sido convertido a terrenos agropecuarios, urbanos y otras cubiertas antrópicas (Figura 2.1). Sin embargo, la vegetación natural remanente no permanecía inalterada por el hombre: 48.6% del territorio (67.2% de la vegetación remanente) conservaba vegetación primaria (es decir, aquella que conserva la mayoría de las especies del ecosistema original, no presenta perturbación considerable y que es, en principio, la de mayor importancia por su biodiversidad y provisión de servicios ambientales), siendo las selvas, en general, la formación más afectada (sólo 35.4% de su superficie correspondía a

selva primaria; Mapas 2.1 y 2.2). A manera de comparación, en el mundo tan sólo 36% de los bosques² existentes son primarios (FAO, 2005).

En el año 2002, 72.6% del país estaba cubierto por comunidades naturales con distinto grado de conservación; la superficie restante ha sido convertida a terrenos agropecuarios, urbanos y otras cubiertas antrópicas.

De la superficie remanente con vegetación natural, los matorrales son la formación predominante (26.1% del territorio); de su superficie actual al menos 8.1% es secundaria, aunque ésta podría ser mayor puesto que muchas áreas están sujetas a la ganadería extensiva. Por su parte, los bosques y selvas

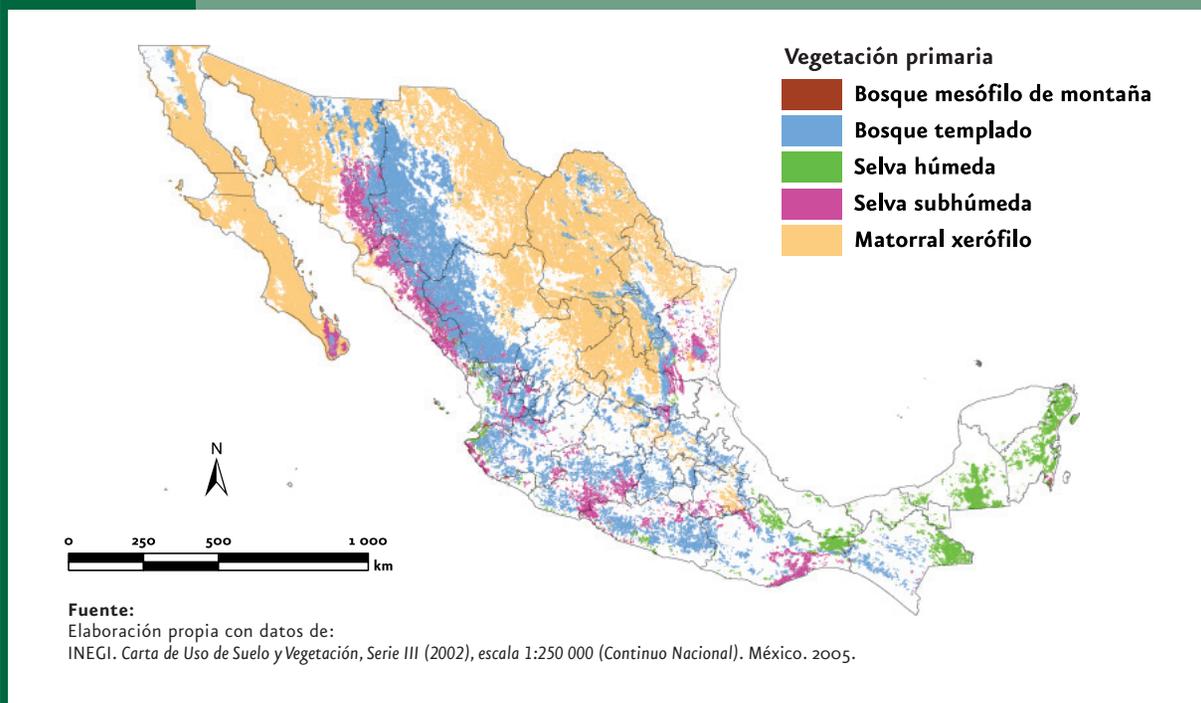
ocupan, en conjunto, 33.6% del territorio nacional, siendo la superficie cubierta por selvas primarias menor a la de los bosques primarios (11.7 y 22.1 millones de hectáreas, respectivamente; Figura 2.2).



²Para la FAO, los bosques son las tierras que abarcan más de media hectárea de superficie con una cubierta de árboles cuya altura es superior a los 5 metros y con una cubierta de copas de al menos 10%, o con árboles capaces de alcanzar estos límites mínimos *in situ*. La definición no incluye la tierra sometida a usos predominantemente agrícolas o urbanos. Por lo anterior, las categorías de bosques y selvas del sistema de clasificación empleadas en este capítulo quedan incluidas en la definición de los bosques de la FAO.

Mapa 2.1

Vegetación primaria en México, 2002



Mapa 2.2

Vegetación secundaria en México, 2002

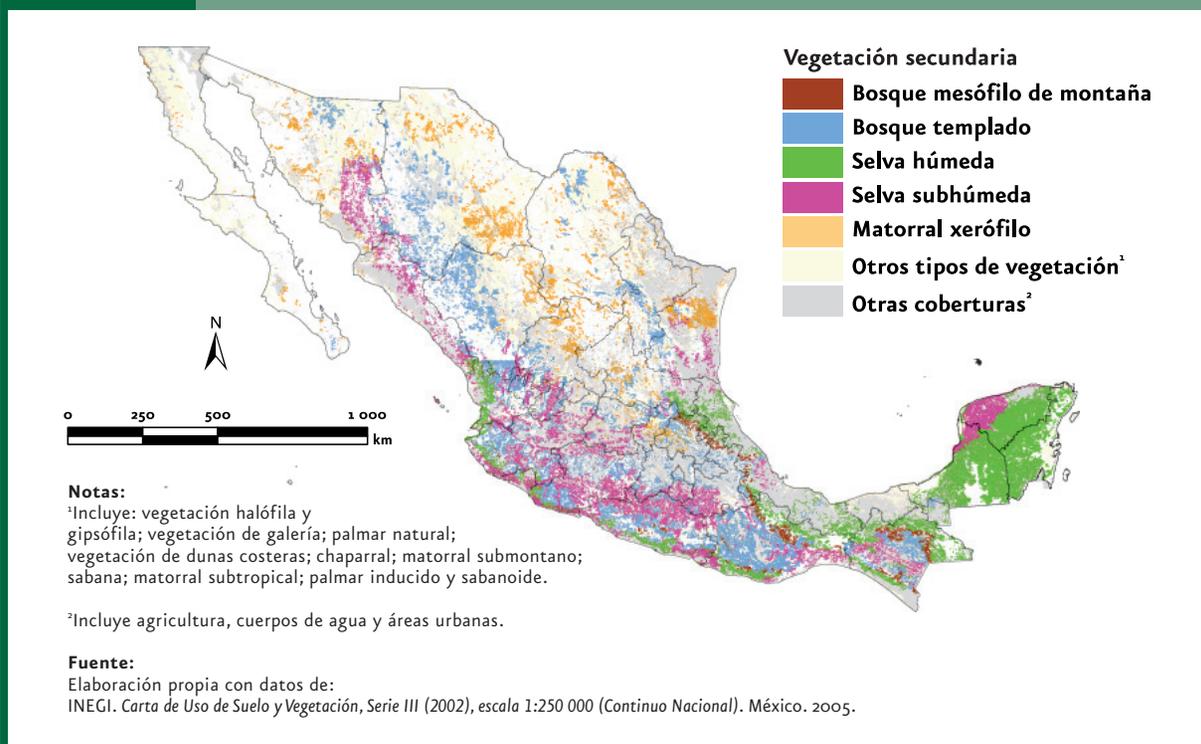
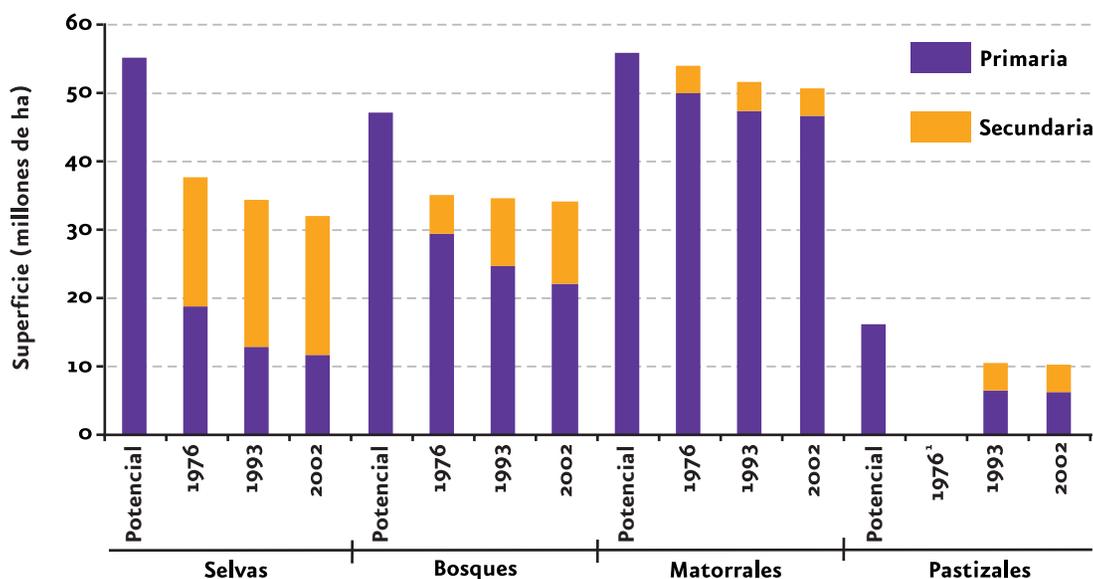


Figura 2.2

Vegetación primaria y secundaria por tipo de formación en México



Nota:

¹La superficie de pastizales no puede calcularse debido a la agregación que presenta este tipo de vegetación en su fuente original.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

Potencial: INEGI. *Carta de vegetación primaria potencial* (escala 1: 1 000 000). México. 2001.

1976: INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie I* (1968-1986), escala 1:250 000. México. 1993.

1993: INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie II (Reestructurada)* (1993), escala 1:250 000. México. 2004.

2002: INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III* (2002), escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.

Los estados con mayor proporción de su superficie cubierta por vegetación natural (sin considerar su grado de conservación) fueron Baja California Sur (93.5%), Quintana Roo (92.7%), Coahuila (92%), Baja California (90.9%), Chihuahua (89.3%) y Sonora (87.7%), con más del 80% de su territorio. En contraste, en Tlaxcala (18.2%), Veracruz (19.8%), Distrito Federal (28%), Tabasco (29.3%), Morelos (34.6%) y México (34.8%), la vegetación natural cubre menos del 35% de su superficie (Mapa 2.3).

Los matorrales son la formación vegetal predominante en el país (26.1% del territorio), seguidos por los bosques y selvas que, en conjunto, ocupan 33.6%.

natural remanente de Baja California Sur (que cubre el 93.5% del estado) es primaria. Sin embargo, existen importantes excepciones a esta tendencia, es decir, estados con grandes

superficies de vegetación natural remanente en condición secundaria: Quintana Roo (que tiene tan sólo 33.8% de su vegetación remanente en forma primaria), Campeche (26.8%) y Yucatán (5.7%). Tlaxcala, por el contrario, tan sólo conserva 18.2% de su cubierta vegetal, pero de ella cerca del 63% se considera primaria.

En general, los estados que conservan una alta proporción de su cubierta natural lo hacen con un importante porcentaje de vegetación primaria (Figura 2.3). Por ejemplo, 97.3% de la vegetación

La conversión de los ecosistemas naturales a tierras productivas ha sido particularmente intensa en la costa del Golfo y el centro del país. Los estados que han transformado más

Mapa 2.3

Vegetación natural remanente por entidad federativa, 2002

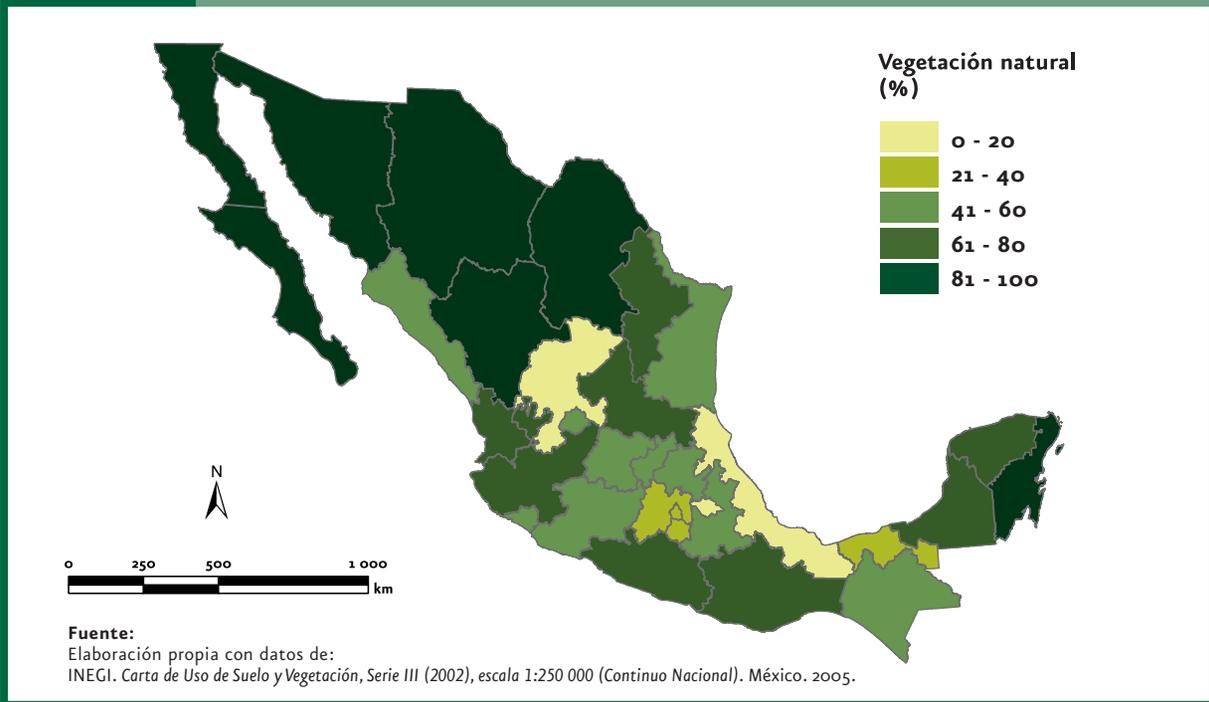
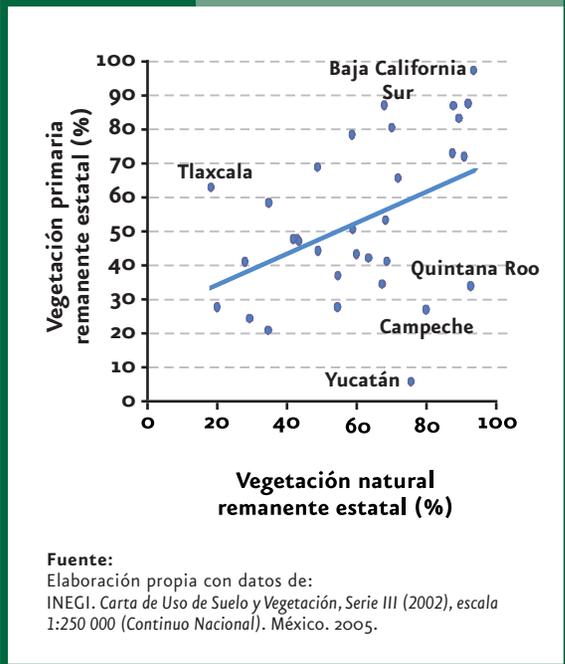


Figura 2.3

Relación entre la vegetación natural remanente estatal y su estado de conservación, 2002

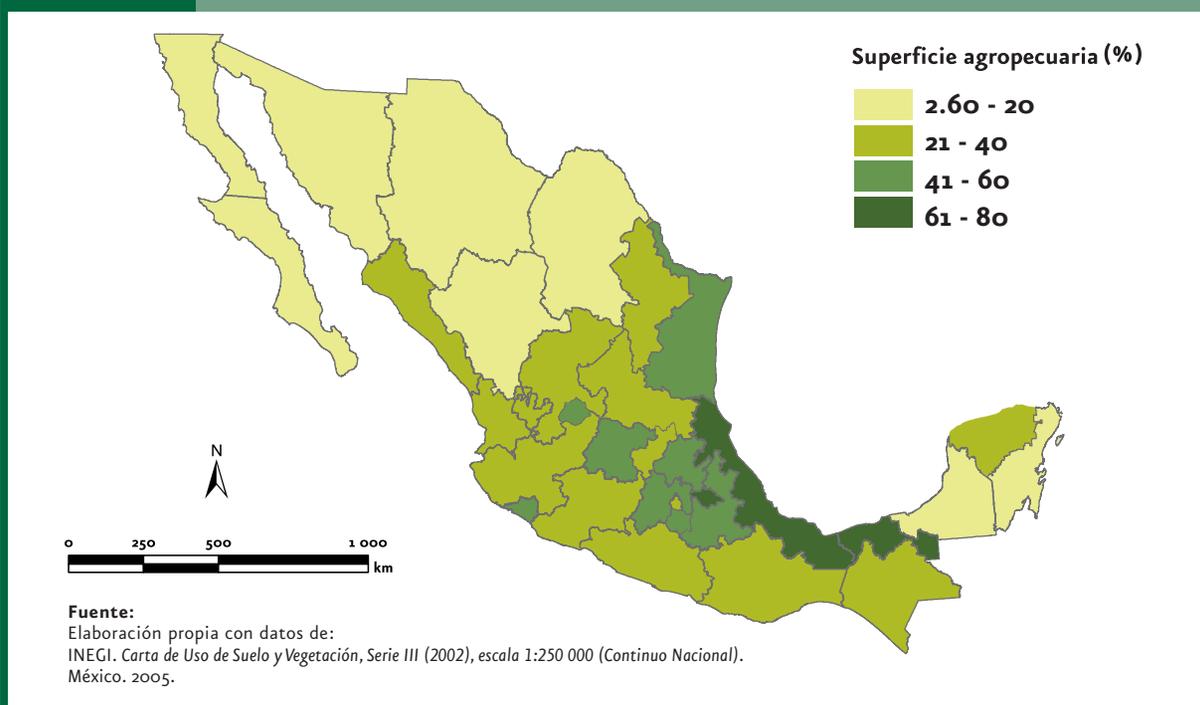


intensamente sus ecosistemas para dedicarlos a actividades agrícolas y pecuarias son Veracruz (75.5% de su superficie), Tlaxcala (74%) y Tabasco (64.6%; Mapa 2.4). Por el contrario, los estados con menores superficies agropecuarias son Baja California Sur (2.6%), Quintana Roo (5.3%), Coahuila (6.1%) y Baja California (6.4%).

Los estados que a la fecha han transformado más intensamente sus ecosistemas terrestres a terrenos agropecuarios son Veracruz, Tlaxcala y Tabasco.

CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO

En los últimos 50 años, los seres humanos han transformado los ecosistemas del mundo más rápida y extensamente que en ningún otro periodo de la historia (ver el Recuerdo de *La transformación y pérdida de los ecosistemas terrestres mundiales*). Estas rápidas y profundas transformaciones han impactado, con efectos sin precedentes, procesos ambientales locales, regionales y globales, acelerando la pérdida de la biodiversidad, reduciendo la disponibilidad

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

del agua, contaminando el aire y los suelos y emitiendo una gran cantidad de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera.

En México se han elaborado inventarios de la superficie bajo diferentes usos desde hace aproximadamente 40 años. Sin embargo, tales estudios no son directamente comparables debido a que utilizan diferentes fuentes de información (p. e. fotografías aéreas, imágenes satelitales, etc.) herramientas tecnológicas (p. e. mapas en papel, cartas digitales, sistemas de información geográfica, etc.) y clasificaciones diversas de los usos del suelo. No obstante, aunque las estimaciones cuantitativas no son tan precisas como sería deseable y deban tomarse con cautela, la información disponible permite identificar tendencias.

De los inventarios de uso del suelo disponibles, los más directamente comparables son las Cartas de uso del suelo y vegetación Serie I, Serie II y Serie III a escala 1:250 000, elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La

Serie I se basa en la interpretación de fotografías aéreas de los 70's, mientras que las Series II y III se crearon a partir de imágenes de satélite registradas en 1993 y 2002, respectivamente. Por otro lado, el INEGI también elaboró la Carta de vegetación primaria potencial, a escala 1:1 000 000, que describe la vegetación que probablemente cubría el territorio nacional antes de ser transformado por las actividades humanas.

De acuerdo a la Carta de vegetación primaria potencial (Mapa 2.5), los matorrales ocupaban el 28.8% del territorio, seguidos por las selvas (28.4%) y los bosques (24.3%; Figura 2.4). En los años setenta (según la Serie I), aún se mantenía el 75% de la superficie original de bosques, el 69% de la de selvas y 61% de los pastizales naturales originales (Figura 2.2). Para el 2002, según la Serie III, aún se conservaba cerca de 73% de la superficie original de bosques, 60% de las selvas, 91% de los matorrales y el 63% de los pastizales, lo que representa una pérdida neta de cerca de 222 mil kilómetros cuadrados de selvas, 129 mil de bosques, 51 mil de matorrales y cerca de 60 mil de

Recuadro

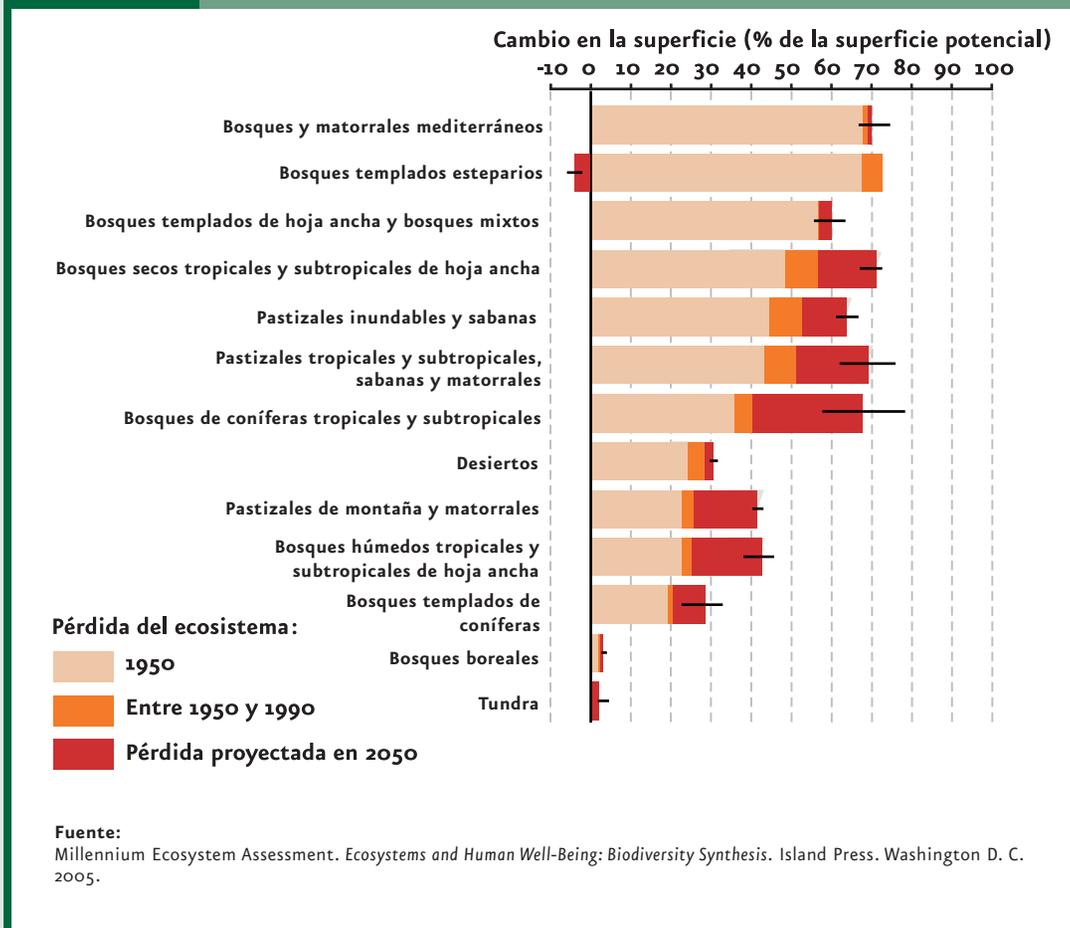
La transformación y pérdida de los ecosistemas terrestres mundiales

De acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005b), el hombre ha transformado los ecosistemas (tanto terrestres como dulceacuícolas y marinos) más rápida e intensivamente en los últimos 50 años que en ningún otro período comparable de la historia, con implicaciones en la capacidad de funcionar y proporcionar servicios ambientales actualmente y en el futuro.

Si se considera la superficie que pudieron ocupar los catorce principales biomas terrestres en el planeta que reconoce el MEA, en seis de ellos al menos el 50% de su superficie potencial ha sido transformada hacia otros usos hasta 1990, principalmente hacia la agricultura (Figura a). Particularmente graves han sido las transformaciones de las estepas y los bosques de las zonas templadas, cuya superficie global se redujo, hasta ese año, en

Figura a

Transformación de los principales ecosistemas terrestres en el mundo y proyecciones al 2050



cerca del 75% de su superficie potencial, así como la de los biomas mediterráneos y los bosques mixtos y latifoliados de las regiones templadas. En contraste, los biomas de las zonas muy frías han sido, quizá por su poca susceptibilidad a convertirse a la agricultura, los menos transformados, como son los casos del bosque boreal y la tundra.

En el caso de los bosques mundiales –templados y tropicales-, la superficie potencial se ha reducido en casi 50% durante los últimos tres siglos, habiendo desaparecido prácticamente en 25 países y en otros 29 reducido su extensión en más del 90%. Aun a pesar de los esfuerzos que muchas naciones han emprendido para conservar su cubierta forestal, el uso no sostenible de los bosques se refleja en la pérdida neta mundial, la cual según la FAO (2005) alcanza las 9.4 millones de hectáreas por año.

Los ecosistemas acuáticos continentales son los que más se han deteriorado hasta la fecha: por ejemplo, aun cuando no se tienen datos que lo soporten, se estima que la mitad de los humedales de agua dulce del mundo (excluyendo a los ríos, lagos y otros reservorios) se han perdido desde 1900, principalmente debido a la sobreexplotación del agua, a la construcción de infraestructura, al cambio de uso del suelo, a la sobreexplotación pesquera y a su eutrofización. Se calcula también que 60% de los principales ríos del mundo han sido fragmentados por presas y desvíos, lo que ha reducido de manera importante

su biodiversidad, resultado tanto de la inundación de hábitats, como al aislamiento y el bloqueo de rutas de migración de poblaciones animales (PNUMA, 2007).

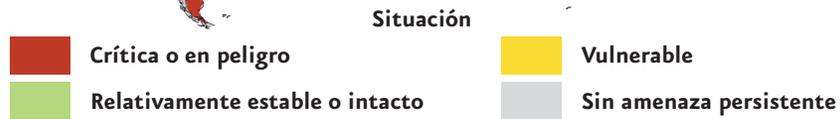
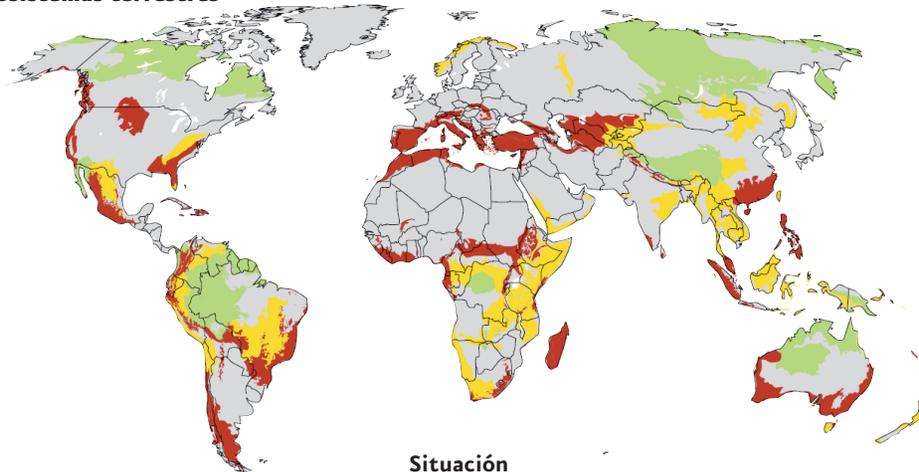
El grado de amenaza de los ecosistemas del mundo se muestra en el Mapa a (parte superior). Entre los más amenazados destacan los de países tan ricos y diversos como Madagascar, Indonesia, así como la Amazonía brasileña y la zona Mediterránea, mientras que gran parte de los ecosistemas de las zonas áridas y semiáridas de todos los continentes no muestran condiciones de amenaza persistente. En el caso de los ecosistemas costeros puede apreciarse que las zonas costeras con mayor grado de desarrollo y población muestran la condición más alterada –por ejemplo, la zona del Mediterráneo, la costa este de los Estados Unidos, las islas del Caribe y Japón-, mientras que las costas boreales, menos desarrolladas, presentan alteraciones significativamente menores (Mapa a, parte inferior).

El crecimiento de la superficie cultivada es el principal reflejo de la pérdida de los ecosistemas mundiales: se ha estimado que entre 1950 y 1980 se destinaron más tierras para cultivo –que antes fueron bosques y pastizales naturales-, que en el periodo que abarcó todo el siglo XVIII y la primera mitad del XIX. En la actualidad cerca de un cuarto (24%) de la superficie de las tierras del planeta se encuentra bajo cultivo (Mapa b), lo cual si bien ha ayudado a satisfacer necesidades alimenticias, también ha traído consigo costos ambientales y económicos significativos.

Mapa a

Situación actual de los ecosistemas terrestres y costeros

Ecosistemas terrestres



Ecosistemas marinos



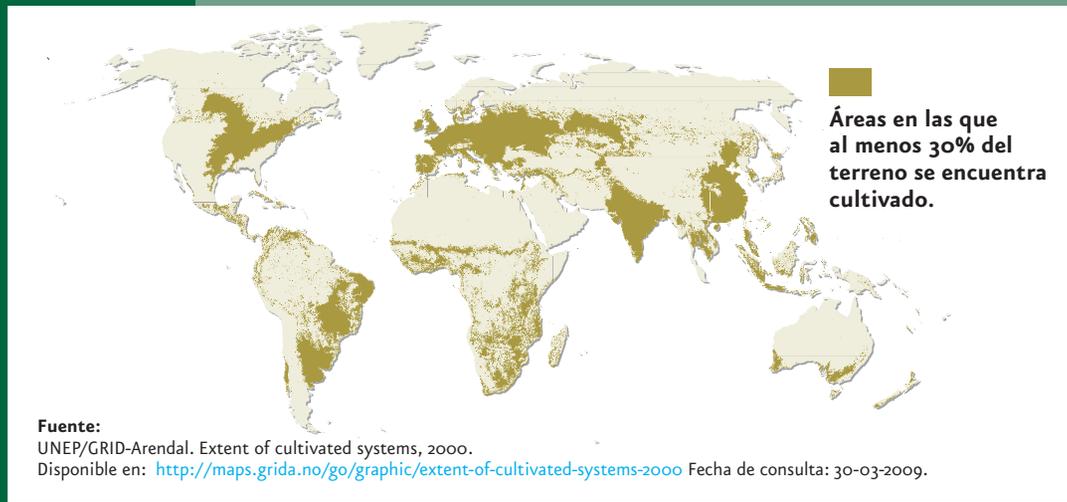
Fuentes:
 World Wildlife Fund. Global 200 Ecoregions. 2000. Disponible en: maps.grida.no/go/graphic/coastal-populations-and-shoreline-degradation Fecha de consulta 08-04-2009
 PNUMA. Global Environment Outlook 4: Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. Medio ambiente para el desarrollo. Dinamarca. 2007.

Recuadro

La transformación y pérdida de los ecosistemas terrestres mundiales (conclusión)

Mapa b

Superficie agrícola, 2000



El futuro de muchos ecosistemas no parece más alentador. Según las proyecciones del MEA (2005), algunos biomas habrán perdido una proporción muy significativa de su superficie potencial hacia el 2050, destacando los bosques de coníferas tropicales y subtropicales (cuya pérdida podría alcanzar en esa fecha el 80% de su superficie potencial), los bosques secos tropicales y subtropicales (alrededor del 75%) y las sabanas, matorrales y pastizales tropicales y subtropicales (80%), entre otros (Figura a). Por su parte, los pastizales y matorrales de montaña, así como los

bosques húmedos tropicales y subtropicales podrían perder entre 1990 y el 2050, según las proyecciones, casi la misma superficie que habrían perdido hasta 1950, lo que los reduciría a cerca del 50% de su área potencial.

Referencias:

MEA. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute. Washington, D.C. 2005.

PNUMA. *Global Environment Outlook 4: Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. Medio ambiente para el desarrollo*. Dinamarca. 2007.

pastizales. Aun cuando la mayor parte de estas transformaciones ocurrieron antes de los años 70, en las últimas décadas se registran aún pérdidas importantes (mayores a las 100 mil hectáreas anuales), particularmente en el caso de selvas y matorrales.

Hasta el año 2002, en el país se habían perdido 222 mil kilómetros cuadrados de selvas, 129 mil de bosques, 51 mil de matorrales y cerca de 60 mil de pastizales.

Si la transformación de los ecosistemas a otros usos del suelo considera el cambio en la vegetación primaria, las transformaciones son aún mayores. En los años 70, las selvas primarias ocupaban 34% de su probable extensión original, de los bosques

primarios se conservaba 62%, 89% de los matorrales y 45% de los pastizales. Ya en el año 2002 las selvas primarias alcanzaron tan sólo el 21% de su probable extensión original, los bosques primarios 47%, los matorrales primarios 83% y los pastizales el 39% (Figura 2.2).

En el periodo comprendido entre la década de los años 70 y 1993, cerca de 14 millones de hectáreas de bosques, selvas, matorrales y pastizales primarios fueron eliminados para dedicarlos a otros usos o alterados y reemplazados por comunidades secundarias, a un ritmo promedio de unas 823 mil hectáreas por año. Estas transformaciones afectaron particularmente a los bosques templados (unas 276 mil hectáreas por año) y las selvas (unas 341 mil hectáreas por año).

Entre los años setenta y el 2002, se perdieron, considerando sólo vegetación primaria, 14.4 millones de hectáreas de bosques y selvas y 3.2 millones de matorrales.

Más recientemente, aunque la transformación o alteración de la vegetación primaria ha disminuido, sigue siendo importante. De 1993 a 2002, un total de 4.6 millones de hectáreas (una superficie ligeramente mayor a la 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 515 mil hectáreas por año. En este periodo, los bosques primarios 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 un millón 261 mil hectáreas, a un ritmo de casi 140 mil hectáreas por año (Figura 2.2).

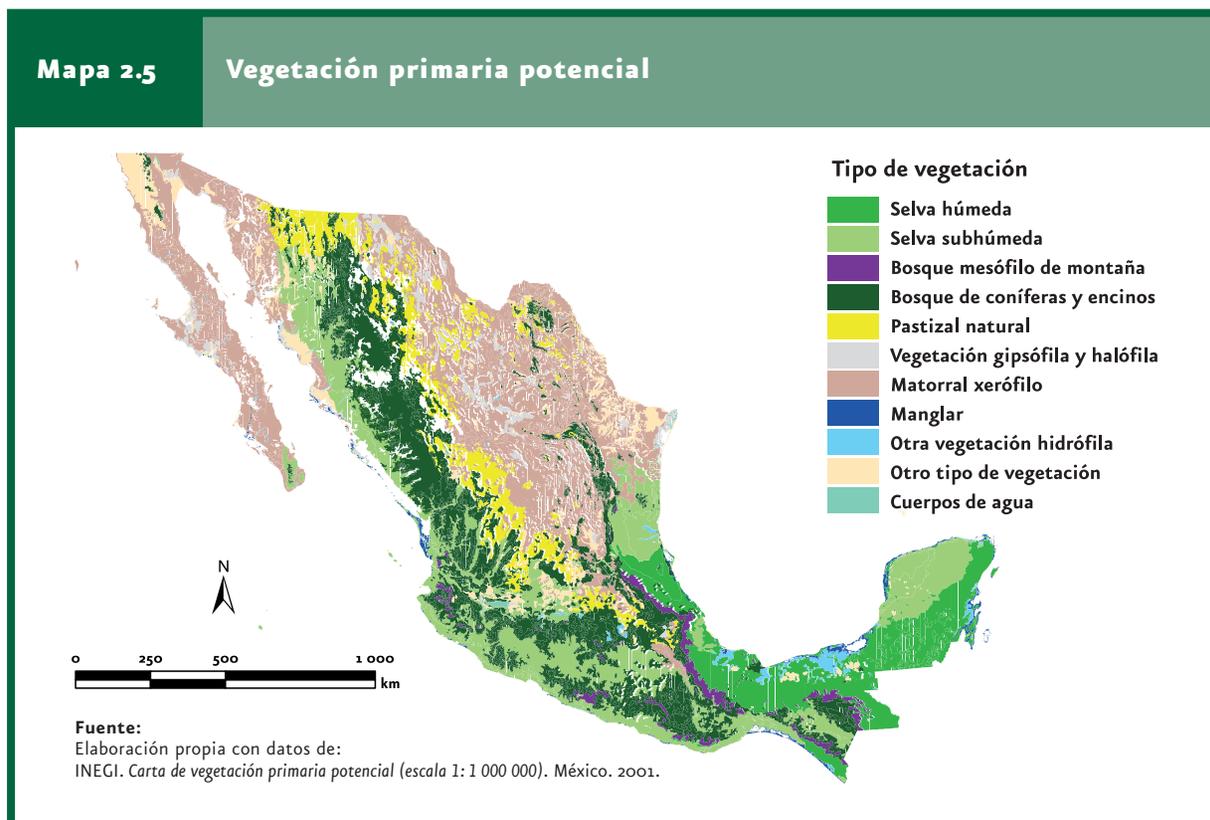
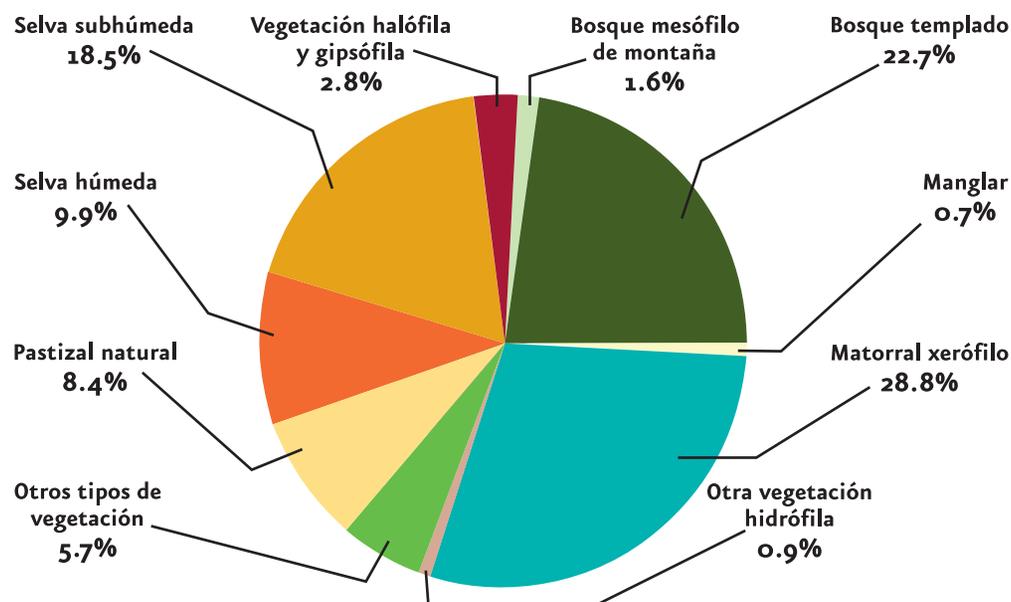


Figura 2.4**Vegetación primaria potencial en México**

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

En general, las selvas han sido los ecosistemas terrestres del país que han sufrido las mayores transformaciones y afectaciones por las actividades humanas, tanto en la extensión que ha sido eliminada (poco más de 22 millones de hectáreas) y en la proporción que permanece de su extensión original (cerca del 60%), como en la extensión de la perturbación que han experimentado (sólo el 35% de las selvas actualmente existentes son primarias). Considerando la superficie neta perdida, le siguen los bosques, que han perdido poco menos de 13 millones de hectáreas y cuya extensión ahora tan sólo alcanza el 73% de su extensión original. Los matorrales desérticos redujeron su extensión de las aproximadamente 56 millones de hectáreas que pudieron ocupar originalmente a sólo 51 millones (incluyendo comunidades primarias y secundarias). Estas pérdidas son particularmente importantes si se considera 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 endémicas (ver el capítulo de *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, la vegetación secundaria (considerando bosques, selvas, matorrales y pastizales) se incrementó en cerca de 8 millones de hectáreas, a un ritmo de 476 mil hectáreas por año. 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 cerca de 2.3 millones de hectáreas, se perdieron 5.8 millones

de hectáreas de selvas primarias, dando como resultado una pérdida neta global de 3.5 millones de hectáreas de selvas en ese periodo de 17 años. Más recientemente, en el periodo 1993 a 2002, la extensión de bosques templados secundarios aumentó en poca más de 2 millones de hectáreas, una superficie ligeramente menor a la perdida por los bosques primarios en el mismo periodo (2.6 millones de hectáreas). En contraste, las selvas tanto primarias como secundarias experimentaron una pérdida neta global de un 1.3 millones de hectáreas (Figura 2.2).

Por el contrario, los terrenos agropecuarios se han expandido continuamente a través de la historia. Hacia la década de los 70, 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 6.5 millones de hectáreas hasta cubrir una superficie total de 46.8 millones de hectáreas en 1993, a un ritmo de 380 mil hectáreas anuales. De 1993 al 2002, los pastizales cultivados o inducidos aumentaron su superficie en unas 91 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 49.8 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

Los terrenos agropecuarios pasaron de 40 millones de hectáreas en la década de los años setenta a cerca de 50 millones en el año 2002.

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 a otra distinta, tal y como se ilustra esquemáticamente en la Figura 2.5.

PROCESOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO

De los procesos que determinan el cambio en el uso del suelo algunos han recibido especial atención.

Tales son los casos de la deforestación -el cambio permanente de una cubierta dominada por árboles hacia una que carece de ellos³-, la alteración -también llamada degradación y que implica una modificación inducida por el hombre en la vegetación natural, pero no un reemplazo total de la misma- y la fragmentación -la transformación del paisaje dejando pequeños parches de vegetación original rodeados de superficie alterada-. El cambio de uso del 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.

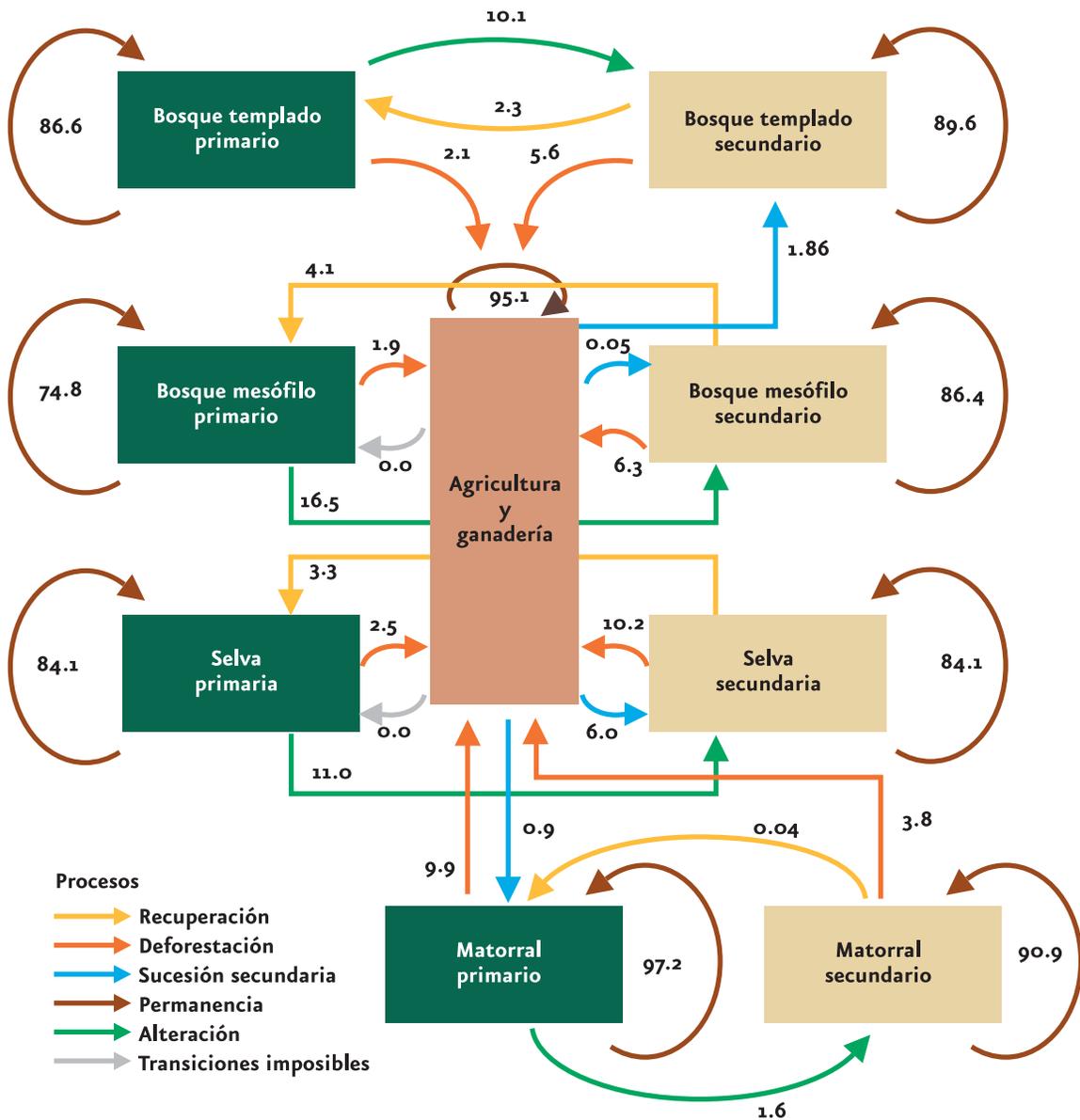
Deforestación

El principal motivo de preocupación mundial en torno a la deforestación se refiere al calentamiento

³La FAO considera la deforestación como el cambio permanente de la cubierta forestal a una superficie con una cobertura de las copas de los árboles menor al 10%, con el consecuente cambio de uso del suelo.

Figura 2.5

Modelo del cambio de uso del suelo¹. Los valores corresponden a la probabilidad (expresada en porcentaje) de que la superficie cubierta por un uso de suelo permanezca como tal o cambie a otra condición.



Nota:

¹ Las probabilidades de cambio corresponden al periodo 1993 - 2002. No se incluyen en el modelo los cambios de otros tipos de vegetación.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
 INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie II (Reestructurada)* (1993), escala 1:250 000. México. 2004.
 INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III* (2002), escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.

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 así la erosión; favorecen la infiltración del agua al subsuelo alimentando los mantos freáticos y también purifican el agua y el aire. 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 destacable 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 283 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 y exacerba el efecto invernadero. En el caso de México, cálculos preliminares estiman que anualmente, durante el periodo 1993-2002, las emisiones nacionales de bióxido de carbono asociadas al cambio de uso del suelo ascendieron a 89 mil 854 gigagramos de bióxido de carbono equivalente, es decir, alrededor del 14% de las emisiones totales de GEI nacionales (INE-Semarnat, 2006).

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 el capítulo de *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 que les son indispensables (p. e. alimenticios, refugios, sitios de anidación, etc.) o bien, porque cambian las condiciones bajo las que interactúan con otras especies (p. e. 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.

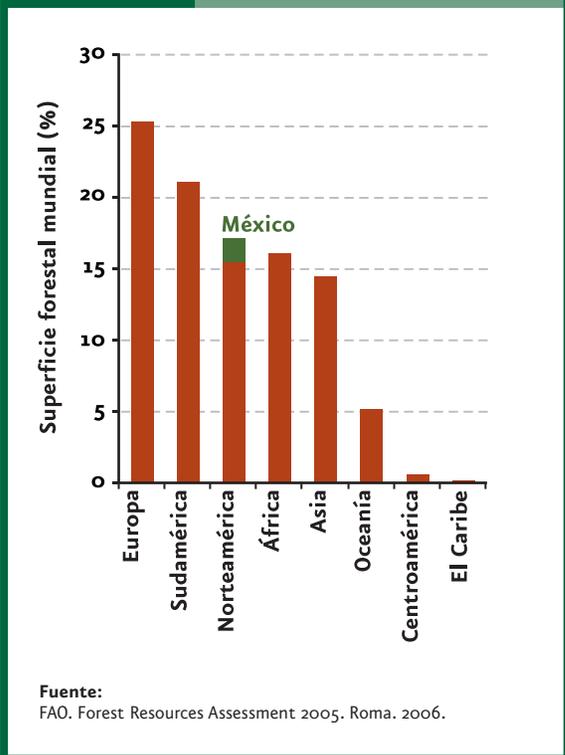
De acuerdo con la FAO (2007), que considera que una zona forestal es aquella que tiene al menos un 10% de su superficie cubierta por las copas de árboles, en 2005 los bosques mundiales cubrían 3 mil 952 millones de hectáreas, es decir, alrededor del 30.3% de la superficie terrestre del planeta. El mayor remanente se encuentra en Europa (25.3% del área forestal mundial), seguido por Sudamérica (21%) y Norteamérica (17.1%, al cual México contribuye con el 1.63%; Figura 2.6).

Según esa evaluación, la deforestación mundial, sobre todo para convertir los bosques a tierras agrícolas, ha proseguido a millones de hectáreas por año. Aunque el ritmo neto de pérdida ha disminuido con respecto a la década anterior (1990-2000: 8.9 millones de hectáreas por año, a una tasa de 0.22% anual), la pérdida sigue siendo alta: para el periodo 2000-2005 se calculó en 7.3 millones de hectáreas anuales (0.18% anual).

A nivel mundial, en el periodo 2000-2005, Sudamérica fue la región que perdió mayor superficie (4.2 millones de hectáreas), seguida

Figura 2.6

Zonas forestales remanentes en diferentes regiones del mundo, 2005

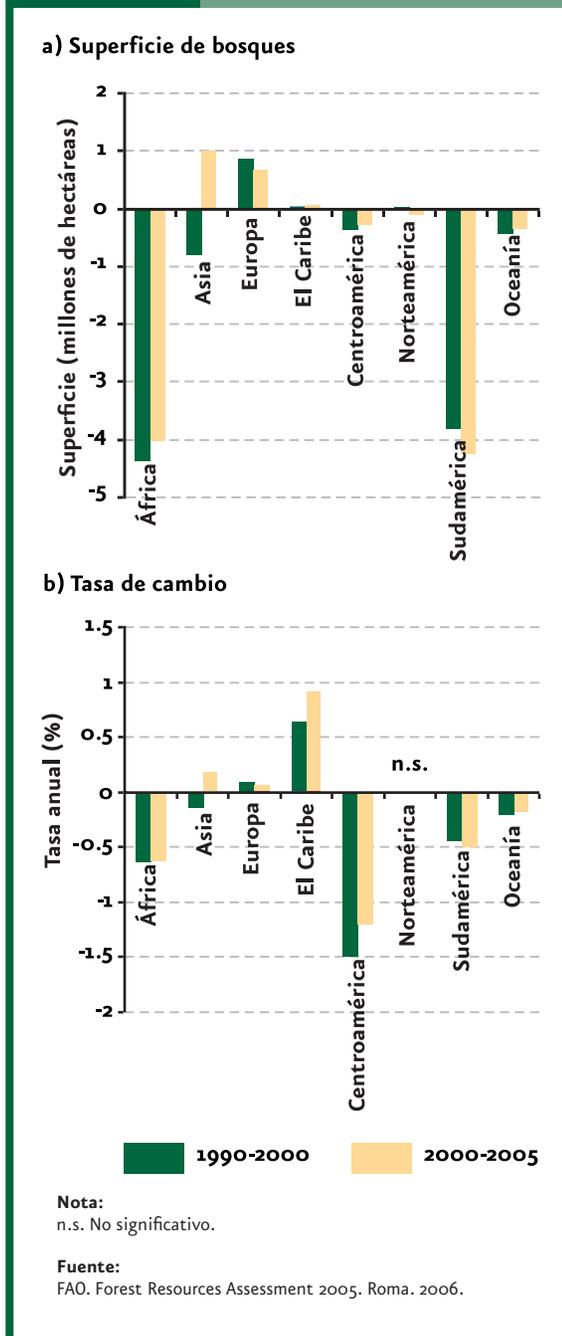


por África (4 millones de hectáreas; Figura 2.7a). Por el contrario, en Europa y Asia las superficies boscosas se incrementaron durante el periodo 2000 - 2005 en 666 mil y un millón de hectáreas, respectivamente. Sin embargo, cuando la comparación se realiza considerando las tasas de deforestación, Centroamérica y África son las regiones con los mayores estimados para los periodos 1990-2000 y 2000-2005 (Figura 2.7b). Siguiendo las comparaciones internacionales, debe decirse que 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 2.8).

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 los últimos quince años se han generado cifras que van desde 316 hasta cerca de 800 mil

Figura 2.7

Deforestación en el mundo por superficie y tasa anual según región, 1990 - 2005



hectáreas al año (Figura 2.9; ver el Recuadro *Tasas de deforestación en México*). Las dos estimaciones más recientes de las tasas de cambio en el país fueron las obtenidas por el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México

La deforestación es uno de los temas más complejos y controvertidos de la agenda ambiental mundial y de la de muchos países, entre ellos México. Además del reconocimiento de sus importantes consecuencias ambientales, se acepta que constituye una afectación sustancial al capital natural de los países, lo cual repercute tanto en la calidad de vida y desarrollo de los grupos humanos que dependen directamente de ellos, como en la pérdida de las posibles ganancias económicas que en el largo plazo podrían obtenerse de la explotación sostenible de los bosques.

La estimación de la magnitud de la deforestación constituye un problema, en sí mismo, difícil de resolver. Las estimaciones para una zona en un periodo dado pueden diferir significativamente entre sí debido a la naturaleza de la información base empleada -sea porque ésta se derive de imágenes de satélite o fotografías aéreas o por sus escalas de trabajo-, o simplemente por los criterios empleados para la clasificación de la vegetación. En el caso de México, las estimaciones de las tasas de deforestación no han escapado a esta problemática. Los tres inventarios forestales que han sido completados a la fecha -el más reciente aunque ya se ha concluido, no se ha publicado y menos aun empleado para calcular la pérdida de la cubierta vegetal- difieren sustancialmente

en su información base y criterios de clasificación, lo que hace que sus resultados no sean directamente comparables 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. A continuación se listan algunas de las estimaciones calculadas para México en diferentes periodos y con diversas metodologías y fuentes de información:

1) 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 los 37 años transcurridos entre esas fechas.

2) 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 por 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.

3) 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 por año entre 1980 y 1990.

4) 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 por año para el periodo 1973-1991.

5) 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 por año, obtenida previamente para 1990, con los factores que provocan la deforestación (p. e. reducción de los permisos de cambios de uso del 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.

6) Con base en cifras oficiales sobre el

incremento de la superficie agrícola y pecuaria del país, Toledo y colaboradores (1989) estimaron una tasa de un millón 500 mil hectáreas por año.

7) 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 por año.

8) 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 mil 600 hectáreas por 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 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 uso del suelo y vegetación Serie I del INEGI (que describe el estado de la cubierta vegetal del país en la década de los 70) y la carta del Inventario Nacional Forestal Periódico.

9) En diciembre de 2001, la Semarnat presentó una estimación realizada con base en la Carta de uso del suelo y vegetación 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 un millón 127 mil 845 hectáreas por 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 por año.

10) En 2002, por mandato del Instituto Nacional de Ecología-Semarnat, el Instituto

de Geografía de la UNAM realizó una investigación encaminada a evaluar la confiabilidad y mejorar la calidad de las bases de datos disponibles sobre el uso del suelo y la 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 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 por año (para bosques templados y tropicales y matorrales) o de 350 mil 296 hectáreas por año tan sólo para bosques y selvas, para el periodo 1976-2000.

11) En 2003 se publicaron dos obras (el Informe de México al proceso de Montreal y el Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2002) en las que 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 uso del suelo y vegetación 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

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

12) Para el reporte de México ante 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 uso del suelo y vegetación Serie II y una versión entonces preliminar de la Carta de uso del suelo y vegetación 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 mil 445 hectáreas por año. Si se considera también la pérdida de otras tierras boscosas, la tasa total de deforestación es de 401 mil hectáreas por 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 (p. e. Programa Nacional de Reforestación, Programa de Desarrollo Forestal, etc.) que el gobierno federal aplicaba para contrarrestar sus efectos, en un nivel dado por las metas que estos programas esperaban alcanzar en el periodo. De ahí se obtuvieron proyecciones –que, de cumplirse cabalmente las suposiciones en que se basaron las predicciones- daban como resultado una tasa promedio de 260 mil hectáreas por año para el periodo 2000-2005.

Figura 2.8

**México en el mundo:
tasas de deforestación
2000 - 2005 para países
de la OCDE y de
Latinoamérica**

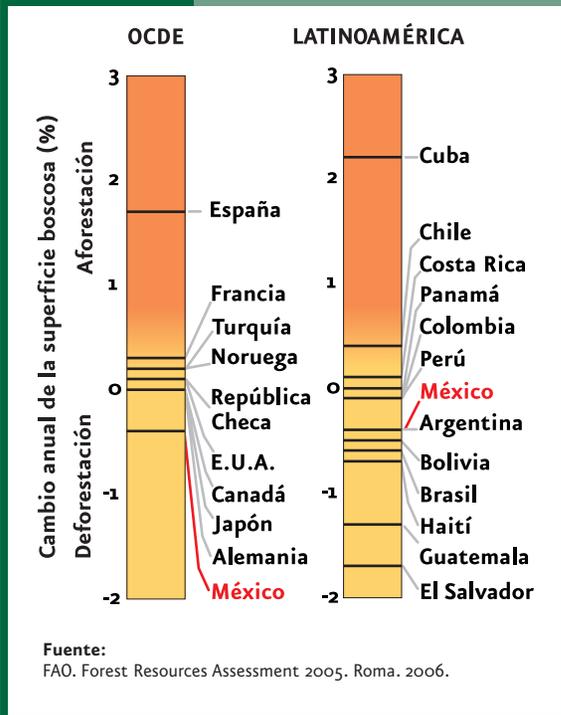
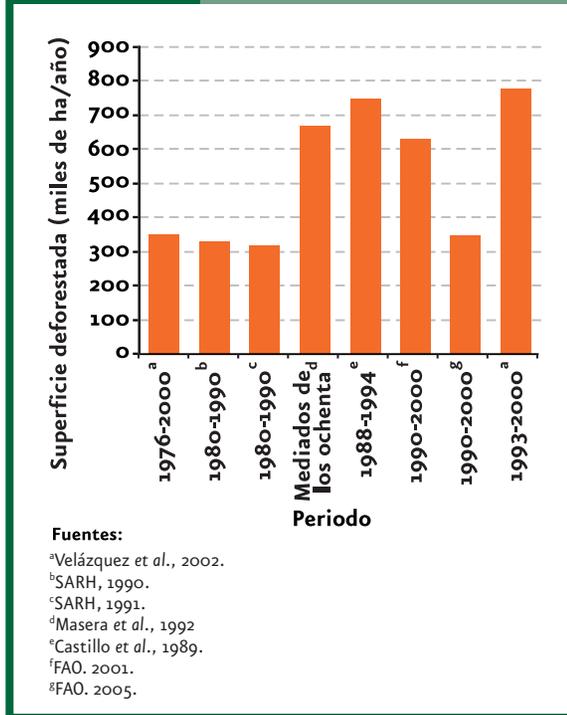


Figura 2.9

**Estimaciones de la
deforestación anual
en México para distintos
periodos**



(UNAM) para el periodo 1993-2000 (Velázquez et al., 2002) y la elaborada por la Comisión Nacional Forestal (Conafor) para ser integrada al Forest Resources Assessment (FRA) de 2005 (FAO, 2005). La estimación de la UNAM se basó en comparar las existencias forestales hacia 1993 (de acuerdo con una versión preliminar de la Carta de uso 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 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 del suelo y vegetación Serie II (versión reestructurada) del INEGI y la Carta de uso del suelo y vegetación Serie III elaborada también por el INEGI con base en imágenes de satélite registradas en los años 1993 y 2002, respectivamente.

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 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, pastizal cultivado e inducido, 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 (p. e. bosques y selvas) en 1993 y el año 2000. 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 la 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 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 agropecuarias 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; ver también la Figura 2.5).

Igual que 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 el 40% 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 (ver más adelante en la sección de **Otras amenazas a los ecosistemas terrestres** más detalles respecto a los incendios forestales).

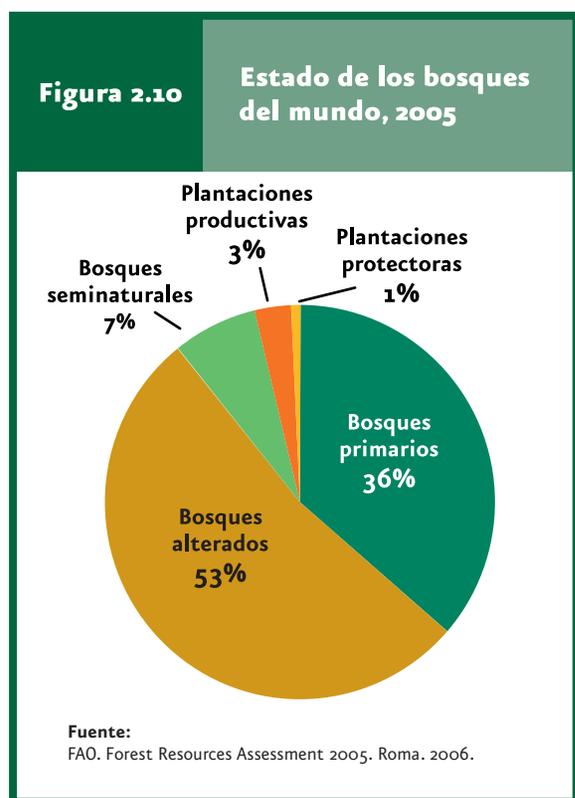
Alteración de bosques y selvas

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 el caso de la deforestación), sí puede ocasionar cambios importantes tanto en la composición específica como en la densidad de las especies que habitan estos ecosistemas, lo que a su vez afectará su estructura y funcionamiento.

En los últimos quince años, las estimaciones de la deforestación en el país son muy dispares: van desde las 316 mil a las casi 800 mil hectáreas por año.

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.

De acuerdo con la evaluación global más reciente de los recursos forestales (FAO, 2006), 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 (Figura 2.10). El caso de México es también preocupante, ya que actualmente sólo 48.6% de la superficie del país está cubierta por vegetación primaria o con poca perturbación apreciable (de acuerdo con la Carta de uso del suelo y vegetación Serie III), en tanto que la vegetación secundaria -considerando tan sólo bosques y selvas- ha venido aumentando a un ritmo cercano a las 130 mil hectáreas por año (durante el periodo 1993–2002), siendo los bosques templados los que han sufrido una degradación más intensa (cerca a las 252 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 514 mil hectáreas por año, es decir, poco más de dos veces mayor a la tasa de deforestación *sensu stricto* (221 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.

El deterioro de los bosques y selvas del país, que incluye tanto la deforestación y la degradación de la vegetación, ha ocurrido en cerca de 514 mil hectáreas por año desde los años setenta hasta el año 2002.

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

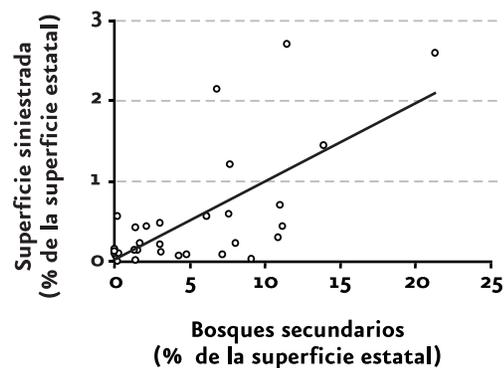
decenas de diferentes especies de árboles, la mayoría de las cuales carecen de mercado, por lo que su aprovechamiento no es redituable. Dispersas entre estos árboles crecen árboles de maderas preciosas como la caoba (*Swietenia*) y el cedro rojo (*Cedrella*) que son taladas sin aprovechar las plantas 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 a riesgo de incendios. La reducción de la cubierta vegetal provoca cambios en el microclima, el cual 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 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, se pudo comprobar que en Indonesia la vegetación alterada se incendió espontáneamente con mucha mayor frecuencia que las selvas primarias (Page et al., 2002). Lo mismo ocurrió en México, donde la superficie estatal afectada por incendios durante el evento de El Niño del mismo año estuvo 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 2.11).

Figura 2.11

Relación entre la alteración de los bosques y selvas y los incendios en México, 1998



Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 Semarnat. *Inventario Forestal Nacional 2000*. México. 2001.
 Semarnat, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. México. 2002.

La alteración o degradación de la vegetación se acelera con el tiempo, debido a que los procesos que intervienen interactúan unos con otros en forma sinérgica. Sus resultados pueden ser despreciables en un inicio, pero la sinergia acelera las tasas de cambio, hasta que se desencadenan procesos irreversibles de deterioro. La vegetación secundaria es deforestada a una tasa superior que la primaria (Figura 2.5); los accesos abiertos para la extracción de maderas preciosas sirven después a campesinos y ganaderos para colonizar nuevas zonas; la ganadería extensiva provoca erosión; la corta de leña promueve incendios; la vegetación perturbada es mucho más susceptible a las catástrofes naturales (como huracanes, sequías o incendios) que la vegetación primaria. Mientras que la deforestación es típicamente una forma de disturbio agudo, la alteración corresponde a la forma crónica, cuyos efectos son acumulativos, sinérgicos, y cada vez más veloces, hasta volverse irreversibles (ver el Recuadro *Cambios catastróficos en ecosistemas* en el *Informe 2005*).

Degradación de matorrales

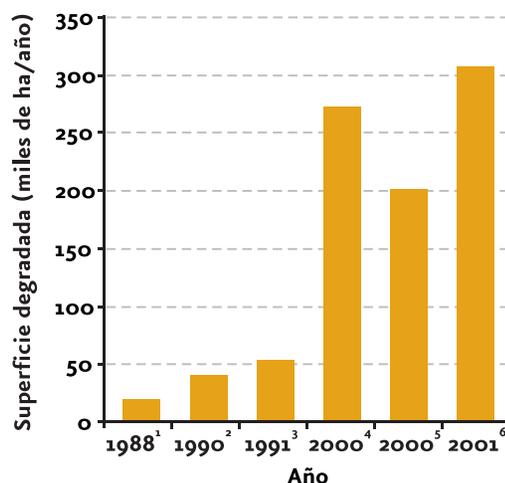
Los matorrales, huizachales y mezquiales que caracterizan a las zonas áridas de México también han sido deteriorados por el hombre. Sin embargo, en muchos casos no se da la importancia debida a la degradación de estos tipos de vegetación, ya que se les considera más un problema que un recurso. Es frecuente la concepción errónea de que los desiertos son un producto indeseable de las actividades humanas; por el contrario, los desiertos mexicanos son ecosistemas ricos en especies, muchas de ellas endémicas.

El ritmo con el que los matorrales desérticos son transformados a otros usos del suelo es aún más difícil de evaluar que la deforestación (Figura 2.12). De acuerdo con los inventarios nacionales, los matorrales constituyen el ecosistema que más lentamente está siendo transformado a otros usos y que se preserva, por tanto, en mayor proporción como vegetación primaria (92% en el año 2002, según la Carta de uso del suelo y vegetación Serie III). No obstante, en términos absolutos, este nivel de degradación no es despreciable ya que los matorrales secundarios ocupan poco más de 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

Figura 2.12

Estimaciones de las tasas de degradación de matorrales en México



Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

¹FAO, 1988.

²SARH, 1990.

³SARH, 1991.

⁴Semarnat, 2003.

⁵FAO, 2005.

⁶Velázquez et al., 2002.

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 u 8% de matorrales secundarios que describen las Cartas de uso 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 encontrarían 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 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 o 24% de la superficie nacional y aproximadamente 43% de la superficie dedicada a la ganadería en el país.

Aunque el tema de los incendios generalmente se relaciona con los bosques templados, la mayor parte de la superficie afectada comúnmente corresponde a pastizales, matorrales y vegetación arbustiva. En el periodo 1998-2008, la superficie de matorrales afectada por estas conflagraciones osciló entre el 35 y el 49% de la superficie total incendiada en el país.

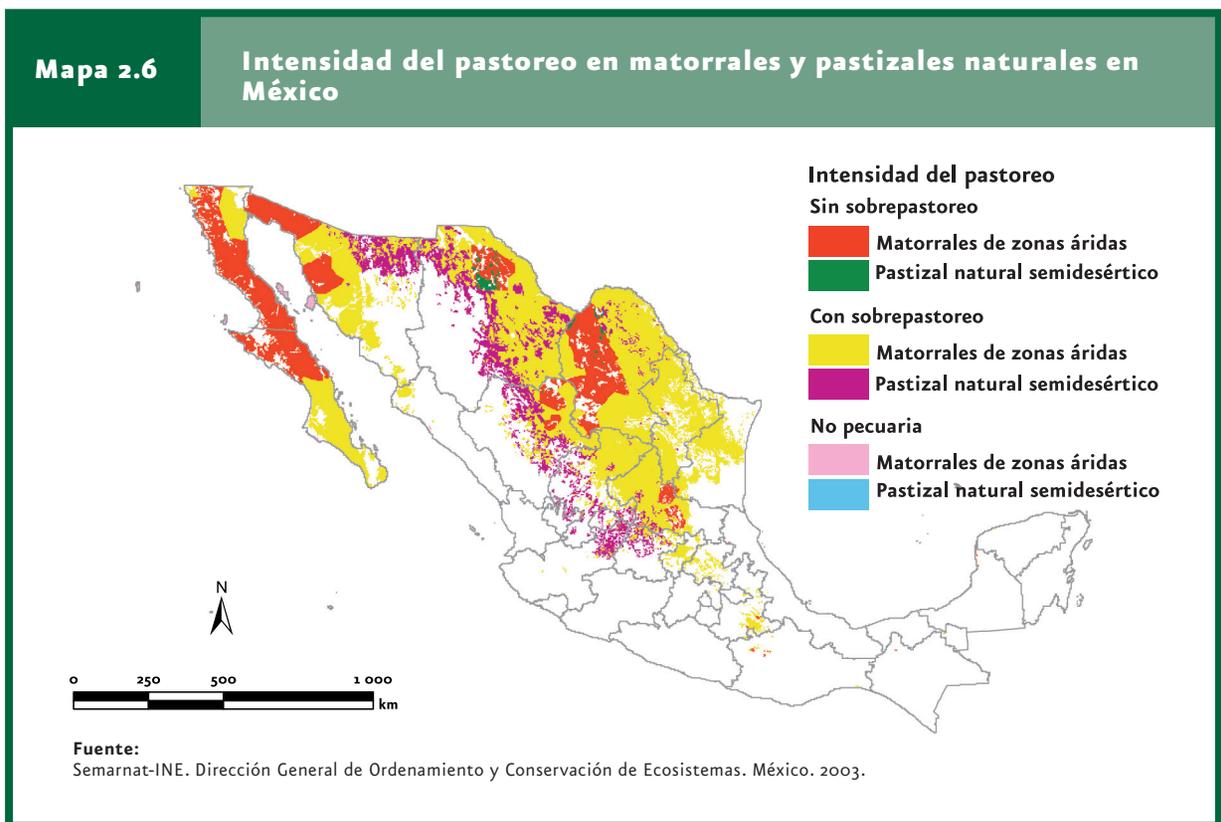
Los matorrales desérticos son ecosistemas sumamente frágiles. Los ritmos ecológicos de los desiertos son de los más lentos del mundo, razón por la que los efectos de las actividades

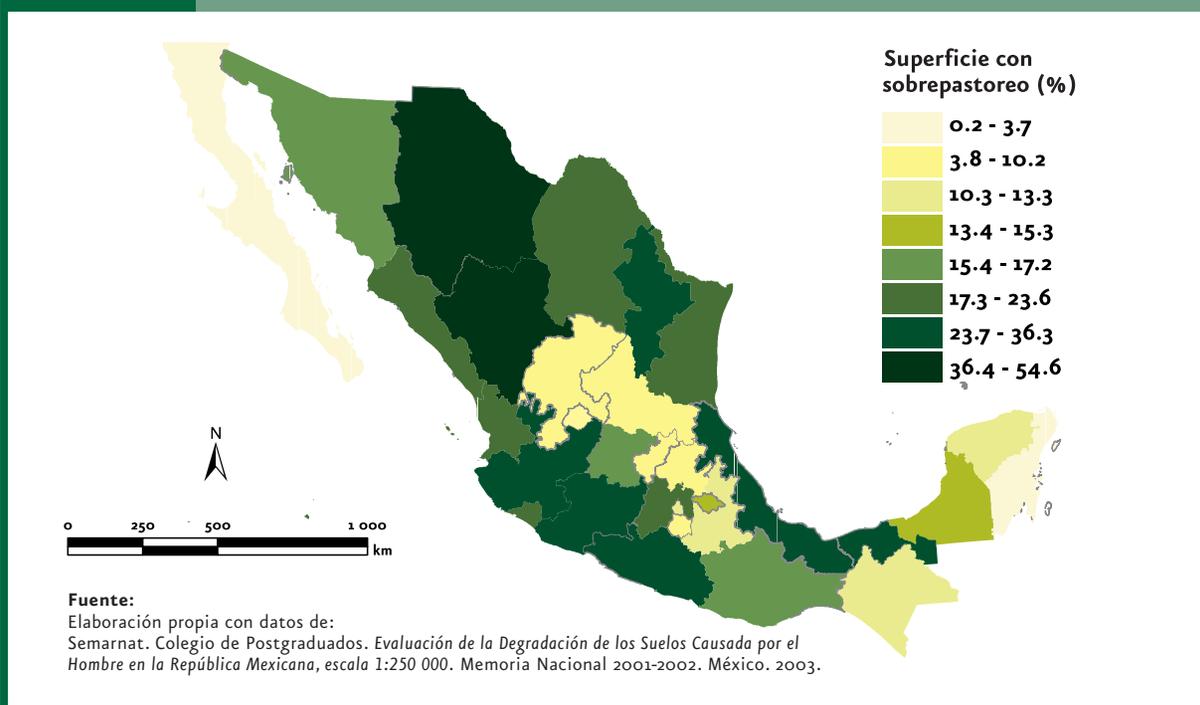
humanas tardan mucho tiempo en ser borrados del ecosistema y van, por tanto, acumulándose a través del tiempo. Consecuentemente, la vegetación de las zonas secas es muy susceptible a los procesos de alteración y degradación, ya que los procesos de aceleración y sinergia típicos

del disturbio crónico son muy intensos; de hecho reciben un nombre especial: desertificación (véase también la sección dedicada a este tema en el capítulo de *Suelos*).

El 70 y 95% de los matorrales y pastizales naturales del país, respectivamente, podrían estar afectados por el sobrepastoreo.

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



Mapa 2.7**Sobrepastoreo por entidad federativa, 2002**

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 bosques de cedro libaneses 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 subhúmedas 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 (véase también el tema de la **Degradación del suelo** en el capítulo de **Suelos**).

Fragmentación

Cuando se elimina la vegetación original de una zona, con frecuencia quedan pequeños manchones intactos inmersos en una matriz sumamente

degradada. Como resultado de ello, la vegetación natural de 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. 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. Ritters y colaboradores (2000) presentaron las primeras estimaciones sobre fragmentación para las 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 (esto es, se encuentra a más de 4.5 kilómetros de un borde). A nivel regional, Norte y Centroamérica mostraron la mayor proporción de bosques fragmentados en el mundo (superior al 45%); considerando el tipo de ecosistema, las selvas resultaron las más fragmentadas (Figura 2.13).

En el caso de México, las estimaciones más recientes acerca de la fragmentación de los

ecosistemas provienen del trabajo de Sánchez-Colón y colaboradores (datos no publicados), quienes tomaron como base la información del año 2002 contenida en la Carta de uso del suelo y vegetación Serie III del INEGI. Para medir el grado de fragmentación de los ecosistemas, se consideraron como áreas fragmentadas todas aquellas superficies de vegetación natural menores a 80 kilómetros cuadrados, superficie que se consideró como la mínima adecuada para mantener en condiciones óptimas la diversidad y las poblaciones biológicas de ciertos ecosistemas.

De acuerdo a sus resultados, el 33% de la superficie de las selvas húmedas en México está fragmentada, una cifra muy similar a la de las selvas subhúmedas (38.5%; Figura 2.14). Por su parte, los bosques templados están fragmentados en el 52.1% de su superficie, aunque el estudio aclara que este resultado podría estar influido por ciertos tipos de vegetación que de manera natural no alcanzan grandes superficies, como es el caso de los bosques de ayarín o táscate. Caso similar es el de los pastizales naturales, cuyo grado de fragmentación podría alcanzar el 36.1% de su superficie, pero cuya distribución natural (p. e., los pastizales alpinos) también tiende a ser en parches pequeños. En el caso de los matorrales xerófilos, el estudio calculó que el 20.6% de su superficie en el país en el 2002 podría estar fragmentada.

Otras amenazas a los ecosistemas terrestres

Los incendios forestales ocurren de manera natural y constituyen un factor importante para la dinámica natural de muchos ecosistemas terrestres del mundo, sobre todo en los bosques templados. Debido a ellos, se incrementa la disponibilidad de los nutrientes en el suelo y se inician los procesos de sucesión ecológica que ayudan al mantenimiento de la biodiversidad (Matthews *et al.*, 2000; SCBD, 2001c). Sin embargo, en la actualidad y debido en gran parte a las actividades y control humanos,

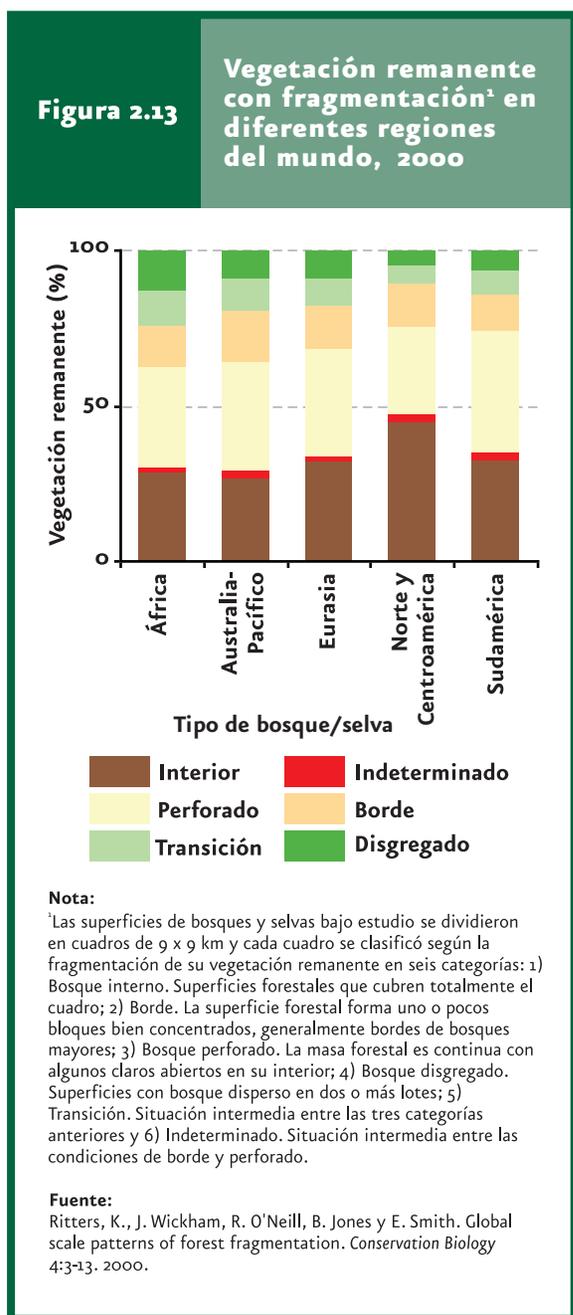
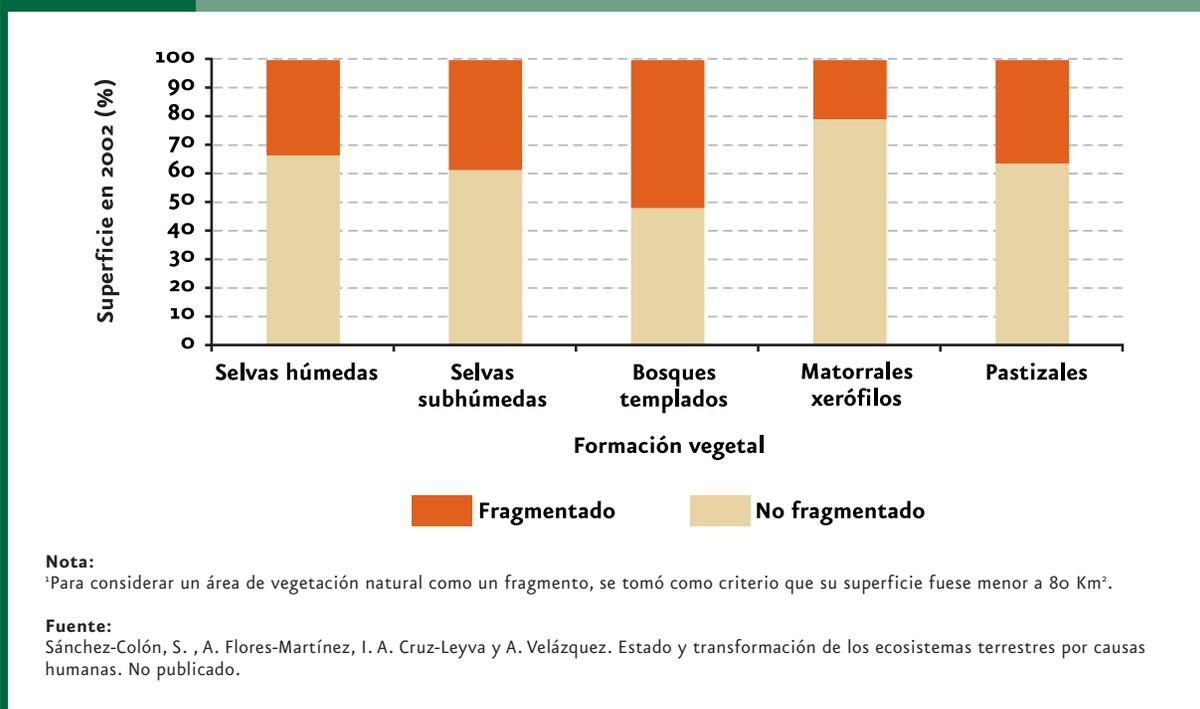


Figura 2.14

Fragmentación de los ecosistemas terrestres en México, 2002¹



los patrones naturales de ocurrencia de incendios se han modificado. Ahora muchos de los incendios forestales ocurren en zonas que anteriormente no sufrían de fuegos, mientras que en zonas que presentaban regímenes periódicos, los incendios se han suprimido (SCBD, 2001c; Castillo *et al.*, 2003).

Sus efectos sobre los ecosistemas son diversos y dependen de la intensidad y frecuencia de los incendios. El efecto más destacado es la remoción de la biomasa vegetal en pie, 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 (Matthews *et al.*, 2000; Castillo *et al.*, 2003). El efecto directo del fuego sobre la fauna que habita las comunidades naturales es la muerte, mientras que entre los efectos indirectos pueden mencionarse la pérdida del hábitat, de territorio y de zonas de alimentación, así como el desplazamiento de

mamíferos y aves territoriales (SCBD, 2001; Castillo *et al.*, 2003). Todo lo anterior puede ocasionar alteraciones en las cadenas tróficas y en el balance natural de los ecosistemas, lo cual, en el mediano o largo plazos puede ocasionar la reducción de la biodiversidad y la pérdida o degradación de sus servicios ambientales (SCBD, 2001; Castillo *et al.*, 2003).

En el caso de los ecosistemas poseedores de recursos forestales sujetos o susceptibles a explotación, los efectos de los incendios pueden observarse en dos niveles: por un lado, sobre el deterioro y pérdida de los mismos recursos y, por otro, en el detrimento de la calidad del ambiente en el que se encuentran. En el caso de los primeros, el calor del fuego induce la muerte de los tejidos y deformaciones en los árboles, reduciendo con ello la calidad de su madera (Castillo *et al.*, 2003). El fuego también puede eliminar por completo los renuevos de las poblaciones de las especies comerciales y propiciar la invasión de plagas y enfermedades forestales (Matthews *et al.*, 2000; Castillo *et al.*, 2003).

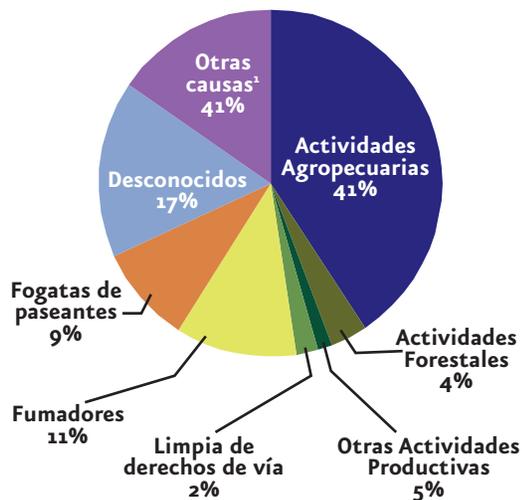
Los dos factores que inciden mayormente en los incendios de los ecosistemas terrestres en muchos países son la tala sostenida de bosques y el empleo del fuego para la habilitación de terrenos cultivables en las prácticas agropecuarias; sin embargo, también ocurren por fogatas y el descuido de los fumadores, entre otras causas. En México en el año 2008, las principales causas asociadas a los incendios forestales fueron las quemas asociadas a las actividades agropecuarias (41%; Figura 2.15).

Entre 1991 y 2008, el promedio anual de incendios fue de poco más de 8 mil 110 conflagraciones, con una superficie siniestrada promedio anual de alrededor de 240 mil hectáreas.

El número de incendios ocurridos en México y la superficie siniestrada se han mantenido relativamente constantes a lo largo de los últimos quince años ([Cuadros D3_RFORESTA05_01](#) y [D3_RFORESTA05_02](#); Figura 2.16). Entre 1991 y el año

Figura 2.15

Causas de los incendios forestales en México, 2008



Notas:

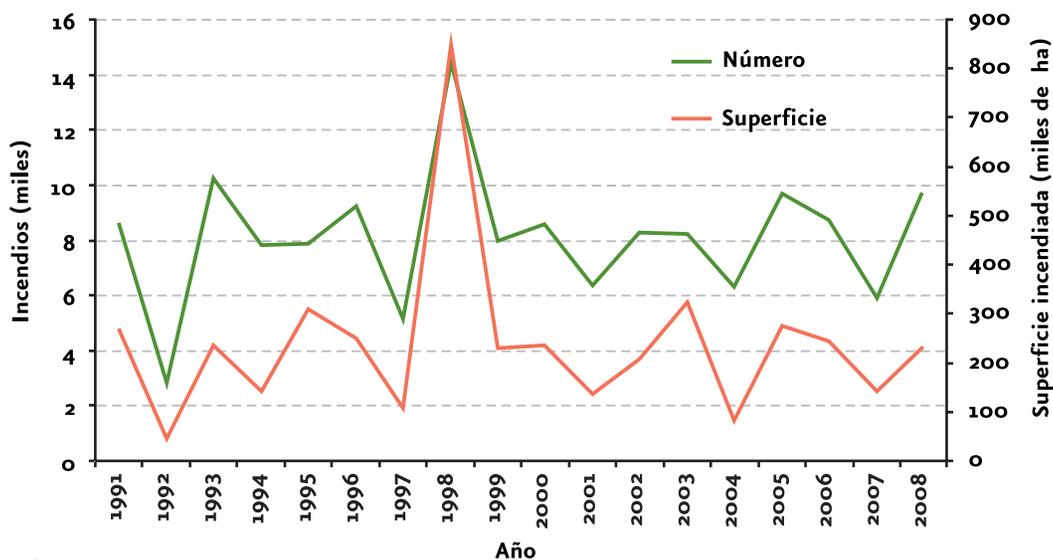
¹Incluye quema de basureros, litigios, rencillas, aprovechamientos, cazadores furtivos, descargas eléctricas, cultivos ilícitos y ferrocarriles.

Fuente:

Conafor. Gerencia de Incendios Forestales. 2008.

Figura 2.16

Incendios forestales y superficie afectada en México, 1991 - 2008



Fuente:

Conafor. Gerencia de Incendios Forestales. México. 2009.

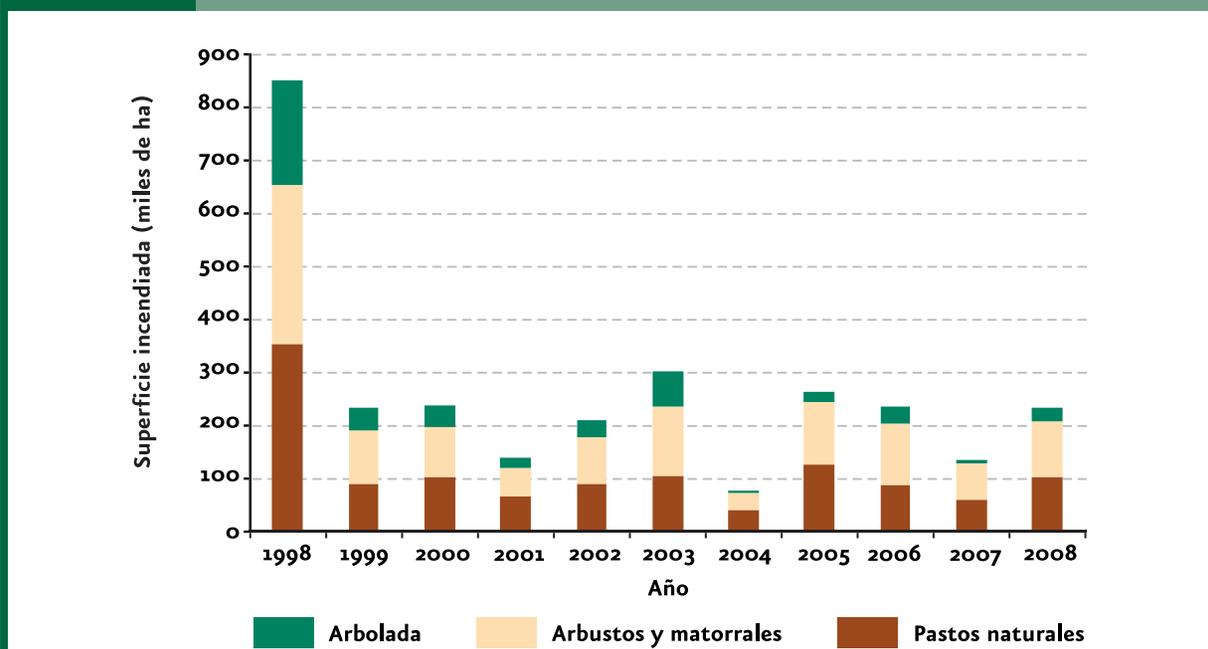
2008, el promedio anual de incendios fue de 8 mil 110 conflagraciones, con una superficie siniestrada promedio anual de alrededor de 240 mil hectáreas. Sin embargo, existen años en los que los incendios son particularmente intensos. Tal fue el caso del año 1998, que tanto en México como en otras zonas de mundo, registró cifras elevadas: en el país ese año se registraron 14 mil 445 eventos, con una superficie total incendiada de alrededor de 850 mil hectáreas.

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 el incendio, la conflagración adquiera grandes dimensiones. 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 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.

Con respecto a la superficie afectada, el mayor porcentaje de vegetación corresponde, generalmente, a los pastos naturales y arbustos, seguidos por la vegetación arbolada. En el año 2008, los porcentajes para estos tipos de vegetación, fueron respectivamente, de alrededor de 43.5, 45 y 11.5% (Figura 2.17).

Figura 2.17 Superficie afectada por incendios forestales según tipo de vegetación, 1998 - 2008



Fuente:
Conafor. Gerencia de Incendios Forestales. México. 2009.

Además de las actividades humanas y de los incendios forestales, las plagas y enfermedades también pueden afectar los ecosistemas terrestres. Las plagas y enfermedades forestales ocurren en forma natural en los bosques y selvas e incluso son necesarios para el funcionamiento del ecosistema. Sin embargo, el hombre puede incrementar su frecuencia más allá de su incidencia normal y afectar seriamente la condición de los bosques.

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 (Tabla 2.2).

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 facilitan el ataque de las plagas forestales. Como resultado del monitoreo periódico que realiza la Semarnat de las zonas forestales del país, en el periodo 1990-2007, el promedio de la superficie afectada anualmente por plagas y enfermedades forestales fue de 31 mil 862 hectáreas ([Cuadro D3_RF0RESTA06_01](#)). De la superficie acumulada en este periodo, la mayor parte fue afectada por descortezadores (39% del total), seguida por el muérdago (33%) y los defoliadores (15%; Figura 2.18). Los estados con mayor superficie forestal

Entre 1990 y 2007, el promedio de la superficie afectada anualmente por plagas y enfermedades forestales fue de 31 mil 862 hectáreas.

promedio afectada por enfermedades entre 1990 y 2007 fueron Oaxaca, Aguascalientes, Oaxaca, Durango y Jalisco (Mapa 2.8).

FACTORES RELACIONADOS AL CAMBIO DE USO DEL SUELO

Se han propuesto diferentes hipótesis acerca de 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

Figura 2.18

Superficie afectada por plagas y enfermedades forestales, 1990 - 2007



Nota:
¹Se refiere a otras enfermedades forestales que, por ser diversas y de bajo impacto, se integran en una sola categoría, como el caso del declinamiento del encino, royas y pudriciones de fuste y raíz, etc.

Fuente:
 Semarnat. Dirección General de Federalización y Descentralización de Servicios Forestales y del Suelo. México. 2009.

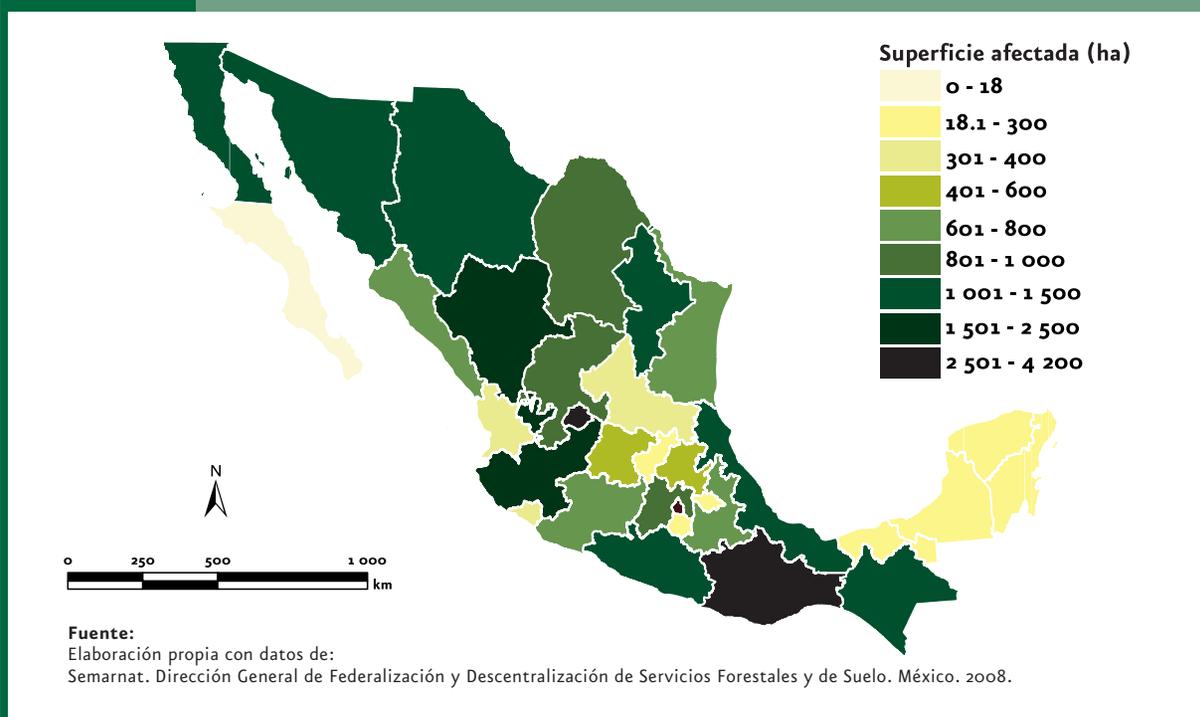
Tabla 2.2

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	Bosque templado en regeneración
<i>Scolytus multistriatus</i>	Descortezador del olmo	Vegetación urbana y plantaciones
<i>Chrysobothris</i> sp.	Barrenador del cedro rojo	Plantaciones tropicales
<i>Malacosoma</i> sp.	Defoliador del ahuejote	Vegetación urbana y plantaciones
<i>Neodiprion</i> sp.	Mosca sierra menor	Bosque templado y plantaciones
<i>Zadiprion</i> sp.	Mosca sierra mayor	Bosque templado
<i>Cydia</i> sp.	Barrenador de conos de coníferas	Bosque templado
<i>Conophthorus</i> sp.	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</i> spp.	Múerdago enano	Bosque templado
<i>Psittacanthus</i> spp.	Múerdago verdadero	Vegetación urbana y bosques de latifoliadas y coníferas
<i>Phoradendron</i> spp.	Múerdago verdadero	Vegetación urbana y bosques de latifoliadas y coníferas
<i>Struthantus</i> spp.	Múerdago verdadero	Vegetación urbana y bosques de latifoliadas y coníferas
<i>Fusarium subglutinans</i>	Chancro 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.

Mapa 2.8**Superficie afectada promedio por plagas y enfermedades forestales, 1990 - 2007**

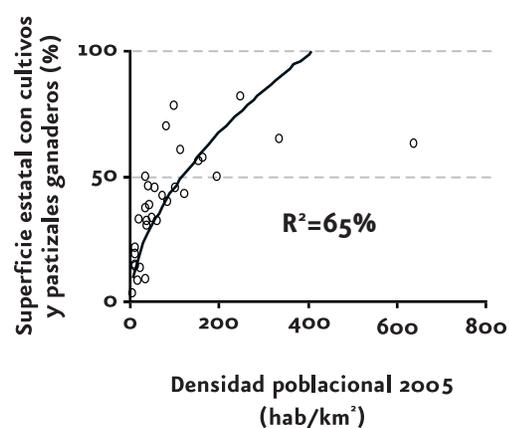
de crecimiento poblacional y de expansión de la frontera agropecuaria no crecen a la misma velocidad; en las últimas décadas, en términos generales, la superficie agropecuaria ha crecido más lentamente que la población mundial debido, en parte, a que la producción es más eficiente. Por ello, es necesario 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, el tamaño de la población es determinante en lo que a la magnitud del territorio utilizado por el hombre se refiere. Existe una correlación significativa entre la densidad poblacional y la superficie dedicada a actividades agropecuarias; los estados más poblados tienden a dedicar más superficie a la producción (Figura 2.19). Esta relación es más intensa en la medida en

Figura 2.19

Relación entre la densidad poblacional y la superficie dedicada a fines agropecuarios



Fuentes:
Elaboración propia con datos de:
Conapo. Proyecciones de la población de México 2005-2050. México. 2006. Disponible en: www.conapo.gob.mx/oocifras/proy/Proy05-50.pdf Fecha de consulta: 29-03-2009.
Semarnat. Inventario Forestal Nacional. 2000. México. 2001.

que se tiene una mayor población rural dedicada a las 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 la 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 del suelo y vegetación Serie III, en el 2002 la extensión de terrenos agrícolas 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 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 1.8 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.

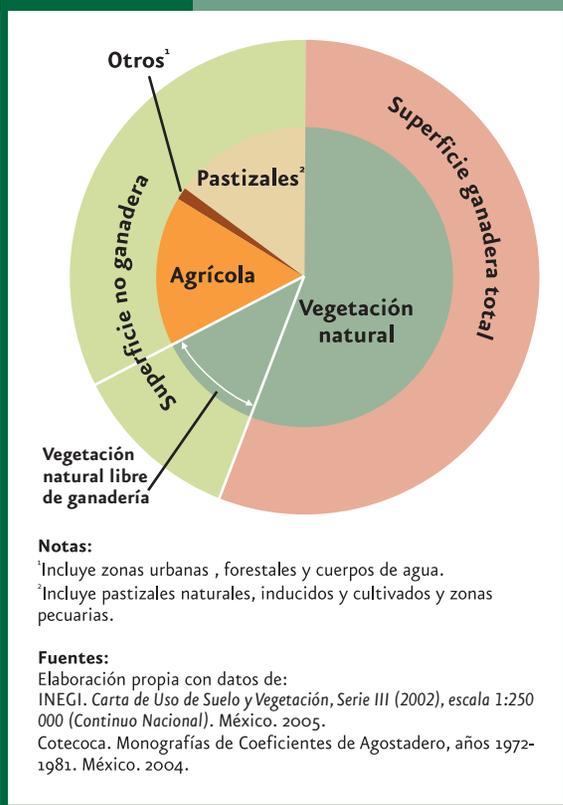
Una de las prácticas agrícolas más frecuentes en los trópicos, que incluso se ha considerado como un modelo de agricultura sostenible es la roza, tumba, y quema o agricultura nómada. El sistema se basa en cultivar las tierras por uno a tres años, y posteriormente dejarlas descansar por un periodo de 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 el recuadro **Efectos de la roza, tumba y quema sobre el uso del suelo** en el **Informe 2005**).

La ganadería se practica en todo el país, abarcando, según datos de la Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (Cotecoca) de 2008, alrededor de 1.09 millones de kilómetros cuadrados, es decir, cerca del 56% de la superficie total de la república. Considerando esta estimación y tomando en cuenta que para el año 2002 los pastizales (naturales e inducidos) y las zonas pecuarias cubrían cerca del 15% del territorio, el restante 41% de la superficie ganadera debe ubicarse en zonas con vegetación natural. De tal manera que si la restante vegetación natural cubre alrededor del 68% del país (sin incluir a los pastizales naturales), puede calcularse que la vegetación natural libre de ganadería está cerca del 27% (Figura 2.20).

La vegetación natural libre de ganadería podría alcanzar el 27% de su superficie remanente en el país.

Figura 2.20

Superficie ganadera y usos del suelo en México, 2002



A nivel estatal, las mayores superficies ganaderas relativas se registran en Sonora (83% del estado), Coahuila (77%), San Luis Potosí (74%) y Zacatecas (72%). En constraste, los estados con menores coberturas ganderas son Nayarit (14%), el Distrito Federal (11%) y Tlaxcala (6.5%; Mapa 2.9; Cuadro D2_AGRIGAN04_02).

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 67.6 millones de cabezas -considerando al ganado bovino, caprino, ovino y porcino-, mientras que en 2005 se registraron sólo 60.1 millones (una disminución de 0.3% anual). El descenso fue más marcado en el ganado bovino que disminuyó de 34.6 millones de cabezas a 28.8 millones (-0.3% anual); el número de ovejas y cabras prácticamente se mantuvo sin reducciones en este periodo (Figura 2.21).

Considerando los coeficientes de agostadero, en 24 estados del país el número de cabezas de ganado supera la capacidad de sus ecosistemas para mantenerlas. 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 aquéllos 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.

En 24 estados del país, el número de cabezas de ganado excede la capacidad de sus ecosistemas para mantenerlas.

Urbanización

Si bien es cierto que a escala nacional la superficie urbana es proporcionalmente

Mapa 2.9

Superficie ganadera por entidad federativa, 1990 - 2006

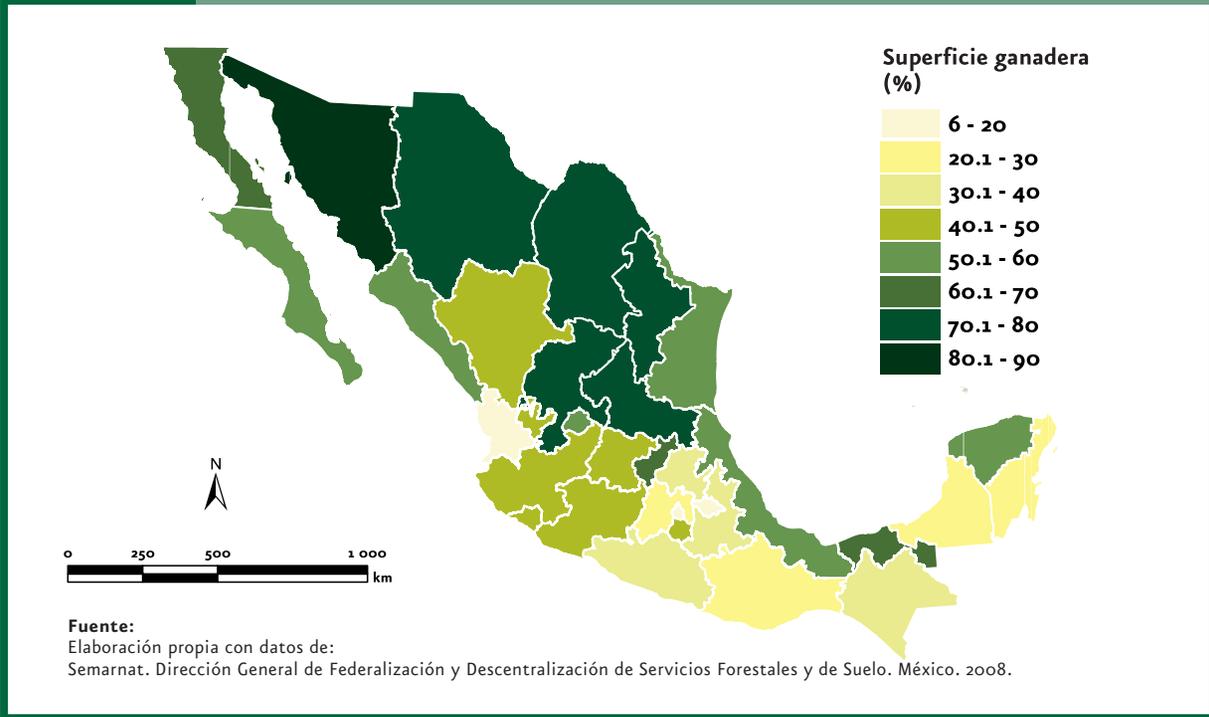
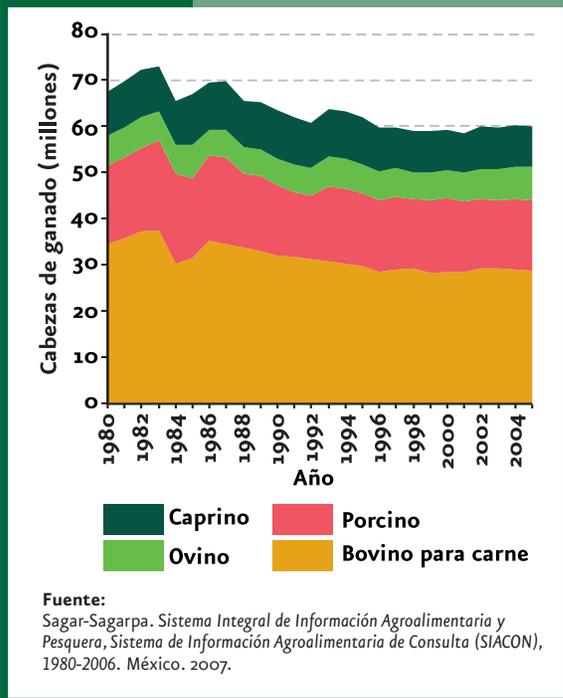


Figura 2.21

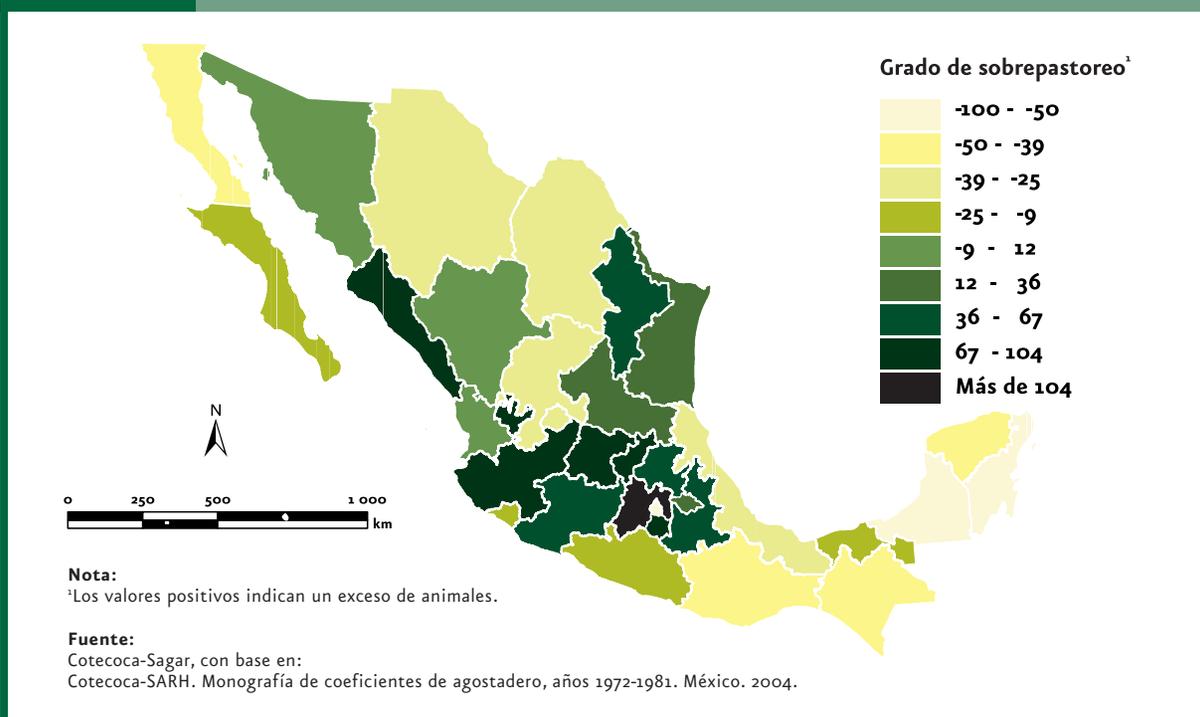
Población de ganado bovino, caprino, ovino y porcino en México, 1980 - 2005



muy pequeña, se trata del uso del suelo que más rápido está creciendo en algunas regiones. Para el año 2002, la superficie urbana en el país era de poco más de 1.25 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 el capítulo de *Población* en su sección que trata acerca de la huella ecológica).

USO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES

La enorme superficie que cubre la vegetación natural en el país brinda, además de una variada gama de servicios ambientales, un gran potencial para el aprovechamiento de sus recursos naturales. Actualmente, aunque la mayor parte de los alimentos que consume la humanidad proviene de

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

plantas y animales domesticados, esto no significa que 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 (p. e. plantaciones forestales o granjas piscícolas), sigue siendo muy común en los países en desarrollo que la mano del hombre no intervenga en la producción o crianza de estos organismos, sino que simplemente los obtenga del medio silvestre.

Si bien la variedad de productos que se extraen de los ecosistemas terrestres nacionales es muy variada, esta sección se enfocará en la explotación de los recursos naturales de las zonas forestales del país, es decir, de los recursos forestales maderables y no maderables de los bosques y las selvas. Esto responde básicamente a la existencia, calidad y disponibilidad de información.

Las selvas y bosques, como ya se ha mencionado, brindan muy diversos servicios ambientales a la sociedad, tales como la protección del suelo contra la erosión, el mantenimiento de su fertilidad, el abasto continuo en volumen y calidad del agua, la preservación de la biodiversidad y la estabilidad climática a niveles regional y global (Conabio, 1998; Matthews *et al.*, 2000; SCBD, 2001c; Groombridge y Jenkins, 2002). Las zonas forestales también sirven como espacios para la recreación y el turismo, la educación y el conocimiento científico, además del enorme valor cultural y espiritual que tienen para muchos grupos humanos en el mundo. Sin embargo, el aporte más tangible a la sociedad es la diversidad de bienes que se explotan en ellos: por un lado, los productos maderables, que básicamente consideran la madera para la producción de escuadría (tablas, tablonos, vigas y materiales de empaque), papel, chapa, triplay y para la generación de energía, a través de la quema de leña (Semarnat, 2003). Por otro lado, se encuentran los productos no maderables, un conjunto vasto que incluye la tierra de monte,

resinas, fibras, ceras, frutos y plantas vivas, entre muchos otros (SCBD, 2001b; Semarnat, 2003).

Recursos forestales maderables

A escala mundial, la producción de madera se ha mantenido relativamente constante entre los años 1990 y 2005 con volúmenes alrededor de los 3 mil millones de metros cúbicos de madera (Figura 2.22). De este volumen, una fracción importante corresponde a leña: la FAO estimó en 2005 que el 67.5% de la producción global correspondía a este combustible. Las regiones más productivas en el 2005 fueron Norteamérica (con el 26% de la producción mundial), Europa (23%) y África (22%); en contraste, las regiones con menores volúmenes fueron Centroamérica (1.5% del total) y el Caribe (0.6%). A pesar de la estabilidad en los

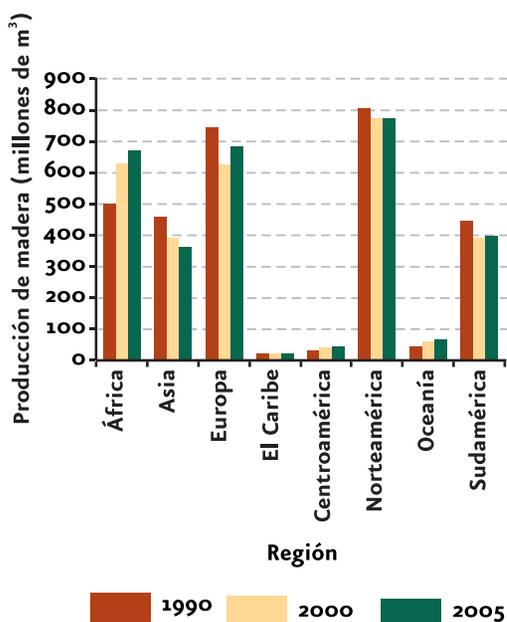
valores de la producción mundial en ese periodo, todas las regiones mostraron tasas de producción anual negativas, a excepción de Oceanía, África y Centroamérica, que crecieron al 3.1, 2.3 y 2.6% anual, respectivamente.

A nivel de país, los mayores productores de madera en 2005 fueron Estados Unidos (18% de la producción global), Brasil (10%), Canadá (7%), la Federación Rusa (6%) y China (4%; Figura 2.23). Los países mencionados, en conjunto, contabilizaron el 45.5% de la producción mundial de madera de ese año. México contribuye con tan sólo el 0.2% 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

Figura 2.22

Producción mundial de madera¹ según región, 1990 - 2005

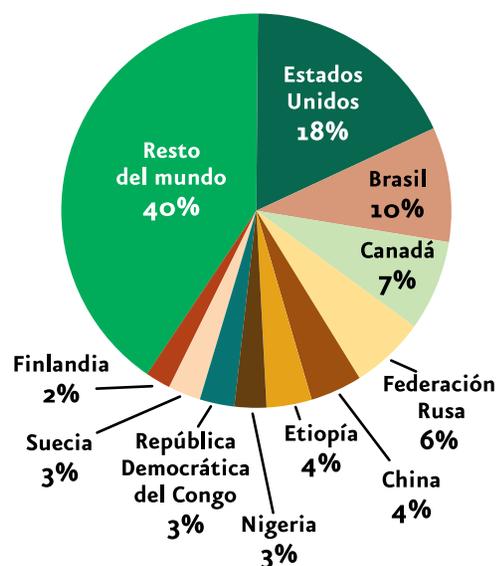


Nota:
¹Incluye madera industrial en rollo y leña.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
FAO. Forest Resources Assessment 2005. Roma. 2006.

Figura 2.23

Contribución a la producción maderera¹ mundial, según país, 2005



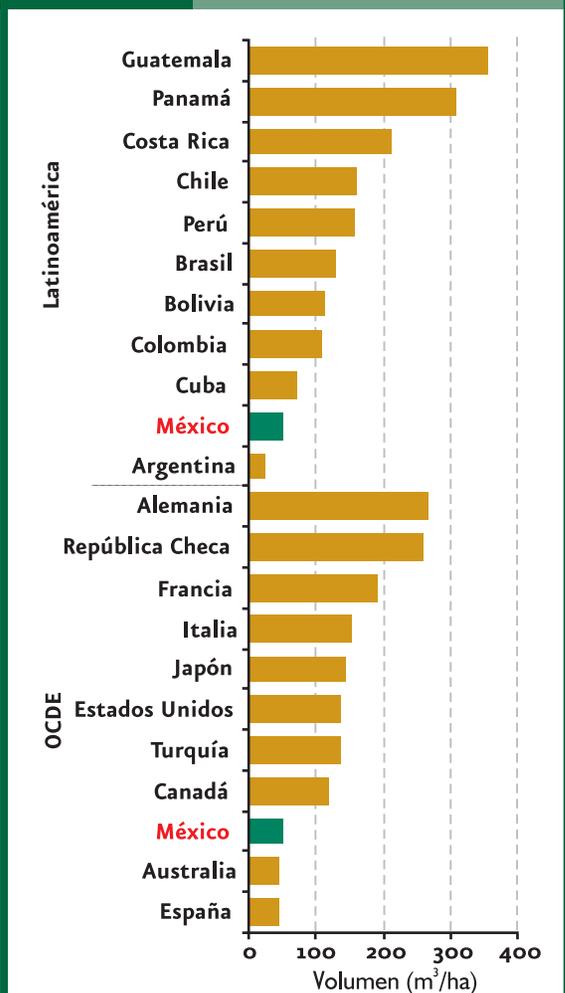
Nota:
¹Incluye madera industrial en rollo y leña.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
FAO. Forest Resources Assessment 2005. Roma. 2006.

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 (p. e. 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 2.24).

Figura 2.24

**México en el mundo:
existencias de madera
por hectárea en
bosques**



Fuente:
FAO. *Situación de los Bosques del mundo*. FAO, Roma, 2005.

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 mil millones de metros cúbicos.

En México se han realizado diversos trabajos para determinar las existencias de madera. A la fecha se han realizado cuatro inventarios nacionales, el último de los cuales, con resultados preliminares, se ha dado a conocer durante el 2008. Desafortunadamente, los resultados de los inventarios no son comparables entre sí, básicamente debido a las diferencias en la información base (algunos emplearon fotografías aéreas o imágenes satelitales), las escalas de trabajo (que van desde 1:250 000 hasta 1:1 000 000) y la clasificación empleada para la vegetación.

El primer inventario se realizó en el periodo 1961-1985, utilizando fotografías aéreas y efectuando muestreos de campo intensivos. Este inventario se concibió a través de inventarios estatales, y aunque existen memorias con sus resultados, no se elaboró una publicación formal que las integre. El Inventario Nacional Forestal de Gran Visión de 1991 fue el primero en contener información a escala nacional. Se produjo en 1991 con la información de campo del primer inventario y con otras fuentes sumamente detalladas que se formularon para estudios dasonómicos y planes de manejo integral. El tercer inventario, conocido como el Inventario Nacional Forestal Periódico, publicado en 1994, usó imágenes de satélite de moderada resolución para elaborar mapas de todo el territorio nacional en escala 1: 250 000; el levantamiento de la información de campo se realizó mediante parcelas de muestreo distribuidas sistemáticamente y se obtuvieron mapas en

los cuales se zonificaron los terrenos forestales según su aptitud y funciones. Por primera vez, la información obtenida en este inventario pudo emplearse en Sistemas de Información Geográfica.

El Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009 es la versión más reciente de los inventarios nacionales. Para este inventario se realizaron muestreos de campo directos, entre octubre de 2004 y noviembre de 2007, en más de 20 mil conglomerados (es decir, en parcelas de muestreo con cuatro sitios cada una), lo que equivaldría a más de 80 mil sitios distribuidos en todos los tipos de vegetación del país, en los cuales se tomaron datos forestales relevantes sobre el arbolado y el estrato arbustivo, así como distintos aspectos del suelo y del medio ambiente de cada uno de ellos.

Dos de los aspectos más destacables de este inventario son la calidad y la riqueza de la información que contiene. El adecuado diseño muestral del inventario ha hecho posible obtener

información estadística confiable respecto a los recursos forestales nacionales. Esta información abarca una gran diversidad de variables, entre las que destacan desde la densidad y altura del arbolado, hasta el volumen de madera en rollo y el incremento anual del volumen, todo ello a nivel de ecosistema y por tipo de formación. Algunos datos preliminares obtenidos del inventario pueden observarse en la Tabla 2.3.

Según los datos preliminares obtenidos a partir del inventario, entre 2004 y 2007 había en el país alrededor de 2 mil 236 millones de metros cúbicos de madera en rollo en pie en las selvas y bosques de país, todo ello en una superficie forestal de alrededor de 64.2 millones de hectáreas. Del total de madera, según el inventario, el mayor porcentaje está en los bosques templados (55.2% del total, es decir, alrededor de mil 234 millones de metros cúbicos) y el restante, en las selvas (44.8%, que equivale a cerca de mil millones de metros cúbicos).

Tabla 2.3

Existencias de madera, superficie forestal, densidad de árboles, cobertura, área basal y volumen de madera, según ecosistema y formación en México, 2004 - 2009¹

Ecosistema	Formación	Total existencias de madera en m ³ rollo en pie	Superficie (ha)	Densidad árboles/ha	Cobertura %/ha (error en %)	Área basal m ² /ha (error en %)	Volumen m ³ /ha (error en %)
Bosques	Coníferas	331 951 902	7 779 515	297	33.45 (2.08)	10.07 (2)	42.67 (2.9)
	Coníferas y latifoliadas	597 678 787	12 919 991	393	44.73 (1.13)	11.86 (0.96)	46.26 (1.51)
	Latifoliadas	304 539 817	12 828 130	295	36.51 (1.34)	8.18 (1.18)	23.74 (1.87)
Selvas	Selvas altas y medianas	698 855 371	14 484 049	610	52.49 (1.27)	12.67 (1.63)	48.25 (2.02)
	Selvas bajas	302 728 603	16 214 708	408	46.07 (1.91)	6.97 (1.89)	18.67 (2.48)
Total		2 235 754 480	64 226 394				

Nota: ¹Los datos mostrados en la tabla son preliminares.

Fuente:

Conafor, Inifap, INE e INEGI. *Inventario Nacional Forestal y de Suelos, 2004-2009*. México. 2006.

A nivel de formación, los depósitos más importantes de madera en rollo en el país -tanto en volumen total como por hectárea- son las selvas altas y medianas, con cerca del 31% del volumen total nacional (cerca de 699 millones de metros cúbicos), seguidas por los bosques de coníferas y latifoliadas (26.7%, 598 millones de metros cúbicos) y los bosques de coníferas (14.8%, alrededor de 332 millones de metros cúbicos). Con respecto al incremento promedio en el volumen de madera anual, es mayor en los bosques de coníferas, equivalente a 1.19 metros cúbicos en rollo en pie por hectárea, que en los bosques de latifoliadas, donde alcanza tan sólo un incremento promedio de 0.88 metros cúbicos en rollo en pie por hectárea.

La producción maderable anual entre 1986 y 2005 promedió una cifra cercana a los 7.8 millones de metros cúbicos en rollo; sin embargo, aunque la producción ha mostrado un comportamiento variable, puede observarse una tendencia a la reducción en la producción maderable (Figura 2.25; Cuadro D3_RFORESTA04_01). Los estados de Durango, Chihuahua y Michoacán son los que más contribuyen a la industria nacional (Mapa 2.11; Cuadro D3_RFORESTA04_01), la cual está basada sobre todo en madera de pinos y encinos; las maderas preciosas aportan poco al volumen de madera producido en el país. Las principales especies aprovechadas durante el periodo 1990-2003 fueron: el pino con 94.5 millones de metros cúbicos en rollo (81.5% de la producción del periodo) y el encino con 9.4 millones de metros cúbicos (8.1%; Figura 2.26; Cuadro D3_RFORESTA04_02).

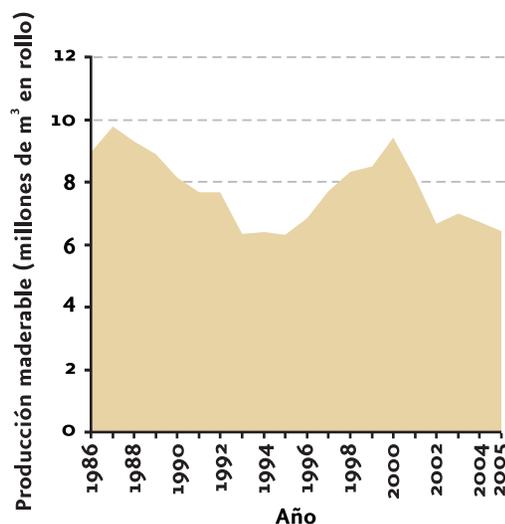
A diferencia de lo que ocurre en otros países, donde la creciente demanda de celulosa para la fabricación

De acuerdo con los resultados preliminares del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009, entre 2004 y 2007 había en el país alrededor de 2 mil 236 millones de metros cúbicos de madera en rollo en pie en las selvas y bosques de país.

La producción nacional maderable entre 1986 y 2005 promedió una cifra cercana a los 7.8 millones de metros cúbicos en rollo anuales.

Figura 2.25

Producción maderable en México, 1986 - 2005



Fuentes:
Semarnat. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2000, 2001, 2002, 2003 y 2004. México. 2001, 2004, 2005 y 2006.
Semarnat. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1997, 1998 y 1999. México. 1992-2000.

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 (28% anual entre 1997 y 2005), el carbón (16.2%), la leña (2.1%) y la chapa y el triplay (1.6%), mientras que los celulósicos y los postes, pilotes y morillos decrecieron en el mismo periodo (-8.1 y -10.7%, respectivo; Figura 2.27; Cuadro D3_RFORESTA04_03).

La mayor parte de la madera industrial en rollo se destina a la “escuadría” (esto es tablas, tablones y vigas), que consumió el 65% de la producción nacional entre 1997 y 2005, seguida del papel con 12.9% y la chapa y el triplay (4.3%; Figura 2.28;

Mapa 2.11

Producción maderable anual promedio por entidad federativa, 1990 - 2005

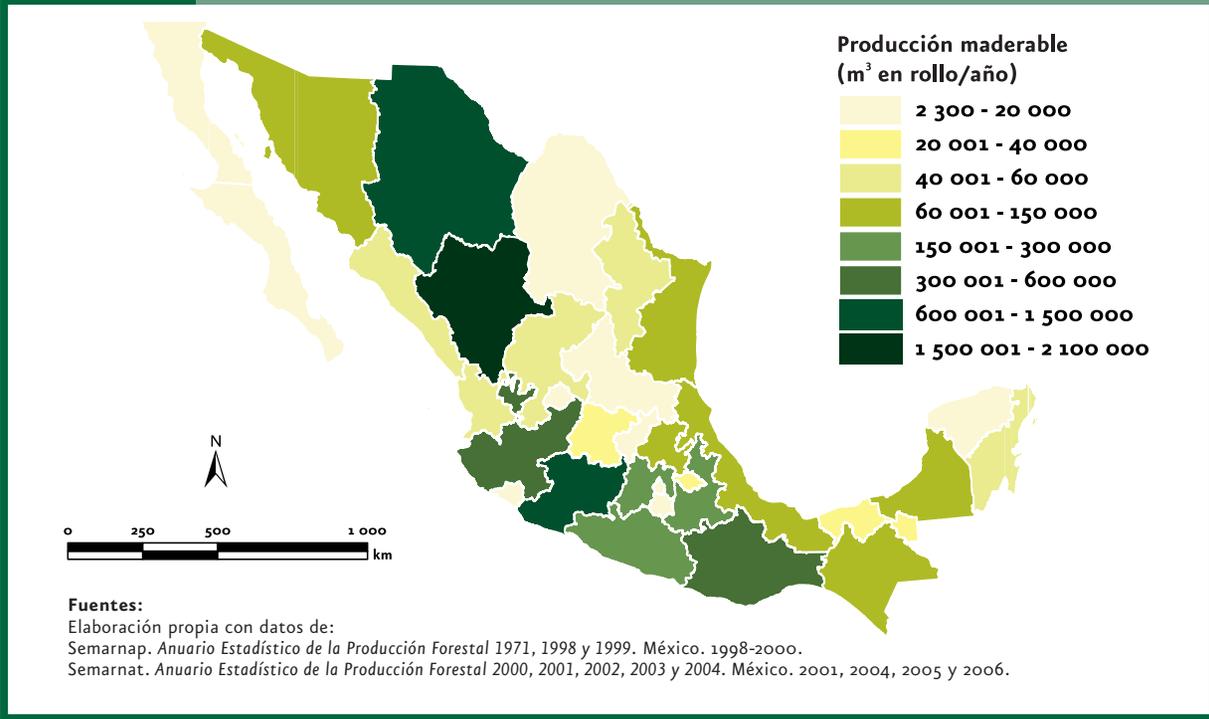


Figura 2.26

Producción maderable según especie, 1990 - 2005

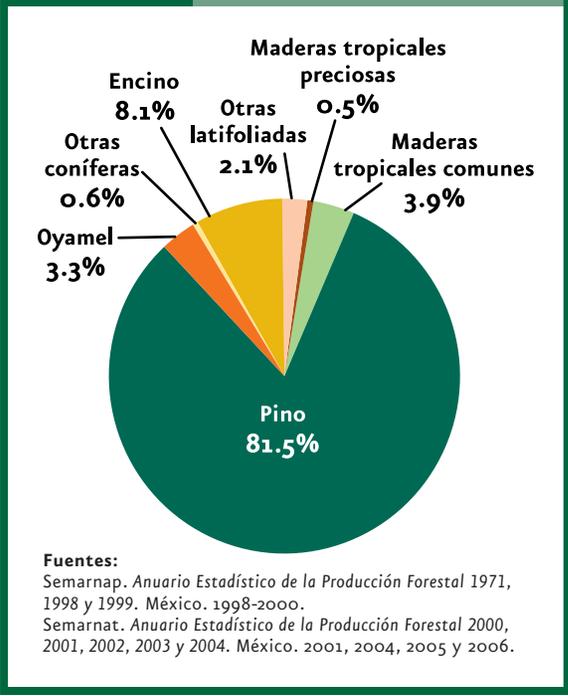


Figura 2.27

Tasa de cambio anual del volumen de madera empleado para distintos usos en México, 1997 - 2005

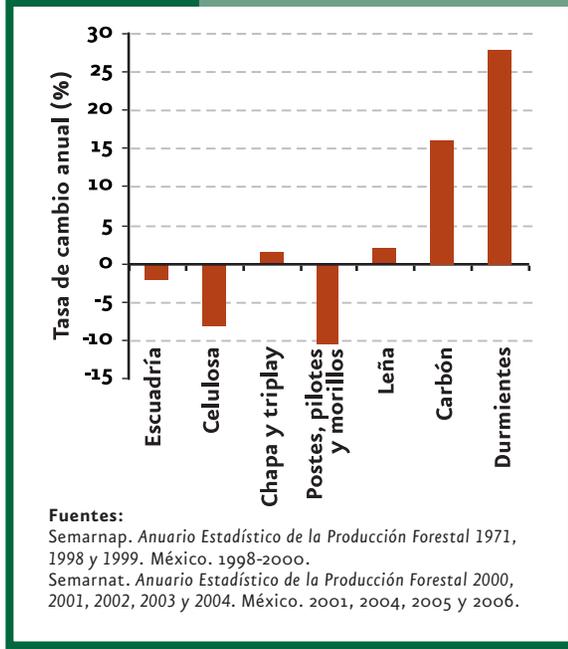
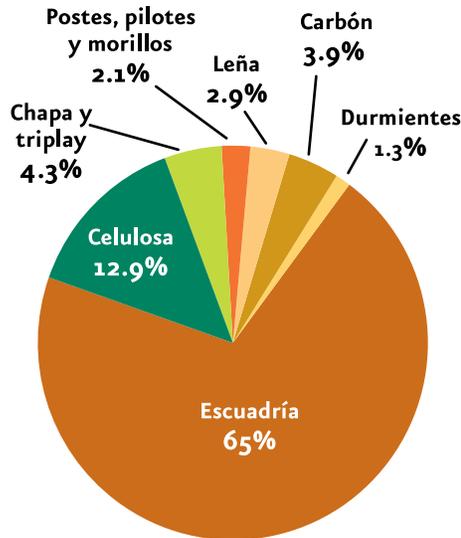


Figura 2.28

Principales usos de la madera en México, 1997 - 2005



Fuentes:
Semarnap. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1971, 1998 y 1999. México. 1998-2000.
Semarnat. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2000, 2001, 2002, 2003 y 2004. México. 2001, 2004, 2005 y 2006.

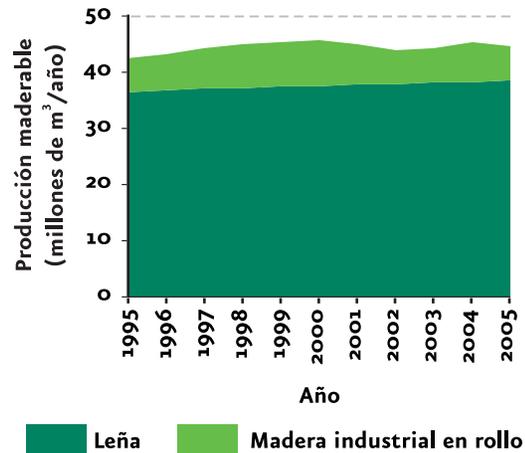
Cuadro D3_RFORESTA04_03). De acuerdo con estos datos, el uso de la madera como energético es mínimo en México, pues durante este periodo se empleó en promedio sólo 2.9% de la producción como leña y 3.9% como carbón. Estas cifras contrastan fuertemente con la estimación que realizó la FAO de alrededor de 38.4 millones de metros cúbicos (FAO, 2005), y que corresponderían a 86.2% de la producción nacional maderable, que habría sido de 44.6 millones de metros cúbicos en 2005 (Figura 2.29).

Es importante señalar que los datos de producción maderable no incluyen la cosecha en zonas áridas o en las orillas de los caminos, que es empleada fundamentalmente como combustible. Es muy probable que el factor que incide de

Según la FAO, la producción de leña en México podría alcanzar el 86.2% de la producción maderable nacional, con un valor de 38.4 millones de metros cúbicos por año.

Figura 2.29

Producción maderable según su empleo como leña o en la industria, 1995 - 2004



Fuente:
FAO. Bases de datos estadísticos de la FAO. Roma. 2008.
Disponible en: www.fao.org/faostat Fecha de consulta: 13-12-2008.

manera más fuerte sobre la discrepancia entre los datos 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.

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 y de Suelos 2004-2009 calculó 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 más reciente, el aumento anual de coníferas en México es

de aproximadamente 9.26 millones de metros cúbicos de madera en rollo, el cual es cerca de dos veces mayor a la producción registrada para estas especies en 2005. Si bien esto sugeriría que no se ha sobrepasado la capacidad de producción de nuestros bosques de coníferas, debemos recordar que la extracción no reportada por deforestación y consumo de leña es muy grande, lo que puede cambiar significativamente el panorama.

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– se reduzcan de manera considerable en las próximas décadas como se ha visto en secciones previas. Por sí mismo, esto revela el uso insostenible que se hace de los bosques nacionales.

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 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.

Recursos forestales no maderables

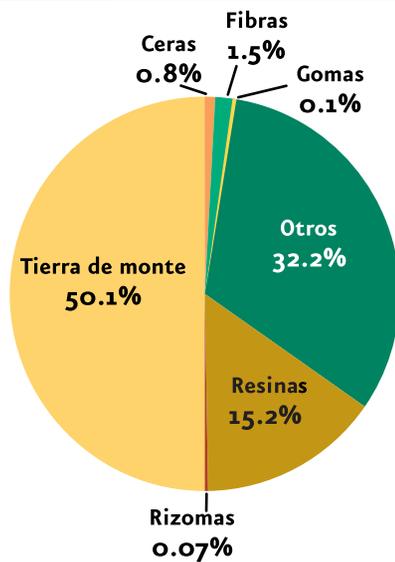
Los productos forestales no maderables (PFNM) reciben muy poca atención en comparación con los recursos maderables. Sin embargo, comprenden una importante variedad de

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 productos maderables) y en su mayoría son explotados localmente por personas de escasos recursos económicos. En virtud de ello, es probable que una parte importante del aprovechamiento de estos recursos no esté cuantificado con precisión en muchas regiones –particularmente las rurales–, en donde los usuarios no tienen obligación de reportar su extracción. Por ello, los valores reportados para estos productos son seguramente subestimaciones de su aprovechamiento real en nuestro país y quizá por ello persiste la noción equivocada de que los PFNM constituyen un recurso de escaso valor económico.

Los PFNM que se aprovechan en mayor cantidad en México, y que generalmente se extraen de los bosques de coníferas, son la tierra de monte y las resinas; muestra de ello es que del volumen total de PFNM obtenido entre 1990 y 2005, cerca del 50% correspondió a la tierra de monte y 15.2% a las resinas (Figura 2.30; [Cuadro D3_](#)

Figura 2.30

Producción forestal no maderable según producto, 1990 - 2005



Fuentes:
 Semarnap. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1971, 1998 y 1999. México. 1998-2000.
 Semarnat. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2000, 2001, 2002, 2003 y 2004. México. 2001, 2004, 2005 y 2006.

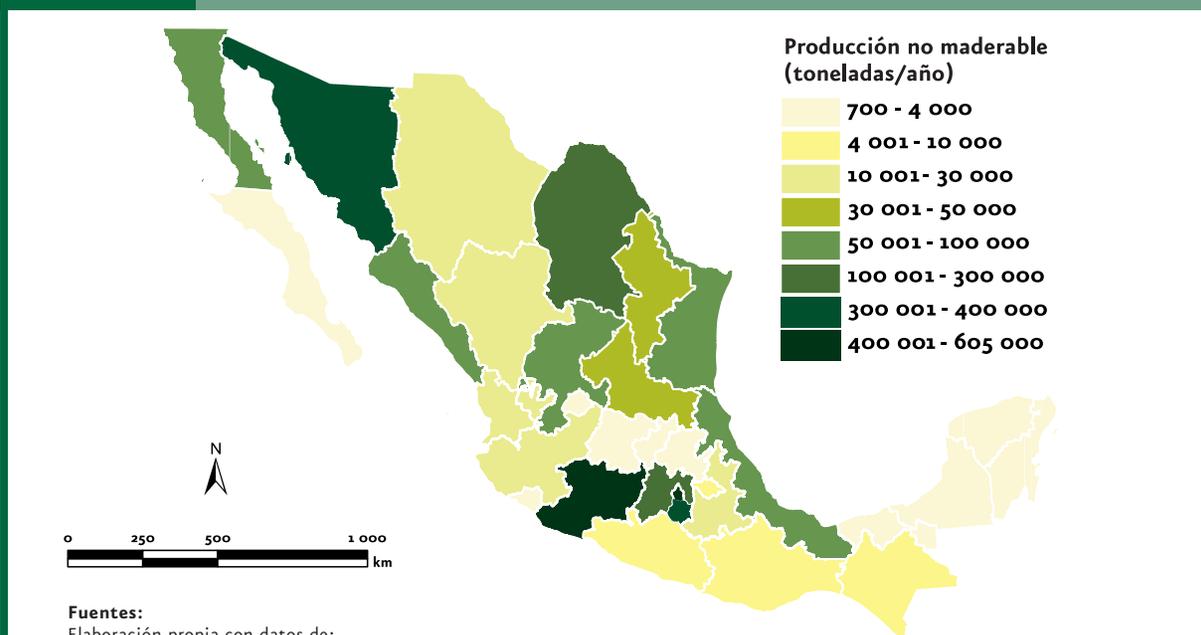
RFORESTA04_05). Si bien las fibras y las ceras no son los productos más importantes en cuanto a volumen de producción (en conjunto sumaron tan sólo 2.3% del volumen de PFNM del periodo), representan el sustento de cientos de las familias más pobres del país. Generalmente se producen en zonas áridas y semiáridas a partir de plantas de la familia de las agaváceas, bromeliáceas y euforbiáceas. Esta distribución geográfica diferencial de los productos no maderables se refleja en que los estados de las zonas serranas (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 2.12; Cuadro D3_RFORESTA04_04).

Los PFNM que se aprovechan en mayor cantidad en México son la tierra de monte y las resinas.

Si consideramos como referencia las más de 25 mil especies de plantas superiores que se encuentran en

Mapa 2.12

Producción no maderable por entidad federativa, 1990 - 2005



Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 Semarnap. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1971, 1998 y 1999. México. 1998-2000.
 Semarnat. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2000, 2001, 2002, 2003 y 2004. México. 2001, 2004, 2005 y 2006.

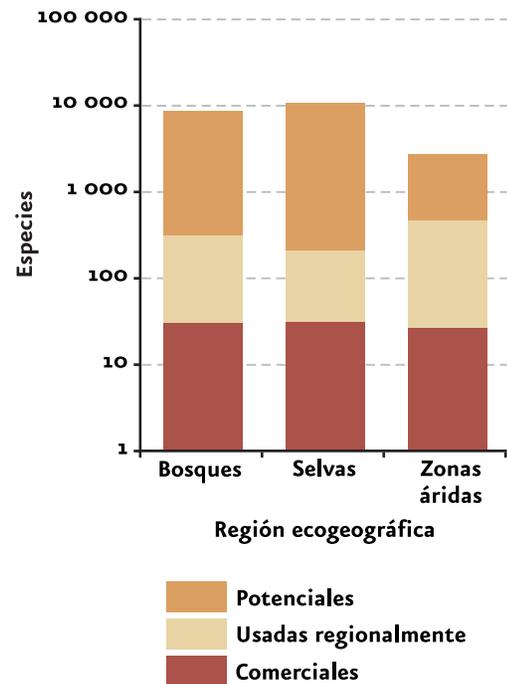
nuestro país, el número de ellas que se utilizan es muy reducido, ya que no llegan a 100 las que se explotan comercialmente y menos de un millar tienen aprovechamiento regional (Figura 2.31; Cuadro D3_RFORESTA04_06).

A pesar de que la extracción de PFNM parece ir en aumento, la razón no es una mayor diversificación de productos-los mismos rubros siguen contribuyendo al total en proporciones relativamente semejantes-, sino a una mayor intensidad de explotación de los productos ya utilizados, lo que puede conducir a su sobreexplotación y escasez en el futuro (Figura 2.32; Cuadro D3_RFORESTA04_04). Un efecto colateral de esta concentración en unos pocos productos es el 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.

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

Figura 2.31

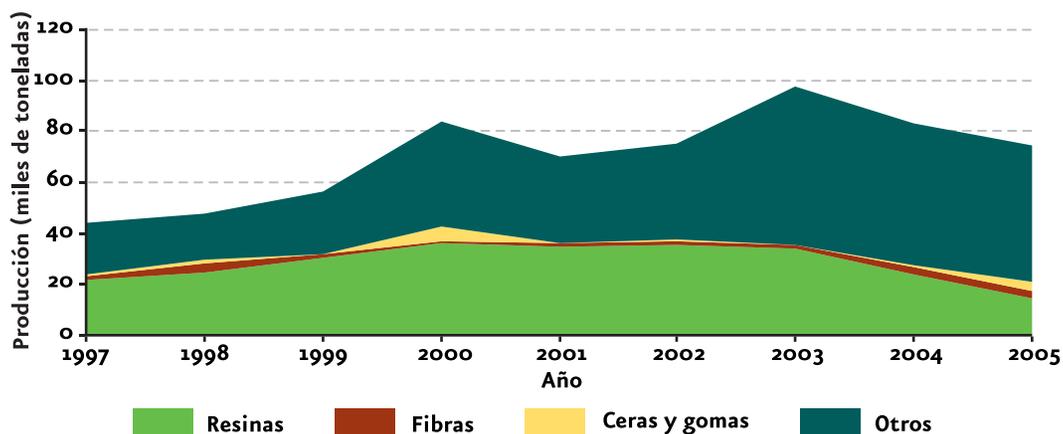
Especies aprovechadas o con potencial de aprovechamiento según región ecogeográfica



Fuente: Conabio. *La diversidad biológica de México: estudio de país*. México. 1998.

Figura 2.32

Producción forestal no maderable, 1997 - 2005



Fuentes: Semarnap. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1971, 1998 y 1999*. México. 1998-2000. Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2000, 2001, 2002, 2003 y 2004*. México. 2001, 2004, 2005 y 2006.

vegetación natural donde 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 es necesario mejorar este modelo productivo para que sea realmente sostenible.

CONSERVACIÓN Y MANEJO SUSTENTABLE DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES Y SUS RECURSOS NATURALES

La magnitud de la transformación y de la pérdida histórica de los ecosistemas naturales, así como la aplicación durante décadas de esquemas de explotación no sustentables, han traído consigo, inevitablemente, la degradación ambiental a lo largo y ancho del territorio. Si bien estas fuerzas son finalmente las más importantes por sus efectos sobre la vegetación natural, no son las únicas. Otras actividades, como las que resultan en la contaminación atmosférica, de los suelos y de los cuerpos de agua superficiales principalmente, también han tenido un impacto, en ocasiones significativo, sobre el estado de los ecosistemas naturales del país.

Las consecuencias ambientales de la remoción y degradación de la cubierta vegetal se advierten claramente en México: van desde el deterioro mismo del paisaje, hasta la degradación de los suelos y de su función productiva, la pérdida de la biodiversidad, la reducción de la disponibilidad y calidad de las aguas superficiales y subterráneas y la escasez y baja producción de muchos productos

que se derivan directa o indirectamente de los recursos naturales que proveen los ecosistemas. De igual modo, la vulnerabilidad de muchas regiones ante eventos meteorológicos extremos, como por ejemplo, inundaciones y huracanes, se debe en parte, al deterioro y pérdida de los ecosistemas naturales.

Sin embargo, las consecuencias del deterioro no se circunscriben tan sólo a la esfera ambiental, sino que, dada la fuerte dependencia que existe entre la población y el ambiente, trascienden y afectan el estado de bienestar de la población (véase la sección **Actividades humanas y ambiente** del capítulo de **Población**). La degradación del ambiente generalmente se acompaña, en el corto, mediano o largo plazos, por la pérdida y el deterioro de los medios de subsistencia y de la calidad de vida de muchas comunidades -especialmente las rurales-, lo cual puede llevar a situaciones de marginación y pobreza, las cuales pueden resultar en fenómenos sociales negativos para la sociedad en su conjunto. En este sentido, es claro que el desarrollo de la sociedad ha dependido -y lo seguirá haciendo- del continuo y adecuado aprovisionamiento de los servicios ambientales que le prestan los ecosistemas, el cual está inevitablemente ligado a su integridad y funcionamiento.

Frente a este panorama, es evidente la necesidad de poner en marcha, desde el gobierno federal, todas aquellas estrategias que permitan garantizar la permanencia del capital natural nacional, en forma de sus ecosistemas naturales y del abastecimiento continuo de sus servicios ambientales. En general, son tres las líneas dentro de las cuales pueden agruparse a los programas y acciones federales que se han encaminado para cumplir estos propósitos.

En primer lugar están los instrumentos que buscan proteger y detener la pérdida de la superficie remanente de los ecosistemas naturales en el país, con lo cual, además de salvaguardar a ecosistemas y especies representativas de la

biodiversidad nacional, se conservan los servicios ambientales tan importantes para el país. Dentro de ella se encuentran, fundamentalmente, las áreas naturales protegidas, los humedales incluidos en la Convención Ramsar y los programas de pagos por servicios ambientales.

La segunda línea engloba todos los programas que buscan mejorar la calidad de vida de la población a través del estímulo a la explotación de los recursos naturales presentes en sus comunidades -principalmente los recursos forestales-, tratando de garantizar que ésta no rebase la capacidad de los mismos recursos para recuperarse y mantenerse en niveles que permitan su extracción en el largo plazo. Destacan dentro de ella los programas de aprovechamiento de la vida silvestre y de desarrollo forestal.

Un paso importante para el progreso y consolidación de esta línea ha sido el inicio, en febrero de 2007, del ProÁrbol. Este programa tiene como objetivos centrales contribuir a combatir la pobreza, recuperar la masa forestal e incrementar la productividad de los bosques y selvas del país. Entre sus esfuerzos también están aquéllos orientados hacia la conservación de las zonas forestales, dentro de los cuales se insertan los programas de pagos por servicios ambientales antes mencionados. Para mayores detalles respecto a este programa, sus objetivos particulares y líneas de acción, consúltese el Recuadro **ProÁrbol: conservación, recuperación y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas terrestres de México**. En las siguientes secciones podrán encontrarse también algunos de los resultados de las diversas actividades que se han llevado a cabo en sus distintas líneas de acción.

Finalmente, otra parte importante de los esfuerzos ha sido destinada a las acciones que intentan, por un lado, revertir la pérdida de la vegetación natural, básicamente a través de la reforestación;

y por otro, detener la amenaza que constituyen, principalmente para los ecosistemas forestales, los incendios forestales y las enfermedades y plagas que los atacan.

Debe mencionarse que existen otros instrumentos que también han servido, de manera indirecta para la protección de los ecosistemas terrestres del país: los ordenamientos ecológicos del territorio y las evaluaciones del impacto ambiental. En el caso de los primeros, funcionan como instrumentos de planeación ecológica que buscan el balance entre las actividades productivas y la conservación de la naturaleza, a través de la conciliación de las aptitudes, prioridades y necesidades de los usos del suelo. Por su parte, las evaluaciones el impacto ambiental tienen el propósito de identificar y cuantificar los impactos que la ejecución de diversos proyectos pueden ocasionar al ambiente, estableciendo así su factibilidad ambiental y determinando las condiciones para su ejecución, así como las medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales.

Conservación de los ecosistemas terrestres y sus servicios ambientales

La estrategia de conservación de los ecosistemas terrestres pretende básicamente, procurar y asegurar la protección de zonas naturales con poca o nula influencia y perturbación humanas, importantes por su biodiversidad y/o los servicios ambientales que brindan a la sociedad. Dentro de esta estrategia, los instrumentos más importantes impulsados han sido las áreas naturales protegidas (ANP), los humedales de la Convención Ramsar y los programas de pago por servicios ambientales (PSA). En conjunto, estos instrumentos protegían, a diciembre de 2008, alrededor de 22.2 millones de hectáreas⁴, lo que equivale aproximadamente al 11.3% de la superficie nacional continental (Figura 2.33).

⁴Esta cifra no incluye la superficie de los humedales terrestres de la Convención Ramsar dentro de las áreas naturales protegidas.

Recuadro

ProÁrbol: conservación, recuperación y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas terrestres de México

El ProÁrbol es el principal programa de apoyo al sector forestal de la actual administración federal. Integra el eje fundamental de las actividades de la institución en torno al objetivo de impulsar el desarrollo forestal, prioritariamente en los municipios con mayor índice de marginación. El ProÁrbol está dirigido principalmente a las comunidades y ejidos forestales, a quienes proporciona apoyos económicos en efectivo, en especie, en forma de empleo rural y en capacitación y asistencia técnica. Sus objetivos principales son:

- Disminuir los índices de pobreza y marginación en áreas forestales, esto mediante el estímulo al manejo y uso adecuado de sus recursos naturales;
- Generar desarrollo y expansión económica a partir de la valoración, conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos de los bosques, selvas y la vegetación de las zonas áridas; e
- Impulsar la planeación y organización forestal, elevar la producción y productividad

de los recursos forestales, su conservación y restauración, así como elevar el nivel de competitividad del sector para contribuir a mejorar la calidad de vida de los mexicanos.

Sus principales líneas de acción son: 1) la Planeación y Organización Forestal, que incluye los estudios regionales forestales, los programas de manejo forestal y el ordenamiento y organización forestal; 2) la de producción y productividad, dentro de la que destacan el cultivo forestal, la diversificación del uso de los terrenos forestales y las plantaciones forestales comerciales; 3) la conservación y restauración forestal, que incluye la reforestación, la restauración de suelos, la prevención y combate de incendios forestales, las acciones de sanidad forestal y los programas de servicios ambientales; y 4) la que busca elevar el nivel de la competitividad, que trabaja en aspectos de equipamiento e infraestructura, desarrollo de la cadena productiva forestal, las auditorías técnicas preventivas y la certificación forestal, y las actividades de capacitación y adiestramiento.

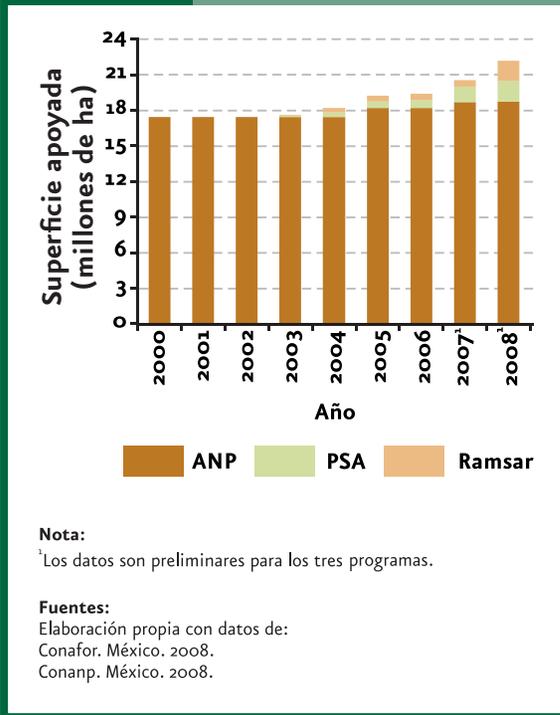
Las áreas naturales protegidas constituyen una de las estrategias más utilizadas internacionalmente para mantener la integridad de los ecosistemas. Estas áreas son superficies representativas de diversos ecosistemas, en donde el ambiente original no ha sido alterado significativamente por la actividad humana, las cuales proporcionan

Los instrumentos encaminados a la conservación de los ecosistemas terrestres nacionales -las ANP, los humedales Ramsar y los PSA-cubrieron, hasta diciembre de 2008, cerca de 22.2 millones de hectáreas, es decir, 11.3% de la superficie terrestre nacional.

además servicios ambientales de diversos tipos, y que incluso pueden albergar recursos naturales importantes o especies de importancia ecológica, económica y/o cultural. En México, el crecimiento de la superficie protegida de ecosistemas terrestres por ANP federales ha sido importante: pasó de 15.5 millones a 18.7 millones

Figura 2.33

Superficie nacional apoyada con programas con enfoque de conservación de los ecosistemas, 2000 - 2008



de hectáreas entre 1994 y el año 2008, lo que representa, para este último año, alrededor del 9.5% de la superficie continental nacional (Cuadro D3 BIODIV04 12; IB 6.1-6). Cabe señalar que la superficie protegida de ecosistemas terrestres dentro de las ANP en 2008 corresponde al 80.6% de la superficie total incluida en este instrumento, ya que el restante 19.4% (4.5 millones de hectáreas) corresponde a zonas marinas (para mayores detalles ver el capítulo de *Biodiversidad*). En las ANP terrestres federales los ecosistemas mayormente representados son los matorrales xerófilos (cerca de 6.8 millones de hectáreas, 37.7% de la superficie terrestre protegida), los bosques templados (3.3 millones de hectáreas, 18.5%) y las selvas subhúmedas y

Las ANP federales terrestres protegían, a diciembre de 2008, 18.7 millones de hectáreas, mayormente de matorrales xerófilos, bosques templados y selvas subhúmedas y húmedas.

húmedas (3.1 millones de hectáreas en conjunto, 8.8 y 8.2%, respectivamente). Mayores detalles acerca de este instrumento pueden consultarse en el capítulo de *Biodiversidad* en su sección de **Protección de la biodiversidad**. No debe olvidarse mencionar que, a la par del desarrollo de las ANP federales se han creado también áreas protegidas de naturaleza estatal, comunitaria, ejidal y privada que incrementan la superficie nacional bajo condiciones de protección de los ecosistemas terrestres.

México también participa dentro la corriente internacional de protección de humedales de la Convención Ramsar, a la cual se adhirió en 1986 y que busca la conservación y el uso racional de los humedales, en especial aquéllos de importancia internacional en términos ecológicos, botánicos, zoológicos, limnológicos o hidrológicos. A diciembre de 2008, México había inscrito 112 sitios a la Convención, los cuales ocupaban alrededor de 8.5 millones de hectáreas. En el territorio continental del país están registrados 94 humedales Ramsar, con una superficie de alrededor de 3.15 millones de hectáreas, que protegen, entre otros ecosistemas, manglares, ciénegas, lagunas y desembocaduras de ríos. De ellos, 46 humedales están incluidos, total o parcialmente, dentro de las ANP -con una superficie de 1.45 millones de hectáreas- mientras que los restantes 48 quedan excluidos de las áreas protegidas (con un área de cerca de 1.7 millones de hectáreas). Otros detalles de los humedales de la Convención Ramsar, ver el capítulo de *Agua*.

La reciente valoración de la importancia de los servicios ambientales de los ecosistemas ha llevado al diseño de un grupo de estrategias que buscan, en términos generales, que los receptores de los servicios ambientales paguen por ellos a sus proveedores, es decir, a los poseedores de los terrenos que sustentan a los ecosistemas que los producen. Esta estrategia pretende cambiar en la



práctica la vieja concepción de los servicios ambientales como servicios “gratuitos” de los ecosistemas, tratando de incentivar su protección y evitando el cambio del uso del suelo. En su mayoría, estas estrategias han estado dirigidas, tanto en México como en el mundo, hacia la protección de las cuencas, la conservación de los bosques y la biodiversidad y a la captura de carbono.

El primer paso que se dio en el país en este sentido fue el inicio, en el año 2003, del Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), a cargo de la Comisión Nacional Forestal (Conafor) y el cual forma parte importante, a partir de la presente administración, del programa Proárbol. El objetivo principal del PSAH ha sido el mantenimiento de los servicios ambientales hidrológicos brindados por los bosques y selvas, a través de un pago económico a los poseedores de los terrenos forestales que los brindan, quienes tienen la obligación de mantener en buen estado su terreno -sin cambio de uso del suelo- durante el periodo en el que se establece el convenio. El apoyo se ha dirigido hacia zonas de cuencas críticas, con acuíferos sobreexplotados o aquéllas que abastecen poblaciones con más de 5 mil habitantes.

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), fue la segunda iniciativa en su tipo y se inició en el año 2004. Promueve el acceso de los propietarios de terrenos forestales a los mercados nacionales

En 2008, los humedales Ramsar continentales protegían 3.15 millones de hectáreas, de las cuales 1.45 millones estaban incluidas dentro de las ANP federales y 1.7 millones fuera de ellas.

Los programas de Pagos de Servicios Ambientales cubrieron, a diciembre de 2008, poco menos de 1.8 millones de hectáreas, protegiendo principalmente bosques templados, mesófilos de montaña y selvas.

e internacionales de los servicios ambientales relacionados con la captura de carbono y con la biodiversidad de los ecosistemas forestales. En este caso, los pagos se otorgan para incentivar a los dueños y poseedores

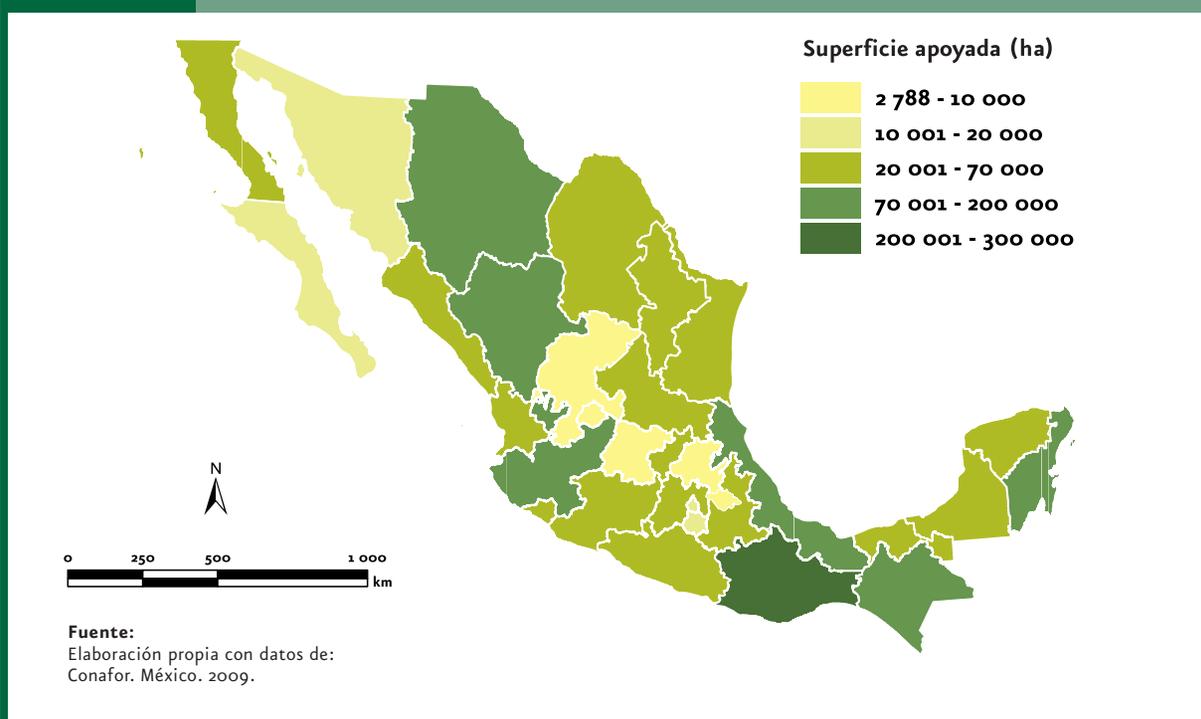
a realizar las acciones destinadas a mantener o mejorar la provisión de los servicios ambientales de interés (mitigación del cambio climático, conservación de la biodiversidad). En conjunto, la superficie beneficiada –principalmente de bosques templados, mesófilos de montaña y selvas- por los programas de pagos por servicios ambientales (PSAH y PSA-CABSA) alcanzaron, según cifras preliminares a diciembre de 2008, poco menos de 1.8 millones de hectáreas, de las cuales 1.5 millones (84% de la superficie conjunta de ambos programas) pertenecen al PSAH y las restantes 280 mil hectáreas (16%) al PSA-CABSA. La superficie estatal apoyada por los programas de servicios ambientales entre 2003 y 2008 se muestra en el Mapa 2.13.

Uso sustentable de los recursos naturales de los ecosistemas terrestres

En México y el mundo, los recursos naturales fueron vistos durante mucho tiempo como fuentes inagotables de sustento o ingreso económico. De ahí que su aprovechamiento, en muchos casos, se haya regido exclusivamente por su demanda en el mercado o las necesidades cotidianas, ignorándose su capacidad natural para recuperarse de la variabilidad ambiental natural y de sus ritmos de explotación. Como consecuencia, las poblaciones de muchas especies se redujeron drásticamente, e incluso se extinguieron localmente, lo que

Mapa 2.13

Superficie apoyada por los Programas de Servicios Ambientales por entidad federativa, 2003 - 2008



produjo la caída de su producción o, en los casos más graves, su extinción comercial definitiva. No sólo la explotación comercial realiza la extracción no sustentable de los recursos naturales: aun ciertas prácticas extractivas tradicionales pueden provocar el deterioro de las poblaciones de la vida silvestre, por lo cual también requieren de regulaciones específicas que permitan su aprovechamiento en el largo plazo.

Con el fin de lograr el aprovechamiento de la vida silvestre nacional bajo criterios de sustentabilidad, se han diseñado e implementado diversos instrumentos que pueden agruparse en dos ejes principales: el encaminado al manejo de la vida silvestre que no involucra necesariamente especies de importancia forestal, sino otras, por ejemplo, de

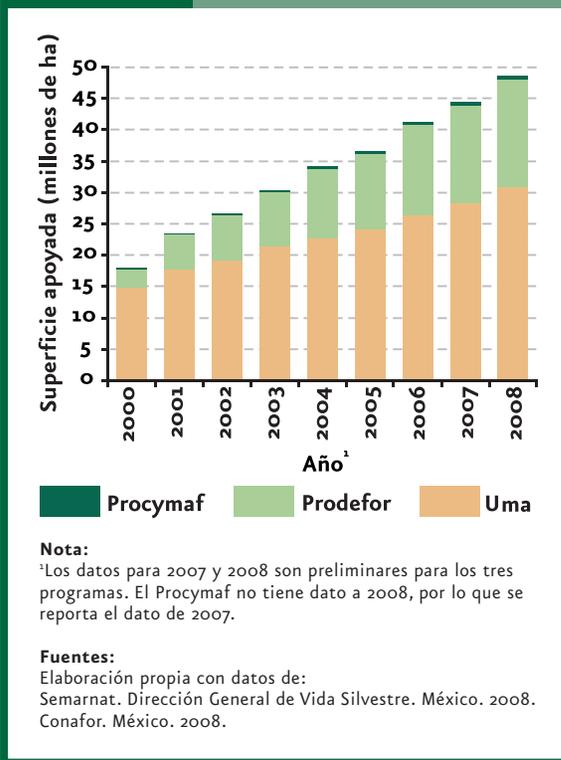
Los instrumentos dirigidos al uso sustentable de los recursos naturales de los ecosistemas terrestres nacionales -las Uma, el Prodefor y el Procymaf- cubrían, hasta diciembre de 2008, cerca de 49.5 millones de hectáreas, una superficie equivalente al 25.2% de la superficie terrestre nacional.

interés cinegético u ornamental -representado por el Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Suma)-; y en segundo lugar, aquél que busca el desarrollo de la actividad forestal por medio del aumento de la productividad y la diversificación en el uso de los ecosistemas forestales, integrado por el Programa de Desarrollo Forestal (Prodefor) y el Programa de Desarrollo Forestal Comunitario (Procymaf). En ambos ejes se persigue también, como objetivo fundamental, el mejoramiento de la calidad de vida de los poseedores de los terrenos donde se encuentran los ecosistemas naturales aprovechados.

En conjunto, los programas de ambos ejes han apoyado, a diciembre de 2008, una superficie total cercana a las 49.5 millones de hectáreas (Figura 2.34), lo que equivale

Figura 2.34

Superficie nacional apoyada con programas con enfoque de uso sustentable de los ecosistemas, 2000 - 2008



al 25.2% de la superficie continental del país. De la superficie beneficiada a 2008, el 62.4% pertenecía a las Uma (alrededor de 30.9 millones de hectáreas), 36.6% al Prodefor (18.1 millones de hectáreas) y el restante 0.9% (cerca de 468 mil hectáreas) al Procymaf.

El Sistema de Unidades de Manejo de la Vida Silvestre (Suma) fue establecido en 1997 y es coordinado por la Semarnat a través de la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS). Busca el aprovechamiento de la vida silvestre de forma legal y viable, a la vez que promueve esquemas alternativos de producción compatibles con el cuidado del ambiente, por medio del uso racional,

A diciembre de 2008, las Uma se extendían en alrededor de 30.9 millones de hectáreas, principalmente en el norte del país en matorrales xerófilos, pastizales y bosques templados.

ordenado y planificado de los recursos naturales. Además de permitir el uso sustentable de las poblaciones silvestres y de generar ganancias económicas a los poseedores de los terrenos donde se establecen las unidades, este instrumento conserva colateralmente el hábitat de las especies objetivo -necesario para mantener el buen estado de las poblaciones explotadas-, así como los servicios ambientales que generan. A la fecha, las Uma se han concentrado en la zona norte del país, siendo los matorrales xerófilos, seguidos por los pastizales y los bosques templados los principales ecosistemas beneficiados por este instrumento.

En algunos casos, la instalación de las Uma se ha llevado a cabo dentro de las ANP, lo que ha generado beneficios adicionales, entre ellos la disminución de la presión de las comunidades en las zonas protegidas, la conservación de los hábitats de las especies de interés y un mayor conocimiento de sus especies, hábitat y ecosistemas. Aunque no se posee una cifra reciente de la superficie de Uma incluida en ANP, en 2005 ascendía a cerca de 2.5 millones de hectáreas, es decir, poco más del 10% de la superficie total de Uma para ese año. Mayores detalles respecto a las Uma pueden encontrarse dentro el capítulo de *Biodiversidad* en su sección de *Protección de la biodiversidad nacional*.

Antes de detallar los instrumentos establecidos para impulsar el desarrollo forestal sustentable en el país, debe decirse que un paso importante para su desarrollo fue la creación de la Conafor en 2001. Su misión ha sido 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 de 2003), que tiene entre sus objetivos principales contribuir al desarrollo

social, económico, ecológico y ambiental del país; 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.

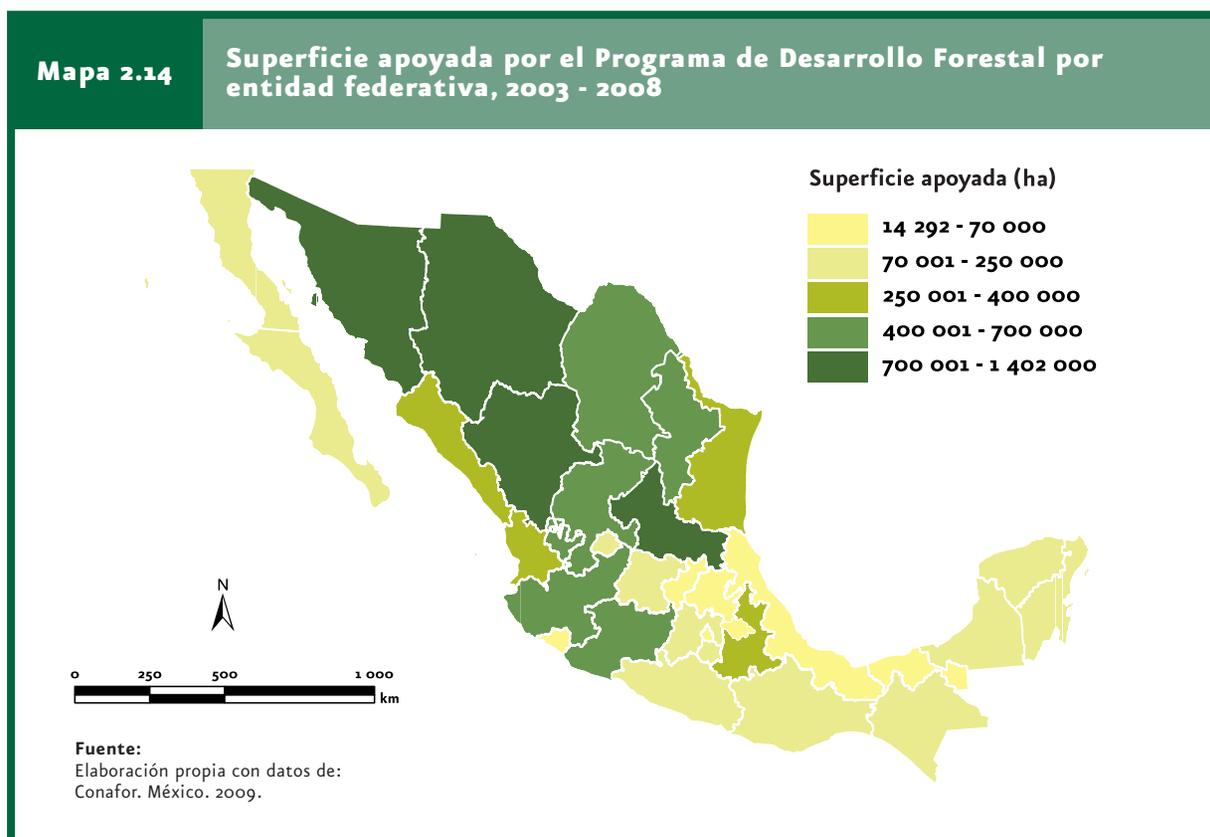
El Programa de Desarrollo Forestal (Prodefor), iniciado en 1997 y coordinado por la Conafor dentro de ProÁrbol, procura impulsar la productividad y la diversificación en el uso de los ecosistemas forestales, así como el desarrollo de la cadena productiva forestal, todo a través del otorgamiento de apoyos económicos a los poseedores de los terrenos forestales donde se realiza el aprovechamiento, los cuales pueden ser ejidos, comunidades y pequeños propietarios. Este programa se coordina en

El Prodefor cubría, a diciembre de 2008, cerca de 18.1 millones de hectáreas, principalmente de matorrales xerófilos, bosques templados y selvas.

cooperación con los gobiernos de los estados. El Prodefor ha crecido significativamente desde su creación: pasó de 3 millones de hectáreas apoyadas para su incorporación en el periodo 1997-2000, a 18.1 millones en 2008 -según cifras preliminares para este último año-, lo cual significa un incremento promedio anual de alrededor de 1.4 millones de hectáreas. Los principales ecosistemas beneficiados han sido los matorrales xerófilos -básicamente por su riqueza en productos no maderables-, los bosques templados y las selvas.

La superficie apoyada por estado entre 2003 y 2008 se muestra en el Mapa 2.14.

Por su parte, el Programa de Desarrollo Forestal Comunitario (Procymaf II) persigue que ejidos y comunidades, principalmente indígenas, ubicados en regiones prioritarias de los estados de Durango, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Oaxaca,



Quintana Roo, Chiapas, Chihuahua, Campeche, Puebla, Veracruz y México, establezcan prácticas de manejo forestal sustentable bajo esquemas de silvicultura comunitaria que generen procesos de desarrollo local. En su primera fase (Procymaf I), que inició en 1998 y concluyó en el año 2003, este programa benefició poco menos de 272 mil hectáreas, a las cuales se han acumulado cerca de 196 mil hasta el año 2007.

Recuperación de los ecosistemas terrestres

Ante la significativa pérdida y alteración de los ecosistemas naturales del país, fue indispensable, desde tiempo atrás, el diseño e implementación de instrumentos de política ambiental dedicados no solamente a la protección de los remanentes de los ecosistemas y al aprovechamiento sustentable de la vida silvestre -incluida la actividad forestal-, sino otros orientados a la recuperación, cuando fuera posible, de zonas degradadas, afectadas por plagas o enfermedades, o de aquellas en las que los ecosistemas naturales hubiesen desaparecido. Las principales estrategias dentro de esta línea han sido tradicionalmente la reforestación, el impulso al establecimiento de plantaciones forestales, el combate a los incendios forestales y las prácticas de sanidad forestal.

Aun cuando se sabe que algunas de estas estrategias -la reforestación, por ejemplo- no pueden restituir los ecosistemas a su condición original, es decir, con su biodiversidad y sus procesos ecológicos funcionando como lo hacían antes de la intervención humana, es sabido que pueden contribuir a detener la degradación ambiental y mantener ciertos servicios

ambientales básicos, como son la recarga de los acuíferos o la conservación de la productividad del suelo, por ejemplo. En algunos otros casos, como las acciones de combate a los incendios forestales, las plagas y enfermedades forestales, se evita tanto una mayor pérdida y alteración de los ecosistemas, como el que sus causas -el fuego y las plagas y enfermedades, respectivamente- se propaguen afectando mayores superficies de vegetación natural.

Los programas de recuperación de los ecosistemas terrestres implementados en el país incluyen al Programa de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales (Procoref, dentro del cual están los esfuerzos del Programa de Reforestación, las acciones de conservación y restauración de suelos forestales, así como las acciones de sanidad forestal) y al Programa de Plantaciones Forestales Comerciales (Prodeplan), ambos incluidos en el ProÁrbol y coordinados por la Conafor. La superficie acumulada atendida por estos dos programas hasta diciembre de 2008, según datos preliminares, ascendió a 4.2 millones de hectáreas, de la cual 68.8% correspondió a los esfuerzos de reforestación (cerca de 2.9 millones de hectáreas), 6.1% a las labores de sanidad forestal (alrededor de 258 mil hectáreas), 10.9% a la conservación y restauración de suelos forestales (cerca de 461 mil hectáreas) y 14.3% a las plantaciones forestales (alrededor de 650 mil hectáreas; Figura 2.35). En

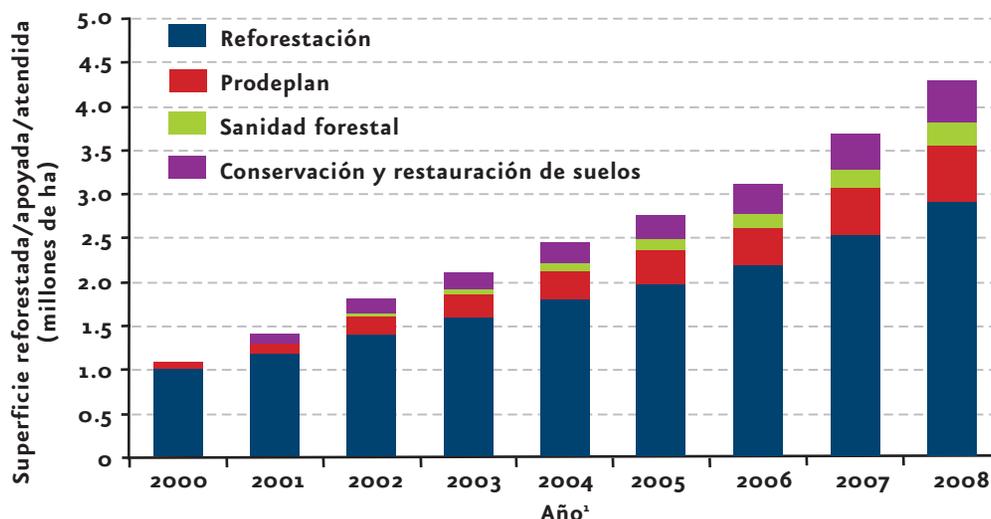
total, la superficie atendida por estos instrumentos hasta 2008 ascendió al 2.2% de la superficie terrestre nacional.

Los instrumentos de recuperación de los ecosistemas terrestres nacionales -el Procoref, en sus acciones de reforestación, conservación y restauración de suelos forestales y sanidad forestal, y el Prodeplan- atendieron, hasta diciembre de 2008, cerca de 4.2 millones de hectáreas, es decir, 2.2% de la superficie terrestre nacional.

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 realizado

Figura 2.35

Superficie nacional apoyada con programas con enfoque de recuperación de los ecosistemas, 2000-2008



Nota:
¹Los datos para 2007 y 2008 son preliminares para los cuatro programas.

Fuente:
 Elaboración propia con datos de:
 Conafor. México. 2008.

en el país desde hace muchos años, los esfuerzos no dieron los resultados esperados. Entre las razones de esta ineficiencia pueden señalarse: i) información insuficiente y empleo de criterios no ambientales para la siembra de las plantas, ii) selección de especies inapropiadas para los sitios a reforestar, y iii) falta de seguimiento a la siembra de los árboles, con la posterior muerte de una gran proporción de lo sembrado. Independientemente de la causa, el resultado final fue que los programas de reforestación contribuyeron en muy poco a la recuperación 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. En 2001 fue transferido a la Conafor y forma parte actualmente,

como Programa de Reforestación, del Procoref. En la actualidad, las labores de reforestación se realizan principalmente en áreas forestales perturbadas, principalmente en aquellas afectadas por incendios, sujetas a tala ilegal, sobrepastoreo y las susceptibles de reconversión a zonas forestales; una parte de la reforestación también se realiza en ANP. El Programa intenta el empleo de especies nativas apropiadas para cada ecosistema. En el caso de las especies tropicales, se prefiere el cedro rojo, la caoba, el palo de rosa y la primavera, mientras que para las regiones templadas se eligen coníferas, principalmente pinos. Para las regiones semiáridas, se producen agaves⁵, nopales, mezquites, sotoles y pinos piñoneros.

La superficie reforestada en el país ha seguido una tendencia creciente desde principios de los

⁵Aunque los agaves, nopales y otras especies de suculentas de las zonas áridas y semiáridas no son árboles, son las más adecuadas para recuperar estas zonas por su resistencia y función en los ecosistemas, tales como la protección del suelo y el control de las escorrentías.

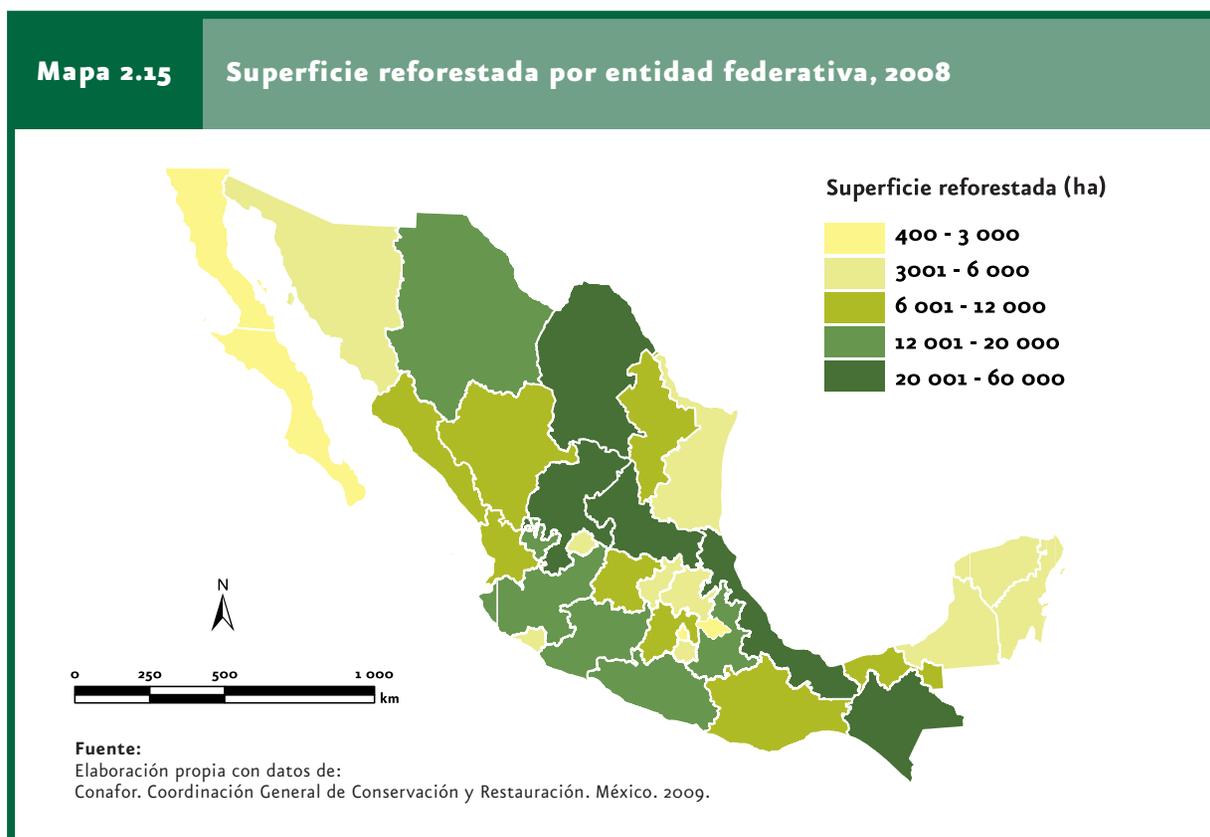
años ochenta hasta el presente: mientras que en 1993 se reforestaron en el país cerca de 42 mil hectáreas, para el 2008 alcanzaron las 373 mil hectáreas. En ese mismo año, los estados en los que se reforestó una mayor superficie fueron Coahuila (59 mil 253 hectáreas), Chiapas (41 mil 479 hectáreas), San Luis Potosí (35 mil hectáreas) y Veracruz (31 mil 403 hectáreas; Mapa 2.15). En contraste, los estados con menores superficies reforestadas fueron el Distrito Federal (poco más de 400 hectáreas) y Baja California Sur (587 hectáreas).

Las plagas y enfermedades forestales pueden ocasionar graves efectos a los ecosistemas y, paralelamente, a las comunidades rurales dedicadas a la actividad forestal. Las prácticas de sanidad forestal que se realizan dentro del Procoref están encaminadas fundamentalmente a prevenir

y combatir plagas y enfermedades forestales que podrían tener impactos ecológicos, económicos y sociales. Las acciones incluyen, primeramente, el diagnóstico fitosanitario, el cual se realiza principalmente en zonas de vegetación natural, así como en plantaciones forestales, viveros, áreas reforestadas y zonas urbanas. Una vez que se ha realizado el diagnóstico, y en caso de encontrarse áreas afectadas, se procede al tratamiento.

Entre 2003 y el año 2008, la superficie promedio tratada a nivel nacional fue de poco más de 38 mil hectáreas. Los estados que mayor superficie trataron entre esos años fueron Nuevo León (poco menos de 23 mil hectáreas), Oaxaca (poco más de 22 mil hectáreas) y Jalisco (20 mil hectáreas), mientras que las menores superficies que se registraron por el mismo concepto en el periodo fueron Morelos

Entre 1993 y 2008 se han reforestado alrededor de 2.9 millones de hectáreas en el país, siendo Coahuila, San Luis Potosí, Chiapas y Veracruz los estados que mayor superficie reforestaron en el periodo.



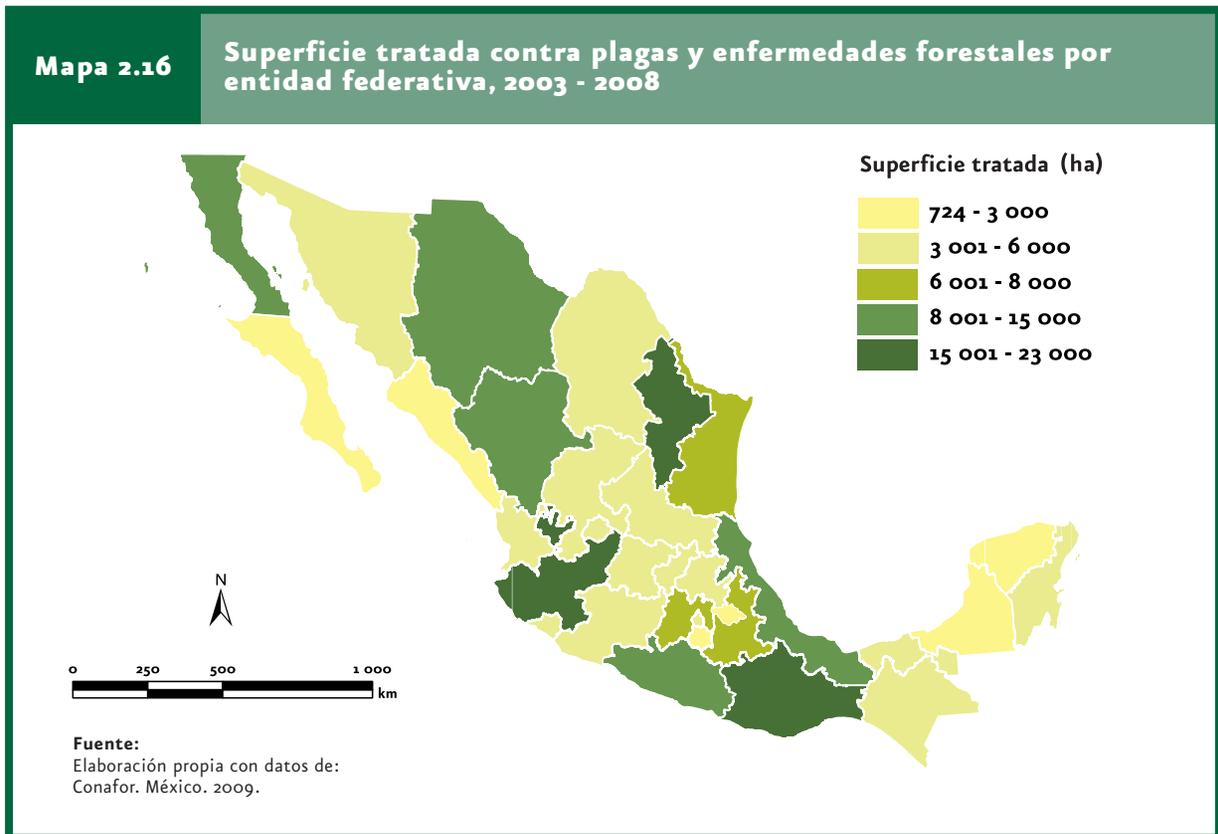
(poco más de 700 hectáreas), Baja California Sur (mil 400 hectáreas) y Tlaxcala (alrededor de 2 mil hectáreas; Mapa 2.16).

Con respecto al esfuerzo nacional en el tratamiento de las superficies afectadas por enfermedades o plagas forestales, aún resulta insuficiente, puesto que de la superficie afectada en el periodo 2003-2007, sólo se pudieron realizar actividades sanitarias en poco menos del 58% de la superficie con algún tipo de afectación. Los estados que trataron el mayor porcentaje de su superficie afectada fueron Aguascalientes y Guanajuato (ambos con la totalidad del área afectada) y Nayarit y San Luis Potosí (ambos con poco más del 98%). En contraste, los estados que trataron una proporción menor de su superficie afectada fueron Chiapas (alrededor del 23%), Morelos (poco menos del 24%) y Coahuila (alrededor del 24%; Mapa 2.17).

Entre 2003 y 2007, la superficie nacional tratada contra plagas y enfermedades forestales fue de alrededor del 58% de la superficie afectada.

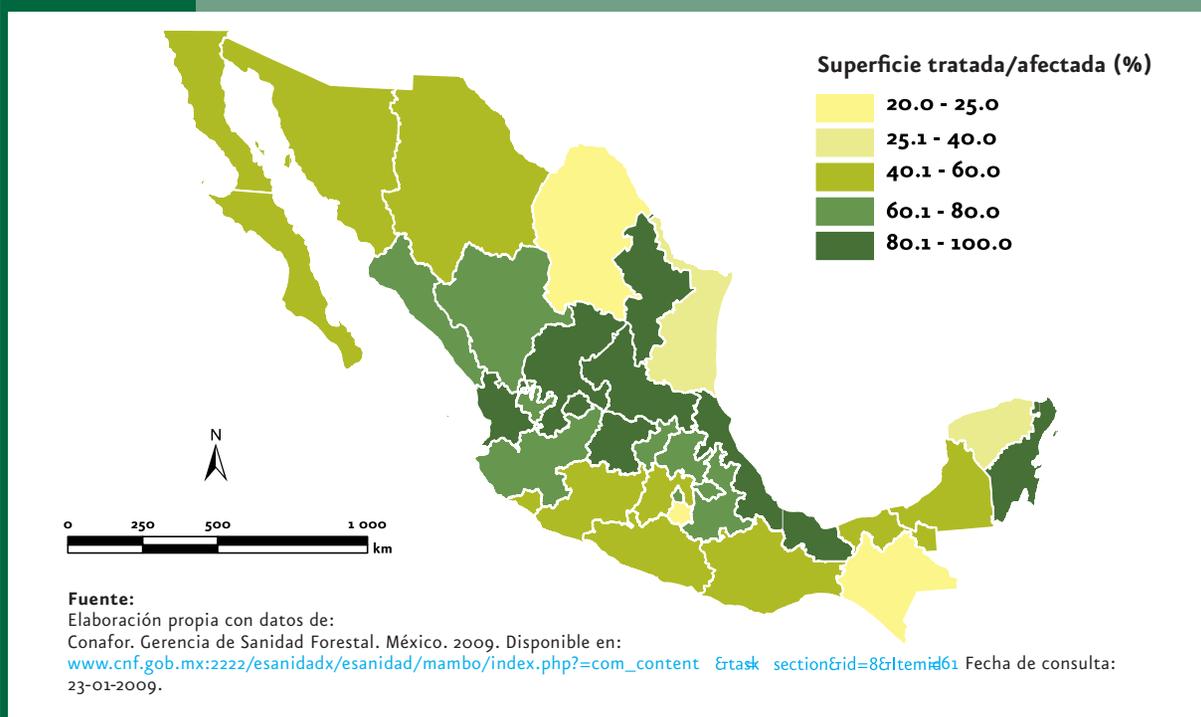
Según la superficie tratada, las plagas más combatidas en el periodo 2003-2007 fueron los descortezadores, con 64 mil 300 hectáreas (equivalente al 35.5% de la superficie tratada en el periodo), seguidos muy de cerca por los muérdagos (64 mil 100 hectáreas; 35.3%) y los defoliadores (28 mil 289 hectáreas 15.6%; Figura 2.36).

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 presiones sobre las comunidades vegetales del país es el establecimiento de sistemas manejados de donde puedan obtenerse los productos que



Mapa 2.17

Superficie afectada por plagas y enfermedades que recibió tratamiento por entidad federativa, 2003 - 2007



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 el mantenimiento de plantaciones comerciales para alcanzar la autosuficiencia en productos forestales. Este programa ha producido resultados notables en los últimos años: del año 1998 al 2008 se han apoyado plantaciones en poco más de 650 mil hectáreas, cubriendo todas las entidades del país. Los estados con las mayores superficie de plantaciones forestales apoyadas por este programa son: Campeche (poco más de 84 mil hectáreas), Veracruz (alrededor de 77 mil hectáreas), Tabasco (60 mil hectáreas) y Oaxaca (cerca de 54 mil 500 hectáreas; Mapa 2.18).

Otro frente de lucha contra la destrucción de la cobertura

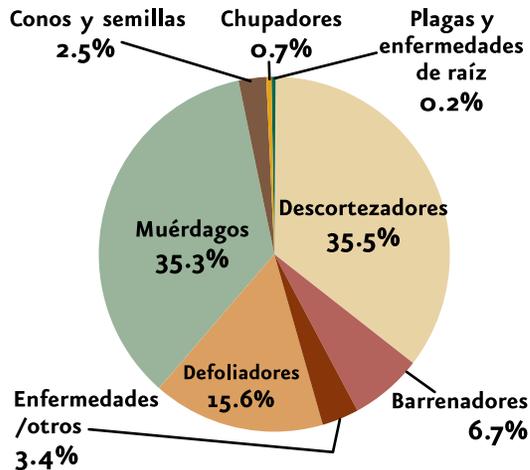
Entre 1997 y 2008, el Prodeplan ha apoyado plantaciones forestales comerciales en poco más de 650 mil hectáreas, cubriendo todas las entidades del país.

vegetal del país es el combate de los incendios forestales. Sus acciones incluyen la prevención, el pronóstico y el combate directo. Entre las prácticas de prevención se cuentan las brechas cortafuego y quemas prescritas, la 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

Figura 2.36

Superficie tratada por plagas y enfermedades forestales, según tipo, 2003 - 2007



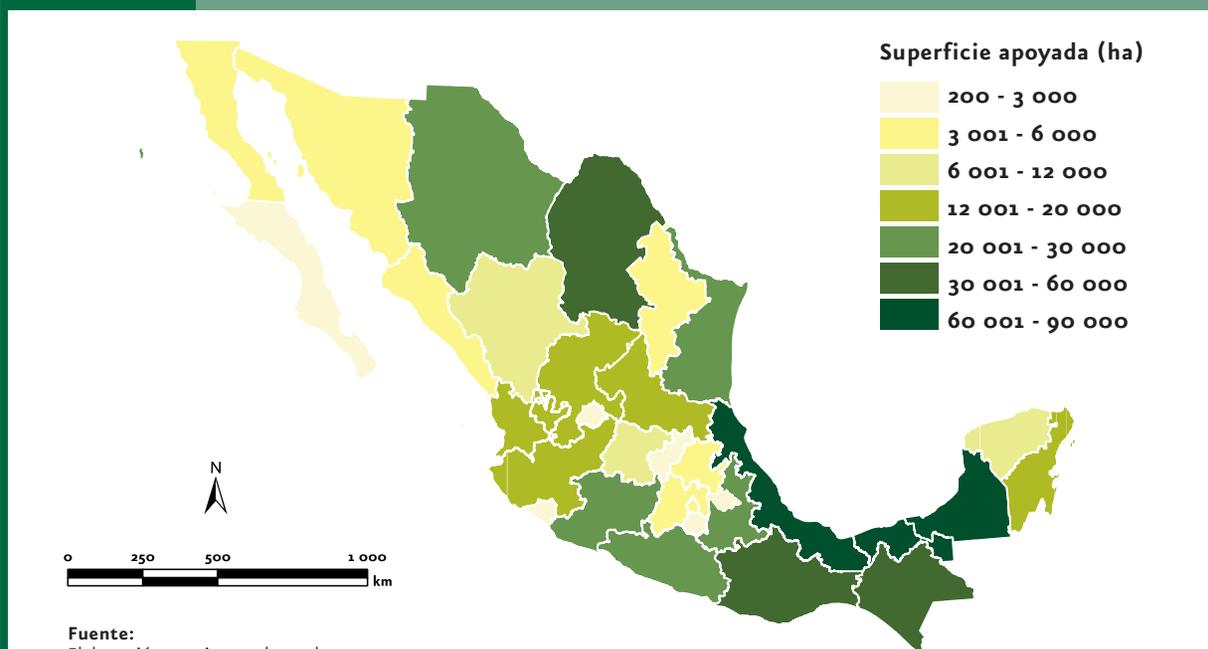
Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conafor. Gerencia de Sanidad Forestal. México. 2009. Disponible en: www.cnf.gob.mx:2222/esanidad/mambo/index.php?option=com_content&task=section&rid=8&Itemid=61 Fecha de consulta: 23-01-2009.

severos. La detección de incendios en curso tiene lugar mediante avistamientos desde torres, aviones, o vehículos terrestres. La Universidad de Colima y la Conafo 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. Sin considerar al año de 1998 en el que se registraron una gran cantidad de incendios -lo cual pudo limitar la efectividad de las acciones-, este programa ha permitido reducir la duración promedio de los incendios forestales (Figura 2.37).

A manera de resumen, puede decirse que hasta diciembre de 2008, los instrumentos englobados en las tres líneas anteriores –conservación, uso sostenible y recuperación de los ecosistemas- podrían haber atendido, en conjunto, una superficie acumulada de cerca de 75.9 millones de hectáreas, lo que representa una superficie equivalente al 38.7% del territorio continental nacional (Figura 2.38). No obstante, es muy importante considerar

Mapa 2.18

Superficie apoyada por el Programa de Plantaciones Forestales Comerciales por entidad federativa, 1996 - 2008



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conafor. Plantaciones Forestales Comerciales. México. 1996-2008.

Figura 2.37

Duración promedio de los incendios forestales en México, 1998 - 2008

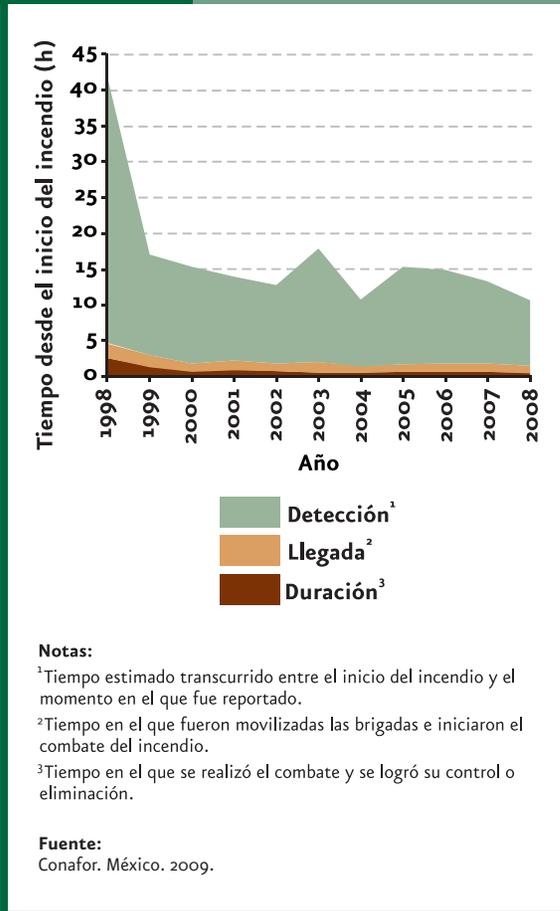
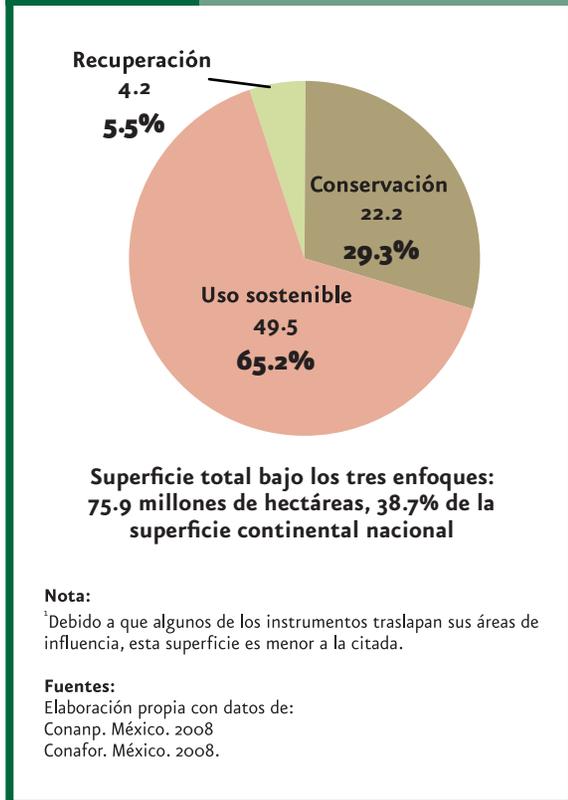


Figura 2.38

Superficie nacional en programas con enfoque de conservación, uso sostenible y recuperación de los ecosistemas terrestres¹, 2008. Superficie en millones de hectáreas y en porcentaje



que, en virtud de que algunos instrumentos traslapan sus áreas de influencia -las Uma y los PSA con las ANP o las zonas que se reforestan dentro de las ANP, por ejemplo-, esta superficie podría ser considerablemente menor.

Otros instrumentos indirectos de protección de los ecosistemas terrestres

El ordenamiento ecológico del territorio

Desde el establecimiento de las primeras comunidades humanas, el uso del suelo estuvo regido principalmente por sus necesidades de

alimento, vivienda y costumbres, las cuales transformaron muchos ecosistemas hacia tierras de cultivo, áreas para la crianza del ganado y zonas urbanas, entre otros usos. Las consecuencias ambientales de estos cambios, además de la pérdida de superficie vegetal, biodiversidad y servicios ambientales, trajeron en muchos casos consecuencias económicas y sociales negativas para muchos grupos humanos. El establecimiento de poblaciones en zonas de alto riesgo, el desmonte de los bosques en áreas montañosas para favorecer campos agrícolas y la eliminación de manglares para el desarrollo de granjas acuícolas, son algunos ejemplos de decisiones que, tomadas sin conocimiento de la aptitud de los terrenos,

han ocasionado mayores problemas ambientales y sociales que los beneficios que aportaron a las comunidades que las llevaron al cabo.

La decisión sobre qué uso darle a un terreno debería estar determinada, al menos en parte, por un “análisis de aptitud”, el cual es un procedimiento que, a partir de los atributos ambientales del área de estudio, permite la selección de las alternativas de uso del territorio, entre las que se incluyen las actividades productivas, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, el mantenimiento de los bienes y servicios ambientales y la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad. A pesar de que dicha decisión está influida por consideraciones económicas, sociales o históricas, los atributos naturales de un territorio deben jugar un papel determinante al definir los límites para el desarrollo de las actividades productivas.

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, Artículo 3, fracción XXIII).

A partir de la publicación en 2003 del reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) en materia de Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET), se transforma la visión anterior del OET a 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 en un territorio hacen explícitas sus necesidades e intereses (tanto actuales como futuras); y buscan, mediante la negociación y la conciliación de intereses, aquel patrón de ocupación del territorio que minimice el conflicto entre sus actividades, suscribiendo un acuerdo de voluntades para adoptarlo y sujetarse a sus términos.

De acuerdo con la LGEEPA, existen cuatro modalidades de programas de ordenamiento ecológico. La primera de ellas es el ordenamiento ecológico general, de carácter indicativo para los particulares, pero obligatorio para la Administración Pública Federal, el cual se refiere a la totalidad del territorio; la segunda es el ordenamiento regional, aplicable a dos o más estados, a dos o más municipios o al estado completo; la tercera es el ordenamiento local, que actúa en un municipio completo o en parte de él y, finalmente, los ordenamientos ecológicos marinos que incluyen las zonas marinas y las zonas federales adyacentes (ver el Recuadro **Ordenamientos ecológicos marinos**).

Con respecto a los avances en la formulación del Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio, en abril de 2008 se constituyó el grupo de trabajo multidisciplinario encargado de su elaboración con representantes de las secretarías de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat); Desarrollo Social (Sedesol); Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa); Comunicaciones y Transportes (SCT); Turismo (Sectur); Energía (Sener); Reforma Agraria (SRA); Gobernación (Segob) y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Durante ese año se concluyó el estudio técnico en el que se identificaron las áreas de interés prioritario de cada uno de los sectores y se definió la aptitud ambiental para el desarrollo de las diversas actividades productivas en el territorio nacional. De esta manera se busca inducir el desarrollo de los sectores hacia las zonas con el mayor potencial

Recuadro

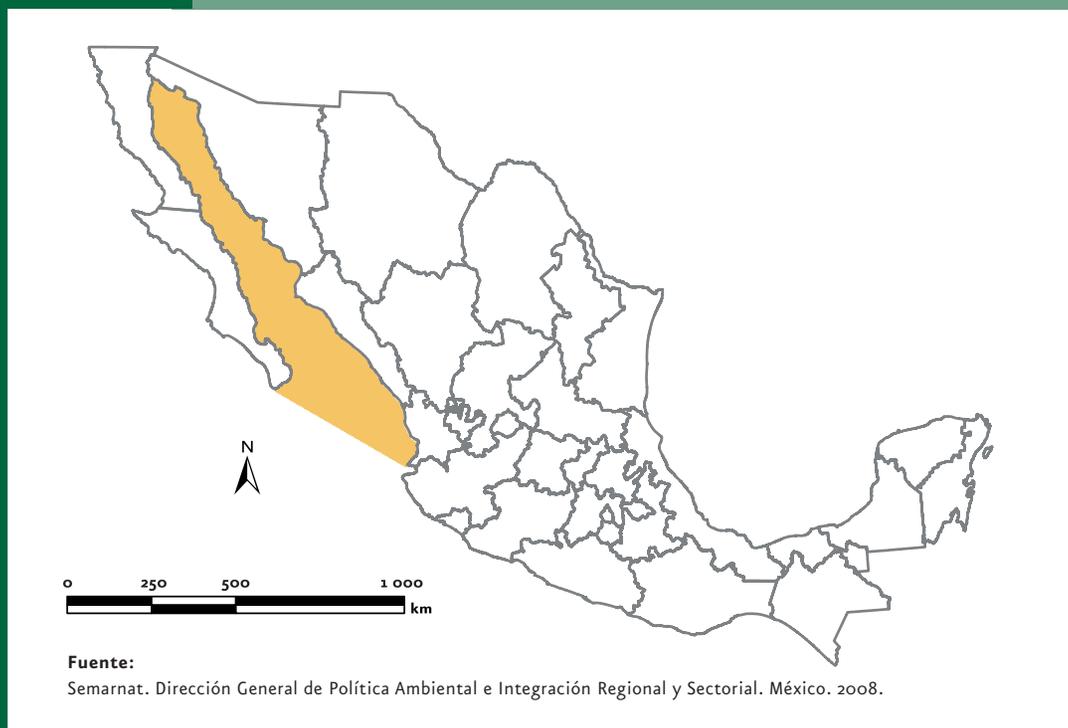
Ordenamientos ecológicos marinos

Con respecto a los ordenamientos marinos, actualmente se cuenta con uno decretado y uno en proceso de elaboración. El ordenamiento que cuenta con decreto es el denominado Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California (OEMGC), que cubre una superficie de 24.71 millones de hectáreas que incluyen zonas marinas mexicanas y las zonas federales adyacentes (Mapa a). El ordenamiento en proceso de elaboración es el Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe, que cubre una superficie de 82.82 millones de hectáreas.

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 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

Mapa a

Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California



Recuadro

Ordenamientos ecológicos marinos (conclusión)

(*Totoaba macdonaldi*) y el cetáceo conocido como vaquita marina (*Phocoena sinus*).

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, así como la inspección y vigilancia en los terrenos ocupados por particulares.

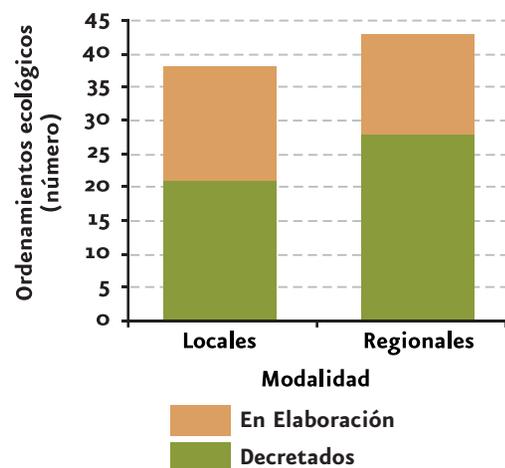
y que cuenten con las características que les permitan minimizar los impactos y conflictos ambientales.

Por otro lado, hasta enero de 2009 se tenían registrados 38 ordenamientos locales, de los cuales 21 tenían decreto y 17 se encontraban en elaboración. En lo referente a los ordenamientos regionales, en esa misma fecha, existían un total de 43, de los cuales, 28 contaban con decreto y 15 estaban en proceso de elaboración (Figura 2.39). Actualmente, el 19.9% de la superficie terrestre nacional (es decir, 38.99 millones de hectáreas) cuenta con un ordenamiento ecológico decretado y 34.7% (67.87 millones de hectáreas) con un ordenamiento en proceso de elaboración. La mayoría de los ordenamientos ecológicos decretados se

Actualmente, el 19.9% de la superficie terrestre nacional (es decir, 38.99 millones de hectáreas) cuenta con un ordenamiento ecológico decretado y 34.7% (67.87 millones de hectáreas) con ordenamientos en proceso de elaboración.

Figura 2.39

Situación de los ordenamientos ecológicos locales y regionales, 2009¹



Nota:
¹Datos a enero.

Fuente:
Semarnat. Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. México. 2009.

localizan en las penínsulas de Baja California y Yucatán, así como en el centro del país y muchos de ellos involucran la participación de los sectores

de desarrollo urbano y turístico (Mapas 2.19 y 2.20). En el caso de ambas penínsulas, a través de los ordenamientos, se busca la preservación del entorno para que los destinos continúen resultando atractivos a los turistas, que son una de las fuentes de ingresos más importantes para ambas regiones. Esto no excluye que existan otros objetivos orientados hacia la preservación ecológica donde participan sectores como el agropecuario, pesquero y forestal.

La 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 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 ambiente y la salud humana.

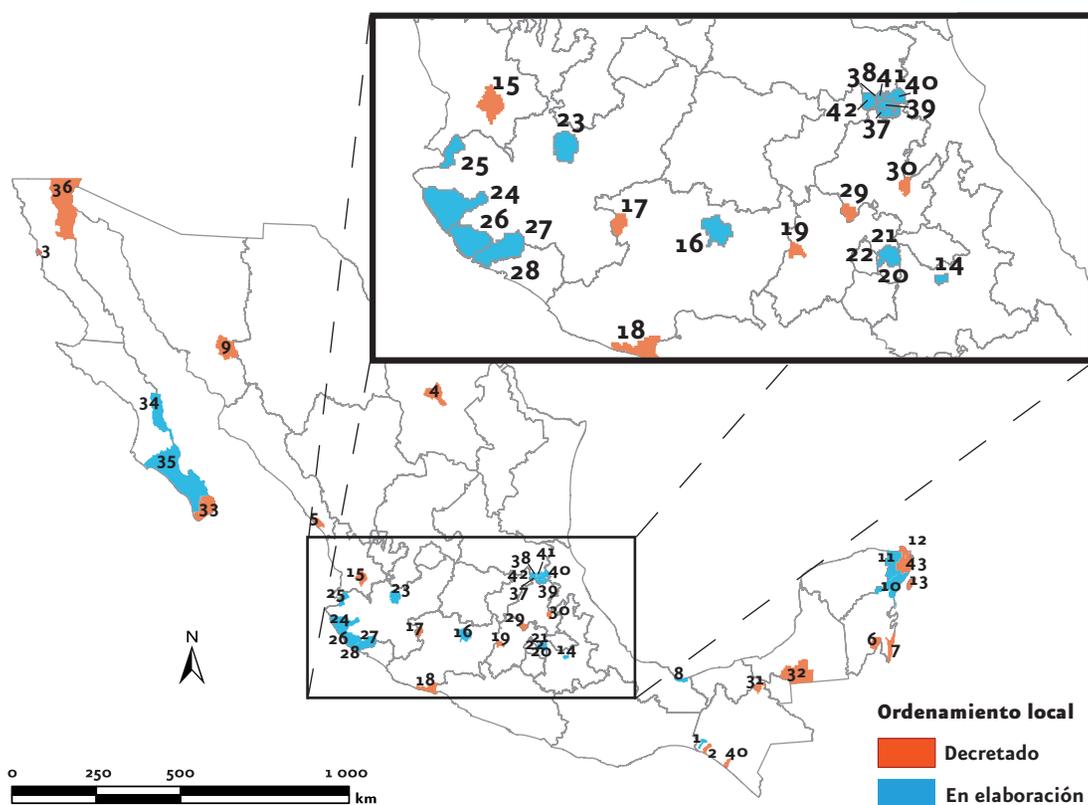
El procedimiento de evaluación del impacto ambiental se inició en México en 1988 con la publicación en el Diario Oficial de la Federación de la LGEEPA y su Reglamento en Materia de Impacto Ambiental. En el reglamento se establecieron tres modalidades para la presentación de la Manifestación de Impacto 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 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. Entre las reformas más importantes se encuentran la redefinición de las obras y actividades sujetas al procedimiento de evaluación de impacto ambiental de competencia federal, las cuales se clasifican por tipo de actividad, industria o por los recursos naturales que puedan afectarse. En este sentido, se determinó que los estados y municipios son responsables de la evaluación de impacto ambiental de todas aquellas obras y actividades que no se encuentren en el listado de competencia federal. Otras de las reformas 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 o la fragmentación de los ecosistemas. En los demás casos, la manifestación deberá presentarse en la modalidad particular. 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.

Mapa 2.19

Ordenamientos ecológicos locales, 2008

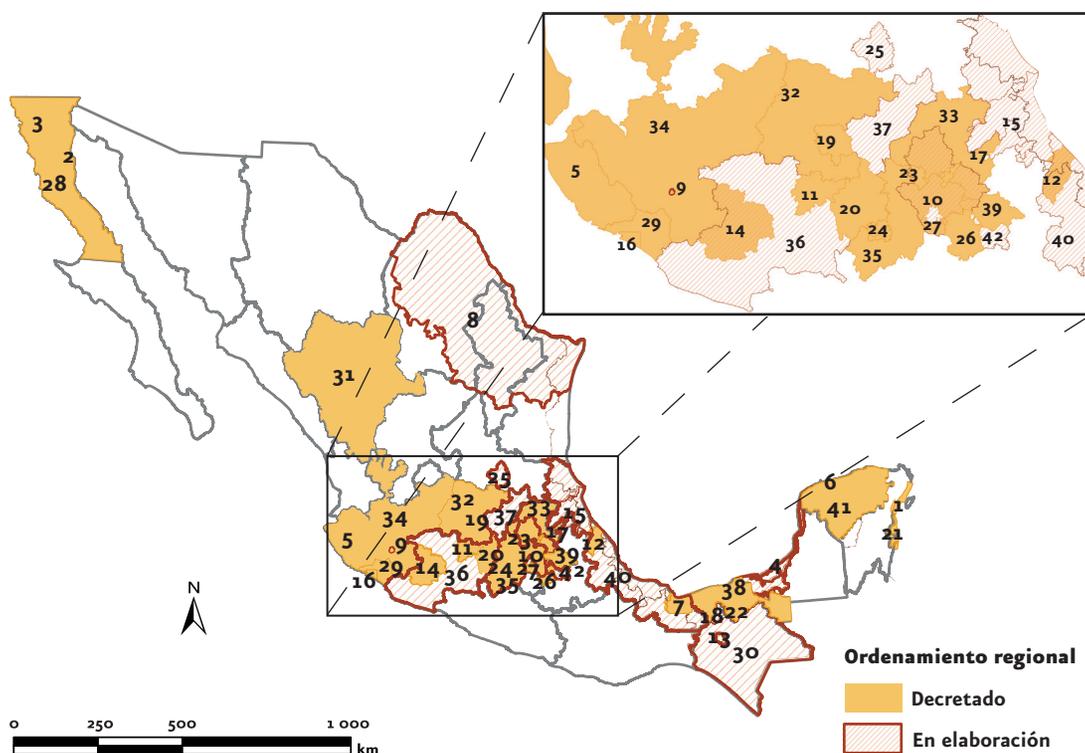


Ordenamiento local
■ Decretado
■ En elaboración

- | | | |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 1 Subcuenca Río Lagartero - Poza Galana 2 Subcuenca Río Zanatenco 3 San Quintín 4 Cuatrociénegas 5 Zona Costera, Municipio de Rosario 6 Bacalar 7 Costa Maya 8 Municipal de Coatzacoalcos 9 Municipal de Rosario Tesoaco 10 Municipal de Solidaridad 11 Municipal de Lázaro Cárdenas 12 Municipal de Isla Mujeres 13 Cozumel 14 Municipal de Cuautinchán 15 Municipal de Santa María del Oro | <ul style="list-style-type: none"> 16 Municipal de Morelia 17 Municipal de Cotija 18 Municipal de Lázaro Cárdenas 19 Municipal Villa de Allende 20 Municipal de Tlalmanalco 21 Municipal de Ixtapaluca 22 Municipal de Chalco 23 Municipal de Zapopan 24 Municipal de Tomatlán 25 Municipal de Puerto Vallarta 26 Municipal de La Huerta 27 Municipal de Cuautitlán 28 Municipal de Cuatlán 29 Municipal de Tepeji 30 Municipal de Huasca 31 Municipal de Playas de Catzaja 32 Municipal de Candelaria 33 Municipal de Los Cabos | <ul style="list-style-type: none"> 34 Municipal de Loreto 35 Municipal de La Paz 36 Municipal de Mexicali 37 Municipal de Matlapa 38 Municipal de Axtla de Terrazas 39 Municipal de Tamazunchale 40 Municipal de San Martín Chalchicuauhtla 41 Municipal de Tampacan 42 Municipal de Xilitla 43 Municipal de Benito Juárez 44 Subcuenca Río Coapa -Pijijiapan |
|--|--|--|

Fuente:

Semarnat. Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. México. 2008.



- 1 Corredor Cancún – Tulúm
- 2 Corredor Costero San Felipe –Puertecitos
- 3 Corredor Costero Tijuana – Ensenada
- 4 Costa de Campeche
- 5 Costa de Jalisco
- 6 Costa de Yucatán
- 7 Cuenca baja del río Coatzacoalcos
- 8 Cuenca de Burgos
- 9 Cuenca de la Laguna de Zapotlán
- 10 Cuenca de México
- 11 Cuenca del Lago de Cuitzeo
- 12 Cuenca del Río Bobos
- 13 Cuenca del Río Sabinal
- 14 Cuenca del Río Tepalcatepec
- 15 Cuenca del Río Tuxpan
- 16 Laguna de Cuyutlán
- 17 Pachuca - Tizayuca
- 18 Petrolero Zona Norte de Chiapas
- 19 Región Laja – Bajío
- 20 Región Mariposa Monarca
- 21 Sian Ka'an

- 22 Sierra de Tabasco
- 23 Tula - Tepeji
- 24 Valle de Bravo - Amanalco
- 25 Valle de Ríoverde y Ciudad Fernández
- 26 Volcán Popocatepetl
- 27 Zona Rural del D.F.
- 28 Estatal de Baja California
- 29 Estatal de Colima
- 30 Estatal de Chiapas
- 31 Estatal de Durango
- 32 Estatal de Guanajuato
- 33 Estatal de Hidalgo
- 34 Estatal de Jalisco
- 35 Estatal de México
- 36 Estatal de Michoacán
- 37 Estatal de Querétaro
- 38 Estatal de Tabasco
- 39 Estatal de Tlaxcala
- 40 Estatal de Veracruz
- 41 Estatal de Yucatán
- 42 Centro Poniente de Puebla

Fuente:

Semarnat. Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. México. 2008.

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 2.40 se muestran los proyectos ingresados para la evaluación de impacto ambiental en cada modalidad durante el periodo 1998-2008 ([Cuadro D4_IMPACTO00_02](#)).

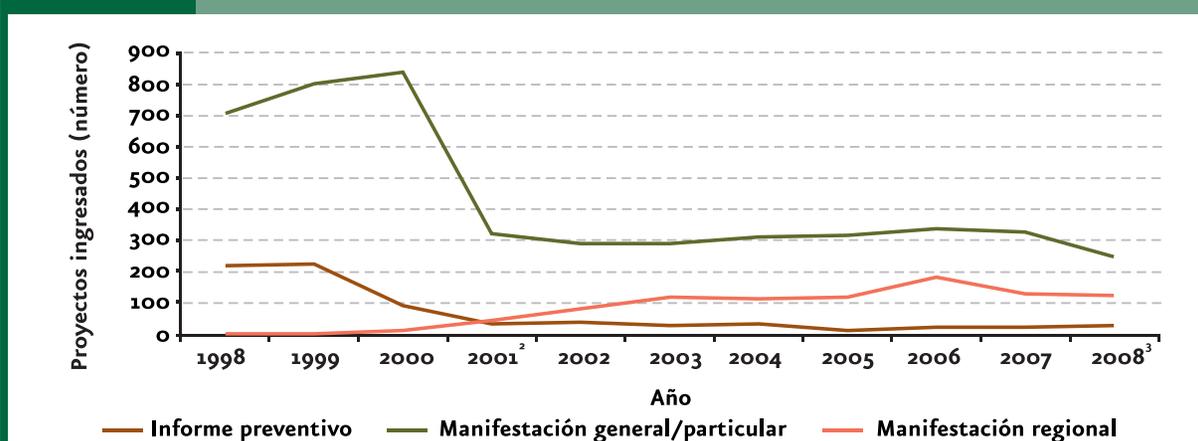
Una vez evaluada la manifestación de impacto ambiental, la Semarnat emite la resolución correspondiente en la que puede negar o aprobar la autorización para la ejecución del proyecto. En caso de aprobación, ésta puede darse en los términos solicitados o si se considera necesario, señalando las condiciones o medidas adicionales de prevención o mitigación que se deberán cumplir.

Se puede negar una autorización solicitada en aquellos casos en los que se no se cumplan las leyes aplicables, cuando por la realización del proyecto se amenace o se ponga en peligro de extinción una o más especies o cuando exista falsedad en la información proporcionada por los promoventes. 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 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 manifestaciones, misma que a partir del 2000 disminuyó significativamente, cayendo de más de mil proyectos en 1999 a 392 en el 2008 (Figura 2.40). Cabe señalar que parte de esta disminución puede explicarse por el hecho de que a partir de mayo del 2000 se transfirió a las

Figura 2.40

Proyectos ingresados bajo el procedimiento de evaluación de impacto ambiental por tipo de estudio, 1998 - 2008¹



Notas:

¹La información de los años 2000 y anteriores corresponde a los registros de proyectos recibidos en el INE y a partir de 2001, la información corresponde a la gestión realizada en la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA) de la Semarnat. La DGIRA informa sobre el rezago de 411 proyectos recibidos en el periodo 1997-2000; esta cantidad no está incluida en la información que se muestra.

²Datos de enero a noviembre.

³Datos al mes de agosto.

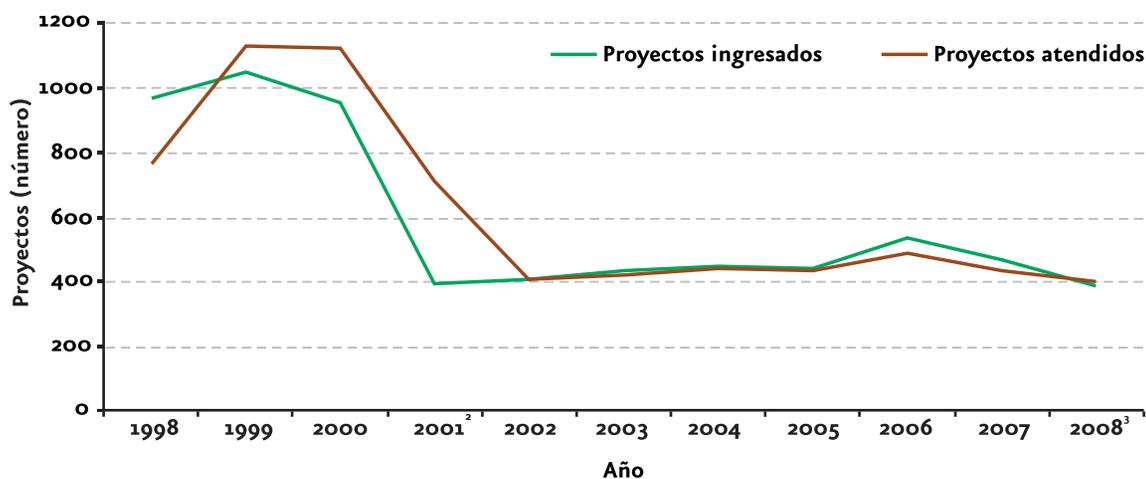
Fuentes:

Semarnap. INE. México. 2001.

Semarnat. Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental. México. 2009.

Figura 2.41

Proyectos ingresados y atendidos bajo el procedimiento de evaluación de impacto ambiental, 1998 - 2008¹



Notas:

¹Los años en que se atienden más proyectos que los que se 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.

²Datos de enero a noviembre.

³Datos al mes de agosto.

Fuentes:

Semarnap. INE. México. 2001.

Semarnat. Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental. México. 2009.

Delegaciones Federales de la Semarnat la atención de proyectos que hasta esa fecha se evaluaban en las oficinas centrales de la Secretaría. En el periodo 1998-2008, la Semarnat recibió 5 mil 793 proyectos (579 en promedio por año) y atendió 6 mil 111 evaluaciones de impacto ambiental para su análisis y, en su caso, autorización (Figura 2.41). La mayoría de ellos correspondieron a obras y actividades de servicios de los sectores turístico (1 097 proyectos), industrial (874), petroquímico (Pemex; 849), vías generales de comunicación (940) y gasero (691), proyectos ingresados, respectivamente (Figura 2.42).

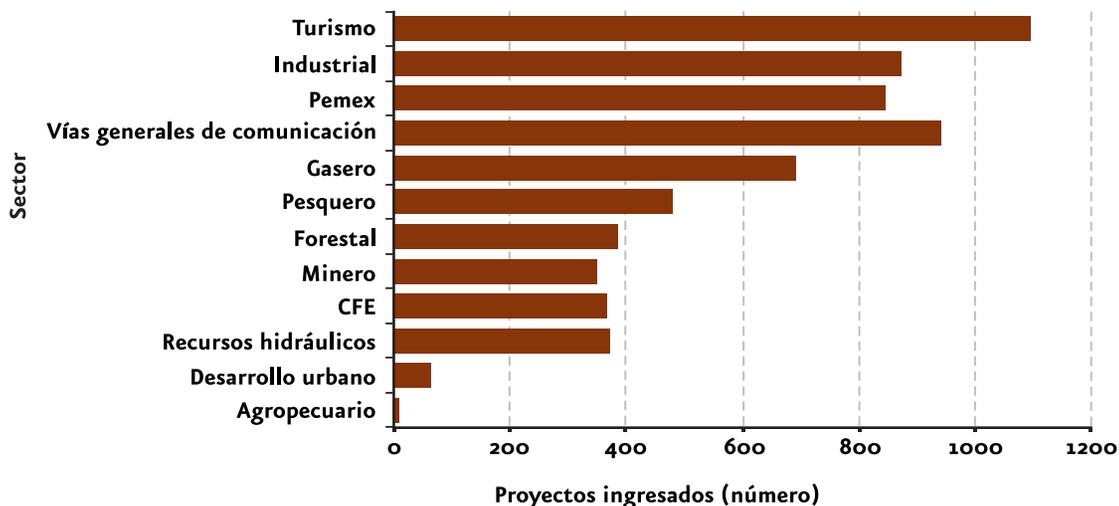
Los estados que en los últimos años han tenido el mayor número de proyectos ingresados al procedimiento de impacto ambiental son Quintana Roo, Veracruz y Estado de México; en contraste, Aguascalientes, Yucatán, Zacatecas, Querétaro,

Tlaxcala y Morelos son algunos de los estados que tienen menor demanda de evaluación de proyectos (Mapa 2.21; [Cuadro D4_IMPACTO00_01](#)). El total de proyectos atendidos, por entidad federativa, se muestra en el Mapa 2.22.

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.

Figura 2.42

Proyectos ingresados bajo el procedimiento de evaluación de impacto ambiental por sector, 1998 - 2008¹

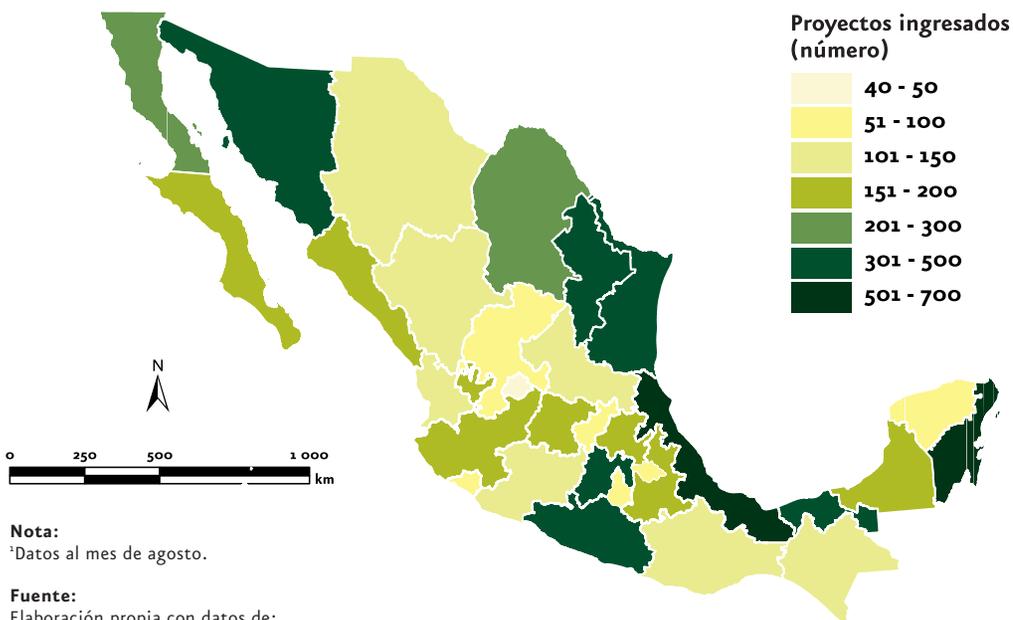


Nota:
¹Los datos de 2008 son al mes de agosto.

Fuentes:
 Semarnap, INE. México. 2001.
 Semarnat. Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental. México. 2009.

Mapa 2.21

Proyectos ingresados bajo el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental por entidad federativa, 1998 - 2008¹

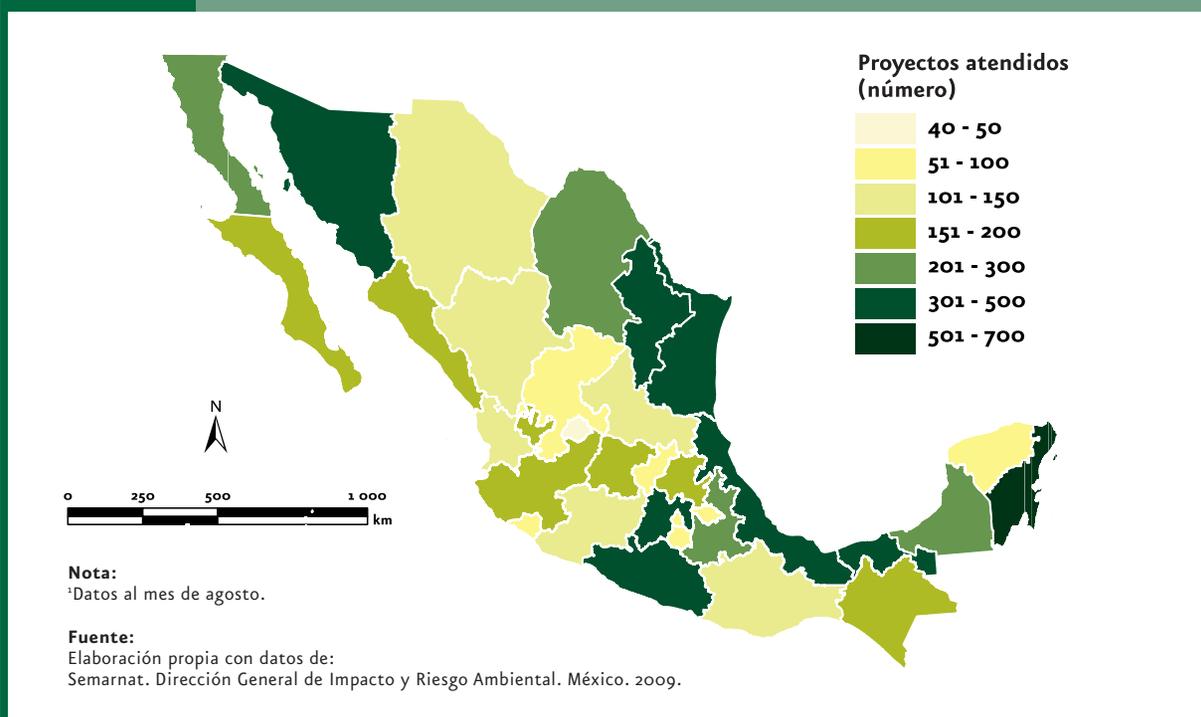


Nota:
¹Datos al mes de agosto.

Fuente:
 Elaboración propia con datos de:
 Semarnat. Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental. México. 2009.

Mapa 2.22

Proyectos atendidos bajo el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental por entidad federativa, 1998 - 2008¹



REFERENCIAS

Castillo, M., P. Pedernera y E. Peña. Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA*. XIX (3 y 4). 2003.

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

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

Conabio. *La diversidad biológica de México: estudio de país*. México. 1998.

DOF. *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Ordenamiento Ecológico*. México. 2003 (08 de agosto).

FAO. *Global Forest Resources Assessment 2005*. FAO. 2006.

Groombridge, B. y M. D. Jenkins. *World Atlas of Biodiversity*. UNEP-WCMC. University of California Press. USA. 2002.

INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie I (1968-1986), escala 1:250 000*. México. 1993.

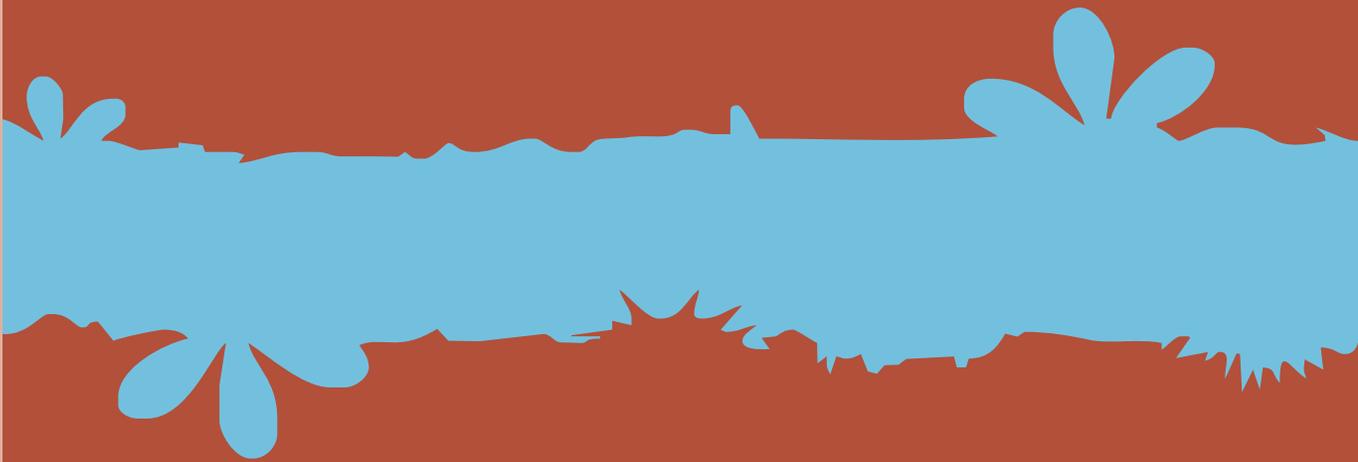
INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie II (Reestructurada) (1993), escala 1:250 000*. México. 2004.

INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002), escala 1:250 000 (Continuo Nacional)*. México. 2005.

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.
- Matthews, E., R. Payne, M. Rohweder y S. Murray. *Pilot Analysis of Global Ecosystems. Forest Ecosystems*. WRI. Washington, D. C. 2000. Disponible en: www.wri.org/publication/pilot-analysis-global-ecosystems-forest-ecosystems.
- 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.
- SCBD. *The Value of Forest Ecosystems*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. CBD Technical Series No. 4. Montreal, Canada. 2001a.
- SCBD. *Sustainable management of non-timber forest resources*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. CBD Technical Series no. 6. Montreal, Canada. 2001b.
- SCBD. *Impacts of human-caused fires on biodiversity and ecosystem functioning, and their causes in tropical, temperate and boreal forest biomes*. CBD Technical Series no. 5. Montreal, Canada. 2001c.
- 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.
- Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2005. Compendio de Estadísticas Ambientales*. México. 2005.
- Semarnat. *La Gestión Ambiental en México*. México. 2006.
- Semarnat. *Manual del Proceso de Ordenamiento Ecológico*. México. 2006.
- Semarnat. Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. México. 2009.
- 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





Suelos

México es un país con una compleja topografía producto, en buena parte, de una intensa actividad volcánica ocurrida durante el Cenozoico; tiene un gradiente altitudinal que va de los cero a los 5 000 metros sobre el nivel del mar, presenta cuatro de los cinco grandes tipos de climas reconocidos por la clasificación de Köppen²; una enorme

diversidad paisajística y de tipos de rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas). Todos estos elementos ayudan a explicar la gran diversidad de suelos que existen en el país, la cual también forma parte de la megadiversidad nacional (ver los Recuadros *¿Qué es el suelo y cómo se forma?* y *Los servicios ambientales del suelo*).

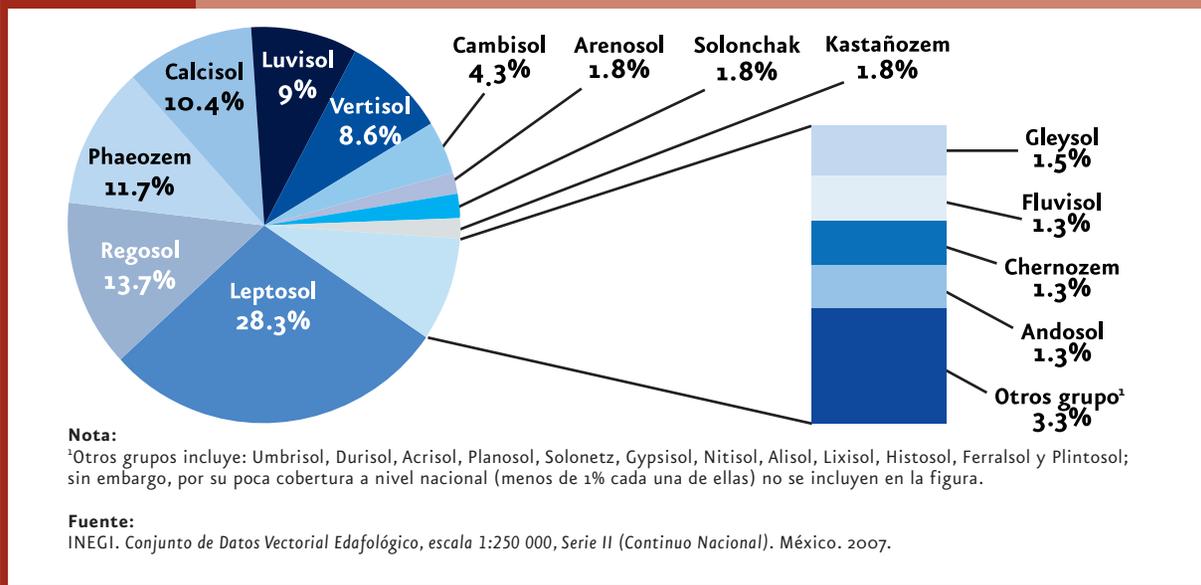
SUELOS DE MÉXICO

De acuerdo con el INEGI (2007), en México existen 26 de los 30 grupos de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (FAO-ISRIC-ISSS, 1998); siendo

En México existen 26 de los 30 grupos de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (FAO-ISRIC-ISSS, 1998).

los dominantes los Leptosoles (28.3% del territorio), Regosoles (13.7%), Phaeozems (11.7%), Calcisoles (10.4%), Luvisoles (9%) y Vertisoles (8.6%), que en suma cubren 81.7% del país (Figura 3.1).

Figura 3.1 Superficie relativa cubierta por los principales grupos de suelo en México, 2007



²Según la modificación de García (1988).

La definición del suelo depende del área de interés. Desde una visión geotécnica, el suelo es el material sin consolidar que se encuentra sobre el lecho rocoso. La ingeniería civil complementa este concepto señalando que el suelo es un material en el cual se puede excavar, y que dicha propiedad se relaciona directamente con la obra que se va a construir sobre él o con él.

Desde el punto de vista agrícola, el suelo es la capa de material fértil que recubre la superficie de la Tierra y que es explotada por las raíces de las plantas y a partir de la cual obtienen sostén, nutrimentos y agua. Desde una perspectiva ambiental, este concepto simple ha evolucionado hasta reconocer su papel fundamental en todos los procesos ecosistémicos, debido a las funciones y servicios que realiza, tales como la regulación y la distribución del flujo de agua o como amortiguador de los efectos de diversos contaminantes.

A partir de su origen y de los factores ambientales, la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (SSSA, por sus siglas en inglés), lo define como la capa superficial de material mineral y orgánico no consolidado que sirve de medio natural para el crecimiento de las plantas, y que ha sido sujeto y presenta los efectos de los factores que le dieron origen (clima, topografía, biota, material parental y tiempo) y que debido a la interacción de éstos, difiere en sus propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas del sustrato rocoso del que se originó. Por ello, el suelo ya no es roca ni sedimento geológico, sino un producto proveniente de las alteraciones e interacciones que experimentan estos materiales (Sumner, 2000).

El proceso de formación del suelo comienza con la desintegración de la roca madre que está expuesta en la superficie de la corteza terrestre a partir del rompimiento físico y químico ocasionado por las lluvias, el viento, la exposición al sol y la actividad mecánico-biológica de raíces de las plantas. En el caso de la actividad biológica, las cianobacterias y los líquenes son los primeros colonizadores del sustrato rocoso, ya que liberan ácidos orgánicos débiles, como el ácido carbónico, que disuelve lentamente la roca madre. Después, el efecto mecánico del crecimiento de las raíces acelera la ruptura de las rocas, además de que la presencia de las plantas permite una gran actividad de micro y meso organismos y la acumulación de materia orgánica en diferentes estados de descomposición, la cual también contribuye a la formación del suelo.

Aunque el suelo siempre está en formación, el proceso es sumamente lento. Se calcula que para tener un centímetro de suelo en la capa superficial son necesarios entre 100 y 400 años, por lo cual se considera que el suelo es un recurso natural no renovable en la escala de tiempo humana.

Referencias:

Astier-Calderón, M., Maass-Moreno, y J. Etchevers-Barra. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620. 2002.

SSSA. *Glossary of Soil Science Terms*. Disponible en: www.soils.org/sssagloss/index.php Fecha de consulta: 14-10-2008.

Sumner, M.E. *Handbook of Soil Science*. CRC Press. EU. 2000.

Los servicios ambientales son los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas. Se dividen en servicios de soporte, regulación, provisión y culturales. El suelo, al formar parte de los ecosistemas, contribuye de manera sustancial a la provisión de servicios ambientales indispensables para el sustento de la humanidad.

Los servicios de **soporte** que se obtienen del suelo se relacionan en gran parte con su propia heterogeneidad. Los agregados proveen una gran variedad de microambientes para las bacterias, protozoarios, artrópodos y nematodos que están involucrados en el reciclaje de la materia orgánica y en la continuidad de los principales ciclos biogeoquímicos. En el suelo se fija el nitrógeno atmosférico utilizado por las plantas y también es uno de los principales reservorios de carbono en los ecosistemas terrestres. Los suelos contienen mucho más carbono que el que se encuentra contenido en la vegetación y dos veces más que el que se encuentra en la atmósfera (FAO, 2004). Este “secuestro” de carbono en el suelo reduce su liberación a la atmósfera como CO₂, uno de los principales gases de efecto invernadero.

Dentro de los servicios de **regulación** está la capacidad de amortiguamiento al filtrar, desactivar o retener compuestos potencialmente tóxicos que pudieran llegar a las aguas subterráneas o afectar las redes tróficas de los ecosistemas terrestres y acuáticos. En el suelo se pueden degradar o desactivar estos compuestos a través de la actividad microbiana y las interacciones químicas entre las partículas de arcilla y materia orgánica. También interviene en

la regulación climática por la capacidad de infiltración y evaporación de agua y por la absorción de la radiación solar de onda corta, así como su posterior reemisión en forma de onda larga o por corrientes de convección, que producen el calentamiento de la atmósfera.

Los servicios de **provisión** que se obtienen del suelo son la producción de biomasa vegetal (alimentos) para el consumo humano y animal o para la producción de textiles; genes o información genética utilizados en el desarrollo biotecnológico, en el control de los patógenos o para promover el crecimiento vegetal. Además, en el suelo se encuentran materiales de construcción como arenas, gravas y arcillas, y otros materiales como piedras y metales preciosos.

Finalmente, dentro de los servicios ambientales de orden **cultural** que se obtienen del suelo, está el servir de sostén físico de la infraestructura terrestre utilizada o construida por las sociedades humanas, como son las estructuras de uso industrial, doméstico, recreación y demás actividades socioeconómicas. También el suelo representa el sitio de resguardo de vestigios antropológicos y arqueológicos que permiten la reconstrucción y preservación de la historia de la humanidad.

Referencias:

FAO. *Carbon sequestration in dryland soils*. World Soils Resources Reports. No. 102. FAO. Rome. 2004. Disponible en: www.fao.org/docrep/007/y5738e/y5738e00.htm Fecha de consulta: 25-09-2008.

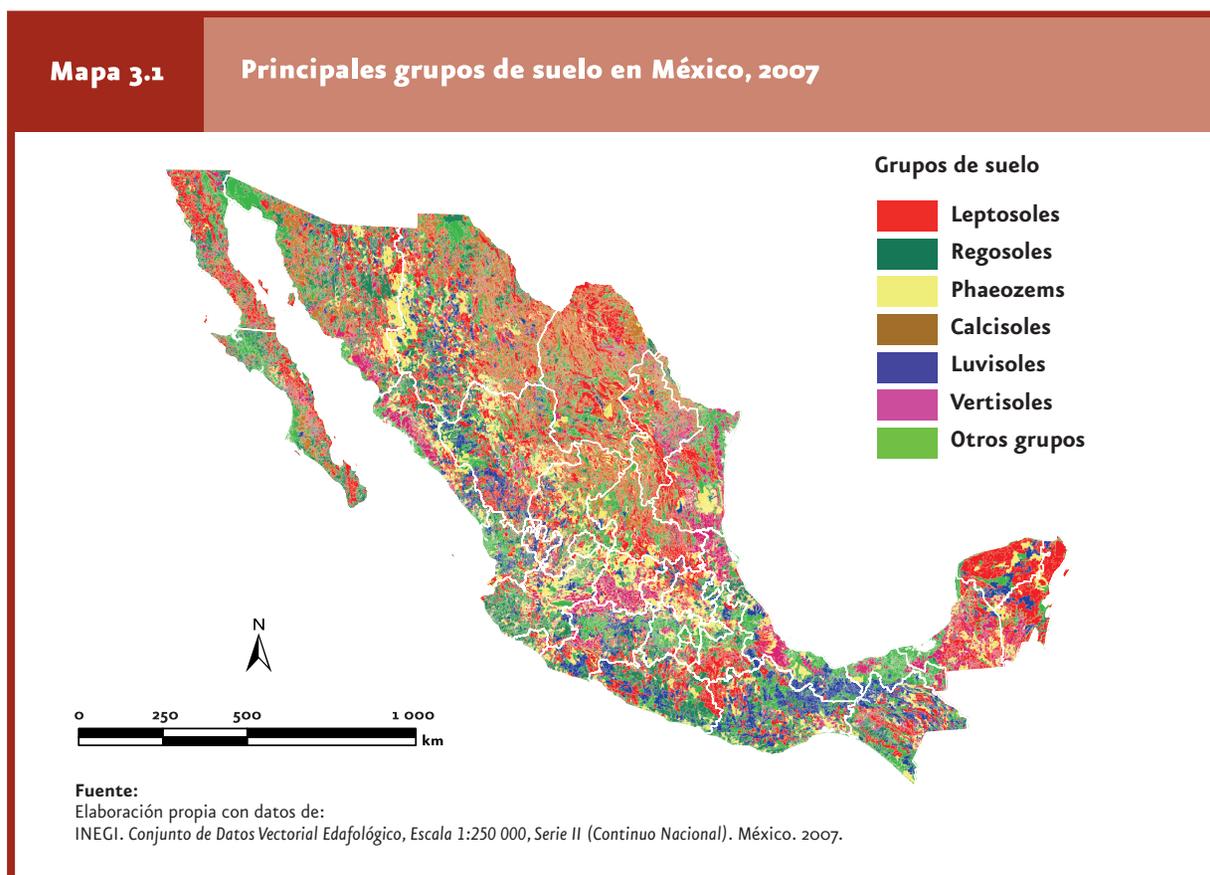
MEA. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends* Volume 1. Chapter 22. Dryland Systems. USA. 2005.

El 52.4% del territorio nacional está cubierto por suelos someros y poco desarrollados: Leptosoles (54.3 millones de hectáreas), Regosoles (26.3 millones de hectáreas) y Calcisoles (20 millones de ha), lo cual dificulta su aprovechamiento agrícola y aumenta su vulnerabilidad. Los suelos con mayor fertilidad (Phaeozems, Luvisoles, y Vertisoles; 22.5, 17.3 y 16.5 millones de hectáreas, respectivamente) cubren en conjunto 29.4% del país (Figura 3.1; Mapa 3.1). En el resto del territorio (35 millones de hectáreas) se presenta una alta diversidad edáfica, encontrándose los otros 20 grupos distribuidos en un gran número de microrelieves, microclimas y tipos de vegetación (*Cuadro D3_SUELO01_01*).

Los Leptosoles (del griego *leptos*, delgado), también conocidos en otras clasificaciones como Litosoles y Redzinas, son suelos muy delgados, pedregosos y poco desarrollados que pueden contener una gran cantidad de material calcáreo. Son los suelos de más amplia distribución a nivel mundial (mil 655 millones de hectáreas; FAO-

ISRIC-ITC, 2001) asociados a sitios de compleja orografía, lo que explica su amplia distribución en México. Estos suelos se encuentran en todos los tipos climáticos (secos, templados, húmedos), y son particularmente comunes en las zonas montañosas y en regiones altamente erosionadas. Su potencial agrícola está limitado por su poca profundidad y alta pedregosidad, lo que los hace difíciles de trabajar. Aunado a ello, el calcio que contienen puede inmovilizar los nutrientes minerales, por lo que es preferible mantenerlos con la vegetación original, o bien, utilizar técnicas agrícolas apropiadas para estas condiciones.

En México, los Leptosoles son comunes en la Sierra Madre Oriental, la Occidental y la del Sur, las Penínsulas de Yucatán y Baja California y una vasta región del Desierto Chihuahuense. Particularmente, en la Península de Yucatán, los Leptosoles tienen una capa superficial rica en materia orgánica que les confiere un mayor potencial de aprovechamiento agrícola.



En la categoría de Regosoles (del griego *reghos*, manto) se agrupa a los suelos que no pueden ser clasificados dentro de los grupos reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. En otras clasificaciones se reconocen como Entisoles. En general, son suelos muy jóvenes que se desarrollan sobre material no consolidado², de colores claros y pobres en materia orgánica. Se encuentran en todos los climas, con excepción de zonas de permafrost, y en todas las elevaciones, aunque son particularmente comunes en las regiones áridas, semiáridas (incluyendo los trópicos secos) y montañosas. Muchas veces se asocian con los Leptosoles y con afloramientos de roca o tepetate. Los Regosoles de zonas áridas tienen escasa vocación agrícola, aunque su uso depende de su profundidad, pedregosidad y fertilidad, por lo que sus rendimientos son variables (FAO, 2001).

A nivel mundial, los Regosoles ocupan alrededor de 260 millones de hectáreas (FAO, 2001). En México, las mayores extensiones se encuentran en la Sierra Madre Occidental y del Sur y en la Península de Baja California. Las variantes más comunes en el territorio son los Regosoles éutricos y calcáricos que se caracterizan por tener una capa conocida como ócrica, que cuando se retira la vegetación, se vuelve dura y costrosa lo que impide la penetración del agua hacia el subsuelo y dificulta el establecimiento de las plantas. Esta combinación (escasa cubierta vegetal y baja infiltración de agua al suelo) favorece la escorrentía superficial, y con ello, la erosión.

Los Phaeozem (del griego *phaios*, oscuro y del ruso *zemlja*, tierra) también se forman sobre material no consolidado. Se encuentran en climas templados y húmedos con vegetación natural de pastos altos o bosques. Son suelos oscuros y ricos en materia orgánica, lo que les confiere un alto potencial agrícola; sin embargo, las sequías periódicas y la erosión eólica e hídrica son sus

principales limitantes. Se utilizan intensamente para la producción de granos (soya, trigo y cebada, por ejemplo) y hortalizas, y como zonas de agostadero cuando están cubiertos por pastos. A nivel mundial, ocupan alrededor de 190 millones de hectáreas, de las cuales alrededor de una cuarta parte se encuentra en las pampas argentinas y uruguayas (FAO, 2001). En México, se distribuyen en porciones del Eje Neovolcánico, la Sierra Madre Occidental, la Península de Yucatán, Guanajuato y Querétaro, principalmente.

Los Calcisoles (del latín, *calx*, cal) se conocen en otras clasificaciones como Xerosoles y Yermosoles. Son suelos propios de las zonas áridas y semiáridas en donde la deficiencia de humedad impide el lavado de sustancias solubles como sales y carbonatos, especialmente de calcio, que se acumulan a lo largo de su perfil y forman una capa impermeable conocida como “caliche” u horizonte petrocálcico. En los Calcisoles se desarrollan preferentemente los matorrales xerófilos con arbustos y pastos efímeros. Su potencial agrícola puede ser alto siempre y cuando se cuente con infraestructura de riego, fertilización y un adecuado drenaje que evite la potencial salinización y el encostramiento superficial originado por el arrastre de las sales y los altos índices de evaporación (FAO, 2001).

Es difícil calcular con exactitud la extensión mundial de los Calcisoles debido a que muy comúnmente se encuentran combinados con los Solonchak; sin embargo, su extensión se estima en alrededor de mil millones de hectáreas, principalmente en las regiones áridas, semiáridas y subtropicales de ambos hemisferios. En México, se encuentran en el Desierto Chihuahuense, y en los estados de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas.

Los Luvisoles (del latín *luere*, lavar) son suelos que se encuentran sobre una gran variedad

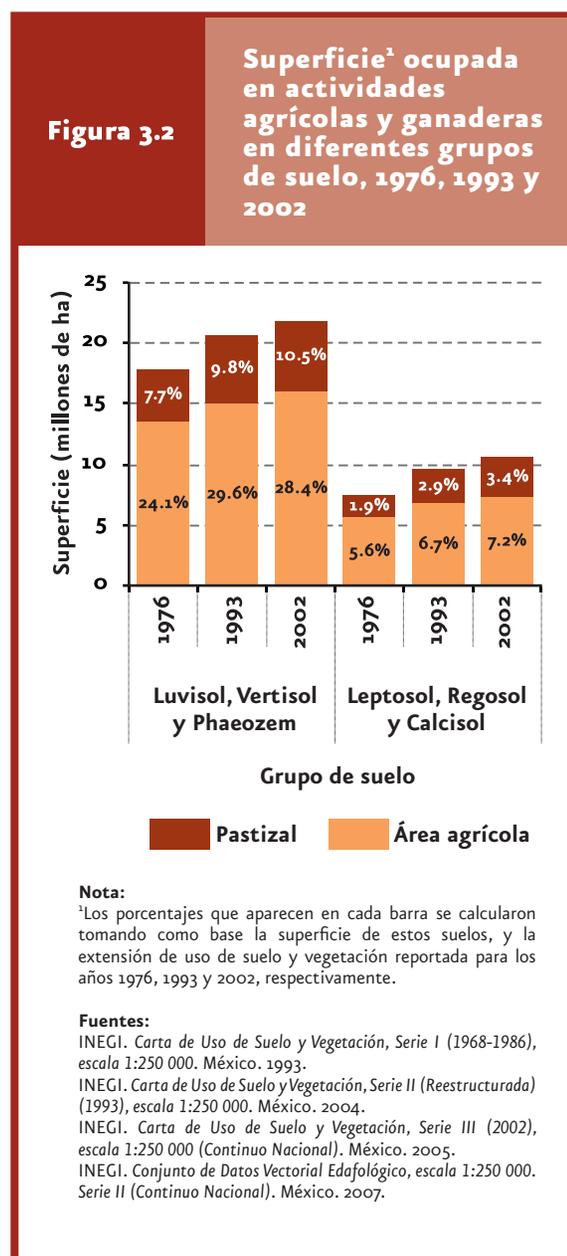
²El material no consolidado es un agregado natural de partículas poco cohesivas, no cementadas entre sí.

de materiales no consolidados, tales como las terrazas aluviales o los depósitos glaciales, eólicos, aluviales y coluviales. Son muy comunes en climas templados y fríos o cálidos húmedos con estacionalidad de lluvia y sequía. Se encuentran dentro de los suelos más fértiles, por lo que su uso agrícola es muy elevado y cubre, por lo general, la producción de granos pequeños, forrajes y caña de azúcar. Los Luvisoles se extienden por alrededor de 500 a 600 millones de hectáreas en el mundo (FAO, 2001). En México, se distribuyen en la Sierra Madre Occidental, Guerrero, Oaxaca, Campeche y la Península de Yucatán.

Los Vertisoles (del latín *vertere*, invertir) son suelos de climas semiáridos a subhúmedos y de tipo mediterráneo, con marcada estacionalidad de sequía y lluvias. La vegetación natural que se desarrolla en ellos incluye sabanas, pastizales, matorrales y bosques maderables. Se pueden encontrar en los lechos lacustres, en las riberas de los ríos o en sitios con inundaciones periódicas. Se caracterizan por su alto contenido de arcillas que se expanden con la humedad y se contraen con la sequía, lo que puede ocasionar grietas en esta última temporada. Esta propiedad hace que aunque son muy fértiles, también sean difíciles de trabajar debido a su dureza durante el estiaje y a que son muy pegajosos en las lluvias (FAO, 2001).

A nivel mundial ocupan alrededor de 335 millones de hectáreas, de las cuales cerca de la mitad se destinan al cultivo de maíz (FAO, 2001). En México, sus colores más comunes son el negro o gris oscuro en las zonas centro y oriente del país y el café rojizo hacia el norte. Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo. Ocupan gran parte de los principales distritos de riego en Sinaloa, Sonora, Guanajuato, Jalisco, Tamaulipas y Veracruz. Se utilizan para la producción de caña, cereales, hortalizas y algodón. Tienen baja susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización (INEGI, 2008).

La intensidad en el desarrollo agropecuario del país en las últimas décadas determinó que los suelos más fértiles y profundos, con buena estructura y alto contenido de nutrimentos y materia orgánica tuvieran mayor demanda. Tan sólo entre 1976 y 2002 la proporción de Luvisoles, Vertisoles y Phaeozems dedicados a actividades agrícolas y pecuarias pasó de 31.8% (24.1% en agricultura y 7.7% en pastizales) a 38.9% (28.4% en agricultura y 10.5% en pastizales, Figura 3.2). También, pero en menor magnitud, los suelos que se consideran



menos aptos para la agricultura o ganadería están siendo utilizados para estos fines. En 1976, 7.4% de la superficie nacional cubierta por este grupo de suelos (Leptosoles, Regosoles y Calcisoles) era utilizada en estas actividades y en 2002 ya se utilizaba 10.6% (7.2% en agricultura y 3.4% en pastizales).

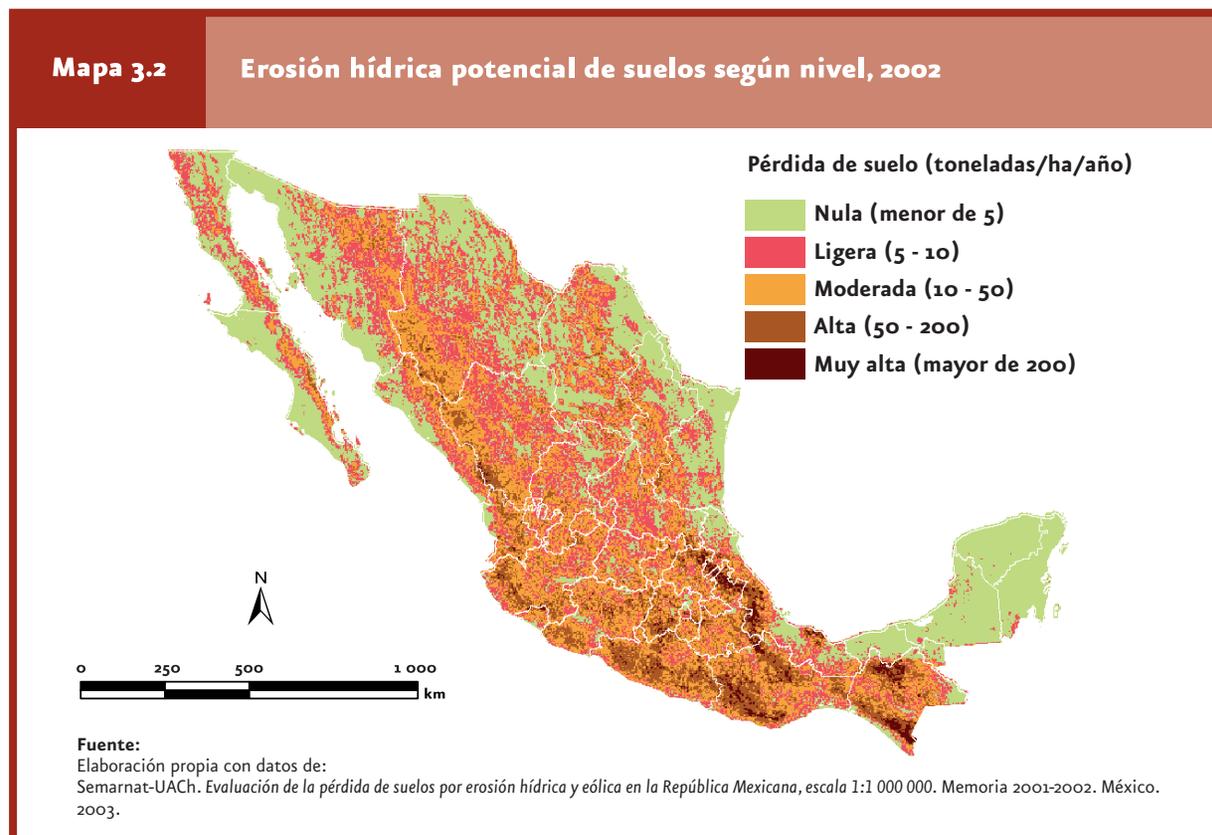
LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS EN MÉXICO

La degradación del suelo se refiere a los procesos inducidos por las actividades humanas que provocan la disminución de su productividad biológica o de su biodiversidad, así como de la capacidad actual y/o futura para sostener la vida humana (Oldeman, 1998).

Se han realizado diversos estudios para estimar la superficie nacional con degradación de suelo, sin embargo sus resultados no son comparables debido a diferencias metodológicas y a la escala utilizada (Cuadro [Cuadro D3_R_SUELO03_12](#)). Los

dos más recientes son la *Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1:1 000 000* (Semarnat-UACH, 2003) y la *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000* (Semarnat-CP, 2003).

En el primer estudio se evaluó la pérdida potencial de suelo por erosión hídrica y eólica en cada entidad federativa a partir de cartografía y modelos paramétricos. De acuerdo con esta evaluación, la superficie con pérdida potencial de suelo por erosión hídrica llegaría al 42% del territorio nacional y 17 entidades federativas estarían afectadas en más de 50% de su territorio, entre ellas Guerrero (79.3%), Puebla (76.6%), Morelos (75.2%), Oaxaca (74.6%) y el Estado de México (73.7%). También las regiones montañosas de las Sierras Madre Oriental, Occidental y del Sur, así como vastas regiones de Chiapas y las entidades del centro del país, tendrían alta y muy alta pérdida de suelo por erosión hídrica (Mapa 3.2).



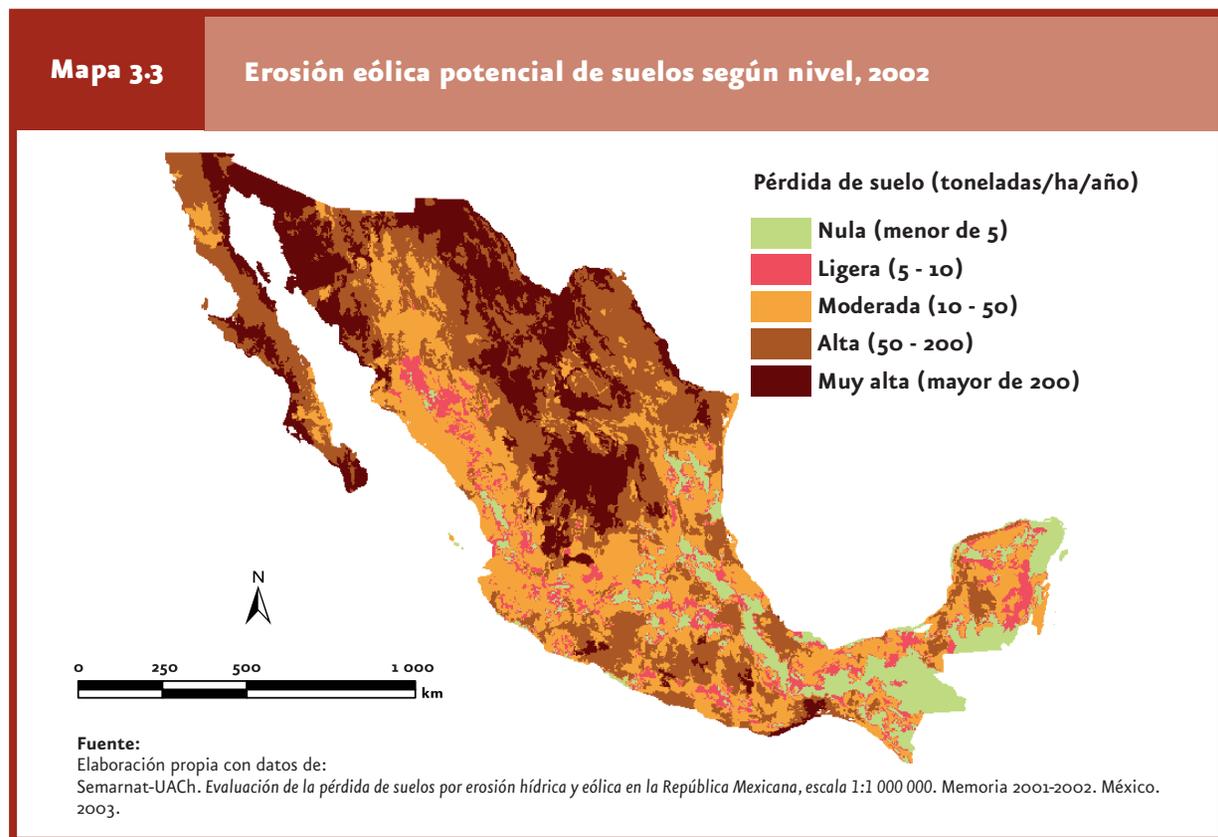
Para la erosión eólica potencial, se estimó que 89% del territorio nacional se encontraba afectado, principalmente en las regiones áridas del norte del país (en los desiertos Chihuahuense y Sonorense), y en amplias zonas de Veracruz, Guerrero y Oaxaca. Se registraron entidades donde prácticamente toda su superficie tendría erosión eólica potencial: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Durango, Sonora y Zacatecas, y sólo dos con menos de 30%: Chiapas (29.3%) y el Distrito Federal (21.8%; Mapa 3.3).

La *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre* elaborada por la Semarnat y el Colegio de Posgraduados (2003), es el estudio más reciente de degradación de suelos en México, y el que se ha realizado con mayor nivel de resolución. En él se consideraron cuatro procesos de degradación: la erosión hídrica y eólica y la degradación física y química. A su vez, cada proceso fue evaluado en diferentes direcciones: causas, tipos específicos y niveles de afectación. Para ello, el país fue dividido en unidades cartográficas de diferente tamaño y se

consideró como degradación o erosión dominante a aquella que cubría más de 30% de la superficie de cada unidad.

Tanto la erosión hídrica y eólica incluyen procesos en los cuales hay desplazamiento de material del suelo; mientras que en la degradación química y física hay procesos que ocasionan el deterioro interno del suelo.

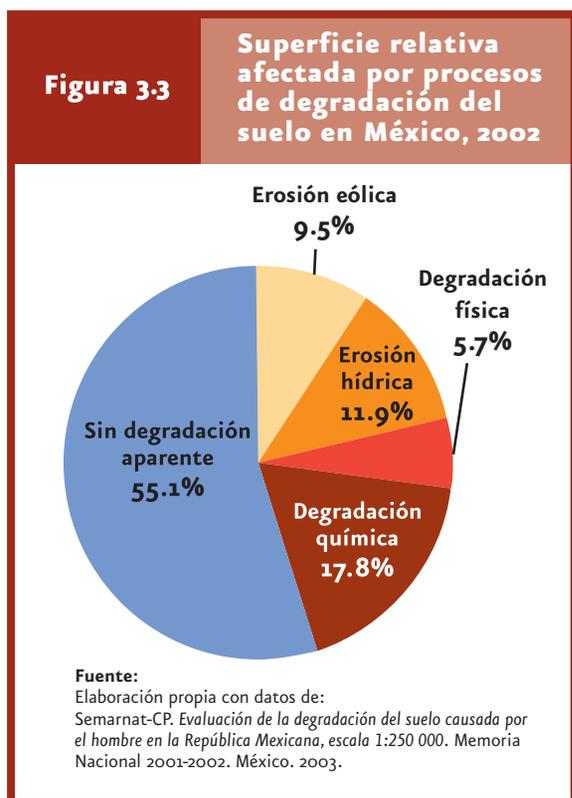
La erosión hídrica se define como la remoción laminar o en masa de los materiales del suelo por medio de las corrientes de agua. Por acción de éstas se puede deformar el terreno y originar cavernas y cárcavas. En la erosión eólica, el agente de cambio del terreno es el viento. La degradación química involucra procesos que conducen a la disminución o eliminación de la productividad biológica del suelo y está fuertemente asociada con el incremento de la agricultura. La degradación física se refiere a un cambio en la estructura del suelo cuya manifestación más conspicua es la pérdida o disminución de su capacidad para absorber y almacenar agua.





Con base en los resultados de este trabajo, 44.9% de los suelos del país muestran algún tipo de degradación. La degradación química es el proceso dominante (17.8% de la superficie del país), le sigue la erosión hídrica (11.9%), la eólica (9.5%) y la degradación física con 5.7% (Figura 3.3; **IB 3-3, IC 14**)³.

En la erosión hídrica y eólica, el tipo específico dominante fue la pérdida de suelo superficial. En el caso de la primera representó 88% de la superficie nacional afectada, y en la segunda el 95.5%. En la degradación química, el tipo específico dominante fue la disminución de la fertilidad del suelo y en la física la compactación (92.7% y 68.2% de la superficie nacional afectada, respectivamente; Figura 3.4; **Cuadro D3_SUELO03_01**).



La degradación química es el proceso dominante de degradación de suelos en México (17.8% de la superficie nacional), le siguen la erosión hídrica (11.9%), la eólica (9.5%), y la degradación física (5.7%).

Con respecto al nivel de degradación, 2.1% del país se encuentra en las categorías de fuerte a extrema, y 42.8% entre ligera y moderada (Figura 3.5; **Cuadro D3_SUELO03_01**).

Si se analiza por proceso de degradación, en la erosión hídrica y en la degradación química y física, la mayor parte de la superficie degradada (arriba de 50%) se encuentra en nivel ligero, y en la erosión eólica, se encuentra en el nivel moderado (Figura 3.6).

Con respecto a las causas de la degradación, de la superficie nacional degradada, 35% se asocia a las actividades agrícolas y pecuarias (17.5% cada una de ellas) y 7.5% a la pérdida de la cubierta vegetal. El resto se divide entre urbanización, sobreexplotación de la vegetación y actividades industriales (Mapa 3.4).

La degradación en el territorio nacional no es homogénea (véanse los Mapas 3.4, 3.5, 3.6, 3.7). En cada entidad, los procesos de degradación, sus tipos específicos y sus niveles, tienen diferente importancia. Por ejemplo, en Chiapas prácticamente no existen evidencias de erosión eólica; mientras que en Chihuahua, este proceso afectó a 28.5% de su territorio (**Cuadros D3_SUELO03_01 y D3_SUELO03_03**).

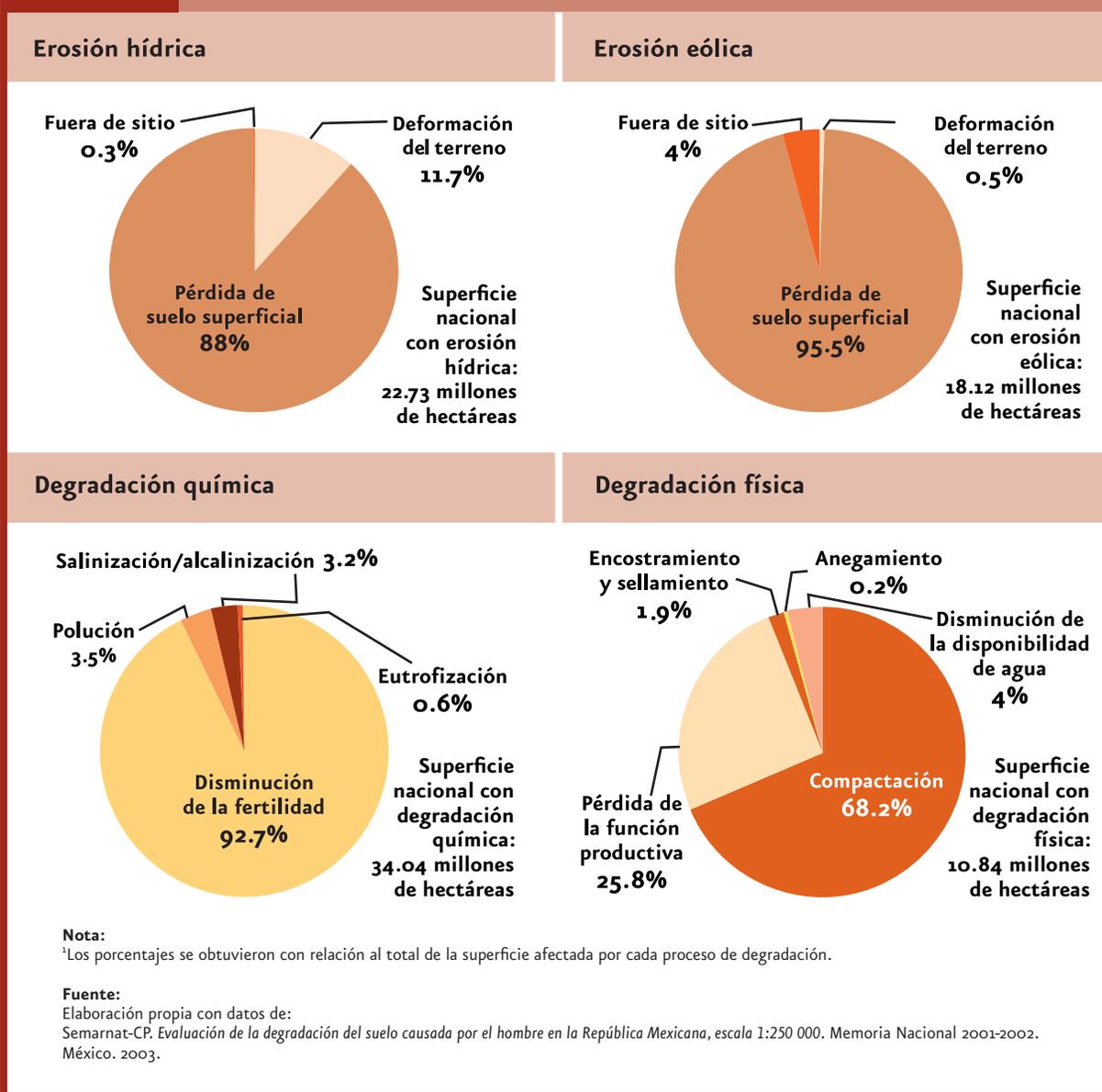
Las principales causas de la degradación de suelos en México son las actividades agrícolas y pecuarias.

A continuación se describen de manera detallada, las características, niveles, distribución geográfica y causas de cada proceso de degradación.

³Las cifras en proporción pueden variar con respecto a otros análisis dependiendo de cual es la superficie nacional que se está considerando, y si se incluyen o no cuerpos de agua, zonas urbanas y superficie insular.

Figura 3.4

Superficie relativa¹ afectada por la degradación de suelos según tipo, en México 2002



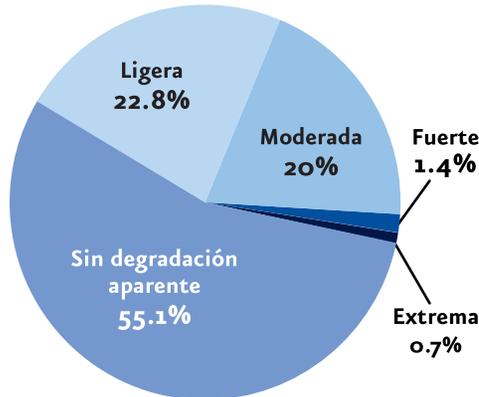
Erosión hídrica

La susceptibilidad a la erosión hídrica en México es elevada debido a que cerca de la mitad del territorio (42.2%) tiene pendientes mayores a tres grados (INE, 2003). Esta característica topográfica, junto con el manejo inadecuado de las tierras forestales, agrícolas y ganaderas, favorecen las escorrentías que erosionan las capas superficiales del suelo.

De los tipos específicos de erosión hídrica, la pérdida de suelo superficial es el dominante. Este tipo específico de degradación tiene serias consecuencias en las funciones del suelo: remueve los nutrientes y la materia orgánica, reduce la profundidad de enraizamiento de las plantas, y disminuye la tasa de infiltración y retención de agua. Cuando los sitios afectados por este tipo de erosión se destinan a fines agrícolas, es necesaria la aplicación de fertilizantes, pesticidas o el uso

Figura 3.5

Superficie relativa afectada por degradación del suelo según nivel en México, 2002



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

de aguas tratadas para mejorar su productividad, pero en ocasiones esto promueve la eutrofización y la contaminación de los acuíferos o de otros cuerpos de agua donde llegan los escurrimientos. Estos eventos se conocen como efectos “fuera de sitio” de la erosión hídrica.

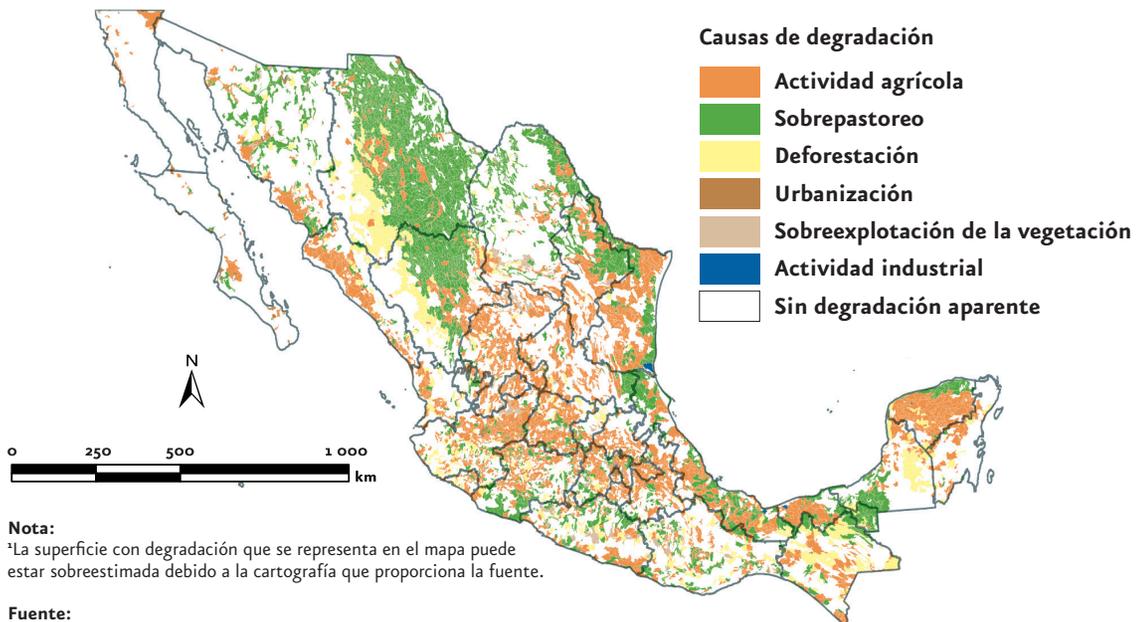
De la superficie nacional con erosión hídrica (22.73 millones de ha), 56.4% se encuentra en el nivel ligero, 39.7% en el nivel moderado y 3.9% entre fuerte y extremo (Figura 3.6, Mapa 3.5, [Cuadro D3_SUELO03_03](#)). En escala estatal, Guerrero presenta, en términos proporcionales, la mayor afectación con 31.8% de su superficie con erosión hídrica (Tabla 3.1).

Erosión eólica

La erosión eólica afecta principalmente a las regiones áridas, semiáridas, subhúmedas y secas del país, aunque no es exclusiva de ellas. Las causas de la erosión eólica también se atribuyen

Mapa 3.4

Principales causas de la degradación de los suelos en México, 2002¹

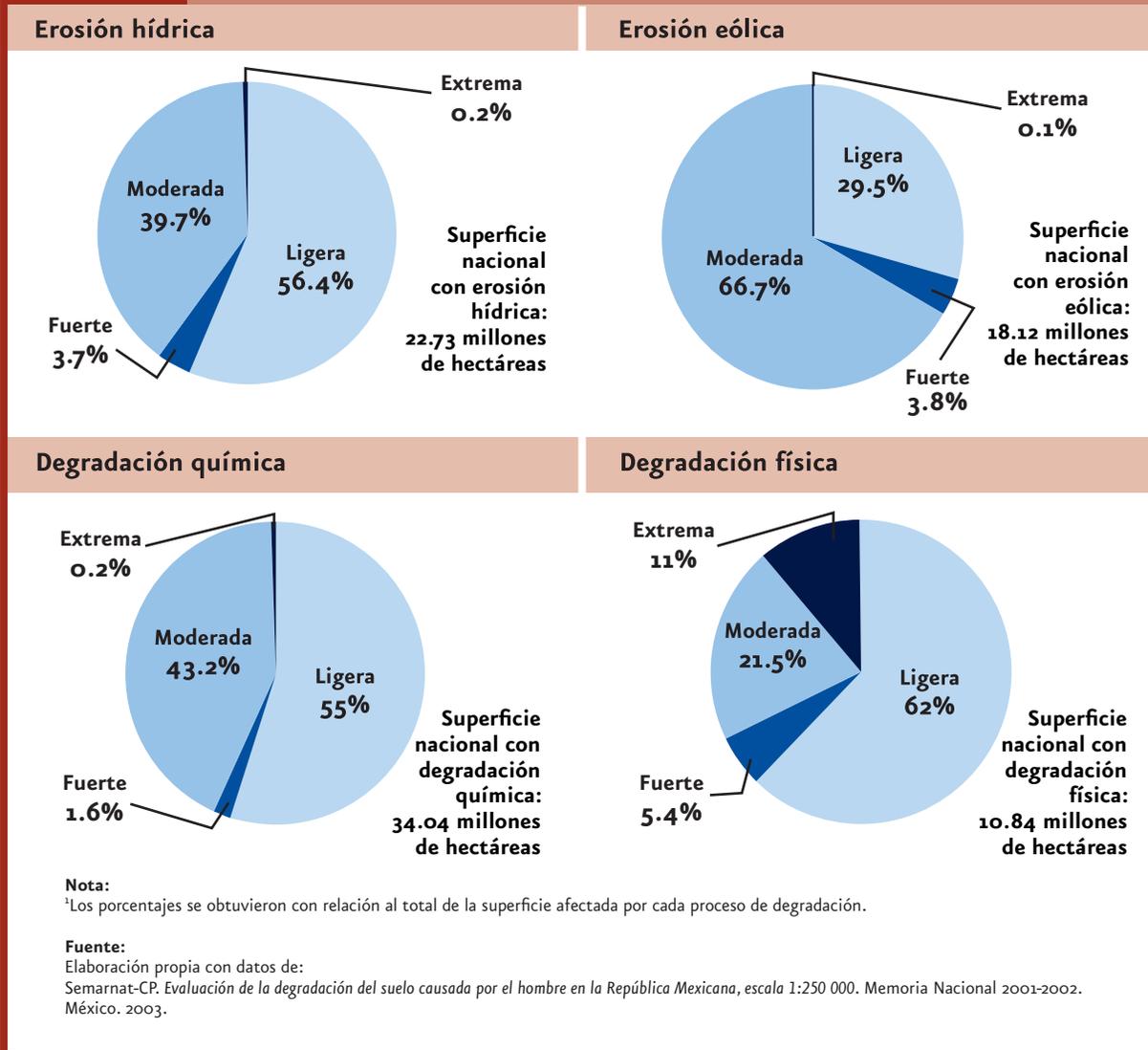


Nota:
¹La superficie con degradación que se representa en el mapa puede estar sobrestimada debido a la cartografía que proporciona la fuente.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

Figura 3.6

Superficie relativa¹ afectada por degradación de suelos, según nivel en México, 2002



a una insuficiente protección del suelo por la cubierta vegetal, a niveles bajos de humedad y a la destrucción de la estructura del suelo.

En escala nacional, 9.5% del territorio muestra evidencias de erosión eólica. Las entidades más afectadas son Chihuahua (28.5%), Tlaxcala (26%), Nuevo León (18.9%) y Durango (17.9%). En Campeche, Chiapas, Quintana Roo,

La pérdida de suelo superficial es el tipo dominante de erosión hídrica en México y tiene diversos efectos fuera de sitio, como son la remoción de nutrientes y de materia orgánica y la eutrofización de cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

Tabasco y Yucatán no se encontró evidencia de este tipo de erosión (Tabla 3.2).

Con respecto a los niveles de erosión eólica, del total nacional afectado (18.1 millones de hectáreas), 66.7% se encuentra en nivel moderado, 29.5% en ligero y 3.9% entre fuerte y extremo (Figura 3.6; Mapa 3.6; Cuadro D3_SUELO03_03).

Tabla 3.1
**Erosión hídrica según tipo, por entidad federativa, 2002
(Superficie en miles de hectáreas y proporción en porcentaje)**

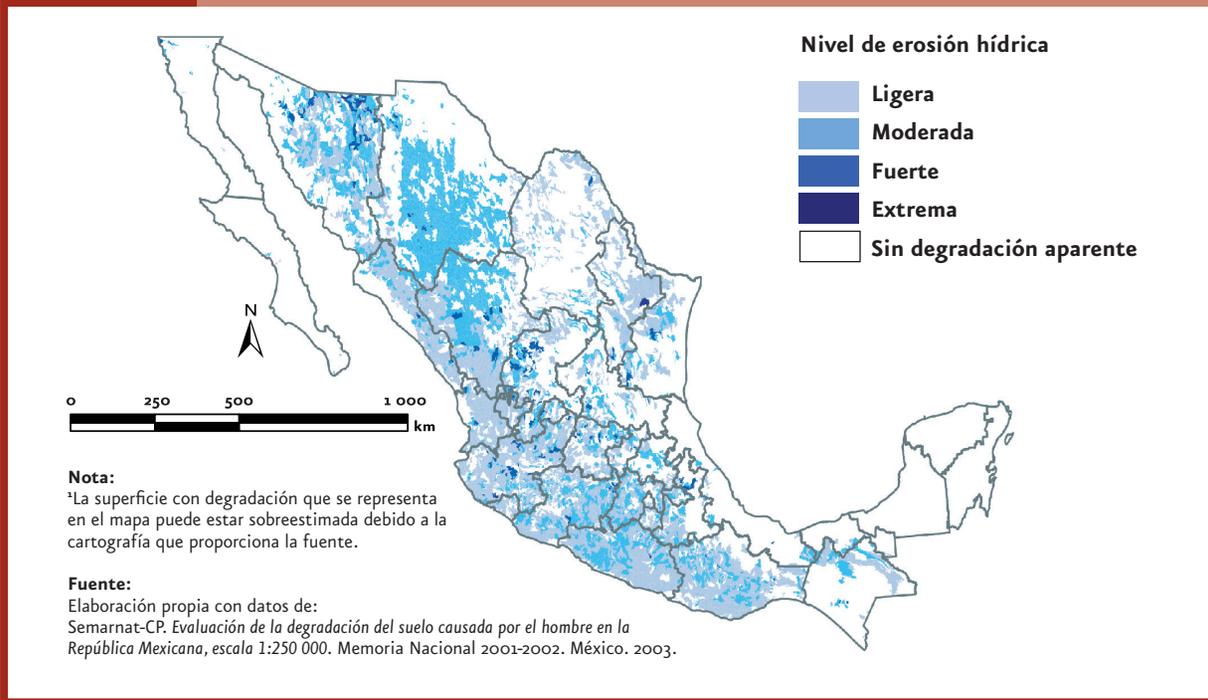
	Deformación de terreno		Pérdida de suelo superficial		Fuera de sitio		Superficie estatal afectada	
	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Miles de ha	Proporción (%)
Aguascalientes	19.99	3.7	110.67	20.5	0	0	130.66	24.1
Baja California	2.65	0.04	3.93	0.1	0	0	6.58	0.1
Baja California Sur	1.06	0.02	1.14	0.02	0	0	2.20	0.03
Campeche	0	0	0	0	0	0	0	0
Coahuila	108.33	0.7	495.53	3.3	0	0	603.85	4.0
Colima	5.70	1.1	109.61	20.2	0	0	115.31	21.3
Chiapas	42.47	0.6	324.71	4.5	0	0	367.18	5.1
Chihuahua	35.35	0.1	2 915.07	11.9	0	0	2 950.42	12.0
Distrito Federal	0.75	0.9	15.77	17.9	0	0	16.52	18.8
Durango	208.45	1.7	2 608.14	21.5	0	0	2 816.59	23.2
Guanajuato	104.39	3.5	598.01	20.2	1.79	0.1	704.19	23.8
Guerrero	351.02	5.6	1 643.62	26.2	0	0	1 994.65	31.8
Hidalgo	10.87	0.5	120.73	5.9	0	0	131.61	6.5
Jalisco	182.73	2.4	1 723.26	22.8	6.52	0.1	1 912.51	25.3
Estado de México	158.02	7.5	382.92	18.2	0	0	540.94	25.7
Michoacán	242.99	4.3	1 292.23	22.8	0	0	1 535.22	27.1
Morelos	12.29	2.6	51.64	11.0	0	0	63.93	13.7
Nayarit	5.03	0.2	482.55	17.8	0	0	487.59	18.0
Nuevo León	102.80	1.6	564.42	9.0	0	0	667.21	10.6
Oaxaca	231.71	2.5	1 436.73	15.7	0	0	1 668.44	18.3
Puebla	105.05	3.1	232.42	6.9	0	0	337.46	10.1
Querétaro	11.57	1.0	148.93	13.2	2.42	0.2	162.92	14.4
Quintana Roo	0	0	0	0	0	0	0	0
San Luis Potosí	79.96	1.3	352.25	5.9	33.46	0.6	465.68	7.8
Sinaloa	41.67	0.8	821.60	15.4	0	0	863.27	16.2
Sonora	161.96	0.9	2 150.64	12.0	0	0	2 312.60	12.9
Tabasco	0.56	0.0	55.59	2.4	0	0	56.15	2.4
Tamaulipas	119.75	1.6	496.50	6.6	4.13	0.1	620.37	8.3
Tlaxcala	21.16	5.4	50.87	13.0	0	0	72.02	18.4
Veracruz	2.84	0.04	57.17	0.8	6.12	0.1	66.13	1.0
Yucatán	0	0	0	0	0	0	0	0
Zacatecas	289.33	3.9	757.31	10.2	6.87	0.1	1 053.51	14.2
Superficie nacional afectada	2 660.43	1.4	20 003.97	10.5	61.31	0.03	22 725.71	11.9

Fuente:

Semarnat-CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México.

Mapa 3.5

Erosión hídrica de suelos según nivel en México, 2002¹



Mapa 3.6

Erosión eólica de suelos según nivel en México, 2002¹

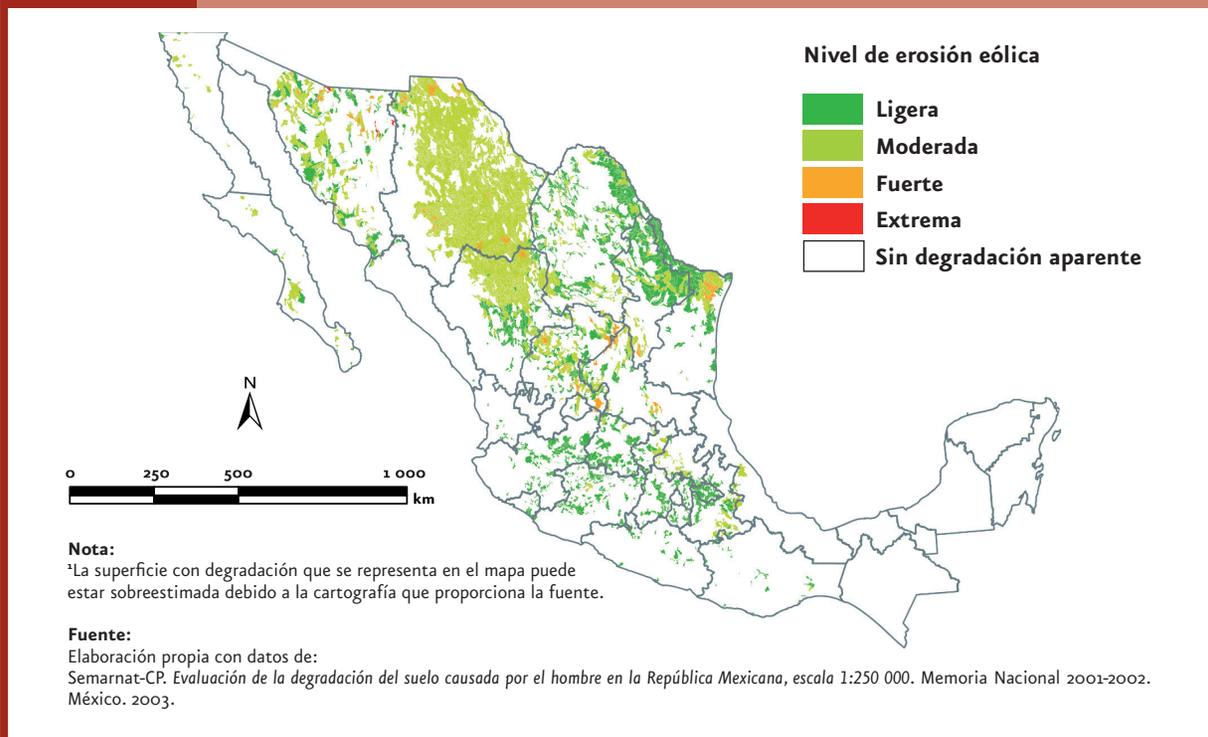


Tabla 3.2
**Erosión eólica según tipo por entidad federativa, 2002
(Superficie en miles de hectáreas y proporción en porcentaje)**

	Deformación de terreno		Pérdida de suelo superficial		Fuera de sitio		Superficie estatal afectada	
	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Miles de ha	Proporción (%)
Aguascalientes	0	0	66.40	12.3	0	0	66.40	12.3
Baja California	0.00	0	19.62	0.3	0	0	19.62	0.3
Baja California Sur	0.00	0	83.36	1.2	0	0	83.36	1.2
Campeche	0.00	0	0	0	0	0	0	0
Coahuila	29.94	0.2	2 038.72	13.6	0	0	2 068.65	13.8
Colima	0.00	0	15.09	2.8	0	0	15.09	2.8
Chiapas	0.00	0	0	0	0	0	0	0
Chihuahua	0.00	0	6 367.20	25.9	636.74	2.6	7 003.93	28.5
Distrito Federal	0.00	0	2.12	2.4	0	0	2.12	2.4
Durango	0.47	0	2 097.87	17.3	81.31	0.7	2 179.65	17.9
Guanajuato	0.00	0	242.46	8.2	0	0	242.46	8.2
Guerrero	0.00	0	53.02	0.8	0	0	53.02	0.8
Hidalgo	2.47	0.1	109.23	5.4	0	0	111.69	5.5
Jalisco	0.00	0	204.56	2.7	0	0	204.56	2.7
Estado de México	0.00	0	99.52	4.7	0	0	99.52	4.7
Michoacán	0.00	0	183.48	3.2	0	0	183.48	3.2
Morelos	0.00	0	20.02	4.3	0	0	20.02	4.3
Nayarit	0.00	0	9.73	0.4	0	0	9.73	0.4
Nuevo León	0.00	0	1 187.78	18.9	0	0	1 187.78	18.9
Oaxaca	0.00	0	43.80	0.5	0	0	43.80	0.5
Puebla	43.08	1.3	280.31	8.4	0	0	323.39	9.6
Querétaro	0.00	0	82.85	7.3	0	0	82.85	7.3
Quintana Roo	0.00	0	0	0	0	0	0	0
San Luis Potosí	0.00	0	449.15	7.5	0	0	449.15	7.5
Sinaloa	2.66	0.1	22.61	0.4	0	0	25.27	0.5
Sonora	0.00	0.0	1 279.20	7.1	0	0	1 279.20	7.1
Tabasco	0.00	0	0	0	0	0	0.00	0
Tamaulipas	0.00	0	1 021.28	13.7	0	0	1 021.28	13.7
Tlaxcala	0.00	0	101.53	26.0	0	0	101.53	26.0
Veracruz	0.00	0	47.90	0.7	0	0	47.90	0.7
Yucatán	0.00	0	0	0	0	0	0	0
Zacatecas	4.78	0.1	1 194.62	16.1	0	0	1 199.40	16.2
Superficie nacional afectada	83.39	0.04	17 323.43	9.1	718.05	0.4	18 124.86	9.5

Fuente:

Semarnat-CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

El tipo dominante de la erosión eólica es la pérdida de suelo superficial, el cual se presenta en 9.1% del territorio nacional. En estos sitios y sus alrededores es común la formación de dunas, lo que dificulta el establecimiento y desarrollo de la vegetación. Los estados más afectados por la pérdida de suelo superficial son Tlaxcala (26%), Chihuahua (25.9%) y Nuevo León (18.9%). Por otra parte, la erosión eólica con deformación de terreno y fuera de sitio no están muy extendidas en el país, ya que sólo afectan a poco más de 800 mil hectáreas, es decir, 0.44% del territorio nacional. Esta superficie se concentra en los estados de Chihuahua, Durango, Coahuila y Puebla (Tabla 3.2).

La erosión eólica en su modalidad de efectos fuera de sitio fue muy importante en el Distrito Federal (DF) y sus alrededores en los años 50; en ese tiempo, se formaban grandes tolveneras cuyo origen era el lecho seco del ex lago de Texcoco. El problema se agravó debido a que esta zona fue utilizada para la descarga de las aguas residuales del DF, por lo que el paso estacional de los vientos del noreste arrastraba partículas de polvo, materia orgánica y microorganismos patógenos que provocaron problemas de salud pública en la zona metropolitana del Valle de México.

Degradación química

La degradación química es el proceso de degradación del suelo más extendido en el país (17.8% del territorio). Está presente en todas las entidades; pero la más afectada es Yucatán (55.1%), y las menos afectadas son Baja California Sur, Coahuila, Baja California y Sonora, donde la superficie con degradación química no excede 5.5% de su territorio (Tabla 3.3).

La degradación química en el nivel ligero representa 55% de la superficie nacional con degradación química; la moderada, 43.2% y la fuerte y extrema en conjunto, 1.8% (Figura 3.6; Mapa 3.7; [Cuadro D3_SUELO03_03](#)).

El tipo dominante en la degradación química fue la disminución de la fertilidad del suelo (92.7% del total de superficie afectada con degradación química en el país) originada por la disminución de los elementos minerales y de la materia orgánica disponible en el suelo. Este tipo de degradación se encuentra presente en más de la mitad de Yucatán, y en casi la tercera parte de Tlaxcala, Chiapas, Morelos, Tabasco y Veracruz (Tabla 3.3; Mapa 3.8). Los otros tipos específicos

de degradación química (polución⁴, salinización y eutrofización) están mucho menos extendidos, ocupando en conjunto 7.3% de la superficie con degradación química del país.

La degradación química del suelo por polución se debe a la presencia, la concentración y

el efecto biológico adverso de algunas sustancias. Éstas pueden provenir de tiraderos a cielo abierto, derrames, residuos industriales, deposición de compuestos acidificantes y/o metales pesados. La salinización o alcalinización es un incremento del contenido de sales en el suelo superficial que provoca, entre otras cosas, la disminución del rendimiento de los cultivos. Se presenta principalmente en las zonas áridas, en las cuencas cerradas y en las zonas costeras que tienen suelos naturalmente salinos. Los sistemas de riego que utilizan agua con una alta concentración de sodio pueden ocasionar la formación de una capa de salitre en la superficie de los suelos con drenaje deficiente, riego excesivo o alta evaporación. La eutrofización es el exceso de nutrientes en el

El tipo dominante de degradación química del suelo en México es la disminución de la fertilidad (92.7% de la superficie total con degradación química en el país), la cual es originada por la disminución de los nutrientes y de la materia orgánica disponible en el suelo.

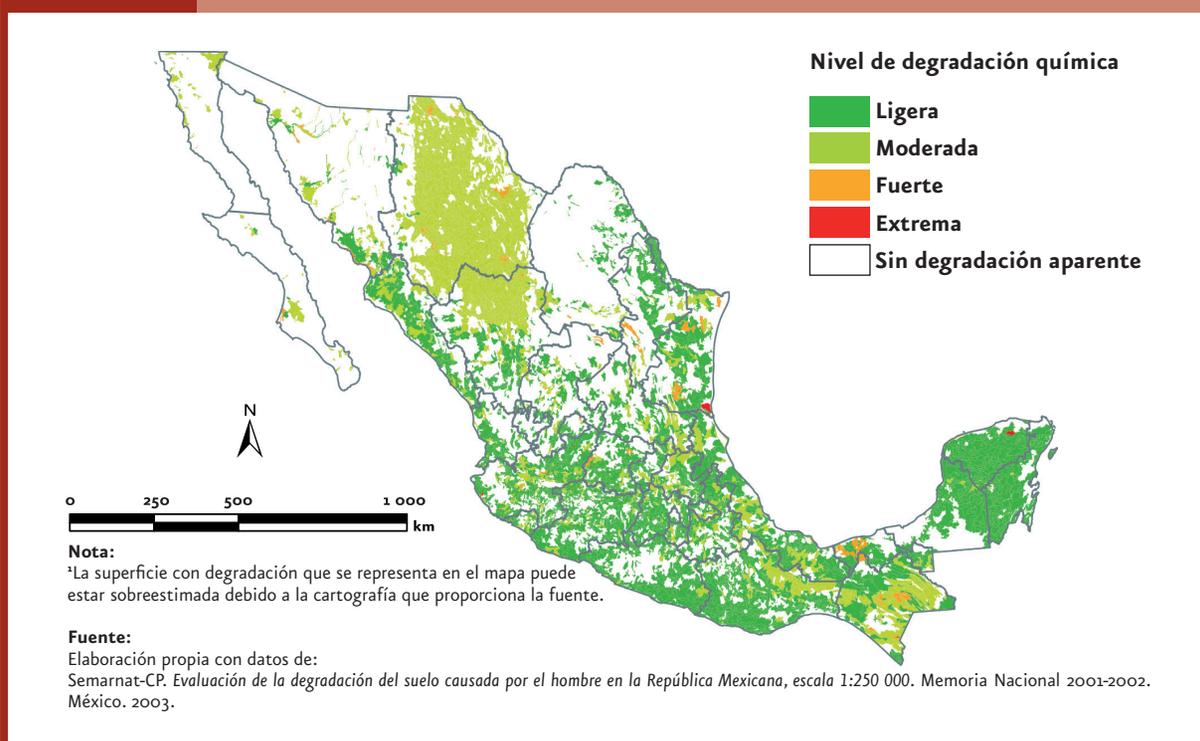
⁴La polución se diferencia de la contaminación en que esta última se debe a una sustancia extraña que no produce efectos adversos significativos, mientras que la polución sí los tiene.

Tabla 3-3
**Degradación química según tipo por entidad federativa, 2002
(Superficie en miles de hectáreas y proporción en porcentaje)**

	Disminución de la fertilidad		Polución		Salinización - Alcalinización		Eutrofización		Superficie estatal afectada	
	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Miles de ha	(%)
Aguascalientes	57.81	10.7	15.03	2.8	0	0	2.87	0.5	75.71	14.0
Baja California	111.72	1.6	0	0	98.15	1.4	50.40	0.7	260.26	3.6
Baja California Sur	132.75	1.9	1.56	0.02	0	0	0	0	134.31	1.9
Campeche	1 401.18	25.5	0	0	4.31	0.1	0	0	1 405.50	25.6
Coahuila	344.83	2.3	18.46	0.1	1.42	0.01	0	0	364.70	2.4
Colima	142.17	26.2	3.08	0.6	0.81	0.1	0	0	146.06	27.0
Chiapas	2 330.24	32.5	4.36	0.1	25.22	0.4	40.07	0.6	2 399.90	33.5
Chihuahua	5 455.26	22.2	5.10	0.02	30.46	0.1	0	0	5 490.81	22.4
Distrito Federal	11.77	13.4	0	0	0	0	0	0	11.77	13.4
Durango	2 107.78	17.4	19.02	0.2	16.66	0.1	0	0	2 143.46	17.6
Guanajuato	658.20	22.2	100.98	3.4	97.39	3.3	0	0	856.56	28.9
Guerrero	891.52	14.2	6.71	0.1	0.10	0.002	0	0	898.33	14.3
Hidalgo	473.75	23.2	80.29	3.9	0.11	0.01	0	0	554.15	27.2
Jalisco	1 528.85	20.2	99.29	1.3	28.51	0.4	0	0	1 656.64	21.9
Estado de México	544.66	25.9	0.49	0.02	0.11	0.01	0.46	0.02	545.71	26.0
Michoacán	1 218.91	21.5	28.48	0.5	67.00	1.2	0	0	1 314.40	23.2
Morelos	138.38	29.6	0.62	0.1	1.36	0.3	0	0	140.37	30.0
Nayarit	507.71	18.7	15.29	0.6	14.79	0.5	0	0	537.80	19.8
Nuevo León	464.01	7.4	133.08	2.1	9.33	0.1	7.92	0.1	614.34	9.8
Oaxaca	1 670.95	18.3	5.87	0.1	0	0	1.80	0.02	1 678.62	18.4
Puebla	735.84	22.0	5.47	0.2	0	0	0	0	741.31	22.1
Querétaro	198.06	17.5	0	0	1.11	0.1	0	0	199.17	17.6
Quintana Roo	1 020.10	25.7	0	0	0	0	0	0	1 020.10	25.7
San Luis Potosí	697.66	11.6	158.42	2.6	6.03	0.1	1.87	0.03	863.98	14.4
Sinaloa	1 410.84	26.5	49.97	0.9	193.98	3.6	0	0	1 654.80	31.1
Sonora	564.53	3.2	19.90	0.1	307.25	1.7	33.85	0.2	925.52	5.2
Tabasco	695.35	30.1	34.14	1.5	0	0	0	0	729.49	31.6
Tamaulipas	1 201.11	16.1	280.27	3.8	145.56	1.9	19.66	0.3	1 646.60	22.0
Tlaxcala	90.27	23.1	1.55	0.4	0	0	0	0	91.81	23.5
Veracruz	2 120.17	31.0	15.80	0.2	10.91	0.2	18.15	0.3	2 165.04	31.6
Yucatán	2 128.32	55.0	1.64	0.04	0	0	1.30	0.03	2 131.26	55.1
Zacatecas	549.68	7.4	78.54	1.1	3.98	0.1	11.86	0.2	644.06	8.7
Superficie nacional afectada	31 604.37	16.6	1 183.4	0.0	1 064.57	0.6	190.20	0.1	34 042.55	17.8

Fuente:

Semarnat-CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

Mapa 3.7**Degradación química de suelos según nivel en México, 2002¹**

suelo que perjudica el desarrollo de la vegetación. La polución, salinización y eutrofización se encuentran principalmente en Tamaulipas, San Luis Potosí, Chiapas, Nuevo León, Oaxaca, Veracruz y Zacatecas (Mapa 3.8).

Las causas de la degradación química del suelo involucran una amplia gama de actividades industriales y agrícolas, entre las que se encuentran los derrames de hidrocarburos, la aplicación excesiva de fertilizantes y pesticidas, el mal manejo de materiales, residuos peligrosos y residuos sólidos urbanos. En el caso de la disminución de la fertilidad, ésta se produce cuando la entrada de nutrientes, ya sea por fertilización química o biológica o por la conservación de residuos de la cosecha, es menor a su salida en forma de los productos de las cosechas, por las quemaduras y las lixiviaciones.

Degradación física

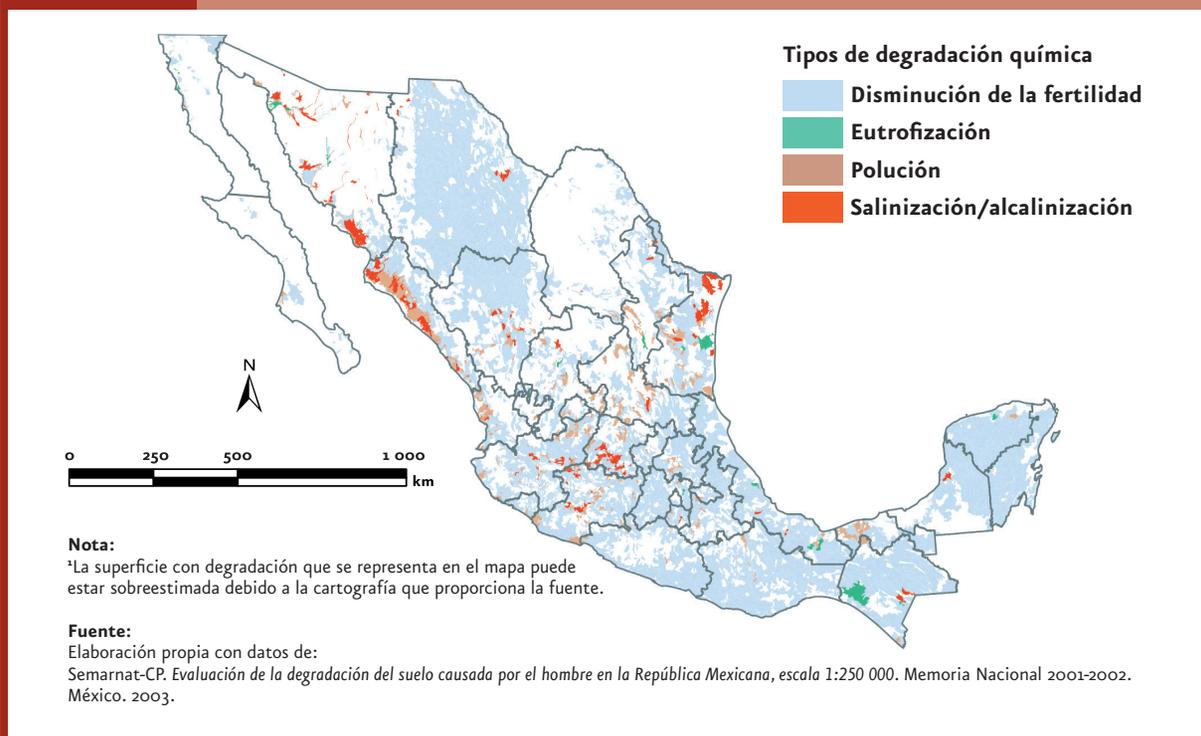
La degradación física del suelo se presenta en cinco tipos específicos: compactación, encostramiento, anegamiento, disminución de la disponibilidad de agua y pérdida de la función productiva.

La compactación es la destrucción de la estructura⁵ del suelo asociada frecuentemente al pisoteo del ganado o al paso frecuente de maquinaria pesada, provocando la ruptura de los agregados del suelo. En el encostramiento, los poros se rellenan con material fino, lo que impide la infiltración del agua de lluvia, con el consecuente incremento del volumen de las escorrentías superficiales y la erosión hídrica. El encostramiento del suelo es mayor en zonas con escasa cobertura vegetal y bajo contenido de materia orgánica, lo que incrementa el daño mecánico de las gotas de lluvia. El

⁵La estructura del suelo es el arreglo de las partículas de arena, limo y arcilla para formar conglomerados o agregados de suelo. Las partículas se mantienen unidas por raíces y por productos de la actividad microbiana en el suelo.

Mapa 3.8

Degradación química de suelos según tipos específicos en México, 2002¹



anegamiento se debe a la presencia de una lámina superficial de agua sobre el suelo, frecuentemente asociada a la construcción de represas para riego. El caso contrario al anegamiento es la disminución de la disponibilidad de agua, que se origina por su extracción excesiva con fines agrícolas o de suministro a la población, o por la disminución de la cobertura vegetal y de la materia orgánica del suelo.

La degradación física es el proceso de degradación menos extendido en el país, con 5.7% de la superficie nacional afectada; sin embargo, tiene un alto impacto debido a que es prácticamente irreversible y conlleva a la pérdida de la función productiva de los terrenos. En escala estatal, la entidad más afectada fue Tabasco (38.4%) y las menos afectadas fueron Coahuila, Sonora, Querétaro, Nuevo León y Michoacán con menos de 2% (Tabla 3.4).

Aunque la degradación física es el proceso de degradación menos extendido en México (5.7% de la superficie nacional afectada), tiene un alto impacto debido a que es prácticamente irreversible y conlleva a la pérdida de la función productiva de los terrenos.

De los tipos específicos de degradación física, la compactación, y la pérdida de la función productiva fueron las más extendidas (4% y 1.3%, respectivamente de la superficie nacional con degradación).

El encostramiento, el anegamiento y la disminución de la disponibilidad de agua, afectaron en conjunto a 0.31% del país. La entidad más afectada por compactación fue Tabasco (36.5%) y las menos afectadas fueron Sonora, Sinaloa, Nuevo León, Coahuila, Baja California, Baja California Sur, Durango y Guanajuato, con menos de 1%. En cuanto a la pérdida de la función productiva por actividades no biológicas, la entidad más afectada fue el Distrito Federal (10%), y las que tuvieron menos de 1% de superficie afectada fueron Campeche, Coahuila, Guerrero, Michoacán, Oaxaca y Sonora.

Tabla 3.4
**Degradación física según tipo por entidad federativa, 2002
(Superficie en miles de hectáreas y proporción en porcentaje)**

	Encostramiento y sellamiento		Pérdida de la función productiva		Anegamiento		Disminución de la disponibilidad de agua		Compactación		Superficie estatal afectada	
	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Superficie	Proporción	Miles de ha	Proporción (%)
Aguascalientes	0	0	4.67	0.9	0	0	0	0	7.89	1.5	12.56	2.3
Baja California	0	0	93.18	1.3	0	0	0	0	42.80	0.6	135.98	1.9
Baja California Sur	0.21	0.003	81.01	1.1	0	0	0	0	4.33	0.1	85.55	1.2
Campeche	0	0	29.72	0.5	0	0	0	0	716.60	13.1	746.32	13.6
Coahuila	0	0	46.50	0.3	0	0	0	0	0	0	46.50	0.3
Colima	0	0	5.34	1.0	2.35	0.4	0	0	9.98	1.8	17.66	3.3
Chiapas	0	0	149.99	2.1	0	0	0	0	820.64	11.4	970.63	13.5
Chihuahua	0.60	0.002	445.45	1.8	0	0	421.23	1.7	90.89	0.4	958.18	3.9
Distrito Federal	0	0	8.76	10.0	0	0	0	0	1.40	1.6	10.15	11.5
Durango	0.15	0.001	161.27	1.3	0	0	0	0	83.24	0.7	244.66	2.0
Guanajuato	2.13	0.1	54.60	1.8	0	0	0	0	17.93	0.6	74.66	2.5
Guerrero	0	0	16.37	0.3	0	0	0	0	110.57	1.8	126.94	2.0
Hidalgo	0	0	34.03	1.7	0	0	0	0	44.79	2.2	78.83	3.9
Jalisco	12.99	0.2	170.51	2.3	5.50	0.1	0	0	113.31	1.5	302.32	4.0
Estado de México	0	0	61.64	2.9	0	0	0	0	25.20	1.2	86.84	4.1
Michoacán	3.91	0.1	35.40	0.6	0.56	0.01	0	0	61.73	1.1	101.60	1.8
Morelos	0	0	13.52	2.9	0	0	0	0	12.00	2.6	25.52	5.5
Nayarit	16.77	0.6	26.98	1.0	0.84	0.03	0	0	36.93	1.4	81.52	3.0
Nuevo León	0	0	62.23	1.0	0	0	4.23	0.1	7.02	0.1	73.48	1.2
Oaxaca	1.29	0.01	31.30	0.3	8.16	0.1	0	0	442.56	4.8	483.31	5.3
Puebla	0	0	32.32	1.0	0	0	0	0	64.95	1.9	97.27	2.9
Querétaro	0	0	11.52	1.0	0	0	0	0	7.45	0.7	18.98	1.7
Quintana Roo	0	0	80.07	2.0	0	0	0	0	104.10	2.6	184.17	4.6
San Luis Potosí	0	0	78.27	1.3	0	0	0	0	422.18	7.0	500.45	8.3
Sinaloa	100.81	1.9	135.19	2.5	0.20	0.004	0	0	3.41	0.1	239.61	4.5
Sonora	52.55	0.3	126.82	0.7	0	0	28.68	0.2	31.63	0.2	239.67	1.3
Tabasco	0	0	42.62	1.8	0.70	0.03	0	0	844.23	36.5	887.55	38.4
Tamaulipas	15.29	0.2	128.31	1.7	0	0	0	0	812.16	10.9	955.75	12.8
Tlaxcala	0	0	14.38	3.7	0	0	0	0	7.05	1.8	21.42	5.5
Veracruz	0	0	59.78	0.9	0	0	0	0	1 961.77	28.7	2 021.55	29.5
Yucatán	1.51	0.04	116.36	3.0	0	0	0	0	623.55	16.1	741.42	19.2
Zacatecas	0	0	101.08	1.4	0	0	0	0	165.66	2.2	266.74	3.6
Superficie nacional afectada	208.23	0.1	2 459.18	1.3	18.31	0.01	454.14	0.2	7 697.95	4.0	10 837.81	5.7

Fuente:

Semarnat-CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

Los otros tres tipos específicos de degradación física afectaron alrededor de 2% del territorio de diversos estados del país (Tabla 3.4).

Con respecto a los niveles de degradación, la física extrema se extendió en 1.2 millones de hectáreas; la fuerte en 587 mil, la moderada en 2.3 millones y la ligera en 6.7 millones (Figura 3.6; Mapa 3.9, Cuadro D3_SUELO03_03).

Relación entre la degradación del suelo y la cobertura vegetal

La degradación del suelo ocurre como resultado de múltiples factores ambientales y socioeconómicos entre los que se encuentran la topografía, el clima, los sistemas de producción y de tenencia de la tierra, las políticas públicas y el mercado. Rara vez es un sólo factor el que desencadena la degradación del suelo y la pérdida de la cubierta vegetal, aunque en prácticamente todos los

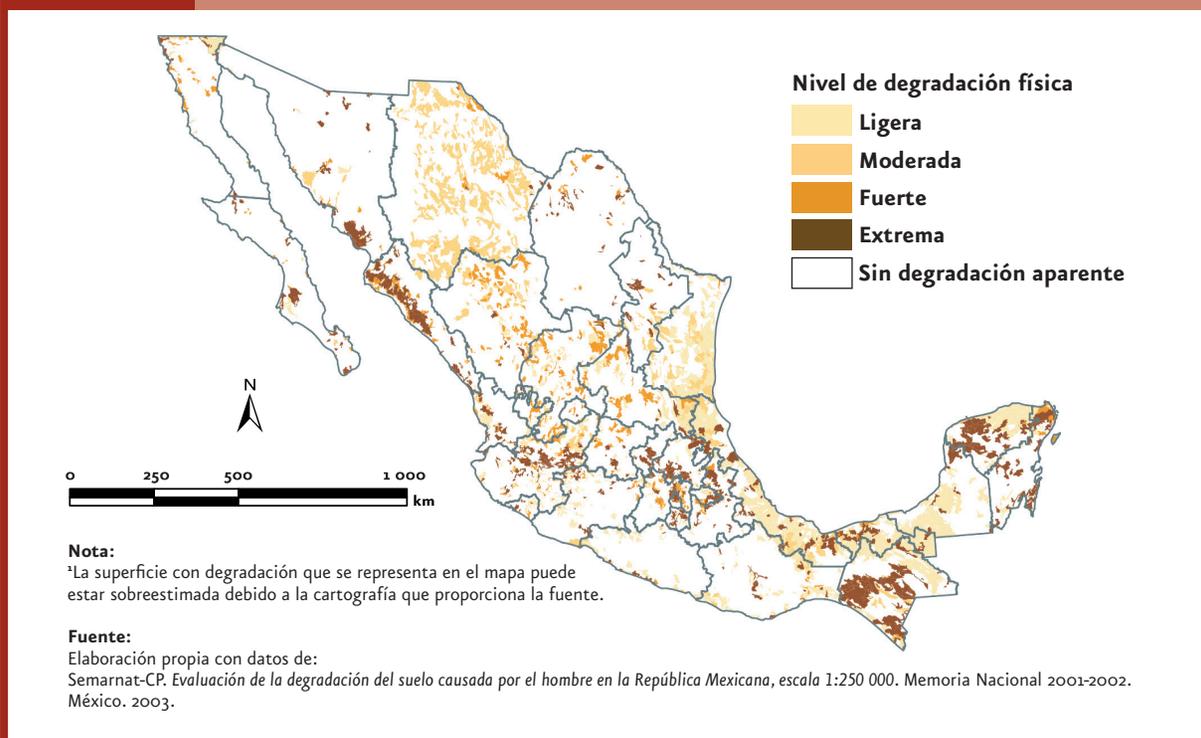
casos el factor dominante son las actividades humanas a través del cambio de uso del suelo, que sustituye la vegetación natural por terrenos para las actividades agrícolas y ganaderas.

A pesar de que hasta el momento no se ha realizado un estudio específico que evalúe la relación entre la degradación del suelo y la cubierta vegetal en el país, la combinación de las cartas nacionales más recientes de degradación (Semarnat-CP, 2003) y de uso de suelo y vegetación (INEGI, Serie III) proporciona una buena aproximación de su estatus en el territorio nacional.

De acuerdo con este ejercicio se encontró que aun en zonas con vegetación natural habría degradación del suelo. En las selvas subhúmedas y húmedas, y en los bosques templados y mesófilos de montaña, el nivel de degradación dominante sería el ligero; mientras que en el matorral xerófilo el nivel dominante sería el moderado.

Mapa 3.9

Degradación física de suelos según nivel en México, 2002¹



La degradación fuerte y extrema del suelo estaría en los pastizales naturales, los cuales son utilizados como zonas de agostadero, y en los manglares, cuyo uso posterior a la transformación incluye actividades acuícolas y de infraestructura carretera, entre otras (Figura 3.7).

Un aspecto importante de la relación suelo-vegetación es el nivel y tipo de degradación del suelo en las zonas agrícolas, pecuarias y bosques cultivados del país. De la superficie nacional dedicada a estas actividades, alrededor de 70% (aproximadamente 34.5 millones de hectáreas) está afectada por algún tipo específico de degradación, siendo la química en su calidad de pérdida de la fertilidad, el tipo dominante. Esta degradación del suelo podría explicarse por el cambio de uso de suelo en zonas sin vocación agrícola (Figura 3.8).

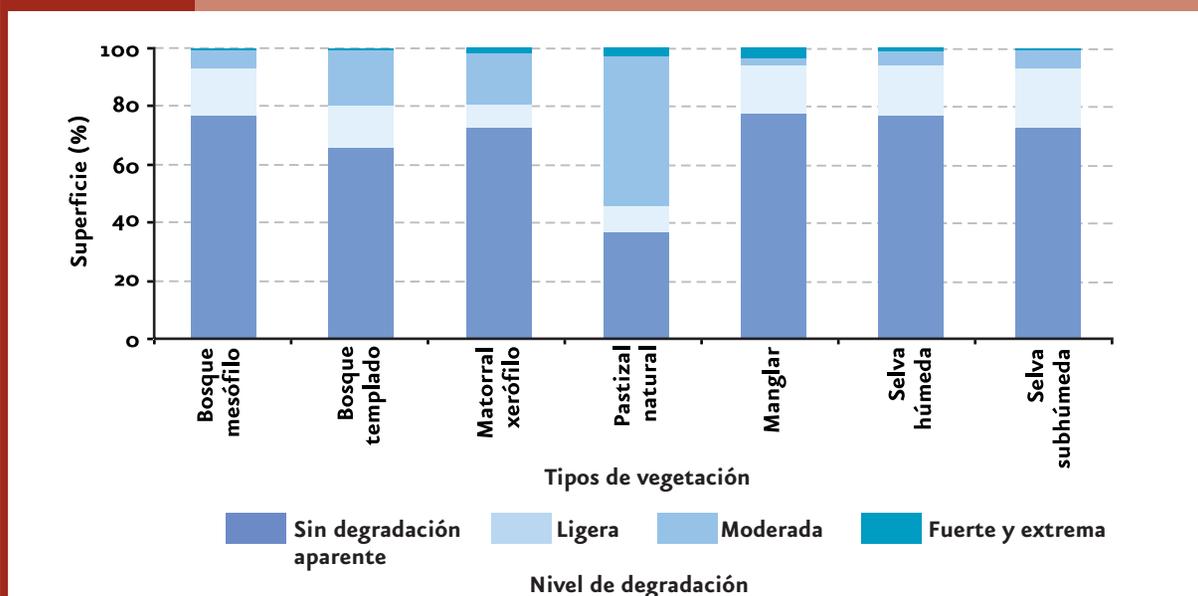
Aun en zonas con vegetación natural se ha detectado degradación del suelo.

Dentro de las categorías de vegetación natural, los suelos del bosque templado están mayormente afectados por erosión hídrica probablemente porque muchos de ellos se encuentran en zonas de montaña, donde la pendiente incrementa el efecto de las escorrentías. Los suelos del matorral xerófilo, los pastizales y la vegetación halófila y gipsófila, son los tipos de vegetación en donde la erosión eólica es el proceso dominante, mientras que las selvas húmedas y subhúmedas tienen un alto porcentaje de degradación química. Si se considera la superficie nacional ocupada por estos ecosistemas, el matorral xerófilo y el bosque templado tienen la mayor proporción de superficie degradada (32.6% y 41.2%, respectivamente) que equivale a 14.8 y 11.8 millones de hectáreas afectadas, respectivamente (Figura 3.8 [Cuadros D3_SUELO03_02](#) y [D3_SUELO03_06](#); **IB 3.3, IC 14**).



Figura 3.7

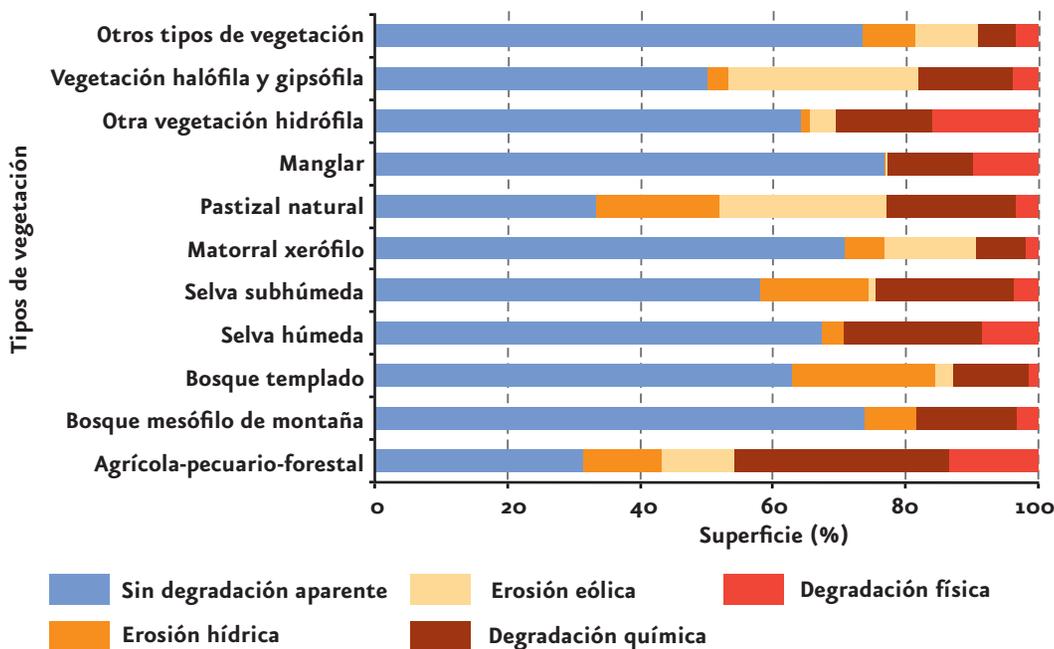
Degradación del suelo en diferentes tipos de vegetación natural según nivel, en México



Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002)*, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.
 Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

Figura 3.8

Degradación del suelo por tipo de vegetación y uso del suelo en México



Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002), escala 1:250 000 (Continuo Nacional)*. México. 2005.
 Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002*. México. 2003.

TIERRAS FRÁGILES: EL PROBLEMA DE LA DESERTIFICACIÓN

Si bien el suelo es el sustento de las actividades productivas primarias como la agroforestería y la ganadería, su relación con la sociedad se entiende mejor cuando se liga al concepto de tierra.

El concepto de tierra incluye a muchos otros componentes, además del suelo. Se define como el área específica de la corteza terrestre con características particulares de atmósfera, suelo, geología, hidrología y biología, así como los resultados de la actividad humana pasada y presente en esa área y las interacciones entre todos estos elementos (UNCCD, 1994).

La Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación y la Sequía (UNCCD,

por sus siglas en inglés), definió a la degradación de la tierra como “la reducción o pérdida de la productividad económica y de la complejidad de los ecosistemas terrestres, incluyendo a los suelos, la vegetación y otros componentes bióticos de los ecosistemas, así como los procesos ecológicos, biogeoquímicos e hidrológicos que tienen lugar en los mismos”. En este sentido, la degradación de la tierra incluye a la degradación del suelo, de los recursos hídricos y de la vegetación, los cambios en la frecuencia de incendios, las alteraciones en los ciclos biogeoquímicos y las invasiones biológicas, entre otros fenómenos.

Cuando la degradación de la tierra se produce en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, se habla de desertificación, la cual puede darse como resultado de factores que incluyen a las variaciones climáticas y las actividades

humanas (UNCCD, 1994). En México, el concepto de desertificación se ha ampliado hacia todos los ecosistemas, debido a que la degradación de la tierra no está restringida a las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Sin embargo, se considera que éstas son las más vulnerables a la desertificación (Conaza-Sedesol, 1994).

La atención mundial en la lucha contra la desertificación gira en torno de la UNCCD, la cual entró en vigor en la década de los 90. Hasta marzo de 2008, 193 países se habían adherido, aceptado o ratificado como miembros de dicha Convención, entre ellos México, que ratificó su firma en 1995 (UNCCD, 2008). Los objetivos de la UNCCD incluyen la lucha contra la desertificación y la sequía prolongada mediante estrategias de largo plazo que permitan simultáneamente el aumento de la productividad, la rehabilitación, la conservación y el aprovechamiento sostenible de la tierra y los recursos hídricos, con miras a mejorar las condiciones de vida de la población que habita en las zonas desertificadas.

En México, la atención gubernamental al problema de la desertificación se remonta a 1970, con la creación de la Comisión Nacional de Zonas Áridas (Conaza), pero es hasta 2005, en el marco de los objetivos de la UNCCD, que se conformó el Sistema Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales (Sinades).

El Sinades coordina las acciones de diversas instituciones públicas y organismos sociales y tiene como objetivos contener y revertir

la desertificación, lograr que los productores rurales, especialmente de las zonas críticas, adopten sistemas y prácticas productivas para preservar y mejorar los recursos naturales a través de políticas, instrumentos y recursos financieros específicos en contra de la desertificación. En el Sinades participan la Semarnat, Sagarpa, Sedesol, SRA, SEP, SS y SE, así como gobiernos estatales, productores rurales, organismos de la sociedad civil, campesinos, e instituciones de educación superior e investigación.

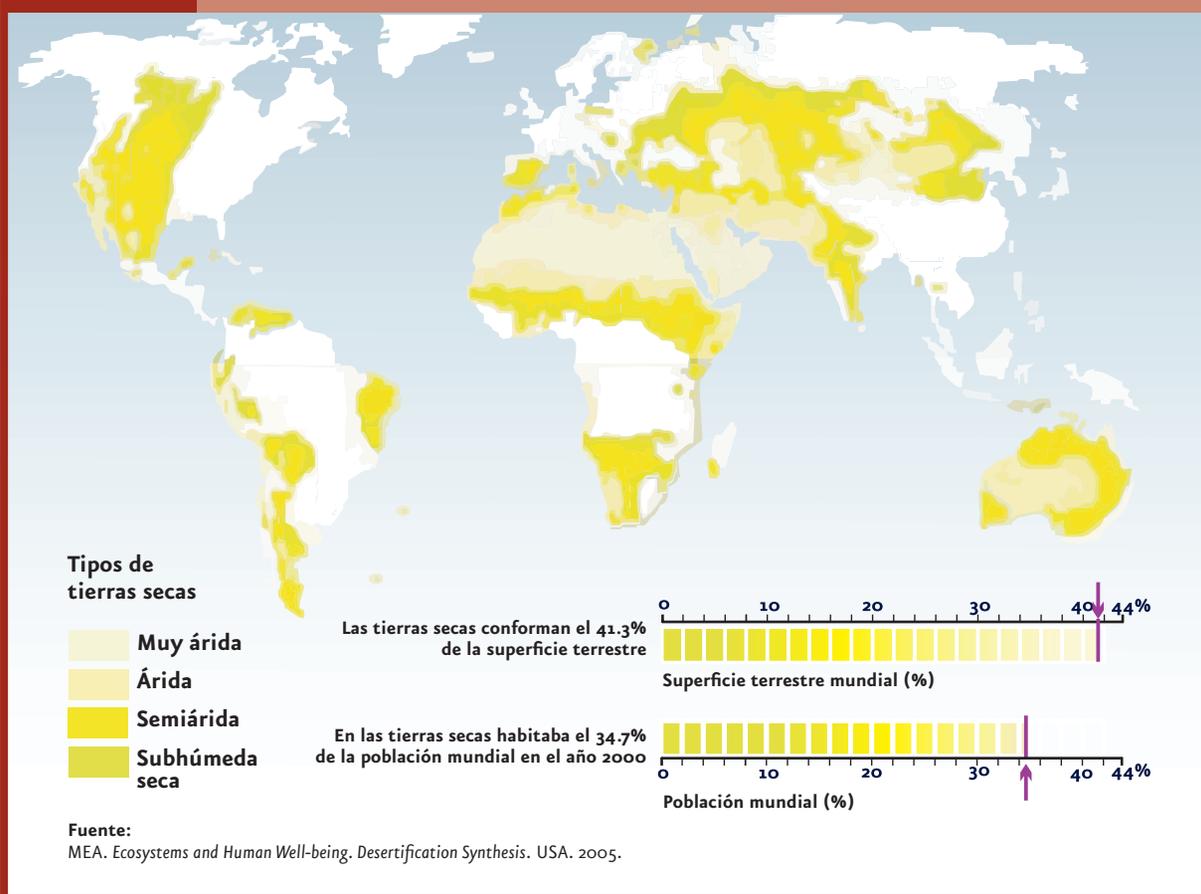
Distribución de las tierras secas

Las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, genéricamente denominadas tierras secas, se caracterizan por condiciones climáticas particulares, como son la precipitación escasa y variable, temperaturas elevadas o muy bajas -en el caso de los desiertos fríos- y elevada evapotranspiración potencial. Técnicamente, las zonas áridas se definen como zonas que tienen un índice de aridez (obtenido a partir del cociente entre la precipitación anual media y la evapotranspiración potencial media) comprendido entre 0.5 y 0.65. Con base en estos valores, 30% de las zonas áridas del mundo están en zonas propiamente áridas, 45% en zonas semiáridas y 25% en zonas subhúmedas secas (Reynolds *et al.*, 2005; Mapa 3.10).

En términos globales, las tierras secas (incluyendo las muy áridas)⁶ ocupan 41.3% del planeta, lo que equivale a 6 mil 90 millones de hectáreas distribuidas principalmente en Asia, norte de

La desertificación es la degradación de la tierra en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, y puede darse como resultado de factores que incluyen las variaciones climáticas y las actividades humanas. En México, se considera que la desertificación puede darse en todos los ecosistemas, pero se considera a los secos como los más vulnerables.

⁶En el presente capítulo se consideran como tierras secas a las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Además, con base en la terminología utilizada por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en su estudio sobre Desertificación (MEA, 2005), se incluyen también a las muy áridas o hiperáridas.



África y la mayor parte de Australia (Mapa 3.10). En los países desarrollados se encuentra 28% del total de las tierras secas del mundo y el resto (72%), en los países pobres (MEA, 2005).

En México⁷, las zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas ocupan aproximadamente 128 millones de hectáreas, es decir, más de la mitad del país. Las zonas muy áridas y áridas se encuentran principalmente en Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Chihuahua y Sonora, representando 49% del total de las tierras secas del país. Las zonas semiáridas abarcan 29%, distribuidas en su mayoría en el desierto Sonorense y en los estados del altiplano mexicano; y el 22% corresponde a las

zonas subhúmedas secas de Campeche y Yucatán, el Golfo de México y las costas del Océano Pacífico desde Sinaloa hasta Chiapas (Mapa 3.11).

En el 2000, 2 mil millones de habitantes, es decir, cerca de un tercio de la población mundial habitaba en las tierras secas (MEA, 2005). En México, en 2005, 46% de la población habitaba en éstas zonas, lo que equivale a 47.7 millones de habitantes. De los cuales, 21.8% es población rural y 78.2% urbana (Figura 3.9; INEGI, 2006).

En las zonas semiáridas y subhúmedas secas de México se concentra alrededor de 75% de la población que habita en las zonas secas, debido

⁷La clasificación de las zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas se realizó con base en el Sistema de Clasificación Climática de Köppen adaptado para México (García, 1988).

Mapa 3.11

Distribución de las zonas secas en México, 1996

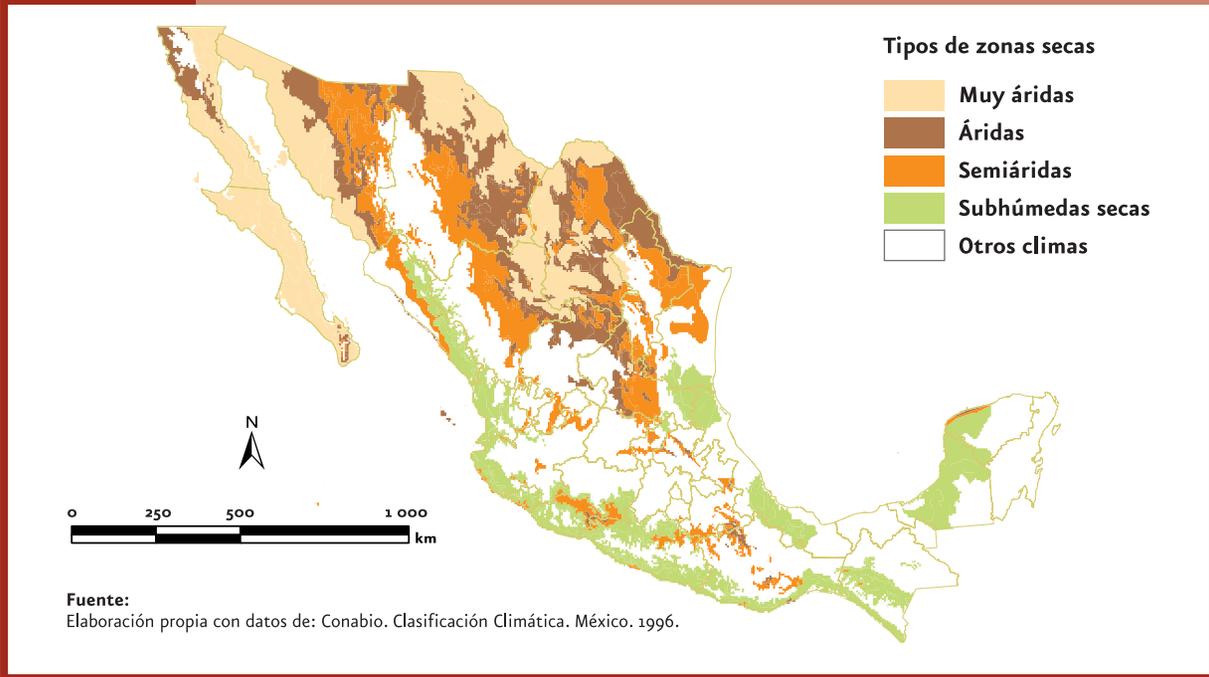
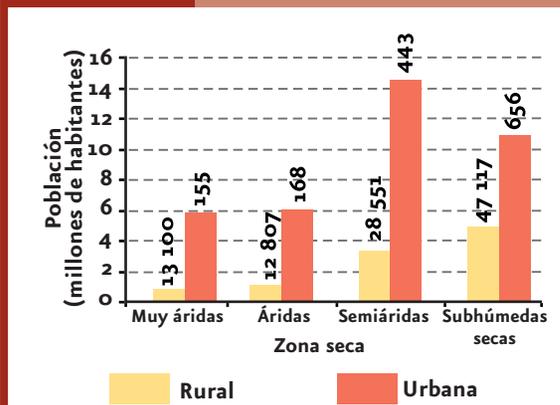


Figura 3.9

Población en zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas de México, 2005



Nota:
Las cifras de la parte superior de cada barra corresponden al número de localidades.

Fuentes:
Elaboración propia con datos de:
Conabio. Clasificación Climática. México. 1996.
Conapo. II Censo de Población y Vivienda. México. 2006.
Semarnat-CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

muy probablemente a que en ellas, los suelos son más productivos (Figura 3.9). De hecho, 60% de la superficie agrícola del país se encuentra en las tierras secas, y de este total 42% se ubica en las zonas semiáridas y 30% en las subhúmedas secas (Figura 3.10).

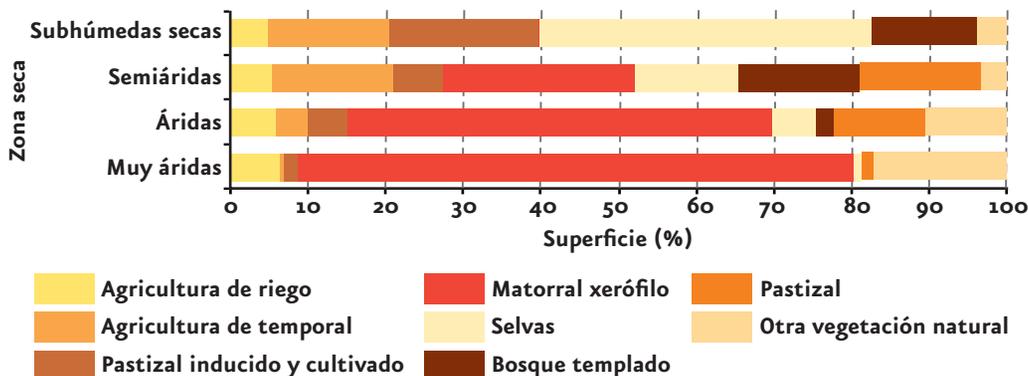
Durante el periodo comprendido entre 1993 y 2002, los cambios en la cobertura de los matorrales, selvas húmedas y subhúmedas y bosques templados ubicadas principalmente en las tierras semiáridas y subhúmedas secas del país, hacia tierras con algún otro uso (por ejemplo, agropecuario), se calculó en una pérdida de aproximadamente 1.7 millones de hectáreas. Por otro lado, la superficie con valor forrajero destinada a la actividad pecuaria, durante el mismo periodo, creció a un ritmo anual de 1.26% (Figura 3.11).

Magnitud de la desertificación

Las estimaciones sobre la magnitud de la desertificación son muy diferentes porque

Figura 3.10

Usos del suelo y vegetación en zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas de México, 2002

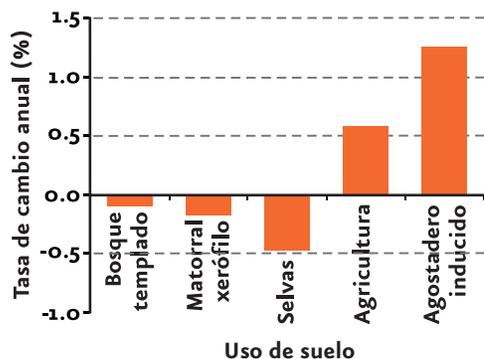


Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
 Conabio. *Clasificación Climática*. México. 1996.
 INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002) y Serie IIIg (2002)*, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.
 Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

Figura 3.11

Tasa de cambio de uso de suelo y vegetación en zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas de México, 1993 - 2002



Nota:

Las tasas se calcularon utilizando la fórmula $r = (s_2/s_1)^{1/t} - 1$, donde r es la tasa, s_1 y s_2 son las superficies ocupadas por usos de suelo a los tiempos inicial y final, respectivamente, y t es el tiempo transcurrido entre ambas fechas.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
 Conabio. *Clasificación Climática*. México. 1996.
 INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002) y Serie IIIg (2002)*, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.
 Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

dependen del método de cálculo y del tipo de degradación del suelo incluido en la evaluación. La UNCCD calcula que entre 71 y 75% de las zonas secas del mundo están desertificadas, aunque esta cifra ha sido criticada debido a que las estimaciones se han hecho tomando en cuenta separadamente los factores biofísicos (erosión o pérdida de la cobertura vegetal) y socioeconómicos (pérdidas económicas, disminución de la producción, migraciones humanas) de la desertificación; basta señalar que raramente se consideran ambos grupos de factores simultáneamente para estimar la magnitud de la desertificación (Reynolds et al., 2005).

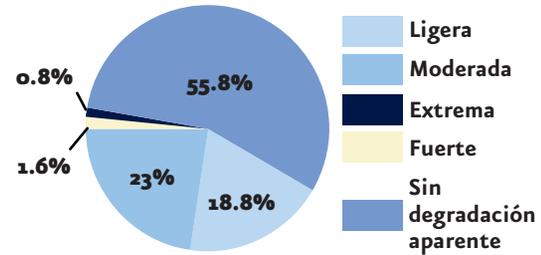
En México, a la fecha, no existen estudios específicos sobre la extensión de la desertificación a nivel nacional, sin embargo, para tener una idea de la magnitud de este fenómeno, se consideró a la degradación del suelo como un estimador de la desertificación en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas del país, sin perder de vista que es sólo uno de sus elementos.

Tomando el criterio antes señalado, en nuestro país la degradación del suelo afecta a 44.2% de las tierras secas en distintos niveles de intensidad (Figuras 3.12 y 3.13). Entre 93 y 97% del total de la superficie con degradación en las zonas secas ya se encuentra en los niveles de ligera y moderada, lo que es un foco de alerta, debido a que de continuar este proceso se puede llegar a los niveles de degradación fuerte o extrema, en los cuales la recuperación de la productividad del suelo es materialmente imposible. Las zonas secas que no presentan evidencias de degradación de suelo 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 (Mapa 3.12).

En México la degradación del suelo afecta a 44.2% de las tierras secas. De ellas, entre 93 y 97% tienen niveles de degradación ligero y moderado.

Figura 3.12

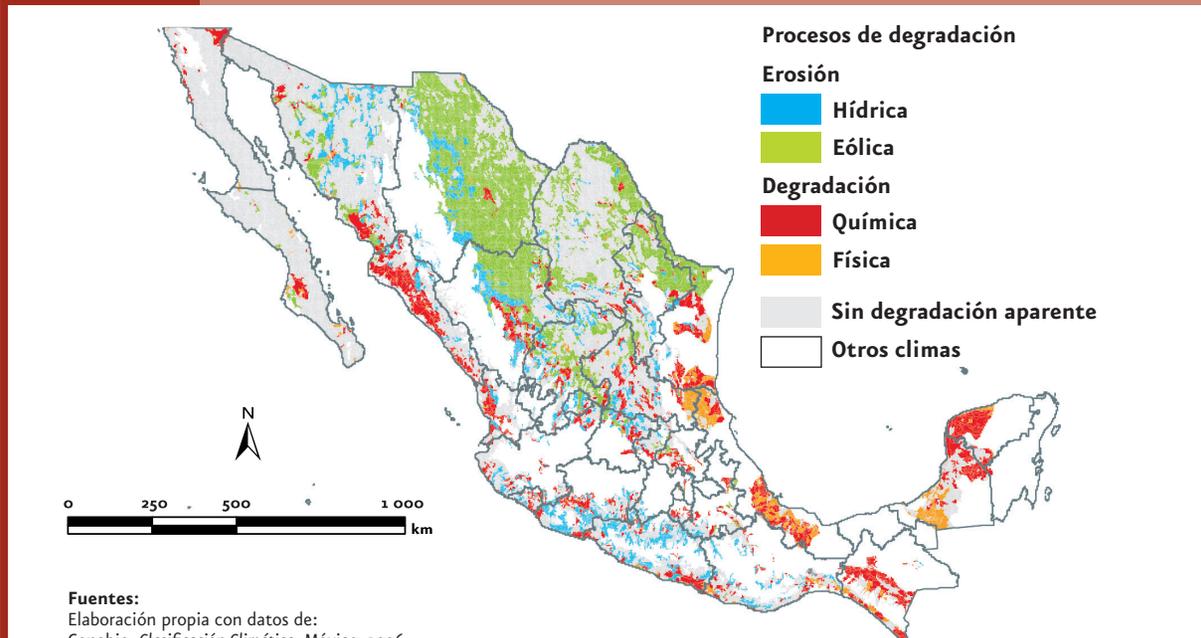
Degradación del suelo según nivel en las zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas de México



Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 Conabio. *Clasificación Climática*. México. 1996.
 INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002) y Serie IIIg (2002)*, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.
 Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

Mapa 3.12

Procesos de degradación del suelo en las zonas secas de México



Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 Conabio. *Clasificación Climática*. México. 1996.
 INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002) y Serie IIIg (2002)*, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.
 Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

Del total de las tierras secas del país que presentan degradación del suelo, 32.4% son semiáridas, 26.1% subhúmedas, 19.1% muy áridas y 22.4% áridas. Sin embargo, cuando se examina la proporción afectada con respecto a la superficie que ocupa cada una de esas tierras, las subhúmedas secas son las más afectadas (52.8%), seguidas de las semiáridas (48.9%), las áridas (45%) y las muy áridas (30.4%).

Históricamente, el suelo ha sido un recurso natural poco atendido por los gobiernos y la sociedad en general, a pesar de que su degradación tiene consecuencias negativas para el ambiente y la sociedad.

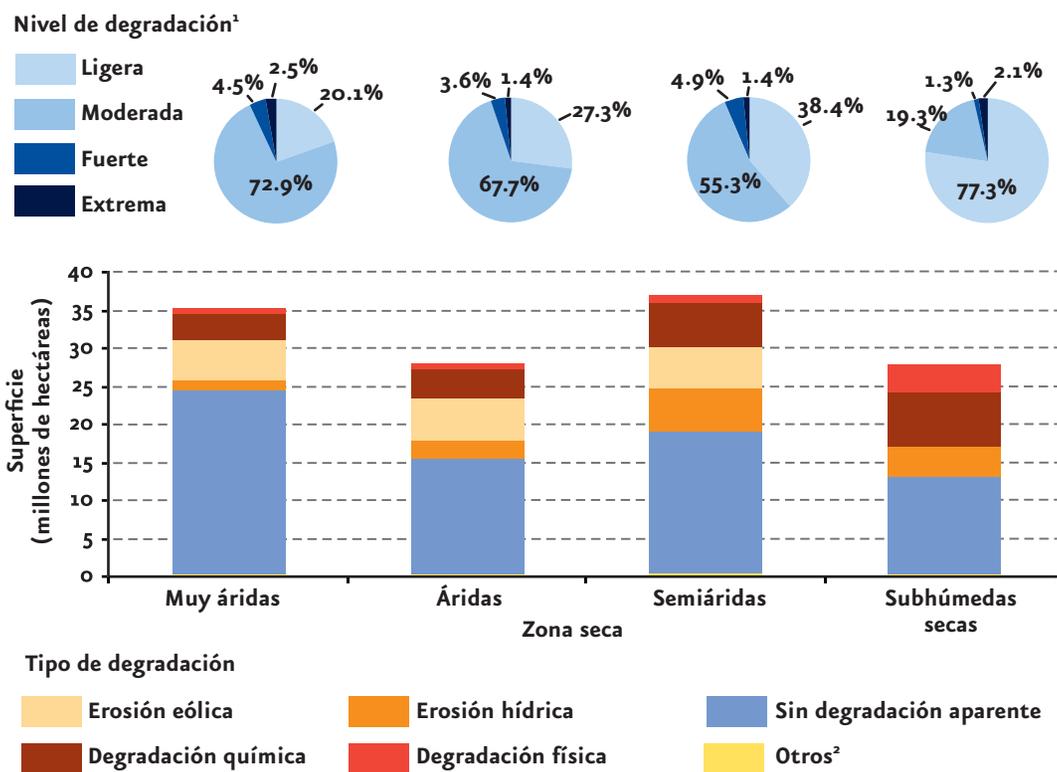
Respecto de la distribución de los procesos de degradación por tipo de zona seca, la erosión eólica del suelo es el proceso dominante en las zonas muy áridas y áridas, mientras que en las semiáridas y subhúmedas secas es la degradación química (Figura 3.13).

Conservación y restauración de suelos

Históricamente, el suelo ha sido un recurso natural

Figura 3.13

Degradación del suelo según proceso y nivel en zonas muy áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas en México, 2002



Notas:

¹Las figuras arriba de cada barra corresponden exclusivamente al total de la superficie con degradación en cada tipo de zona seca.

²Incluye cuerpos de agua y superficies que no pueden ser asignados a ningún proceso de degradación debido al origen de los datos.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Conabio. *Clasificación Climática*. México. 1996.

INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002) y Serie IIIg (2002)*, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.

Semarnat-CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

poco atendido por los gobiernos y la sociedad en general, a pesar de que su degradación y desertificación tienen consecuencias negativas tanto ambientales como sobre el bienestar de la población. La pérdida de la productividad de los ecosistemas, presencia de tolvaneras, pérdida de hábitats acuáticos y disminución del rendimiento pesquero, aumento de la frecuencia de inundaciones, incremento de la emisión de gases de efecto invernadero al oxidarse la materia orgánica, son sólo algunas de las consecuencias ambientales asociadas a la degradación de los suelos. Todas ellas están muy relacionadas con el incremento de la pobreza y las migraciones (Cotler et al., 2007). Debido a la complejidad de las causas y las consecuencias, el tema de la degradación de los suelos y la desertificación es atendido por la Semarnat, la Sagarpa, la Conaza y la Comisión Nacional Forestal (Conafor).

Para hacer frente al problema de la degradación del suelo, la mejor alternativa es utilizar un enfoque de desarrollo sostenible, el cual además de atender las necesidades humanas actuales, considera preservar un ambiente sano para las generaciones futuras. Sin embargo, llevar este principio a la práctica no es una tarea sencilla, ya que, además del componente estrictamente ambiental, existe una serie de factores sociales, económicos y políticos que dificultan la eliminación o el amortiguamiento de las causas que provocan la degradación del suelo. Por ello, son necesarias acciones que promuevan el manejo sostenible del suelo mediante el impulso al sector rural, el acceso a tecnología adecuada y asequible y la asistencia a la comercialización, todas ellas considerando las condiciones y necesidades de cada región del país y sin que esto comprometa la actividad agrícola y comercial de la población actual.

Existen diversos programas institucionales que apoyan la ejecución de acciones relacionadas con la conservación de suelos; sin embargo hacen falta acciones específicas que contrarresten la degradación química de los suelos, la cual es la más extendida en el país.

A pesar de que se carece de una estrategia nacional integral para la conservación de suelos en la cual se definan acciones directas y específicas para la conservación y el mantenimiento de sus funciones, dentro de los programas operados por la Semarnat, Sagarpa, Conafor y Conaza se aplican acciones indirectas con apoyo económico y técnico enfocadas a la realización de obras hidráulicas, de reforestación y de manejo de tierras agrícolas que están dirigidas a conservar este importante recurso natural.

Los programas institucionales más importantes en cuanto a superficie incorporada a la protección y rehabilitación del suelo son el Programa de Suelos Forestales, operado por la Conafor y el Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente (Piasre), operado por Sagarpa (Figura 3.14). Como parte de las acciones de estos programas se brinda apoyo económico y asesoría técnica a los dueños de las tierras para la ejecución de obras de conservación y restauración de suelos forestales en el primero, y a zonas con sequía recurrente, en el segundo (Cuadro [D3_SUELO04_01](#); **IB 3-4**).

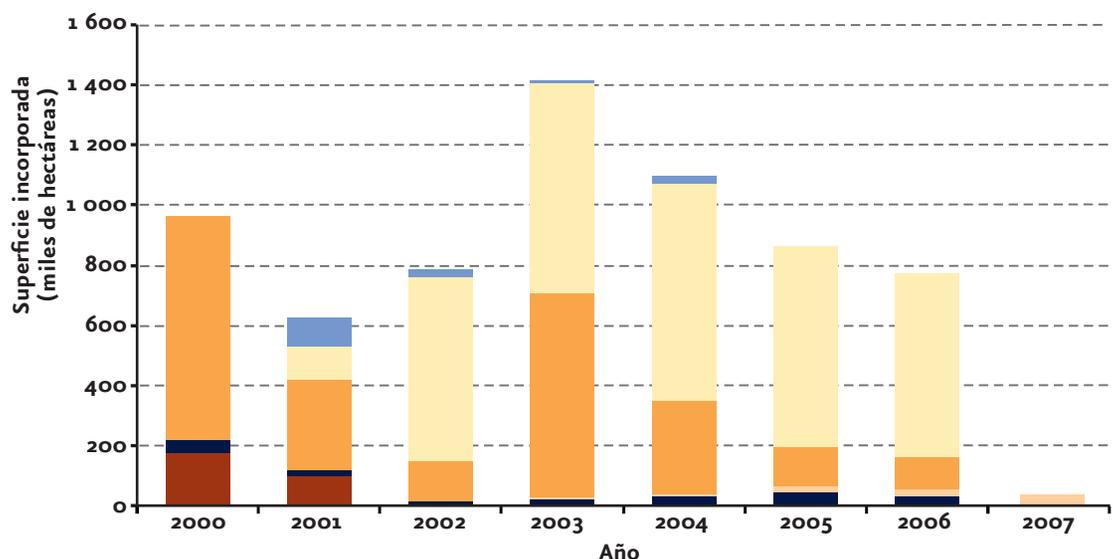


Estos programas apoyan a proyectos de índole muy diversa, como la construcción de represas, el establecimiento de cortinas rompevientos o la reconversión productiva del suelo mediante sistemas silvopastoriles y de agroforestería. Debido a que otros programas forestales (por ejemplo, el manejo forestal sustentable o la reforestación) también tienen efectos sobre el suelo, es complicado determinar con precisión la superficie en la cual se realizan prácticas de conservación y recuperación (Figura 3.14; **IB 3-4**; Cuadro [D3_SUELO04_01](#)). Estos problemas también se reflejan en la insuficiente información confiable que permite evaluar el desempeño de estos programas.



Figura 3.14

Superficie incorporada a programas institucionales relacionados con conservación y rehabilitación de suelos, 2000 - 2007¹



- Programa de Restauración de Suelos no Forestales
- Programa Nacional de Suelos Forestales
- Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente
- Restauración Compensatoria por Cambio de Uso del Suelo
- Programas de Manejo de Tierras en la Modalidad de Proyectos Ecológicos
- Programa de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva

Nota:
¹Los datos reportados para cada uno de los programas no están disponibles para todos los años debido a que están sujetos a diseño y concertación de recursos para su operación. Las superficies incorporadas no son acumulables entre los años porque los productores pueden entrar, retirarse o reafirmar su permanencia en el programa dependiendo de su interés o del cumplimiento de las obligaciones del mismo.

Fuentes:
 Semarnap-INEGI. *Estadísticas del Medio Ambiente, México 1999. 2000.*
 Semarnap-INEGI. *Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1995-1996.* México. 1997.
 Semarnat. Dirección General de Federalización de Servicios Forestales y de Suelo. México. 2002 y 2007.
 Sagarpa. Dirección General de Apoyos al Desarrollo Rural, Dirección de Incentivos a la Inversión Rural. México 2004-2007.
 Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. *Cuarto Informe de Gobierno*, 1 de septiembre 2004. Presidencia de la República. México. 2004.
 Semarnat. Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables, Dirección de Agricultura y Ganadería. México. 2005-2007.
 Conafor. Gerencia de Suelos. México. 2005.
 Conafor. Gerencia de Suelos. Coordinación General de Conservación y Restauración. México. 2007.

Dada la magnitud del problema y la insuficiencia de recursos destinados a este fin, el reto es focalizar los apoyos en función de las características de la degradación de los suelos con acciones específicas para cada tipo y nivel de degradación observado. Las acciones de conservación más comunes que se aplican están dirigidas al control de los escurrimientos que afectan la infraestructura y los

centros de población, pero son poco eficaces para revertir, por ejemplo, el problema de la degradación química, en la modalidad de pérdida de la fertilidad, que es el tipo de degradación dominante (16.6%) en el país, causado principalmente por prácticas agrícolas y pastoriles deficientes (ver Recuadro *¿Es posible recuperar los suelos degradados?*)

Cuando se habla de degradación de suelo, los especialistas y la propia población asentada en el área degradada, buscan alternativas que permitan la recuperación y conservación del recurso edáfico y con él, los beneficios que se obtienen de los ecosistemas. Esto no siempre es sencillo. Se requiere de interés, conocimiento y recursos económicos que en muchos de los casos no se tienen de manera inmediata.

Para recuperar los suelos se requiere del restablecimiento de su calidad, es decir, de su capacidad para promover la productividad del sistema sin perder de vista sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sustentable); atenuar a los contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y la interacción entre la calidad del suelo y la salud de las plantas, animales y humanos.

Bajo estas premisas, la recuperación y conservación de los suelos es un proceso complejo que involucra aspectos ecológicos, sociales y económicos. De esta manera, la susceptibilidad y resiliencia de los suelos y el tipo e intensidad de la degradación determinarán las acciones necesarias, así como el tiempo y los recursos económicos que se requieren invertir en esas tierras. En general, existen pocos estudios que enfatizan la importancia de estos últimos aspectos, los cuales son indispensables en la planeación de estrategias y programas de recuperación y conservación de suelos.

En México, los estudios realizados en escala local en diferentes ecosistemas, muestran que a pesar de todo, la recuperación de la calidad de los suelos degradados es viable cuando se utilizan diferentes técnicas agronómicas.

Por ejemplo, en Lacanjá, Chiapas, los sistemas agroforestales utilizados por los mayas Lacandones, que incluyen la permanencia en el suelo de la hojarasca de *Ochroma pyramidale* y *Sapium laterifolium* en las milpas, acahuals y bosques secundarios, que son sitios donde alguna vez hubo selva húmeda, contribuyen significativamente a la restauración de la fertilidad del suelo y de la productividad primaria. Estas especies funcionan como “bomba de succión” de fósforo e incorporan materia orgánica de lenta descomposición, respectivamente, en un medio donde ambas propiedades son escasas.

Otros ejemplos de recuperación de suelos han sido documentados en cultivos de maíz en la región purépecha. Aquí se determinó que la práctica de labranza de conservación durante 15 años, acompañada de por lo menos 60% de residuos de cultivos, incrementó el contenido de materia orgánica de los suelos hasta en un 50% y que la incorporación de abonos verdes y de cero labranza con rotación de cultivos, pueden incrementar de manera significativa el rendimiento del maíz (hasta 30%), así como los contenidos de nitrógeno y fósforo y la tasa de infiltración de agua.

La selva tropical caducifolia es uno de los ambientes con mayores tasas de deforestación para siembra de maíz y pastos. En este ecosistema, se ha documentado que el uso de hojarasca como cobertura protectora ("mulch") reduce la erosión hasta en 90% en parcelas sembradas con maíz.

Cuando las acciones de tipo biológico no son suficientes, es necesario recurrir a obras de mecanización y construcción de terrazas, además de la incorporación de abonos y fertilizantes. Estas actividades son comunes en la conversión de los tepetates a suelos productivos, lo cual tiene un elevado costo económico. De acuerdo con datos de 1991, los costos de rehabilitación de los tepetates pueden ascender hasta 2 mil dólares por hectárea aproximadamente, con resultados visibles a mediano plazo.

Si bien en estos ejemplos se ha puesto énfasis en el conocimiento técnico de la conservación de suelos, el éxito de este largo proceso reside en la participación y el compromiso de la población y todos los niveles de gobierno. En ese sentido, la dificultad en la recuperación de los suelos no recae tanto en las técnicas sino en la organización, convencimiento y apropiación de parte de los usuarios de la tierra, por un lado, así como de los gobiernos locales y federal, por el otro.

H. Cotler
(INE, DGOECE)

Referencias:

Doran, J.W. y B.T. Parkin. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Science Society of America. INC. Special Publication No. 35. Madison, Wiscconsin. USA. 1994.

Diemont, S.A.W., J.F. Martin, S. Levy-Tacher, R. Nigh, P. Ramírez y J. Duncan. Lacandon Maya forest management: restoration of soil fertility using native tree species. *Ecological Engineering* 28: 205-212. 2006.

Huber-Sannwald, E., F.T. Maestre, J.E. Herrick, y J.F. Reynolds. Ecohydrological feedbacks and linkages associated with land degradation: a case study from Mexico. *Hydrological Processes* 20: 3395-3411. 2006.

Maass J.M., C.F. Jordan y J. Sarukhán. Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques. *Journal of Applied Ecology* 25:595-607. 1998.

Salinas-García, J.R., A.D. Báez-Gonzalez, M. Tiscareño-López y E. Rosales-Robles. Residue removal and tillage interaction effects on soil properties and rain-fed corn production in Central Mexico. *Soil & Tillage Research* 59:67-69. 2001.

Werner, G. Suelos volcánicos endurecidos (tepetates) en el estado de Tlaxcala: Distribución, rehabilitación, manejo y conservación. *Terra* 10 (Número especial): 318-331. 1992.

REFERENCIAS

- Conaza-Sedeso. *Plan de acción para combatir la desertificación en México*. México. 1994. Disponible en: www.conaza.gob.mx/pacd.htm Fecha de consulta: 25-09-2008.
- Cotler, H., E. Sotelo, J. Domínguez, M. Zorrilla, S. Cortina, y L. Quiñones. La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica* 83:5-71. 2007.
- FAO-ISRIC-ITC. *Lecture notes of the mayor soil of the World*. Rome. 2001. Disponible en: www.fao.org/docrep/003/Y1899E/y1899e00.htm Fecha de consulta: 18-08-2008.
- FAO-ISRIC-ISSS. *World reference base for soil resources*. Rome. 1988. Disponible en: www.fao.org/docrep/W8594E/W8594E00.htm Fecha de consulta: 19-08-2008.
- FAO. 2001. *Major soils of the world. World reference base for soil resources: Atlas*. CD-Room. Disponible en: www.isric.org/Isric/Webdocs/Docs/Major_Soils_of_the_World/start.pdf Fecha de consulta: 25-09-2008.
- García, E. *Modificaciones al sistema climático de Köppen adaptado para México*. Instituto de Geografía, UNAM. México. 1988.
- INE. Ángulo de inclinación de la pendiente, escala 1: 250 000. México. 2003.
- INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002) y Serie IIIg (2002)*, escala 1:250 000. (Continuo Nacional) México. 2005.
- INEGI. *Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Serie II*, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2007.
- INEGI. Aspectos generales del territorio mexicano. Recursos naturales. Edafología. Disponible en: http://mapserver.inegi.org.mx/map/datos_basicos/edafologia/?s=geo&rc=936 Fecha de consulta: 23-09-08.
- INEGI. *II Censo de población y vivienda 2005*. México. 2006.
- MEA. *Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis*. USA. 2005.
- Oldeman, L.R. *Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation*. Working paper 88/4. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), Wageningen. 1998.
- Reynolds, J.F., F.T. Maestre, E. Huber-Sannwald, J. Herrick, y P.R. Kemp. Aspectos económicos y biofísicos de la desertificación. *Ecosistemas* 14:3-21. 2005.
- Semarnat-CP. *Evaluación de la Degradación del suelo 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 suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1: 1 000 000*. Memoria 2001-2002. México. 2003.
- UNCCD. *Texto final de la Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación en los Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación, en particular en África*. 1994. Disponible en: www.unccd.int/convention/text/pdf/conv-spa.pdf Fecha de consulta: 23-09-2008.
- UNCCD. *Estado de ratificación y entrada en vigor de la UNCCD*. 2008. Disponible en: www.unccd.int/convention/ratif/doiif.php Fecha de consulta: 24-09-2008.

Capítulo 4. Biodiversidad





Biodiversidad

El capital natural y la biodiversidad de un país son de los recursos más importantes para conseguir el bienestar social y proyectar su desarrollo futuro. En México, la diversidad de climas, su accidentada topografía y su particular ubicación geográfica permiten la existencia de una gran diversidad de especies, ecosistemas y recursos genéticos que lo convierten en uno de los llamados países megadiversos.

En el país pueden encontrarse casi todos los tipos de vegetación que existen en el mundo, así como un gran número de especies de los grupos taxonómicos más importantes. Sin embargo, al igual que en el resto del mundo, la biodiversidad enfrenta una crisis importante, resultado de las alteraciones que las actividades humanas han producido en los ecosistemas para satisfacer las crecientes demandas de alimento, vestido, vivienda, energía y agua de una población que creció desproporcionadamente a partir del siglo pasado. Todo ello ha traído consigo, además de la pérdida y deterioro de los diversos servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas,

México alberga entre 10 y 12% de las especies del mundo. Ocupa el segundo lugar en riqueza de especies de reptiles, el tercero en mamíferos, el cuarto en anfibios y el quinto en plantas vasculares.

rítmos de extinción que son mayores, en algunos casos, a los observados en el registro fósil.

Entre las amenazas a la biodiversidad se encuentran el cambio de uso del suelo, la construcción de infraestructura, el crecimiento demográfico, la introducción de especies invasoras, los incendios forestales, la sobreexplotación de los recursos naturales, el aprovechamiento ilegal y el cambio climático global. Ante esta situación, tanto en México como en el mundo se han implementado una serie de estrategias enfocadas a reducir y controlar las amenazas a la biodiversidad, a disminuir sus efectos y a revertir el deterioro de los ecosistemas.

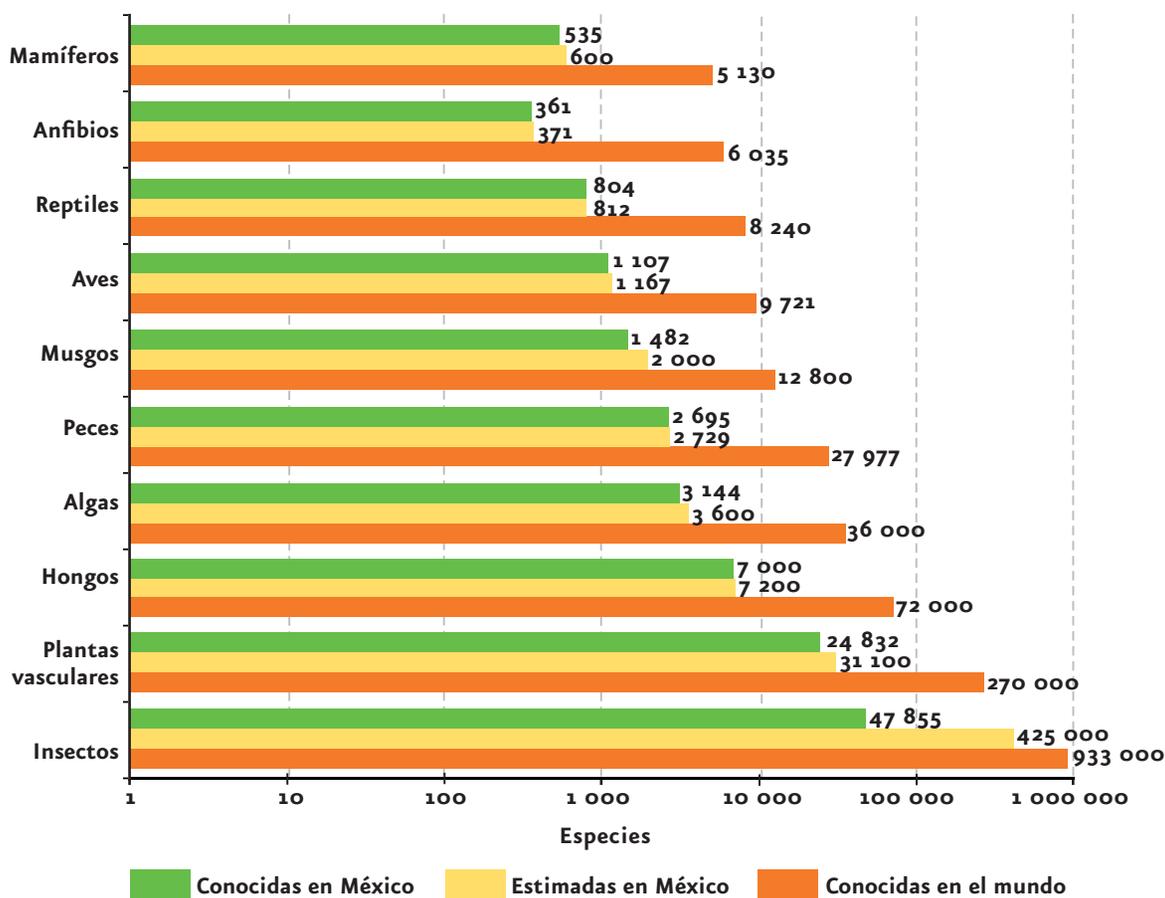
MÉXICO, PAÍS MEGADIVERSO

México es uno de los países más diversos del planeta desde el punto de vista biológico. Su posición geográfica y su compleja historia geológica, principalmente, han creado una variada gama de condiciones que han permitido la coexistencia de elementos biológicos de diversos orígenes (tropicales y boreales, por ejemplo), así como una intensa diversificación de los grupos taxonómicos al interior del territorio. De este modo, en los tres niveles en los que se estudia la biodiversidad (ecosistemas, especies y genes), México posee una riqueza especialmente importante.

En el mundo se han descrito hasta la fecha entre 1.7 y 2 millones de especies, aunque las estimaciones sugieren que podrían existir entre 10 y 30 millones (CBD, 2002; Conabio, 2006). De ese total, se estima que entre 10 y 12% de las especies se encuentran en nuestro territorio (a pesar de tan sólo ocupar 1.5% de la superficie terrestre global), razón por la cual México se clasifica, al lado de Brasil, Perú, Colombia, Indonesia y China, entre otros, como un país megadiverso.

Figura 4.1

Diversidad de especies, para distintos grupos taxonómicos, en México y en el mundo



Fuente:
Conabio. México. 2008.

La fauna del país incluye aproximadamente 125 mil 585 especies de invertebrados, en su mayoría insectos (los cuales suman poco menos de 48 mil especies). Respecto a los vertebrados, se tienen registradas 5 mil 500 especies, en su mayoría peces (2 mil 695 especies) y aves (mil 107 especies; Figura 4.1). Aún cuando el número de especies en otros grupos de vertebrados es menor, México ocupa el segundo lugar en riqueza de reptiles en el mundo (con 804 especies) y el tercero en mamíferos (con 535 especies; Figura 4.2).

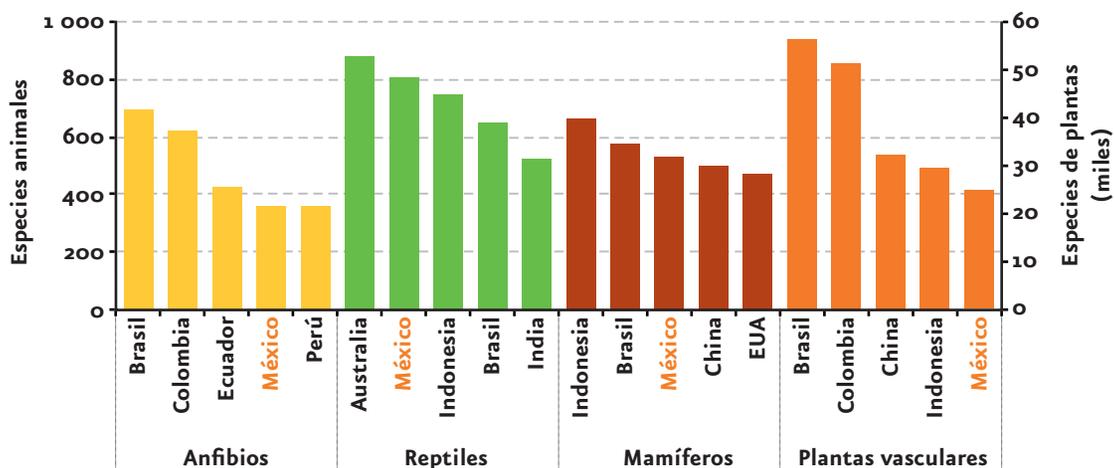
En lo que respecta a la flora nacional, se han descrito cerca de 24 mil 800 especies de plantas

vasculares, de las cuales, la mayoría corresponden a angiospermas (poco más de 22 mil 250 especies), lo que equivale aproximadamente a 9% de las especies descritas hasta el momento en el mundo (alrededor de 270 mil especies). A nivel internacional, México está entre los cinco países con mayor número de especies de plantas vasculares (Figura 4.2).

La riqueza de especies de un país también se complementa con el componente endémico, es decir, aquellas especies que sólo se encuentran en su territorio. En este aspecto, México se distingue también por su alto número de especies y géneros endémicos. Se calcula que entre 40 y 60% de las

Figura 4.2

Riqueza de especies de los países megadiversos para distintos grupos taxonómicos¹



Nota:

¹ Los datos para México (2008) son más recientes que el resto de los países, de ahí que las posiciones relativas actuales podrían ser distintas.

Fuentes:

México: Conabio. México. 2008.

Resto de los países: World Resources Institute. USA. 2004.

especies de plantas vasculares que se conocen en el país son endémicas (Conabio, 2006; [Cuadro D3_BIODIV02_01](#)). De las 669 especies de cactáceas que existen en el país, 518 son endémicas (es decir, cerca de 77%); de las 535 especies de mamíferos, 169 son endémicas (32%); y de las mil 107 especies de aves, 125 son endémicas (11%; Figura 4.3). Si el endemismo se analiza por el tipo de vegetación, se encuentra que en los matorrales xerófilos y los bosques de coníferas, cerca del 60 y 70% de sus especies, respectivamente, son endémicas, mientras que tan sólo 5% de las especies del bosque tropical perennifolio tienen este carácter (Rzedowski, 1998).

No obstante que el inventario de la riqueza biológica de México y su nivel de endemismo son reconocidos a nivel mundial, aun no están completos. Esto se debe a que existen todavía numerosos grupos biológicos que no han sido

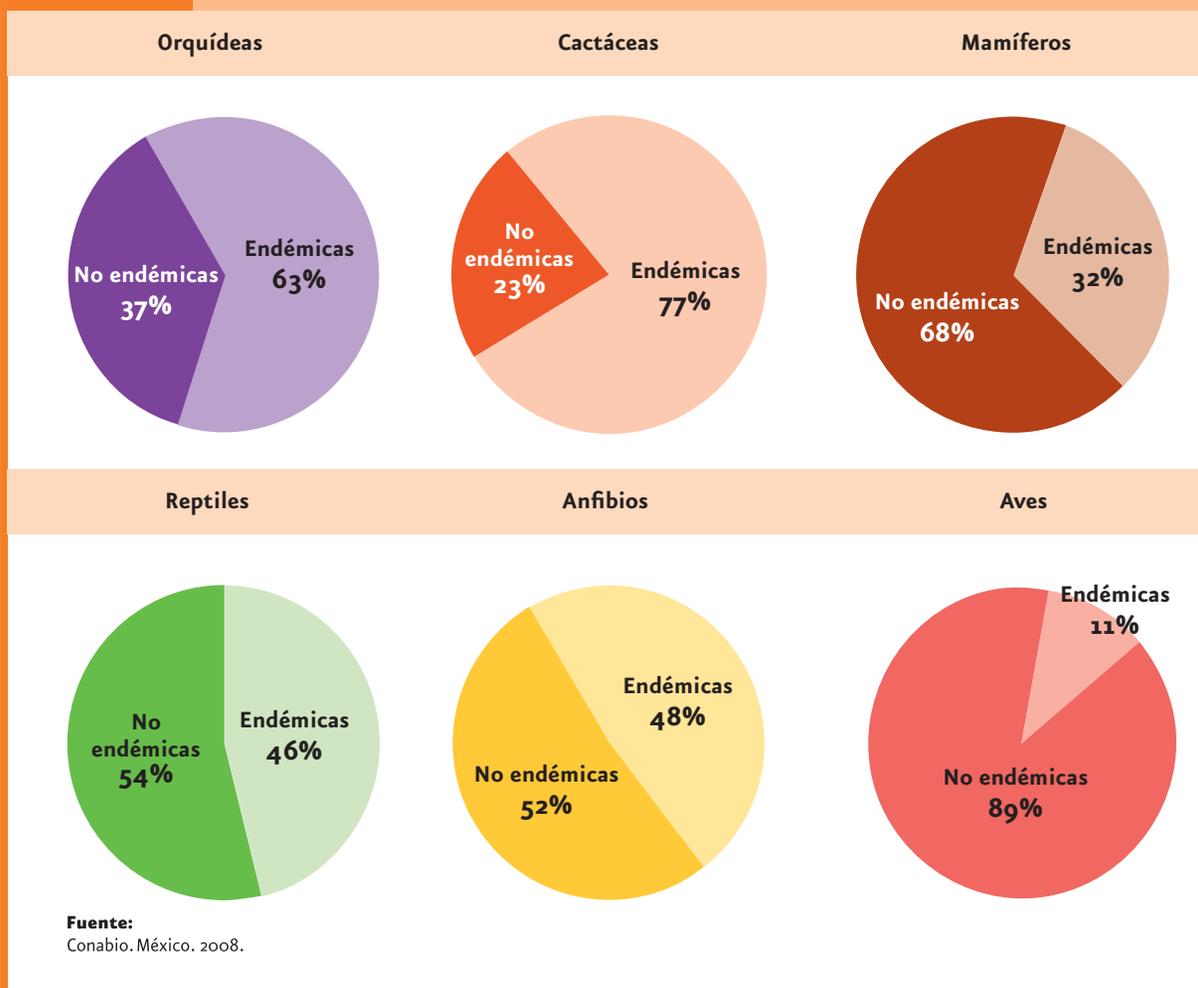
completamente colectados y estudiados (p. e. los hongos, los invertebrados terrestres y acuáticos y otros organismos microscópicos), así como zonas geográficas y ecosistemas en los que el estudio de la flora y fauna no ha sido considerable (p. e. los arrecifes de coral y las profundidades oceánicas). Seguramente las cifras para muchos grupos taxonómicos aumentarán en la medida en que se profundice el estudio de la diversidad y la geografía del país.

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), tiene entre sus funciones impulsar el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México (SNIB). Este sistema integra la información taxonómica, ecológica, geográfica y bibliográfica de las especies que habitan el país. El SNIB está constituido por diversos elementos y productos específicos, entre los que destacan las bases de datos de los ejemplares depositados

México destaca por su grado de endemismos: cerca de 77% de las especies de cactáceas, 32% de los mamíferos y 11% de las aves son endémicas.

Figura 4.3

Porcentaje de especies endémicas y no endémicas para distintos grupos taxonómicos

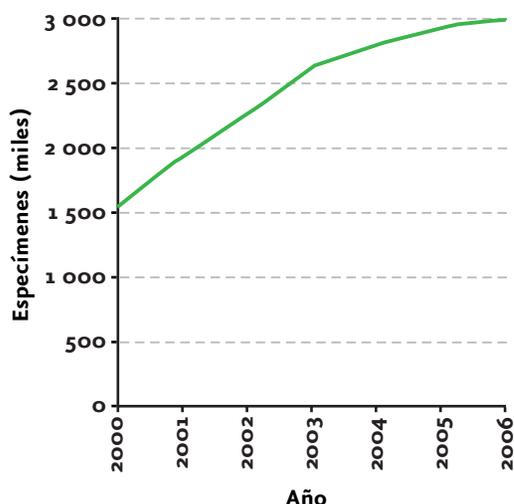


en colecciones nacionales y del extranjero, los catálogos de autoridades taxonómicas, diversas fichas de especies enlistadas en la NOM-059-Semarnat-2001, en los Apéndices de la CITES, invasoras, de importancia económica y el Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM). En el año 2006, el SNIB contabilizó alrededor de 3 millones de registros curatoriales de especímenes mexicanos (sin incluir duplicados; Figura 4.4), de los cuales poco más de 820 mil procedían de colecciones extranjeras. La mayor parte de los registros correspondió a angiospermas (41.27%), artrópodos terrestres (17.62%) y aves (12.67%; Figura 4.5).

En lo que a diversidad de ecosistemas se refiere, en la porción terrestre del país pueden encontrarse casi todos los tipos de vegetación reconocidos en el mundo, que van desde las selvas cálido-húmedas, los bosques templados y los bosques mesófilos de montaña, hasta los matorrales xerófilos, los pastizales naturales y la vegetación halófila y gipsófila. Esta diversidad rivaliza, a nivel mundial, tan sólo con la presente en China, India, Perú y Colombia (Conabio, 2006). Incluso se considera que algunos tipos de vegetación, como los pastizales gipsófilos del altiplano central o los izotales dominados por plantas de los géneros *Dasyllirion*, *Yucca* o *Nolina*, son exclusivos de nuestro país (González Medrano, 2003). Para mayores

Figura 4.4

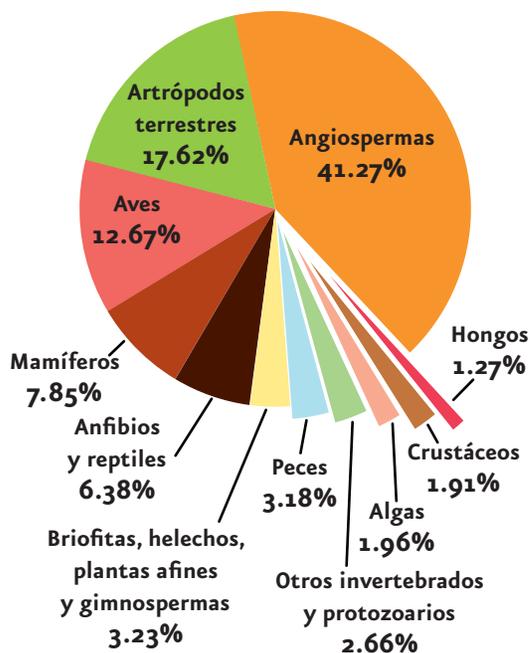
Especímenes integrados al SNIB, 2000 - 2006



Fuente: Conabio. Informe 2005-2006. México. 2007.

Figura 4.5

Especímenes integrados al SNIB según grupo taxonómico, 2006



Fuente: Conabio. Informe 2005-2006. México. 2007.

detalles respecto a la cubierta vegetal nacional, consultar el capítulo de *Ecosistemas terrestres*.

La riqueza de ambientes acuáticos, tanto marinos como continentales, también es relevante en el país. En la zona marina nacional pueden verse desde los ecosistemas de mar abierto y las zonas profundas (incluyendo las zonas arrecifales de aguas frías), hasta las comunidades de pastos marinos y de los arrecifes coralinos de aguas cálidas. En las zonas terrestres, los ecosistemas acuáticos también son diversos, destacando los de ríos, lagos y lagunas. Mayores detalles respecto a la diversidad y condición de la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos se encuentran en el capítulo de *Agua*.

Además de la riqueza de especies y ecosistemas, también es importante destacar la importancia que tiene México como centro de origen de plantas cultivadas (*Cuadro D3_BIODIV05_01*). Se ha estimado que por lo menos 118 especies de plantas de importancia económica fueron domesticadas en el país, lo que convierte a México en uno de los principales centros mundiales de domesticación de plantas. Por el número de especies domesticadas, destacan las familias Cactaceae (16 especies de 4 géneros), Fabaceae (14 especies de 9 géneros), Asteraceae (9 especies de 5 géneros) y Agavaceae (7 especies de 2 géneros; Conabio, 1998). Se calcula que poco más de 15% de las especies vegetales que se consumen en el mundo tienen su origen en México, donde se cultivan alrededor de 40 variedades de maíz y 120 de chile. En el caso del frijol, se reconocen 63 especies en el mundo, 52 de las cuales están en México y sólo cinco son cultivadas (Conabio, 2006). En lo que respecta a los animales, para México se tienen registradas doce razas domesticadas: dos de caballos, tres de cerdos, cuatro de ovejas, dos de bovinos y una de caprino (*Cuadro D3_BIODIV05_02*).

Aproximadamente 15% de las especies vegetales que se consumen en el mundo tienen su origen en México.

A nivel mundial, la variabilidad genética

de las especies silvestres es poca conocida. En México, el número de especies estudiadas resulta pequeño, sobre todo si se considera la enorme diversidad que alberga el país (y que en la mayoría de los casos la perspectiva de los estudios es sólo local). Sin embargo los estudios sobre la diversidad genética han aumentado considerablemente en los últimos años, pero falta más trabajo de síntesis que permita tener una mejor idea de la diversidad genética de las especies silvestres mexicanas.

Los servicios ambientales de la biodiversidad

Muchos de los bienes que ha disfrutado la humanidad desde sus orígenes hasta nuestros días provienen de la biodiversidad. Las plantas y los animales que sirven de alimento y como fuente de fibras y pieles, así como la madera y los principios activos de muchos medicamentos, son tan sólo unos pocos ejemplos de los bienes que se extraen de especies que alguna vez formaron parte de los ecosistemas naturales. A ellos deben sumarse otros servicios, poco reconocidos, que brindan las especies cuando se agregan formando ecosistemas e interactúan con su medio ambiente: la captación y purificación del agua, el mantenimiento de la calidad del aire y de la fertilidad del suelo, la regulación del clima local, la protección de costas y playas ante eventos meteorológicos extremos, entre otros. Los ejemplos anteriores forman parte de los llamados servicios ambientales (ver el Recuadro *Servicios ambientales de los ecosistemas y bienestar humano* en el capítulo de *Población*).

La importancia y el valor de los servicios ambientales que brinda la biodiversidad se ha reconocido muy recientemente. Actualmente se sabe, a pesar de las dificultades que implica su cálculo, que el valor económico de los servicios que brindan la biodiversidad y los ecosistemas a

Se ha calculado que el valor económico de los servicios que brindan la biodiversidad y los ecosistemas podría rondar entre los 16 y los 54 billones de dólares, es decir, alrededor del doble del producto bruto global anual.

nivel mundial podría rondar entre los 16 y los 54 billones de dólares (Costanza *et al.*, 1997), es decir, alrededor del doble del producto bruto global anual. En el caso de la captura pesquera mundial, su valor global podría ascender anualmente a los 58 mil millones de dólares, mientras que los arrecifes coralinos, considerando a los servicios culturales y de aprovisionamiento que brindan al turismo y a la pesca, alcanzan los 30 mil millones de dólares (MEA, 2005). En el caso de México, por ejemplo, se ha encontrado que la producción en las pesquerías de peces y cangrejos en el Golfo de California está relacionada directamente con la abundancia local de manglares; el valor económico de dicha producción se ha estimado en alrededor de 37 mil 500 dólares por hectárea de manglar (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008). Si se considera esta cifra y que los bienes y servicios ambientales son, a fin de cuentas, el resultado de la interacción de la biodiversidad y su medio físico, es fácil considerar la importancia capital de la biodiversidad en la vida moderna.

AMENAZAS A LA BIODIVERSIDAD

Ecosistemas terrestres

Prácticamente cada rincón de la Tierra ha sido transformado por las actividades humanas. A lo largo de los últimos 100 años, los seres humanos han cambiado los ecosistemas más rápida e intensamente que en cualquier otro periodo de la historia, todo ello para satisfacer sus crecientes demandas de espacio, alimento, agua dulce y energía, entre otras necesidades. Las principales amenazas a la biodiversidad, tanto en México como en el mundo, son el cambio de uso del suelo (impulsado principalmente por la expansión de la frontera agropecuaria y urbana), el crecimiento demográfico, la construcción de infraestructura

(p. e. por la construcción de carreteras, redes eléctricas y represas), la introducción de especies invasoras, los incendios forestales, la sobreexplotación de los recursos naturales, el aprovechamiento ilegal y, más recientemente, el cambio climático global.

Como resultado de su crecimiento demográfico y su desarrollo, México ha transformado y alterado significativamente sus ecosistemas. En el 2002, según estimaciones del INEGI, existía cerca del 73% de la vegetación natural. Sin embargo, la vegetación natural remanente muestra evidentes signos de alteración: tan sólo 68% de ella es primaria, siendo las selvas el tipo de vegetación más afectado (sólo 35% de ellas pueden reconocerse como primarias; IC 1).

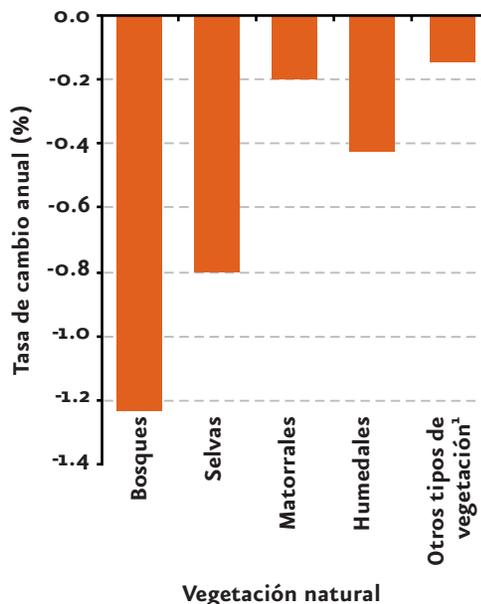


En el periodo de 1993 a 2002, el ecosistema que mayor superficie de vegetación primaria perdió fue el bosque (tanto templado como mesófilo de montaña, con cerca de 2.6 millones de hectáreas, a una tasa anual de 1.24%), seguido por el matorral xerófilo (cerca de 837 mil hectáreas a 0.2%) y las selvas (que perdieron aproximadamente 836 mil hectáreas a 0.8% anual; Figura 4.6). 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, las superficies deforestadas suelen dedicarse a terrenos agrícolas y 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 de *Ecosistemas terrestres*.

Aunque el cambio del uso de suelo tiene un efecto muy importante en la biodiversidad, la construcción de infraestructura (que incluye, además de caminos y carreteras, la ampliación

Figura 4.6

Cambio de uso del suelo en los principales ecosistemas terrestres, 1993 - 2002



Nota:

¹ Incluye la vegetación halófila y gipsófila, de galería y pastizal natural.

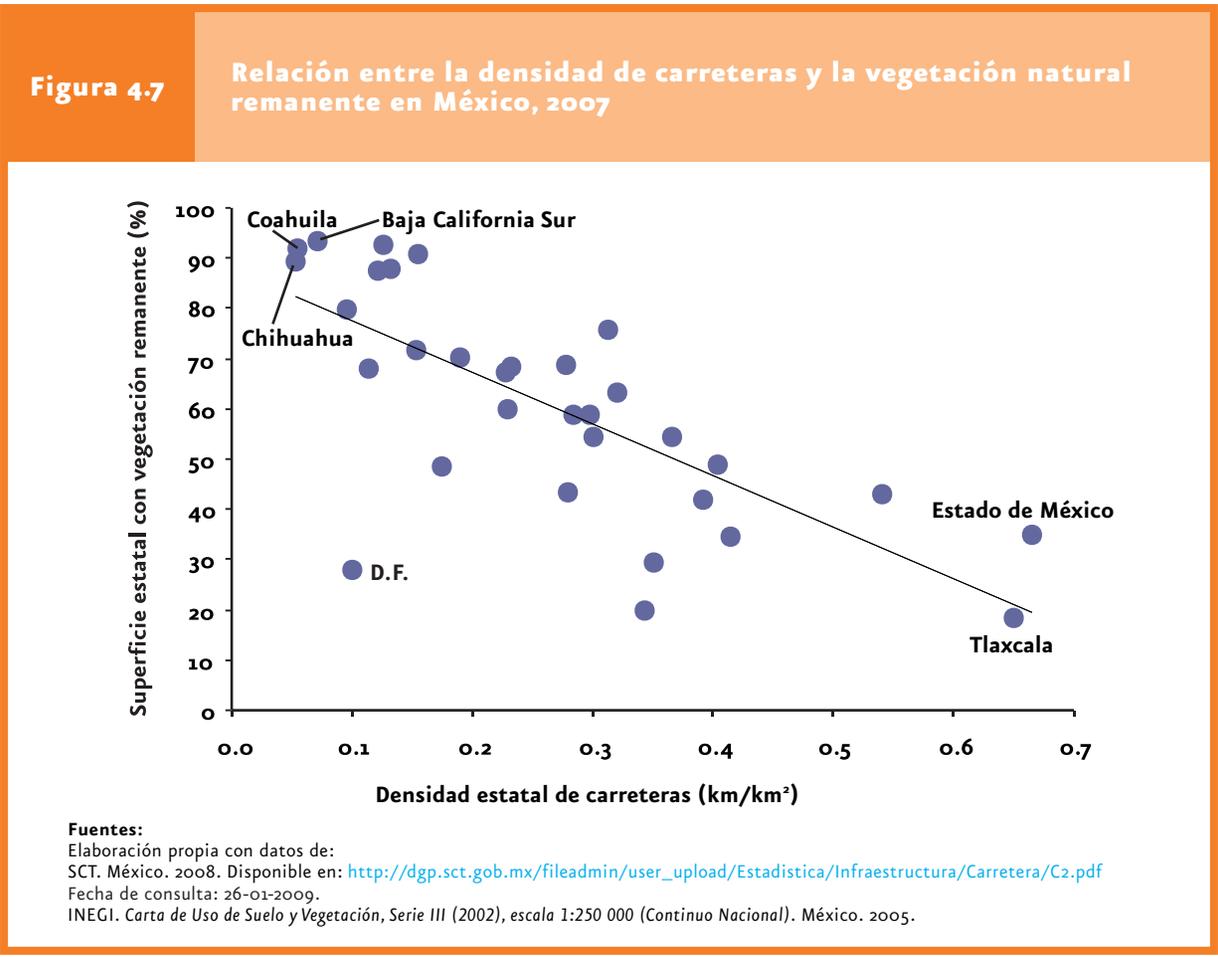
Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
 INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie II (Reestructurada) (1993)*, escala 1:250 000. México. 2004.
 INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002)*, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.

del tendido eléctrico o la construcción de presas) también puede afectar gravemente la vida silvestre. El crecimiento de la infraestructura produce, entre sus efectos más significativos, la pérdida y modificación de los ecosistemas, la fragmentación de las áreas remanentes de vegetación natural y, en el caso de caminos y carreteras, la muerte de los animales. En el país, la infraestructura carretera creció 57 mil 322 kilómetros entre 1997 y 2007, pasando de alrededor de 303 mil a 360 mil kilómetros, es decir, cerca de 5 mil 700 kilómetros por año. A pesar de que no existe un estudio formal acerca de los impactos ambientales del crecimiento de la infraestructura carretera en el país, si se examina la relación que existe entre la densidad de caminos y la cubierta de vegetación natural,

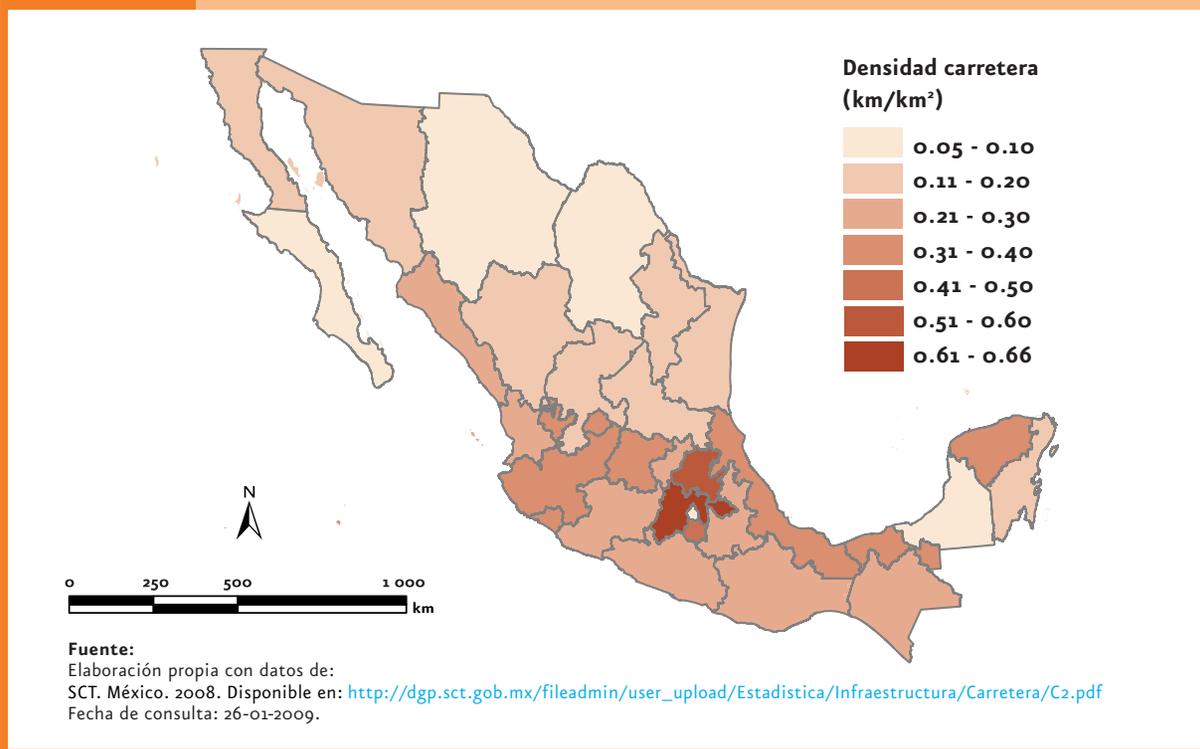
puede observarse que, en general, los estados con mayor densidad de caminos son aquéllos con la menor proporción de su superficie cubierta con vegetación natural (Figura 4.7; Mapa 4.1). Estados como Tlaxcala, que tiene la mayor densidad de carreteras en el país (cerca de 0.65 km/km²) posee la menor cobertura natural del país (18.2% de su superficie); en el otro extremo, Chihuahua (con la menor densidad de carreteras del país, 53 m/km²) conserva el 89.3% de su vegetación natural. Es importante mencionar que aunque la apertura de caminos no es el único factor actuando a favor de la desaparición de los ecosistemas naturales terrestres -y con ello, de su biodiversidad-, sí tiene un efecto negativo sobre ellos al propiciar la colonización y el desarrollo de nuevos centros de población o explotación de recursos naturales. Ejemplos de este fenómeno han sido observados con la apertura de caminos en las selvas húmedas de la Amazonía brasileña (UNEP, 2005).

Por otra parte, después de la destrucción del hábitat, el impacto de las especies invasoras se considera como la segunda causa más importante de la pérdida de biodiversidad a nivel global (Vitousek, 1996; Leung et al., 2002; ver el Recuadro *La invasión biológica global*). Las especies invasoras afectan a las especies nativas de flora y fauna a través de competencia, depredación, transmisión de enfermedades, modificación del hábitat y alteración de la estructura trófica. Además, en circunstancias especiales, las especies invasoras pueden entrecruzarse con las especies nativas, alterando el acervo genético de estas últimas (Conabio, 2006). Las especies invasoras se introducen en los ecosistemas no nativos por diversas vías: 1) aquéllas relacionadas con el sector transporte (que incluyen a los transportes en sí mismos, al equipo y vehículos militares, a los productos utilizados para el embalaje y envíos, a



Mapa 4.1

Densidad de la infraestructura carretera en México, 2007



las empresas que realizan actividades turísticas y al movimiento de animales por motivos recreativos, entre otros); 2) las relacionadas con el comercio (p. e. los productos animales o vegetales para consumo humano, las plantas acuáticas y terrestres para agricultura, jardinería, horticultura o investigación, entre otros); 3) otras actividades humanas como la deforestación, apertura de carreteras, minería, cambio de uso del suelo, control biológico y la unión de cuerpos de agua previamente aislados; y 4) por los fenómenos naturales como los huracanes y las inundaciones. En nuestro país, el Sistema de Información sobre Especies Invasoras en México (SIEIM), a cargo de la Conabio, ha identificado un total de 362 especies invasoras, que incluyen 134 especies de plantas, 63 de peces, nueve de anfibios y reptiles, siete de aves y 15 de mamíferos. Dichas

La Conabio ha identificado 362 especies invasoras en México: 134 de plantas, 63 de peces, nueve de anfibios y reptiles, siete de aves y 15 de mamíferos.

especies están clasificadas como de alto riesgo y alta prioridad para México (ver el Recuadro *Especies invasoras en México: el caso de la palomilla del nopal*).

Los incendios forestales también pueden constituir una amenaza para la biodiversidad terrestre, principalmente a través de la pérdida de vegetación natural, sobre todo durante la época de sequía. 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 y algunos matorrales de zonas secas. El fuego influye en los procesos que determinan la disponibilidad de los nutrientes en el suelo y promueve los procesos de sucesión ecológica que ayudan al mantenimiento de la

La introducción de especies de un lugar a otro se ha dado a lo largo de toda la historia de la humanidad. Sin embargo, la magnitud y frecuencia de estos eventos se ha incrementado considerablemente por actividades asociadas con la globalización del comercio, los transportes y los movimientos de personas.

A pesar de que sólo un pequeño porcentaje de las especies transportadas de un lugar a otro se convierten en invasoras, éstas pueden tener un gran impacto y causar enormes daños ambientales y económicos, al grado que su propagación y dispersión está reconocida como una de las peores amenazas para el bienestar económico y ecológico del planeta (GISP, 2005).

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) define a las especies invasoras como aquéllas que se establecen en ecosistemas o hábitat naturales o seminaturales, que son agentes de cambio y que ponen en peligro la diversidad biológica nativa (IUCN, 2000). También se consideran como especies que causan daño (o potencialmente pueden hacerlo) a la economía, al ambiente y a la salud humana (Emerton y Howard, 2008). Una especie o población invasora es capaz de sobrevivir, establecerse y reproducirse fuera de su hábitat original, compitiendo fuertemente con las especies locales. Las especies invasoras tienen como características principales la rápida capacidad de crecimiento y dispersión, gran capacidad reproductiva y amplio rango de tolerancia ambiental y de competencia con las especies locales (Emerton y Howard, 2008).

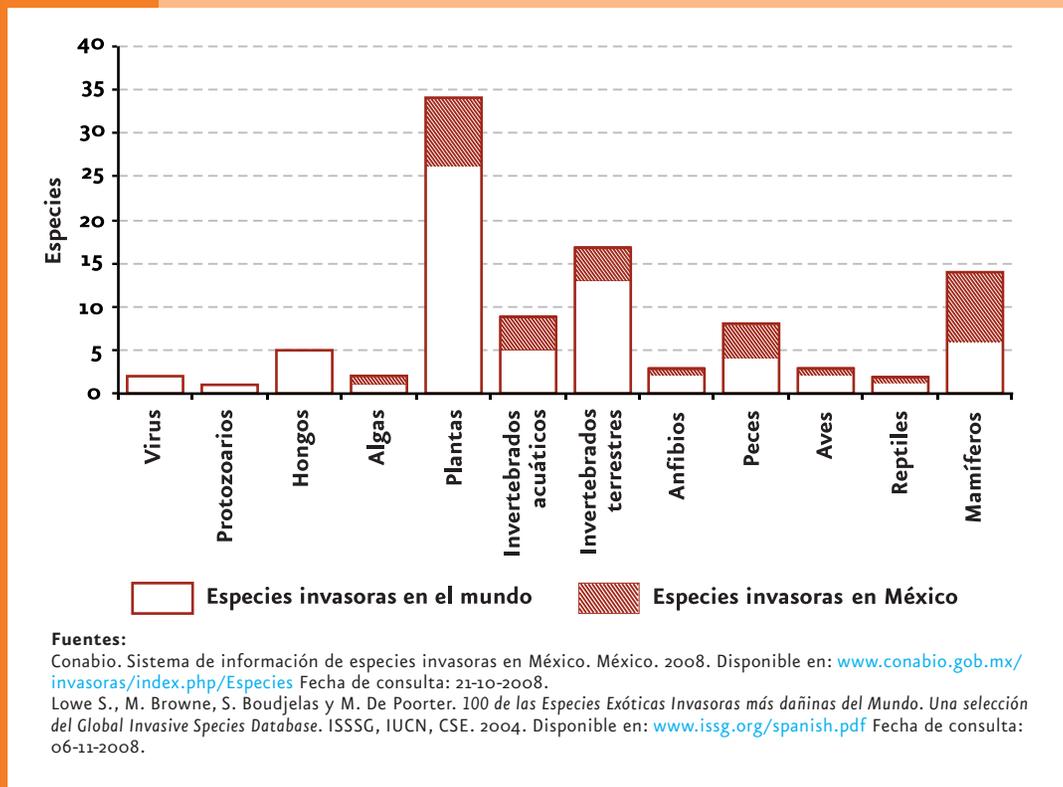
No existe actualmente una lista definitiva de especies invasoras; muchos países y organizaciones desarrollan bases de datos de regiones particulares o globales que están en continua actualización. El grupo de especialistas de especies invasoras (ISSG, por sus siglas en inglés) de la IUCN tiene registradas 479 especies invasoras de todo el mundo pertenecientes a casi todos los grupos taxonómicos (virus, hongos, algas, musgos, helechos, plantas superiores, invertebrados, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos). De este total, 100 especies se consideraron con un impacto muy significativo en la diversidad biológica y las actividades humanas (Lowe *et al.*, 2004). De acuerdo con la Conabio, 32 de estas especies están establecidas en México (Figura a).

Costos ambientales y económicos de las especies invasoras

Todas las especies invasoras que se establecen en un nuevo entorno alteran la composición de las comunidades biológicas nativas. Pueden transformar la estructura de los ecosistemas por la exclusión directa de las especies nativas a través de la competencia por recursos, o indirectamente modificando su hábitat. También pueden provocar cambios en los servicios ambientales relacionados con la regulación del ciclo hidrológico, el control de las inundaciones, el suministro de agua, el procesamiento de los residuos, la conservación y regeneración de suelos, la polinización de cultivos y la dispersión de las semillas.

Figura a

Las 100 especies invasoras más peligrosas en el mundo y su presencia en México



Se calcula que las especies invasoras son responsables de la extinción de 39% de las especies que han desaparecido desde el año 1600, es decir, un porcentaje mayor al ocasionado por la destrucción del hábitat, calculado en 36%, en el mismo periodo (Hernández *et al.*, 2002). Actualmente, en las zonas continentales del mundo 20% de las especies de mamíferos, 5% de aves, 15% de reptiles y 3.3% de los anfibios están en peligro de extinción por la invasión de otras especies en su hábitat. El problema es mayor

en las islas, donde el porcentaje de especies animales en peligro supera al estimado para las zonas continentales: 38% de las especies de aves, 32% de reptiles y 30% de anfibios.

En algunos casos, los problemas y costos ambientales por las especies invasoras son enormes para algunos países. Por ejemplo, en Nueva Zelanda se calcula que actualmente existen más especies invasoras que nativas: mil 700 especies invasoras versus mil 400 nativas (Hernández *et al.*, 2002).

El aspecto monetario de las invasiones biológicas incluye los costos actuales y potenciales de los daños causados por la invasión, así como las respuestas de manejo relacionadas con la posibilidad de prevenir la invasión, controlar su dispersión, erradicarla o no realizar ningún tipo de acción. El costo económico total mundial de las especies invasoras no ha podido ser calculado. No obstante, tan sólo en Estados Unidos, el costo de acciones relacionadas con el control, las pérdidas y los daños ocasionados por las especies invasoras se estimó en 120 mil millones de dólares al año (Pimentel et al., 2005).

La salud humana y las especies exóticas invasoras

Las especies invasoras pueden ser portadoras de virus, protozoarios y bacterias causantes de graves enfermedades en humanos y en la fauna y flora silvestres. En el caso de enfermedades que afectan al ser humano, pueden ser portadores de los agentes que producen la malaria, dengue, esquistosomiasis, tripanosomiasis, filarisis linfática, cólera y fiebres hemorrágicas (GISP, 2005).

Combate nacional e internacional a las especies invasoras

A nivel nacional se encuentra en preparación el Plan Nacional de Especies Invasoras, a cargo de la Comisión Nacional para el Uso y

Conocimiento de la Biodiversidad (Conabio) y otras instituciones de gobierno, dedicado a preparar, actualizar y establecer estrategias enfocadas directamente al combate de las especies invasoras. En relación a acciones concretas, existen varios reglamentos referentes a regulaciones fito y zoonitarias dirigidos a evitar la entrada de plagas y de especies de potencial interés cuarentenario (Conabio, 2008).

Internacionalmente, existen diversos instrumentos vinculantes y no vinculantes relacionados con las especies invasoras. Entre ellos destaca el Convenio sobre la Diversidad Biológica, ratificado por México en 1993, y que estipula que cada Parte contratante “impedirá que se introduzcan, controlará o erradicará las especies exóticas que amenacen a ecosistemas, hábitats o especies”. También debe mencionarse el Programa Mundial sobre Especies Invasoras, (GISP, por sus siglas en inglés), establecido en 1997, y cuyo objetivo es apoyar a los gobiernos y otras organizaciones a utilizar las mejores prácticas disponibles para controlar las invasiones y promover el desarrollo de herramientas y estrategias adicionales necesarias para mejorar la gestión mundial de estas especies.

Referencias:

Conabio. Sistema de información de especies invasoras en México. México. 2008. Disponible en: www.conbio.gob.mx/invasoras/index.php/Especies
Fecha de consulta: 21-10-2008.

Recuadro

La invasión biológica global (conclusión)

Emerton, L. y G. Howard. *A Toolkit for the Economic Analysis of Invasive Species*. Global Invasive Species Programme. Nairobi. 2008. Disponible en www.gisp.org/publications/toolkit/index.asp Fecha de consulta: 28-10-2008.

GISP. *Sudamérica invadida. El Programa Mundial sobre Especies Invasoras*. 2005. Disponible en: www.gisp.org/publications/invaded/gispSAmericasp.pdf Fecha de consulta: 28-10-2008.

Hernández, G., E. Lahmann y R. Pérez-Gil. *Invasores en Mesoamérica y el Caribe*. Costa Rica. IUCN. 2002. Disponible en: www.iucn.org/resources/publications/publications_search/index.cfm Fecha de consulta: 27-10-2008.

IUCN. *IUCN Guidelines for the Prevention of Biodiversity Loss caused by Alien Invasive Species*. 2000. Disponible en: www.issg.org/infpaper_invasive.pdf Fecha de consulta: 28-10-2008.

Lowe S., M. Browne, S. Boudjelas, M. De Poorter. *100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del Mundo*. Una selección del Global Invasive Species Database. ISSG, IUCN, CSE. 2004. Disponible en: www.issg.org/spanish.pdf Fecha de consulta: 17-10-2008.

Pimentel, D., R. Zuñiga y D. Morrison. Update on the environmental and economic costs associated with alien. Invasive species in the United States. *Ecological Economics* 52:273-288.

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 ciertos ecosistemas, como las selvas perennifolias y los bosques mesófilos de montaña.

Los efectos del fuego sobre los ecosistemas son diversos y dependen de su intensidad y frecuencia. Su mayor efecto es la eliminación de la biomasa vegetal que 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 algunas especies (sobre todo aquellas con baja capacidad de movimiento) sucumben en los incendios, lo que puede causar la reducción de sus poblaciones e incluso, ocasionar su extinción local. En el periodo 2000-2008 se registró un promedio anual de 7 mil 965 incendios forestales, con una superficie afectada promedio de poco más de 211 mil hectáreas por año (**Cuadros D3_RFORESTA05_01 y D3_RFORESTA05_02; IB 7-3**). Debe destacarse que 1998 fue un año particularmente destructivo en materia de incendios forestales en el país, registrándose 14 mil 445 conflagraciones y una superficie afectada cercana a las 849 mil 632 hectáreas. La mayor parte de la superficie afectada ese año correspondió a pastizales, arbustos y matorrales; cerca del 23% correspondió a zonas arboladas (**Cuadro D3_RFORESTA05_03**).

El aprovechamiento ilegal de especímenes de la vida silvestre es también una de las actividades que amenazan a la biodiversidad. Esta práctica incluye la cacería furtiva, captura, colecta, transporte y comercio no autorizado de ejemplares. Por los ingresos que genera, se considera como la tercera actividad ilícita más importante a nivel internacional, después del tráfico de drogas y armas (Conabio, 1998). En México, entre 1996 y 2006, el promedio de especímenes, productos y subproductos de la vida silvestre asegurados por operativo de inspección mantuvo un comportamiento irregular: alcanzó su máximo nivel en los años 2001 y 2002, con alrededor de 115 piezas, después de lo cual se redujo, en los últimos años del periodo citado, a valores de hasta 11 piezas por operativo en 2008 (Figura 4.8; **IB 6.4-1**). Es importante mencionar que estos datos tan sólo representan el tráfico mínimo detectable, debido a que se desconoce el volumen total de piezas que se trafican ilegalmente dentro y fuera del país.

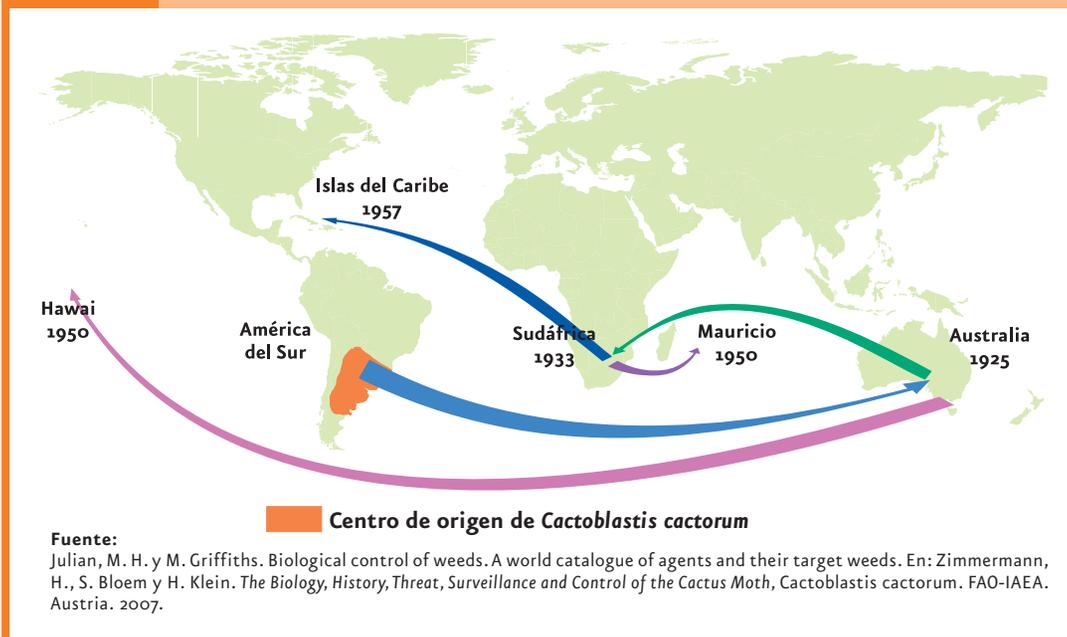


La palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*) es una de las cinco especies del género que habita naturalmente el norte de Argentina, Uruguay, Paraguay y la región sur de Brasil (Mapa a). Las palomillas hembras de esta especie depositan sus huevos sobre las pencas de distintas especies de nopales (género *Opuntia*, Cactaceae), los cuales al eclosionar producen larvas que viven de manera gregaria y se alimentan vorazmente de los tejidos de las pencas. Las larvas causan generalmente severos daños (tanto por la pérdida del tejido como por la infección secundaria por patógenos), que en muchos casos causan la muerte de los nopales, sobre todo de los ejemplares jóvenes (Zimmerman *et al.*, 2007).

Dada su capacidad para atacar a los nopales, la palomilla fue liberada en 1925 en Australia como control biológico para erradicar a las poblaciones de *Opuntia stricta*, una especie extendida en alrededor de 25 millones de hectáreas en Queensland y Nueva Gales del Sur. Para 1940, las palomillas del nopal habían erradicado casi completamente a esta planta de Australia, con excepción de algunas zonas costeras y del suroeste de Queensland. Ante este éxito como control biológico del nopal, la palomilla fue introducida también en Sudáfrica, Nueva Caledonia, Hawaii, Antigua, Montserrat, Kenia e Islas Caimán, entre otros países (Mapa a).

Mapa a

Introducción de *Cactoblastis cactorum* para control biológico del nopal



Recuadro

Especies invasoras en México: el caso de la palomilla del nopal (continúa)

En México, sin embargo, la invasión de las palomillas del nopal constituye un serio peligro, no sólo por la enorme riqueza de especies de nopales que habitan en el país y su importancia ecológica, sino por su valor económico (al ser empleados como alimento humano y como forraje para el ganado en las épocas de sequía) y por su importancia cultural. En nuestro territorio se contabilizan poco más de 80 especies de nopal, de las cuales 19 se consideran susceptibles de ser afectadas por este insecto (Conabio, 2008). Las zonas de nopaleras naturales más susceptibles al arribo de la palomilla se encuentran en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y el altiplano potosino-zacatecano, mientras que, en el caso de las zonas en las que se cultiva como alimento, las más susceptibles se concentran en los estados de México, Morelos, San Luis

Potosí, Puebla y el Distrito Federal (Mapa b).

En agosto del 2006 se confirmó la presencia de la palomilla del nopal en Isla Mujeres, y poco tiempo después en playa Ballena en Cancún y en playa del Niño, también en Quintana Roo. Sin embargo, gracias a la rápida implementación de medidas de erradicación en las zonas donde se encontró, y a la puesta en marcha de medidas de monitoreo para detectar su presencia, el brote fue eliminado antes de que se lograra establecer. Para septiembre de 2008, la Sagarpa anunció oficialmente que este brote había sido erradicado.

Aunque hasta ahora se considera que *Cactoblastis cactorum* no ha conseguido establecerse en México, no se descarta que

Mapa b

Áreas de alta vulnerabilidad a *Cactoblastis cactorum*

Zonas rojas:

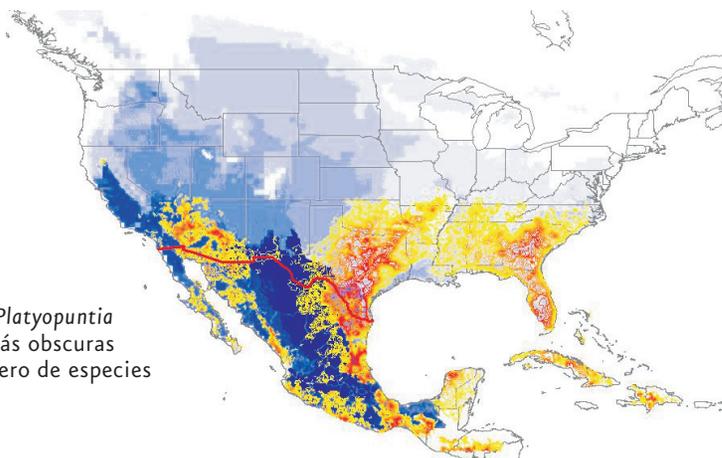
Áreas con clima similar a los sitios de distribución nativos de *Cactoblastis cactorum*

Zonas azules:

Riqueza de especies de *Platyopuntia* (cactáceas), las zonas más oscuras representan mayor número de especies

Fuente:

Conabio. México. 2008.



Recuadro

Especies invasoras en México: el caso de la palomilla del nopal (conclusión)

en el futuro pudiera hacerlo ingresando a través de la zona norte del territorio o por los fenómenos hidrometeorológicos que acarrearán a los insectos desde las islas del Caribe. Con la finalidad de emprender medidas en caso de su aparición, actualmente continúan las actividades de monitoreo y vigilancia de las posibles rutas de entrada; también están en marcha una campaña pública de concientización, cursos de capacitación y convenios de cooperación interinstitucional a nivel nacional e internacional.

Referencias:

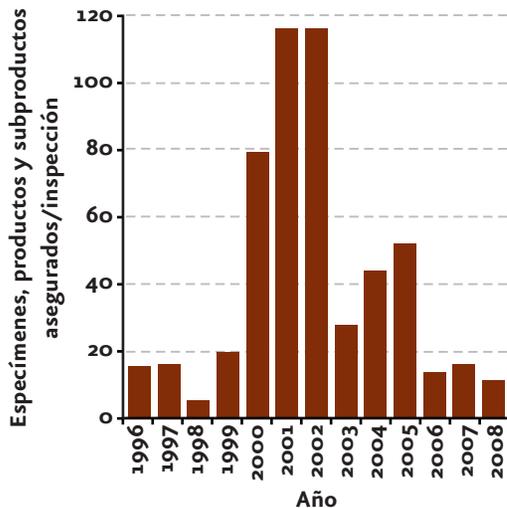
Zimmermann, H., S. Bloem y H. Klein. *The Biology, History, Threat, Surveillance and Control of the Cactus Moth, Cactoblastis cactorum*. FAO-IAEA. Austria. 2007.

Conabio. *Sistema de información sobre especies invasoras. Palomilla del nopal en México*. Disponible en: www.conabio.gob.mx/invasoras/index.php/Palomilla_del_nopal_en_M%C3%A9xico

Fecha de consulta: 21-12-2008.

Figura 4.8

Aprovechamiento ilegal de la biodiversidad en México, 1996 - 2008¹



Nota:

¹Datos preliminares a agosto.

Fuentes:

Semarnat-Profepa. *Informe Trienal 1995-1997*. México. 1998.
Semarnat-Profepa. México. 2002.
Semarnat-Profepa. *Informe Anual. Años 2002 a 2007*. México. 2003-2008.
Semarnat-Profepa. México. 2008.

Finalmente, el cambio climático global es ahora y será uno de los factores de presión más importantes para la persistencia de los ecosistemas y sus especies en México y el mundo. Se prevé que sus efectos provocarán el cambio en la distribución de muchas especies de plantas y animales, a una tasa que, en muchos casos superará su capacidad de adaptación, lo que las llevará irremediablemente a su extinción. En el capítulo de *Atmósfera*, en la sección de *Cambio climático* se presentan más detalles acerca de los efectos de este fenómeno global en la biodiversidad.

Especies en riesgo

La disminución de los tamaños poblacionales de muchas especies, producto de las actividades humanas (por alguno de los factores antes mencionados), puede comprometer su permanencia en los ecosistemas naturales y conducirlos a su extinción en el corto, mediano o largo plazos. Casos particularmente graves son los de las especies con áreas de distribución muy restringidas (en ocasiones sólo unas cuantas hectáreas, o en islas o cuerpos de agua), las que tienen tamaños

poblacionales reducidos o aquéllas que poseen ciclos de vida particularmente sensibles a los cambios ambientales.

En México la NOM-059-SEMARNAT-2001 es el documento que enlista las especies y subespecies de flora y fauna en riesgo. De acuerdo a dicha norma, actualmente el grupo taxonómico con el mayor número de especies en riesgo es el de las plantas (tanto angiospermas como gimnospermas), con 981 especies. De entre ellas, las familias con mayor número de especies en riesgo son las cactáceas (285 especies, que equivalen al 43% del total de especies descritas para el país), orquídeas (181 especies, 16%), palmas (64 especies, 54%) y agaves (39 especies, 18%). 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%), los mamíferos (295, 62%), los anfibios (197, 55%) y los peces (185, 9%). Según la norma oficial, el total de especies probablemente extintas en la vida silvestre suma 41 (19 de aves, 11 de peces, 7 de mamíferos y 4 especies de plantas).

Al respecto, en 2005 la Semarnat promovió los trabajos para actualizar los listados de especies en riesgo que componían la norma del año 2001. Como resultado, en el mes de diciembre de 2008, se publicó en el diario oficial de la federación el proyecto de modificación a la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, producto de la labor conjunta tanto de instancias gubernamentales como privadas. De acuerdo con dicho documento, el número de peces en riesgo aumentaría en 27 especies, las aves en 21 y los hongos en cinco especies. En contraste, 10

De acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2001, en México el total de especies probablemente extintas en la vida silvestre es de 41 (19 de aves, 11 de peces, 7 de mamíferos y 4 especies de plantas).

especies de plantas podrían salir del listado de riesgo. En términos generales el incremento es de 37 especies, pasando de 2 mil 583 a 2 mil 620 especies.

A nivel mundial, según la Lista Roja de Especies Amenazadas de 2008 de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), 16 mil 928 especies podrían catalogarse dentro de alguna categoría de riesgo: 3 mil 141 se consideran en peligro crítico de extinción, 4 mil 603 en peligro y 8 mil 283 en condiciones de vulnerabilidad¹. Si se analiza la lista por grupo taxonómico, se observa que las plantas son el grupo más vulnerable a nivel mundial, con cerca de 8 mil 457 especies en la lista. Le siguen los anfibios (mil 905 especies), los peces (mil 275), las aves (mil 222) y los mamíferos (mil 141). El porcentaje de las especies en las distintas categorías de riesgo, por grupo taxonómico, se muestra en la Figura 4.9.

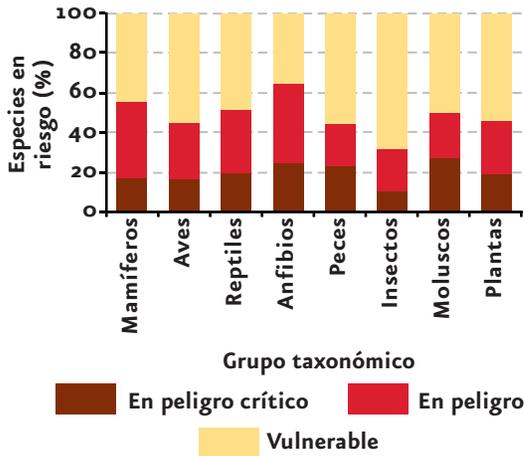
La inclusión de especies en la lista de la IUCN ha crecido de manera significativa en los últimos años para algunos grupos taxonómicos (Figura 4.10). En el caso de las plantas, el número de especies creció de 5 mil 328 en el periodo 1996-1998 a 8 mil 457 especies en el 2008, es decir, cerca de 313 especies por año. Incrementos significativos también se han observado en los anfibios (con un crecimiento en el mismo periodo de 124 a mil 905 especies; ver el Recuadro *Crisis global de los anfibios*) y en los peces (que pasaron de 734 a mil 275 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

¹La suma de las especies en las distintas categorías de riesgo no coincide con el total en virtud de que la fuente tan sólo reporta la categoría de riesgo para los principales grupos taxonómicos.

Figura 4.9

Distribución de las especies, según su grado de riesgo, en los principales grupos taxonómicos según la IUCN, 2008



Fuente: IUCN. The IUCN Red list of threatened species. The IUCN Species Survival Commission. 2008. Disponible en: www.iucnredlist.org/static/stats Fecha de consulta: 01-12-2008.

veces mayor a la estimada a partir del registro fósil (MEA, 2005). En el mundo, según la IUCN, el número de especies extintas por causas antropogénicas hasta 2008 asciende a 924, entre las que se encuentran 134 especies de aves, 91 de peces, 87 de plantas y 76 de mamíferos (ver el Recuadro *La extinción global*).

PROTECCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

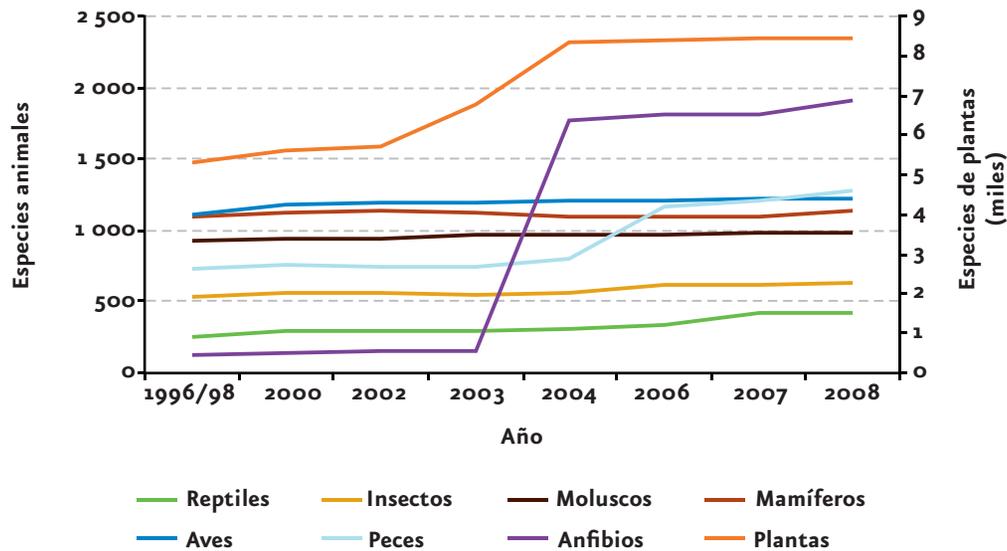
Según la IUCN, el número de especies extintas por causas antropogénicas hasta 2008 asciende a 924, entre ellas 134 especies de aves, 91 de peces, 87 de plantas y 76 de mamíferos.

Ante la pérdida de la superficie de los ecosistemas naturales y de las especies que los habitan, en México y el mundo se han implementado distintas estrategias

tendientes a reducir las presiones que los amenazan, mitigar sus efectos y revertir el deterioro. Tales estrategias se han orientado, principalmente, a

Figura 4.10

Especies de los principales grupos taxonómicos clasificadas en alguna categoría de riesgo según la IUCN, 1996 - 2008



Fuente: IUCN. The IUCN Red list of threatened species. The IUCN Species Survival Commission. 2008. Disponible en: www.iucnredlist.org/static/stats Fecha de consulta: 01-12-2008.

Los anfibios, que incluyen a ranas, sapos, salamandras y cecilias, son un grupo de organismos que tiene un papel ecológico esencial en los ecosistemas del mundo (Pounds *et al.*, 2006). Constituyen parte importante de las redes tróficas, son presas y depredadores al mismo tiempo y regulan las poblaciones de insectos que, en algunos casos, pueden ser plagas de cultivos o transmisores de enfermedades a los seres humanos, como la malaria o el dengue, además de su importancia en los ecosistemas por su biomasa. En los últimos años se han publicado numerosos estudios científicos que documentan la extinción y la rápida reducción de las poblaciones de muchas especies de anfibios a nivel global (Blaustein y Brancroft, 2007; Picco y Collings, 2007; Pounds *et al.*, 2008; Wake y Vredenburg, 2008; IUCN, 2008). Entre los casos más famosos están el de la rana de patas amarillas (*Rana sierrae*) que se encontraba ampliamente distribuida en las zonas altas de la Sierra Nevada de California, en los Estados Unidos y el de la rana dorada (*Incilius periglenes*) de los bosques tropicales de Costa Rica, cuyo último avistamiento se registró en 1989.

Los datos sobre la crisis que viven los anfibios son contundentes. El número de especies descritas en el mundo para el grupo asciende a 6 mil 347 (Frost, 2008), de las cuales la IUCN incluyó a 30% de ellas (es decir, mil 905) en alguna de las tres categorías de riesgo que emplea la organización: 475 en peligro crítico, 755 en peligro y 675 como

vulnerables. De las especies de anfibios en riesgo, 85.4% pertenecen al orden Anura (es decir, al de las ranas y sapos), 14.3% al orden Caudata (salamandras) y 0.3% al orden Gymnophiona (cecilias; IUCN, 2008).

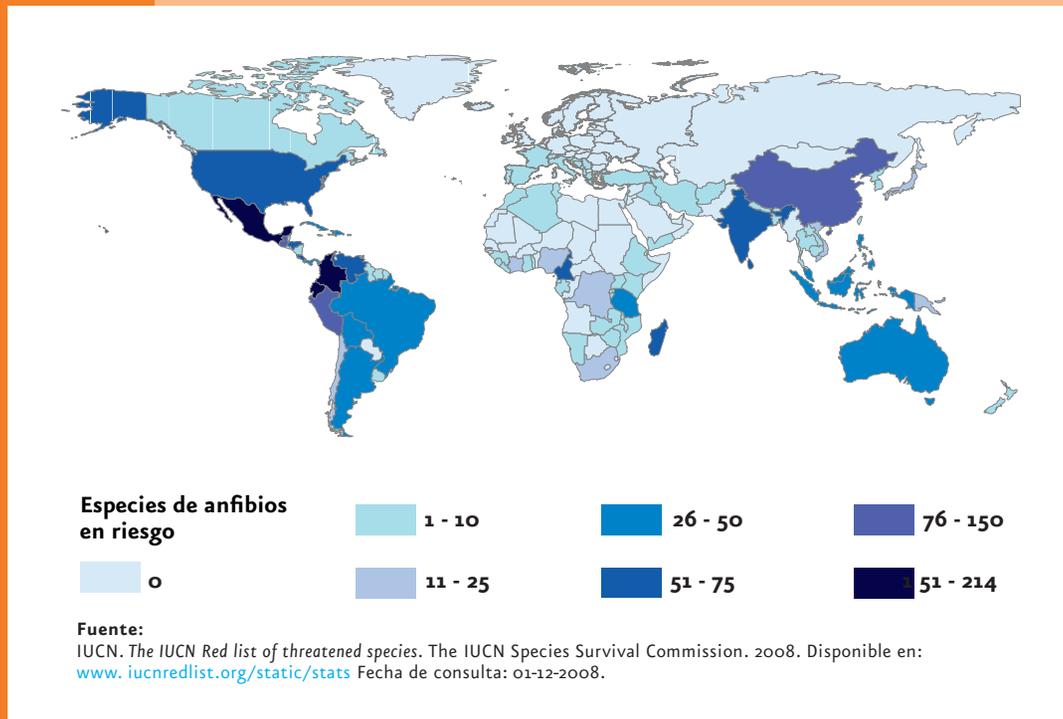
La velocidad a la cual se reducen y desaparecen las poblaciones y especies de muchos anfibios en todo el mundo es muy acelerada. Se calcula que su tasa actual de extinción es 211 veces mayor a la estimada a partir del registro fósil, y se puede incrementar desde 25 mil hasta 45 mil veces si en los cálculos se incluyen a las especies que se encuentran en inminente peligro de extinción (McCallum, 2007). Si se analiza la geografía del riesgo de las especies de anfibios a nivel global, los países con mayor número de especies en alguna de las categorías de riesgo son Colombia, Ecuador y México, seguidos por China, Estados Unidos, India y Madagascar (Mapa a).

El caso de los anfibios mexicanos

Para nuestro país se tienen registradas 361 especies de anfibios, de las cuales 174 (es decir, 48.2%) son endémicas (Conabio, 2008). Los ecosistemas que habitan son diversos, y van desde ríos, lagos y lagunas, bosques húmedos y semihúmedos, hasta chaparrales y matorrales xerófilos (Lips *et al.*, 2004). De acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2001, 106 especies de ranas y sapos, 89 de salamandras y dos de cecilias están en alguna categoría de riesgo; según su grado de riesgo, de las 197 especies,

Mapa a

Especies de anfibios en riesgo por país según la IUCN, 2008



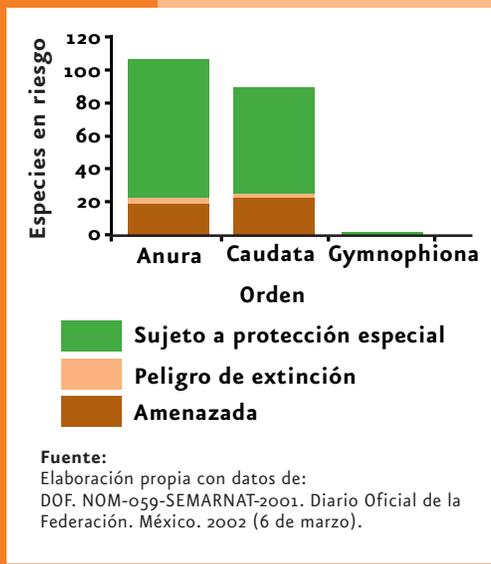
149 están sujetas a protección especial, 42 están en la categoría de amenazadas y seis en peligro de extinción (Figura a). Cabe señalar que el número de especies citado en la norma es menor en 14 especies que las 211 que consideró la Lista Roja de la IUCN para México en 2008.

Causas del declive de los anfibios

Cuando se comenzó a describir la pérdida de los anfibios a finales de la década de los años 80, las causas que provocaban dicho fenómeno eran desconocidas. Paulatinamente se ha comprobado que factores tales

como el hongo patógeno causante de la quitridiomycosis, cambios microclimáticos del hábitat resultado del cambio climático global, tráfico ilegal de especies, pérdida de hábitat por desecación de los cuerpos de agua, cambios en el uso del suelo, contaminación de los cuerpos de agua, introducción de especies exóticas y la urbanización son las principales causas del declive de los anfibios (Santos-Barrera, 2004; Pounds et al., 2006; Wake y Vredenburg, 2008). Es importante mencionar que es probable que su efecto sinérgico, y no individual, sea la causa de las reducciones en las poblaciones de estos organismos (Santos-Barrera, 2004).

Figura a Anfibios en riesgo en México



Referencias:

Blaustein A. R. y B.A. Bancroft. Amphibian population declines: evolutionary considerations. *Bioscience* 57: 437-444. 2007.

Conabio. Dirección técnica de análisis y prioridades. Coordinación de información y servicios externos. México. 2008.

Frost, D. R. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 5.2 (15 July, 2008). American Museum of Natural History, New York, USA. Disponi-

ble en: <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.php>.

IUCN. *The IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN Species Survival Commission. 2008. Disponible en: www.iucnredlist.org/static/stats Fecha de consulta: 19-12-2008.

Lips, R.K. J.R. Mendelson III, A. Muñoz-Alonso, L. C-Márquez, D.G. Mulcahy. Amphibian population declines in montane southern Mexico: resurveys of historical localities. *Biological Conservation* 119: 555-564. 2004.

McCallum, M.L. Amphibian decline or extinction? Current declines dwarf background extinction rate. *Journal of Herpetology* 41: 483-491. 2008.

Picco, A.M. y J.P. Collins. Amphibian commerce as a likely source of pathogen pollution. *Conservation Biology* 22: 1582-1589. 2008.

Pounds, J.A., A.C. Carnaval, R. Puschendorf, C.F. Haddad y K.L. Masters. Confronting amphibian declines and extinction. *Science* 313: 48-2006.

Pounds, A., J. Savage y F. Bolaños. *Incilius periglenes*. In: IUCN. *The IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN Species Survival Commission. 2008. Disponible en: www.iucnredlist.org/details/3172 Fecha de consulta: 09-12-2008.

Santos-Barrera, G. Las enfermedades infecciosas y su papel en la declinación mundial de las poblaciones de anfibios. *Biodiversitas* 56: 1-6. 2004.

Wake, D.B. y V. T. Vredenburg. Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 11466-11473. 2008.

dos de los niveles de la biodiversidad: las especies y los ecosistemas. Aun cuando se han dedicado esfuerzos para la preservación de la riqueza genética de las poblaciones de algunas especies (principalmente las domesticadas de importancia alimenticia o comercial), éstos han sido muy específicos.

En el caso de las acciones implementadas para la conservación o recuperación de especies con

algún interés particular, destaca el desarrollo de los Programas de Recuperación de Especies Prioritarias (PREP). 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

La extinción es un fenómeno común a todas las especies del planeta. Su importancia como evento de la historia biológica global es tal, que se calcula que tan sólo entre el 2 y el 4% de las especies que han habitado el planeta forman parte hoy día de los ecosistemas mundiales (IUCN, 2007).

La biodiversidad global se encuentra en el periodo de extinción más importante desde la última gran crisis registrada a finales del Cretácico, hace 65 millones de años. A diferencia de las grandes extinciones del pasado, la que hoy día enfrenta la biodiversidad tiene sus causas en el desarrollo de las sociedades modernas. El acelerado crecimiento poblacional observado en el siglo XX, acompañado por la intensa transformación de los ecosistemas naturales, la contaminación del aire, suelo y agua, así como por la sobreexplotación de los recursos naturales, llevó a la pérdida de numerosas especies y a la inclusión de varios miles en las listas de riesgo.

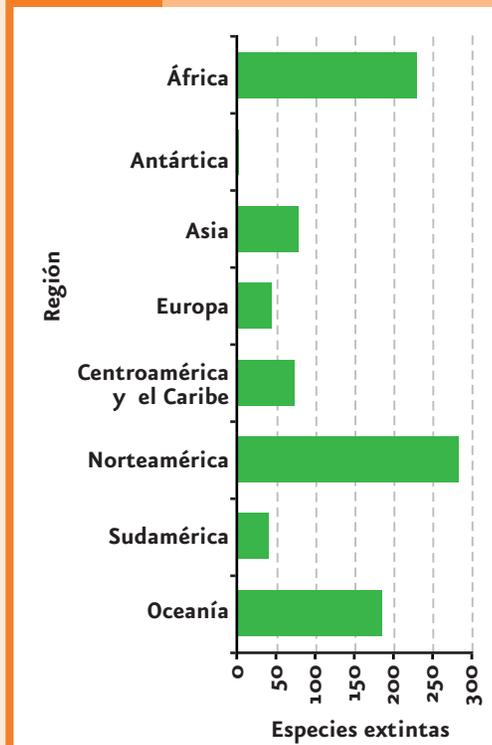
Las extinciones desde el año 1500 y hacia el futuro

De acuerdo con la IUCN, desde el año 1500 han desaparecido, a nivel global, un total de 924 especies (IUCN, 2008). A la cifra anterior se suman 93 especies (65 de animales y 28 de plantas) que han desaparecido del medio silvestre pero que permanecen con ejemplares vivos en jardines botánicos o zoológicos.

El mayor número de extinciones corresponde a los invertebrados (357 especies), seguidos

por las aves (134) y los peces (91). Por el contrario, el grupo con menor número de especies extintas es el de los reptiles, con tan sólo 21 especies. La región que ha registrado el mayor número de pérdidas es Norteamérica, con 281 especies, seguida por África (228) y Oceanía (183). Las regiones con menor pérdida, según el mismo reporte, son Europa (43), Sudamérica (38) y Antártica (con una especie; Figura a).

Figura a Extinciones por regiones en el mundo, 1500 - 2008

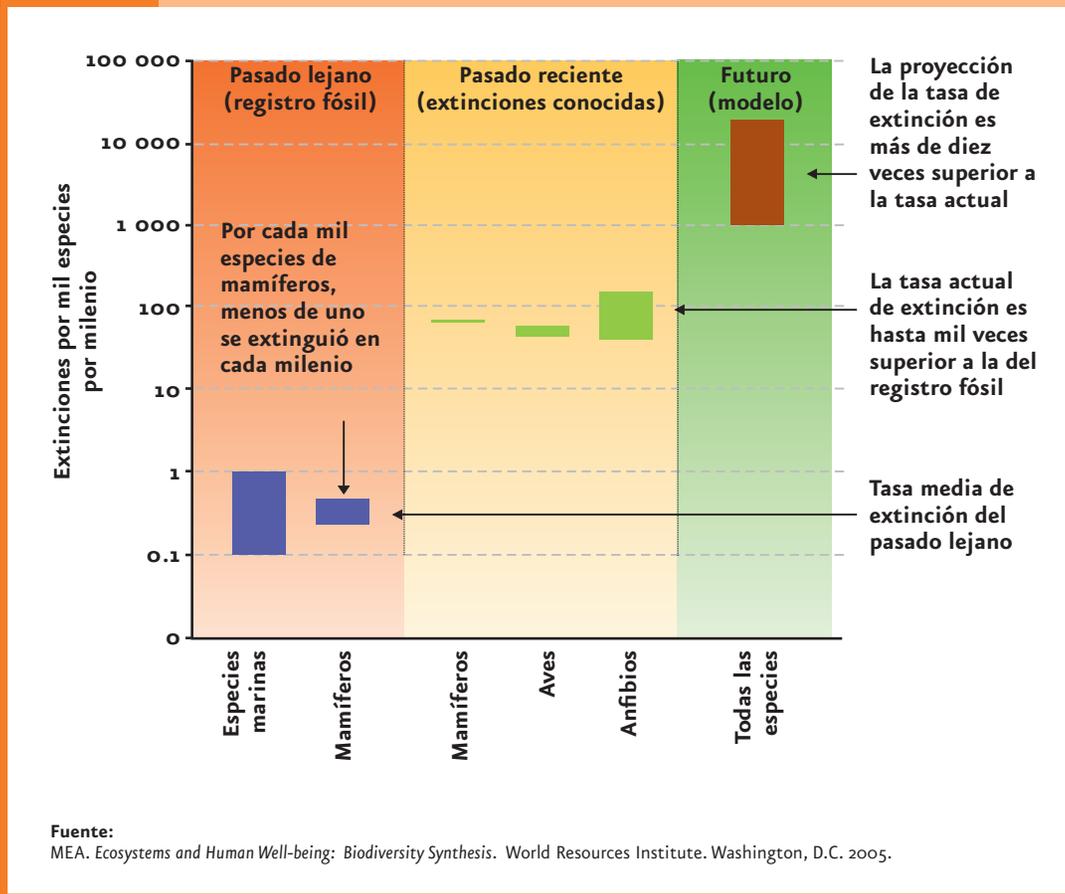


Fuente: IUCN. *The IUCN Red List of Threatened Species*. The IUCN Species Survival Commission. 2008. Disponible en: www.iucnredlist.org/static/stats Fecha de consulta: 01-12-2008.

Las causas documentadas de las extinciones, particularmente en islas, son debidas a la introducción de especies (39%), la destrucción de sus hábitats (36%) y a la caza y la exterminación intencional (23%; Harrison, 2000). En el caso de los ecosistemas continentales las causas principales de la disminución de la biodiversidad son la pérdida y degradación de los ecosistemas y la introducción de especies (Gombridge y Jenkins, 2002).

De acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005), la tasa de extinción observada en la actualidad es de cien a mil veces mayor que la tasa promedio estimada en el registro fósil (Figura b). Dada la inercia que siguen las fuerzas impulsoras de la pérdida de la biodiversidad, es probable que el fenómeno de extinción que vivimos actualmente, y sus consecuencias, se prolonguen por varios milenios. Se calcula

Figura b Tasas de extinción de algunos grupos taxónomicos en el registro fósil, en la actualidad y el futuro



que probablemente la tasa de extinción en el futuro será diez veces mayor a la que se ha calculado para el presente.

Referencias:

Harrison, P. y F. Pearce. *AAAS Atlas of Population and Environment*. Victoria Dompka Markham (Ed). American Association for the Advancement of Science and the University of California Press. 2000. Disponible en: atlas.aaas.org/index.php?sub=about Fecha de consulta: 01-12-2008.

Groombridge, B. y M. D. Jenkins. *World Atlas of Biodiversity*. UNEP-WCMC. University of California Press. USA. 2002.

IUCN. *The IUCN Red List of Threatened Species*. The IUCN Species Survival Commission. 2007.

IUCN. *The IUCN Red List of Threatened Species*. The IUCN Species Survival Commission. 2008. Disponible en: www.iucnredlist.org/static/stats Fecha de consulta: 01-12-2008.

MEA. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute. Washington, D.C. 2005.

que, a juicio de los especialistas, deberían ser consideradas como especies prioritarias. Hasta 2008 se habían elaborado y publicado un total de catorce programas para distintos grupos y especies (Tabla 4.1).

En 2008, bajo la guía de la Conanp, se inició el Programa de Especies Prioritarias para la Conservación, el cual busca proteger a las especies mexicanas más amenazadas, en particular aquellas inscritas en la Lista Roja de especies en riesgo de la IUCN y algunas otras emblemáticas para la cultura de nuestro país. Adicionalmente, y con el fin de proteger a las especies de tortugas marinas que anidan en las playas del país, se desarrolla el Programa Nacional de Protección, Conservación, Investigación y Manejo de Tortugas Marinas, ahora a cargo de la Conanp, que coordina los 27 Centros para la Conservación de las Tortugas Marinas y el Centro Mexicano de la Tortuga, todo ello en 13 estados costeros del país (ver el Recuadro *Las tortugas marinas mexicanas*).

Para el caso de la conservación de los ecosistemas, se han seguido dos estrategias principales. Por un lado, destacan los esfuerzos en materia de la

preservación de la integridad de los ecosistemas y de sus servicios ambientales (específicamente a través de la creación de Áreas Naturales Protegidas y de los Programas de Pago por Servicios Ambientales), y por otro, los esfuerzos encaminados al aprovechamiento sustentable de la biodiversidad (p. e. 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 última línea también existen programas de otros sectores (forestal, principalmente) que promueven 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 éstos y otros programas pueden encontrarse en el capítulo de *Ecosistemas terrestres*.

Áreas Naturales Protegidas (ANP)

La creación de ANP ha sido, a nivel global, la principal estrategia de conservación en respuesta a la destrucción de los ecosistemas naturales desde el siglo pasado. Estas áreas son porciones

Tabla 4.1
Proyectos publicados de conservación y recuperación de especies prioritarias, 1999 - 2008

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 de los Crocodylia 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 del Berrendo (<i>Antilocapra americana</i>) en México.	2000
Programa Nacional de Protección, Conservación, Investigación y Manejo de Tortugas Marinas.	2000
Proyecto para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de los Pinnípedos en México.	2000
Proyecto para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de los Psitácidos en México.	2000
Protección, Conservación y Recuperación de la Familia Zamiaceae (Cycadales) de México.	2000
Proyecto de Conservación y Recuperación de la Familia Palmaea (Arecaceae) de México.	2001
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>).	2004
Proyecto para la Conservación y Manejo del Jaguar en México.	2006

Fuente:

Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2008. Disponible en: www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/vidasilvestre/Pages/proyectosderepoblacion.aspx Fecha de consulta: 01-12-2008.

Las tortugas marinas son importantes por su papel ecológico dentro de los ecosistemas marinos y costeros, contribuyendo a la salud y al mantenimiento de los arrecifes coralinos, las praderas de pastos marinos, los estuarios y las playas arenosas (Bouchard y Bjorndal, 2000). En todo el mundo, y desde mucho tiempo atrás, estas especies han sido aprovechadas para obtener diversos productos (entre los que destacan su carne, huevos, piel y carey), lo que según la más reciente evaluación de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2008), coloca a todas las especies conocidas en alguna categoría de riesgo. Las principales actividades humanas que las amenazan 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).

México es el país con el mayor número de especies de tortugas marinas en el mundo. Siete de las ocho especies reconocidas a nivel mundial –si se reconoce a la tortuga prieta como una especie distinta– anidan en las playas nacionales, tanto en las del Pacífico como en las del Golfo de México y el Caribe: caguama (*Caretta caretta*), blanca o verde (*Chelonia mydas*), prieta (*Chelonia agassizii*), carey (*Eretmochelys imbricata*), lora (*Lepidochelys kempii*), golfina (*Lepidochelys olivacea*) y laúd (*Dermochelys coriacea*). Dos de ellas, la lora y la prieta se reproducen exclusivamente en playas mexicanas (Mapa a).

En México, la protección y conservación de las tortugas marinas se lleva a cabo principalmente en los llamados campamentos tortugueros ([Cuadro D3_R_BIODIV04_05](#)), dentro del Programa Nacional de Protección, Conservación, Investigación y Manejo de Tortugas Marinas el cual, a partir del año 2005, pasó de la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) a la Dirección General de Operación Regional de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp). Actualmente existen 27 campamentos, denominados Centros de Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CPCTM), 9 en el Golfo de México (Tamaulipas, Veracruz y Campeche), 3 en el Caribe (Yucatán y Quintana Roo) y 15 en el Pacífico (Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas), incluido el Centro Mexicano de la Tortuga, ubicado en Mazunte, Oaxaca (Figura a). En Los Cabos, Baja California, existe un campamento que depende también de la Conanp, que sin ser centro de protección de tortugas, realiza actividades de protección en diferentes playas de anidación de la zona.

En estos campamentos, la especie que cuenta con la mayor atención es la golfina (con 15 campamentos), seguida por la laúd (11) y la blanca (10). Las tortugas que se atienden en un menor número de ellos son la carey y la prieta (tres campamentos cada una) y la caguama (un campamento; Figura b). Además de los CPCTM, existen otros 174 campamentos tortugueros, tanto fijos como temporales, que también llevan a cabo

Mapa a

Ubicación de las playas de anidación y los campamentos tortugueros en México, 2008



Figura a

Campamentos tortugueros operados por la Conanp¹ por entidad federativa, 2008



Figura b

Campamentos tortugueros operados por la Conanp¹ por especie, 2008



acciones de protección y conservación y son operados bajo convenios de colaboración por organismos no gubernamentales, dependencias de gobiernos estatales y centros de investigación.

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 a todas las especies que anidan en las playas nacionales, el número de crías liberadas entre 1996 y 2001 en los campamentos se mantuvo

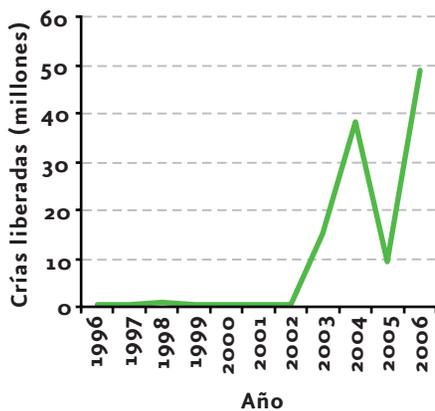
relativamente constante, a pesar de ligeras fluctuaciones, con un promedio de alrededor de 553 mil crías por año (IB 6.4.2-4). A partir de 2003 se registró un incremento importante, alcanzando en 2006 el valor más alto con 49.5 millones de crías liberadas (Figura c). Cabe señalar que el incremento fue resultado principalmente, de que se recabaron datos de un mayor número de campamentos y no de un éxito inusitado de su manejo.

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



Figura c

Crías de tortugas marinas liberadas en los campamentos tortugueros operados por la Conanp¹, 1996 - 2006

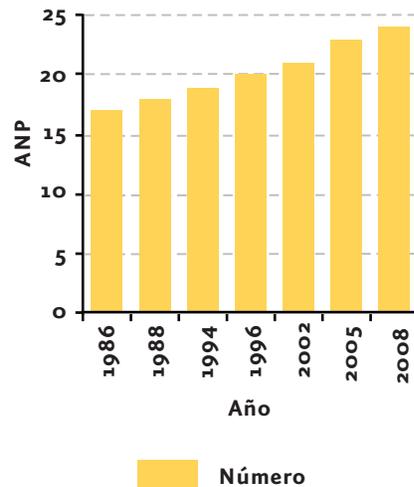


Nota:
¹Hasta 2005, estos campamentos fueron operados por la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS).

Fuentes:
 Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2007.
 Semarnat, Conanp. Dirección de Especies Prioritarias para la Conservación. *Programa Nacional de tortugas marinas*. México. 2007.

Figura d

Áreas naturales protegidas federales que protegen a las tortugas marinas, 1986 - 2008



Fuente:
 Elaboración propia con datos de: Conanp. México. 2008.

de ellas han sido creadas directamente para la protección de estos animales, otras las han incluido paralelamente dentro de sus objetivos. Para el año 2008, 24 ANP federales decretadas tenían entre sus objetivos la protección de las tortugas marinas (Figura d; **IB 6.4.2-7**).



Referencias:

Bouchard, S. y K. A. Bjorndal. Sea turtles as biological transporters of nutrients and energy from marine to terrestrial ecosystems. *Ecology* 81: 2314-2330. 2000.

Conanp. *Tortugas marinas*. 2008. Disponible en: www.conanp.gob.mx/tortuga_marina.html Fecha de consulta: 20-01-2009.

PNUMA. Las tortugas del Caribe, próximas a la extinción, alerta estudio. 2004. Disponible en: www.pnuma.org/informacion/noticias/2004-11/29novo4e.doc Fecha de consulta: 01-12-2008.

Traffic. *Priority Species: Marine Turtles*. 2004.

IUCN. *The IUCN Red list of threatened species*. The IUCN Species Survival Commission. 2008. Disponible en: www.iucnredlist.org/ Fecha de consulta: 01-12-2008.

terrestres o acuáticas (ya sean continentales o marinas), representativas de diversos ecosistemas, en donde el ambiente original no ha sido alterado significativamente por la actividad humana, que proporcionan servicios ambientales de diversos tipos, e incluso pueden albergar recursos naturales importantes o especies de importancia ecológica, económica y/o cultural.

En el mundo, el crecimiento en el número y la superficie de ANP ha sido muy significativo en las últimas décadas. En 1972 se habían declarado 3 mil 392 áreas con una superficie de 2.78 millones de kilómetros cuadrados, las cuales para el año 2007 se habían incrementado a 107 mil 34 áreas, contabilizando alrededor de 19.6 millones de kilómetros cuadrados (UNEP, 2008). En este último año, la mayor superficie neta de ANP se encontraba en Asia (5.7 millones de km², es decir, 29.2% del total de área protegida en el mundo), seguida de Sudamérica (3.6 millones de km², 18.6%) y Norteamérica (3.5 millones de km², 17.9%; Figura 4.11). Las regiones con la menor superficie de ANP son Centroamérica y el Caribe (247.6 mil hectáreas, 1.27% del área protegida global) y Antártica (69.7 mil hectáreas, 0.35%).

En México, la creación de ANP también ha sido la estrategia de conservación más utilizada en los niveles federal y estatal. Actualmente, la Conanp es la responsable de todas las actividades que se realizan en las ANP federales del país. La entrada formal de México a la corriente internacional de parques nacionales comenzó durante el periodo del presidente Venustiano Carranza, con el decreto para constituir al Desierto de los Leones como el primer parque nacional en 1917 (Melo, 2002).

Durante los últimos años se ha realizado un esfuerzo considerable para incrementar el número de áreas protegidas en México. En 1997 existían 130 áreas con una superficie total de alrededor de 18.9 millones de hectáreas, es decir, 9.7% de

la superficie nacional. Para octubre de 2008, se tenían 166 ANP y una superficie protegida de aproximadamente 23.3 millones de hectáreas, de las cuales 18.7 millones corresponden a zonas terrestres (alrededor del 80.6% del total de la superficie protegida) y poco más de 4.5 millones de hectáreas a zonas marinas (19.4%; Figura 4.12; Tabla 4.2; Mapa 4.2; **Cuadro D3 BIODIV04 12; IB 6.1-6, 6.3-10, 6.3.1-5, 6.4.1-7 y 6.4.2-7**).



La superficie nacional protegida en 2008 equivale al 11.9% de la superficie terrestre del país, porcentaje ligeramente inferior al promedio de los países de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) calculado para 2007 (12.7%; Figura 4.13) y al promedio mundial para ese mismo año (12.2%). Si se considera la superficie total protegida, México ocupa uno de los primeros cinco lugares dentro de la OCDE, tan sólo detrás de los Estados Unidos, Australia, Canadá y Alemania (OCDE, 2008).

En octubre de 2008, México contaba con 166 ANP que cubrían aproximadamente 23.3 millones de hectáreas (11.9% de la superficie terrestre del país).

La mayoría de los ecosistemas del país están representados dentro de las ANP. En la porción terrestre predominan los matorrales xerófilos de zonas áridas (cerca de 6.8 millones de hectáreas, 37.7% de la superficie terrestre protegida), los bosques templados (3.3 millones de hectáreas, 18.4%) y las selvas subhúmedas y húmedas (3.1 millones de hectáreas, 9.3% y 7.8%, respectivamente) los que ocupan la mayor proporción (Figura 4.14). Por su parte, las ANP marinas protegen importantes zonas de arrecifes coralinos: para julio de 2008, un total de 15 ANP protegían estos ecosistemas (**IB 6.3.1-5**).



De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), existen seis categorías de manejo para las ANP: 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 (APFyF) y

Figura 4.11

Áreas naturales protegidas por región en el mundo, 2007

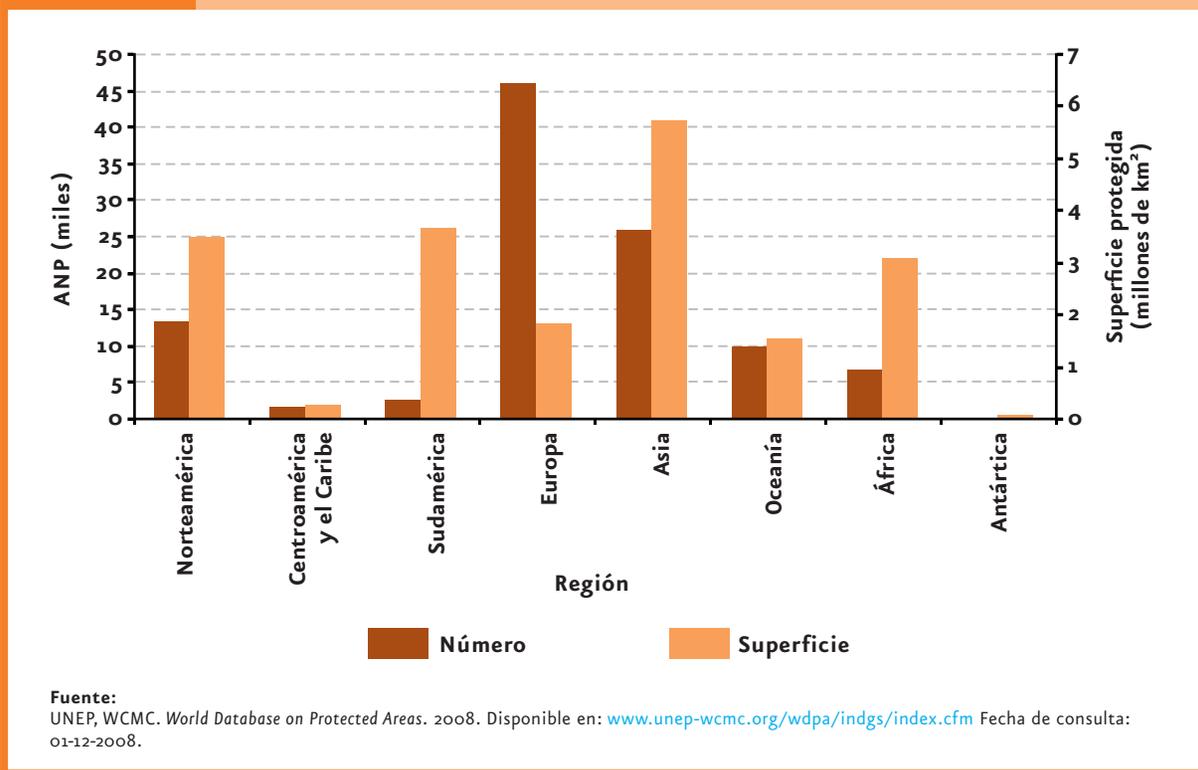


Figura 4.12

Crecimiento histórico de las áreas naturales protegidas¹ en México, 1997 - 2008

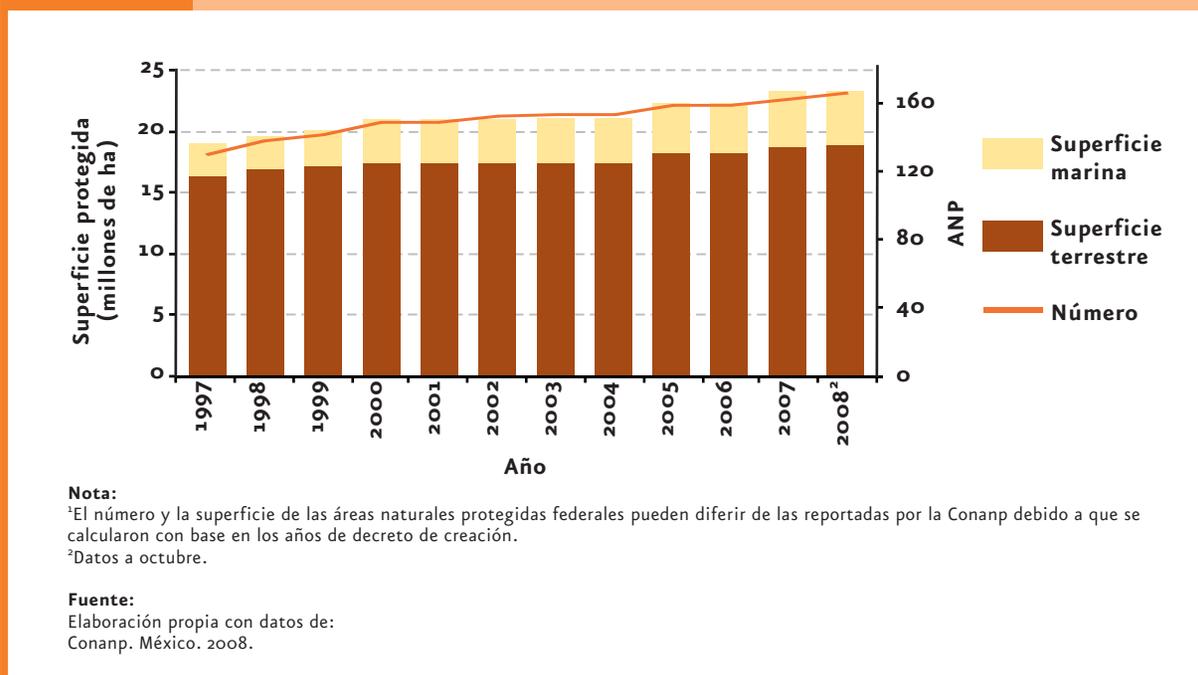


Tabla 4.2
Áreas naturales protegidas, categoría de manejo y superficie calculada en México, 2008

ANP	Entidad federativa	Categoría de manejo ¹	Superficie calculada (ha)	
			Terrestre	Marina
Cuenca Alimentadora del Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit	Aguascalientes, Durango, Jalisco, Nayarit y Zacatecas	APRN	1 553 438	0
Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 004 Don Martín	Coahuila	APRN	1 519 385	0
Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 01 Pabellón	Aguascalientes y Zacatecas	APRN	97 700	0
Cuenca de los Ríos Valle de Bravo, Mascattepec, Tilostoc y Temascaltepec	Estado de México y Michoacán	APRN	172 879	0
Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa	Hidalgo y Puebla	APRN	41 692	0
La Fraileskana	Chiapas	APRN	177 546	0
Las Huertas	Colima	APRN	167	0
Bala'an K'aax	Quintana Roo y Yucatán	APFyF	128 390	0
Boquerón de Tonalá	Oaxaca	APFyF	3 912	0
Cabo San Lucas	Baja California Sur	APFyF	208	3788
Campo Verde	Chihuahua y Sonora	APFyF	108 067	0
Cañón de Santa Elena	Chihuahua	APFyF	279 257	0
Cañón del Usumacinta	Tabasco	APFyF	45 628	0
Cascadas de Agua Azul	Chiapas	APFyF	2 316	0
Chan-Kin	Chiapas	APFyF	12 182	0
Ciénegas del Lerma	Estado de México	APFyF	3 024	0
Corredor Biológico Chichinautzin	Distrito Federal, Morelos y Estado de México	APFyF	37 195	0
Cuatrociénegas	Coahuila	APFyF	84 225	0
El Jabalí	Colima	APFyF	5 065	0
Islas del Golfo de California	Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa	APFyF	314 736	0
La Primavera	Jalisco	APFyF	30 661	0
Laguna de Términos	Campeche	APFyF	548 127	157 982
Laguna Madre y Delta del Río Bravo	Tamaulipas	APFyF	572 809	0
Maderas del Carmen	Coahuila	APFyF	207 620	0
Manglares de Nichupté	Quintana Roo	APFyF	4 257	0
Meseta de Cacaxtla	Sinaloa	APFyF	50 760	0
Metzabok	Chiapas	APFyF	3 369	0
Naha	Chiapas	APFyF	3 845	0
Otoch Ma'ax Yetel Kooh	Yucatán	APFyF	5 368	0
Papigochic	Chihuahua	APFyF	243 639	0
Sierra de Ajos/Bavispe	Sonora	APFyF	180 048	0
Sierra de Álamos-Río Cuchujaquí	Chihuahua y Sonora	APFyF	92 892	0
Sierra de Álvarez	San Luis Potosí	APFyF	13 687	0
Sierra de Quila	Jalisco	APFyF	14 168	0
Sierra La Mojonera	San Luis Potosí y Zacatecas	APFyF	9 382	0
Tutuaca	Chihuahua y Sonora	APFyF	363 440	0

Nota:

¹Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: área de protección de los recursos naturales (APRN), área de protección de flora y fauna (APFyF), monumento natural (MN), parque nacional (PN), reserva de la biosfera (RB) y santuario (S).

Tabla 4.2
Áreas naturales protegidas, categoría de manejo y superficie calculada en México, 2008 (continúa)

ANP	Entidad federativa	Categoría de manejo ¹	Superficie calculada (ha)	
			Terrestre	Marina
Uaymil	Quintana Roo	APFyF	89 081	0
Valle de Los Círios	Baja California	APFyF	2 524 930	0
Yum Balam	Quintana Roo	APFyF	52 274	101 678
Bonampak	Chiapas	MN	4 357	0
Cerro de La Silla	Nuevo León	MN	6 039	0
Yagul	Oaxaca	MN	1 076	0
Yaxchilán	Chiapas	MN	2 632	0
Archipiélago de San Lorenzo	Baja California	PN	0	58 443
Arrecife Alacranes	Yucatán	PN	53	333 962
Arrecife de Puerto Morelos	Quintana Roo	PN	38	9 052
Arrecifes de Cozumel	Quintana Roo	PN	83	13 760
Arrecifes de Xcalak	Quintana Roo	PN	4 521	13 428
Bahía de Loreto	Baja California Sur	PN	21 598	184 085
Barranca del Cupatitzio	Michoacán	PN	427	0
Benito Juárez	Oaxaca	PN	2 591	0
Bosencheve	Estado de México y Michoacán	PN	14 600	0
Cabo Pulmo	Baja California Sur	PN	39	7 061
Cañón de Río Blanco	Veracruz y Puebla	PN	48 800	0
Cañón del Sumidero	Chiapas	PN	21 840	0
Cascada de Basaseachic	Chihuahua	PN	5 911	0
Cerro de Garnica	Michoacán	PN	978	0
Cerro de la Estrella	Distrito Federal	PN	1 183	0
Cerro de las Campanas	Querétaro	PN	58	0
Cofre de Perote	Veracruz	PN	11 550	0
Constitución de 1857	Baja California	PN	4 950	0
Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc	Quintana Roo	PN	1	8 620
Cumbres de Majalca	Chihuahua	PN	4 801	0
Cumbres de Monterrey	Nuevo León y Coahuila	PN	177 395	0
Cumbres del Ajusco	Distrito Federal	PN	501	0
Desierto de los Leones	Distrito Federal	PN	1 524	0
Desierto del Carmen o de Nixcongo	Estado de México	PN	475	0
Dzibilchaltún	Yucatán	PN	539	0
El Chico	Hidalgo	PN	2 729	0
El Cimatario	Querétaro	PN	2 509	0
El Histórico Coyoacán	Distrito Federal	PN	40	0
El Potosí	San Luis Potosí	PN	2 171	0
El Sabinal	Nuevo León	PN	8	0

Nota:

¹Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: área de protección de los recursos naturales (APRN), área de protección de flora y fauna (APFyF), monumento natural (MN), parque nacional (PN), reserva de la biósfera (RB) y santuario (S).

Tabla 4.2
Áreas naturales protegidas, categoría de manejo y superficie calculada en México, 2008 (continúa)

ANP	Entidad federativa	Categoría de manejo ¹	Superficie calculada (ha)	
			Terrestre	Marina
El Tepeyac	Distrito Federal	PN	249	0
El Tepozteco	Morelos y Distrito Federal	PN	23 259	0
El Veladero	Guerrero	PN	3 617	0
Fuentes Brotantes de Tlalpan	Distrito Federal	PN	22	0
General Juan N. Álvarez	Guerrero	PN	528	0
Gogorrón	San Luis Potosí	PN	36 965	0
Grutas de Cacahuamilpa	Guerrero	PN	1 624	0
Huatulco	Oaxaca	PN	6 553	5 292
Insurgente José María Morelos	Michoacán	PN	7 192	0
Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla	Estado de México y Distrito Federal	PN	1 920	0
Isla Contoy	Quintana Roo	PN	171	4 954
Isla Isabel	Nayarit	PN	80	0
Islas Marietas	Nayarit	PN	71	1 312
Iztaccíhuatl-Popocatepetl	Estado de México, Puebla y Morelos	PN	40 591	0
Lago de Camécuaro	Michoacán	PN	5	0
Lagunas de Chacahua	Oaxaca	PN	14 920	0
Lagunas de Montebello	Chiapas	PN	6 396	0
Lagunas de Zempoala	Estado de México y Morelos	PN	4 556	0
Lomas de Padierna	Distrito Federal	PN	1 161	0
Los Mármoles	Hidalgo	PN	23 514	0
Los Novillos	Coahuila	PN	38	0
Los Remedios	Estado de México	PN	468	0
Malinche o Matlalcuéyatl	Tlaxcala y Puebla	PN	45 494	0
Molino de Flores Netzahualcóyotl	Estado de México	PN	46	0
Nevado de Colima	Jalisco y Colima	PN	6 525	0
Nevado de Toluca	Estado de México	PN	53 988	0
Palenque	Chiapas	PN	1 780	0
Pico de Orizaba	Veracruz y Puebla	PN	19 601	0
Pico de Tancítaro	Michoacán	PN	23 448	0
Rayón	Michoacán	PN	26	0
Sacromonte	Estado de México	PN	44	0
Sierra de Órganos	Zacatecas	PN	1 125	0
Sierra de San Pedro Mártir	Baja California	PN	72 909	0
Sistema Arrecifal Veracruzano	Veracruz	PN	180	52 104
Tula	Hidalgo	PN	106	0
Tulum	Quintana Roo	PN	648	0
Xicoténcatl	Tlaxcala	PN	851	0

Nota:

¹Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: área de protección de los recursos naturales (APRN), área de protección de flora y fauna (APFyF), monumento natural (MN), parque nacional (PN), reserva de la biósfera (RB) y santuario (S).

Tabla 4.2
Áreas naturales protegidas, categoría de manejo y superficie calculada en México, 2008 (continúa)

ANP	Entidad federativa	Categoría de manejo ¹	Superficie calculada (ha)	
			Terrestre	Marina
Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo	Baja California Sur	PN	0	48 655
Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado	Baja California y Sonora	RB	407 867	528 541
Archipiélago de Revillagigedo	Colima	RB	15 778	637 230
Arrecifes de Sian Ka'an	Quintana Roo	RB	1 361	33 566
Bahía de Los Angeles, Canales de Ballenas y Salsipuedes	Baja California	RB	483	387 474
Banco Chinchorro	Quintana Roo	RB	586	143 766
Barranca de Metztitlán	Hidalgo	RB	96 043	0
Calakmul	Campeche	RB	722 814	0
Chamela-Cuixmala	Jalisco	RB	13 136	0
Complejo Lagunar Ojo de Liebre	Baja California y Baja California Sur	RB	60 343	0
El Pinacate y Gran Desierto de Altar	Sonora	RB	715 703	0
El Triunfo	Chiapas	RB	119 183	0
El Vizcaíno	Baja California Sur	RB	2 257 479	287 674
Isla Guadalupe	Baja California	RB	26 277	450 699
Isla San Pedro Mártir	Sonora	RB	127	30 038
Islas Marías	Nayarit	RB	24 295	616 990
La Encrucijada	Chiapas	RB	115 656	29 216
La Michilía	Durango	RB	9 421	0
La Sepultura	Chiapas y Oaxaca	RB	167 310	0
Lacan-Tun	Chiapas	RB	62 949	0
Los Petenes	Campeche	RB	100 813	181 895
Los Tuxtlas	Veracruz	RB	155 066	0
Mapimí	Durango, Chihuahua y Coahuila	RB	342 388	0
Mariposa Monarca	Estado de México y Michoacán	RB	56 258	0
Montes Azules	Chiapas	RB	327 639	0
Pantanos de Centla	Tabasco y Campeche	RB	302 697	0
Ría Celestún	Yucatán y Campeche	RB	61 987	19 495
Ría Lagartos	Quintana Roo y Yucatán	RB	60 348	0
Selva El Ocote	Chiapas	RB	101 289	0
Sian Ka'an	Quintana Roo	RB	374 831	153 136
Sierra de Huautla	Morelos y Puebla	RB	59 031	0
Sierra de Manantlán	Jalisco y Colima	RB	139 577	0
Sierra del Abra Tanchipa	San Luis Potosí	RB	21 467	0
Sierra Gorda	Querétaro	RB	378 227	0
Sierra Gorda de Guanajuato	Guanajuato	RB	236 179	0

Nota:

¹Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: área de protección de los recursos naturales (APRN), área de protección de flora y fauna (APFyF), monumento natural (MN), parque nacional (PN), reserva de la biósfera (RB) y santuario (S).

Tabla 4.2
Áreas naturales protegidas, categoría de manejo y superficie calculada en México, 2008 (conclusión)

ANP	Entidad federativa	Categoría de manejo ¹	Superficie calculada (ha)	
			Terrestre	Marina
Sierra La Laguna	Baja California Sur	RB	112 437	o
Tehuacán-Cuicatlán	Puebla y Oaxaca	RB	490 678	o
Volcán Tacaná	Chiapas	RB	6 378	o
Zicuirán-Infiernillo	Michoacán	RB	265 118	o
Islas de la Bahía de Chamela	Jalisco	S	85	o
Playa adyacente a la localidad denominada Ría Lagartos	Yucatán	S	130	o
Playa Ceuta	Sinaloa	S	77	o
Playa Cuitzmala	Jalisco	S	12	o
Playa de Escobilla	Oaxaca	S	30	o
Playa de La Bahía de Chacahua	Oaxaca	S	31	o
Playa de La Isla Contoy	Quintana Roo	S	14	o
Playa de Maruata y Colola	Michoacán	S	32	o
Playa de Mismaloya	Jalisco	S	167	o
Playa de Puerto Arista	Chiapas	S	63	o
Playa de Rancho Nuevo	Tamaulipas	S	31	o
Playa de Tierra Colorada	Guerrero	S	54	o
Playa El Tecuán	Jalisco	S	17	o
Playa El Verde Camacho	Sinaloa	S	62	o
Playa Mexiquillo	Michoacán	S	25	o
Playa Piedra de Tlacoyunque	Guerrero	S	29	o
Playa Teopa	Jalisco	S	12	o
Total			18 754 151	4 503 894

Nota:

¹Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: área de protección de los recursos naturales (APRN), área de protección de flora y fauna (APFyF), monumento natural (MN), parque nacional (PN), reserva de la biosfera (RB) y santuario (S).

Fuente:

Conanp. México. 2008.

santuarios (S). Además, existen los parques y reservas estatales (PyRE) y las zonas de preservación ecológica de los centros de población (ZPE). Para octubre de 2008, la categoría con mayor número de áreas decretadas a nivel federal fue la de PN, con 68 áreas, sin embargo, su contribución relativa a la superficie protegida nacional fue de tan sólo 6.3% (Figura 4.15; [Cuadro D3_BIODIV04_13](#)).

Las 38 reservas de la biosfera existentes en el país cubren alrededor de 51.2% de la superficie protegida

del país. Su principal función es la de constituirse como espacios de investigación, conservación y desarrollo regional sostenible. Las 32 áreas de protección de flora y fauna abarcan 27.1% de la superficie protegida nacional, encontrándose principalmente en zonas con una considerable riqueza de flora o fauna o donde se presentan especies, subespecies o hábitats de distribución restringida. Las siete áreas decretadas de protección de los recursos naturales, representan 15.3% de la superficie protegida y, finalmente, las cuatro

Mapa 4.2

Áreas Naturales Protegidas Federales, 2008

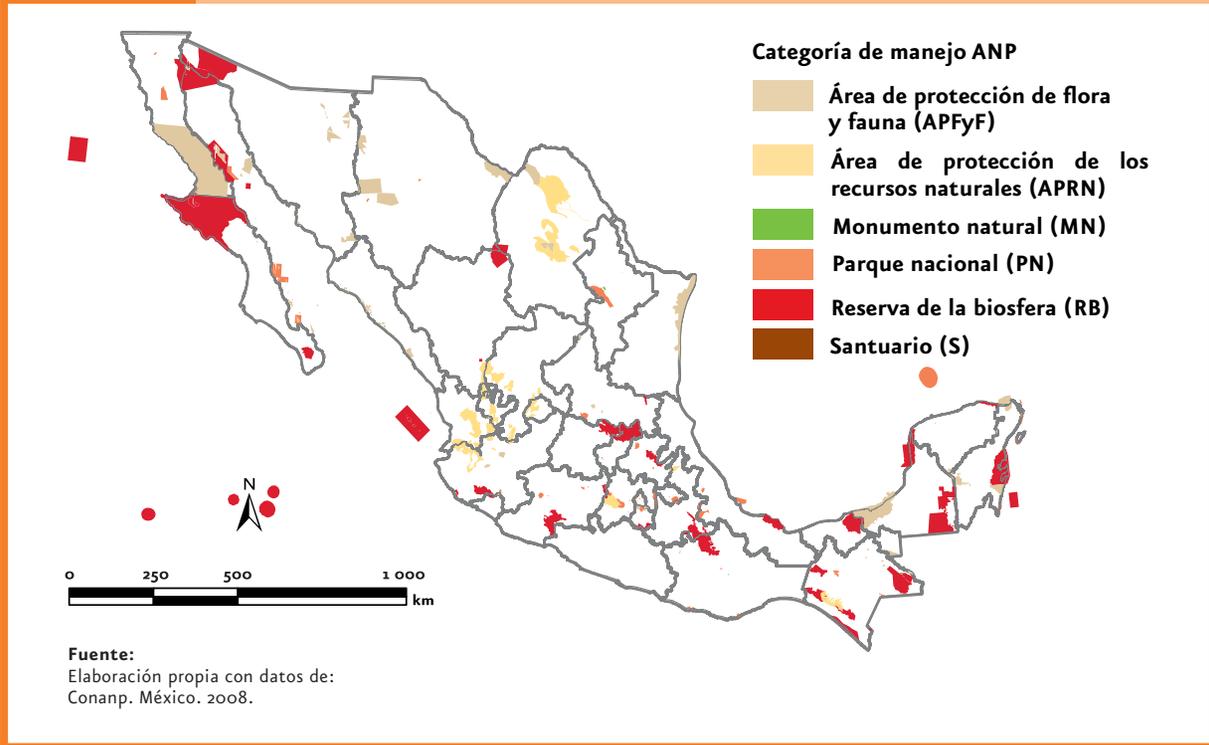


Figura 4.13

Superficie nacional protegida en algunos países de la OCDE, 2007

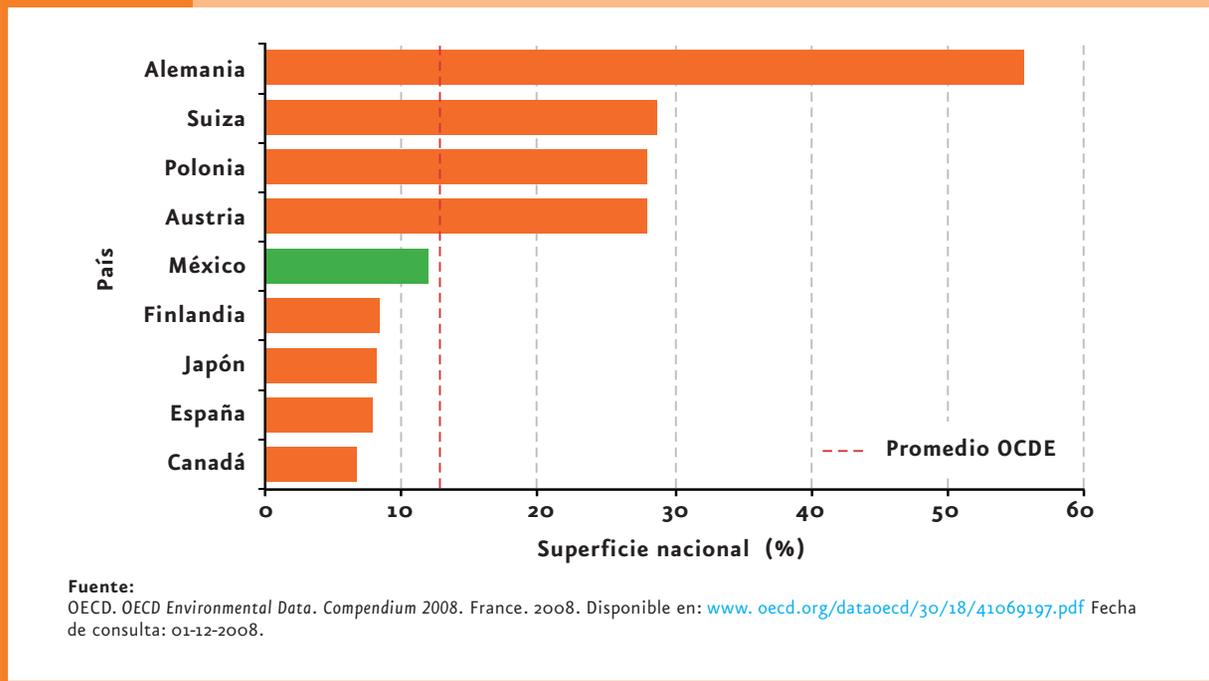
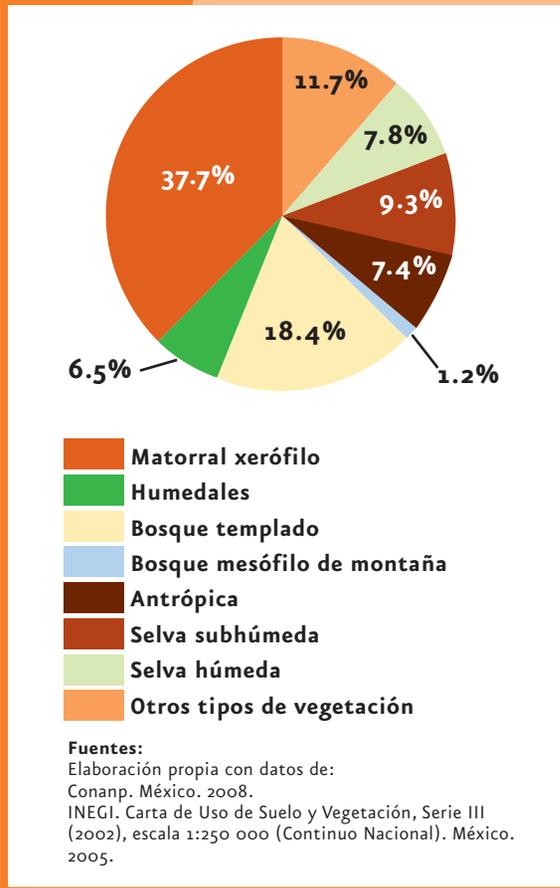


Figura 4.14

Superficie relativa de los principales ecosistemas en las áreas naturales protegidas, 2008

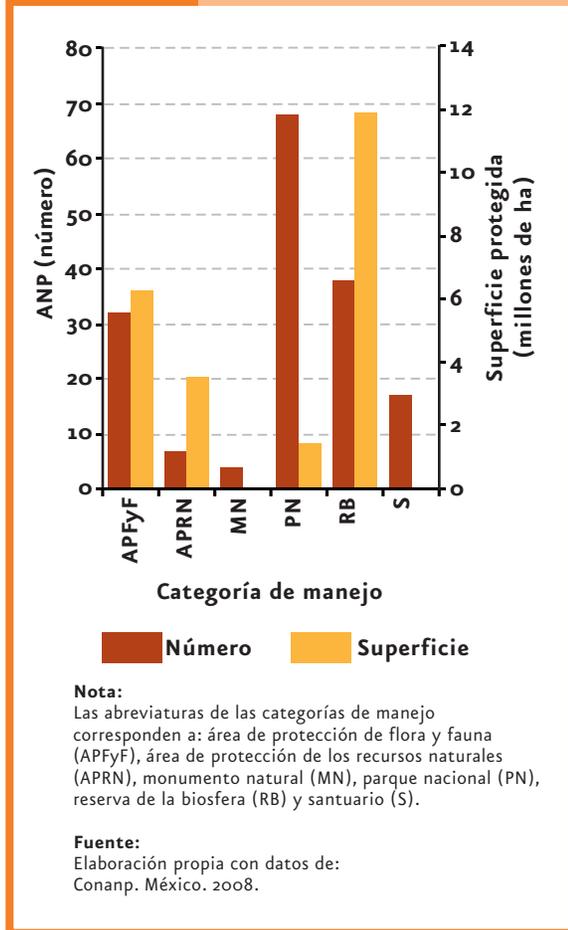


áreas decretadas como monumentos naturales comprenden sólo el 0.1% y contienen uno o varios elementos naturales que por su carácter único, estético, valor histórico y científico, requieren estar incorporadas a un régimen de protección absoluta.

Uno de los instrumentos que se utilizan para formalizar las estrategias de conservación y el uso de las áreas naturales protegidas federales es el llamado Plan de Manejo. Estos instrumentos, además de incluir aspectos relativos a las características del sitio (p. e. de orden ecológico, físico y cultural), incluyen también los objetivos de corto, mediano y largo plazos establecidos para el ANP relacionados con la investigación científica,

Figura 4.15

Áreas naturales protegidas por categoría de manejo en México, 2008



la educación ambiental y la prevención y control de contingencias, entre otros. En México, hasta octubre de 2008, un total de 55 ANP contaban con planes de manejo publicados, lo que equivale a una superficie de 12.3 millones de hectáreas, es decir, cerca del 53% de la superficie total bajo este régimen de protección.

Un número importante de ANP forma parte de las redes internacionales de áreas protegidas. 36 ANP mexicanas (una de ellas de carácter estatal) están incluidas dentro del Programa El Hombre y la Biosfera (MAB, por sus siglas en inglés) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación y la Ciencia (UNESCO, por sus siglas en inglés), cuya principal intención es promover

la investigación científica y la comunicación de las experiencias en el campo de la conservación y el uso racional de los recursos naturales. Por otro lado, dentro de los humedales de Importancia Ramsar, 49 de ellos se encuentran dentro de áreas naturales protegidas en nuestro país (Conanp, 2008). En este sentido, la Convención Ramsar sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en favor de la conservación y uso racional de los humedales y sus recursos. Para mayores detalles de los humedales nacionales en la convención Ramsar, ver los capítulos de *Agua y Ecosistemas terrestres*.

Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Suma)

Con el propósito de contribuir a promover la conservación de la biodiversidad sin dejar a un lado las necesidades de producción y desarrollo socioeconómico del sector rural, en 1997 se estableció el Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Suma). Su objetivo general es la conservación de los hábitats naturales y sus servicios ambientales, así como las poblaciones y ejemplares de especies silvestres, para fines de restauración, protección, mantenimiento, recuperación, reproducción, repoblación, reintroducción, investigación, rescate, resguardo, rehabilitación, exhibición, educación ambiental y aprovechamiento sustentable.

El Suma está integrado por todos aquellos predios (denominados Umas; ya sean de propiedad privada, ejidal o comunal) que se registran en el Sistema y en los que se realizan actividades de conservación exclusivamente, o de conservación y aprovechamiento sustentable. También pueden integrarse al Suma los predios de propiedad federal, incluidos los

bienes nacionales destinados o concesionados conforme a la ley de la materia, cuyos fines sean de conservación o uso sustentable.

Dependiendo de su tipo de manejo, las Uma pueden ser de manejo en vida libre, cuando se hace con ejemplares o poblaciones de especies que se desarrollan en condiciones naturales, sin imponer restricciones a sus movimientos; o de manejo intensivo, que se realiza sobre ejemplares o poblaciones de especies silvestres en condiciones de cautiverio. Las Uma deben operar de conformidad con un plan de manejo aprobado por la Semarnat, el cual funge como el documento técnico operativo que describe y programa las actividades para el manejo de las especies silvestres y sus hábitats, y que establece también las metas e indicadores de éxito de la Uma en función del hábitat y las poblaciones que maneja. Dependiendo de las cualidades y características de los productos que manejan las Uma, pueden ser de aprovechamiento extractivo o no extractivo (Tabla 4.3).

Bajo el esquema del Suma, hasta noviembre de 2008, se tenían registradas, de manera preliminar, 8 mil 859 Uma, lo que representa una extensión de 30.9 millones de hectáreas (es decir, alrededor del 15.7% de la extensión terrestre nacional; Figura 4.16). Si se analiza su distribución geográfica, las Uma se han establecido predominantemente en el norte del país, siendo, en orden decreciente, Sonora, Nuevo León, Tamaulipas, Coahuila, Chihuahua y Baja California los estados donde se han registrado mayor número de unidades (Mapa 4.3).

En noviembre de 2008, se tenían registradas 8 mil 859 Uma, lo que representa una extensión de 30.9 millones de hectáreas (15.7% de la extensión terrestre nacional).

Bajo los términos establecidos en la Ley General de Vida Silvestre y su Reglamento, los predios o instalaciones que manejen vida silvestre de forma confinada, fuera de su hábitat natural, y que

no tengan como fin la recuperación de especies o poblaciones para su posterior reintegración a la

Tabla 4.3

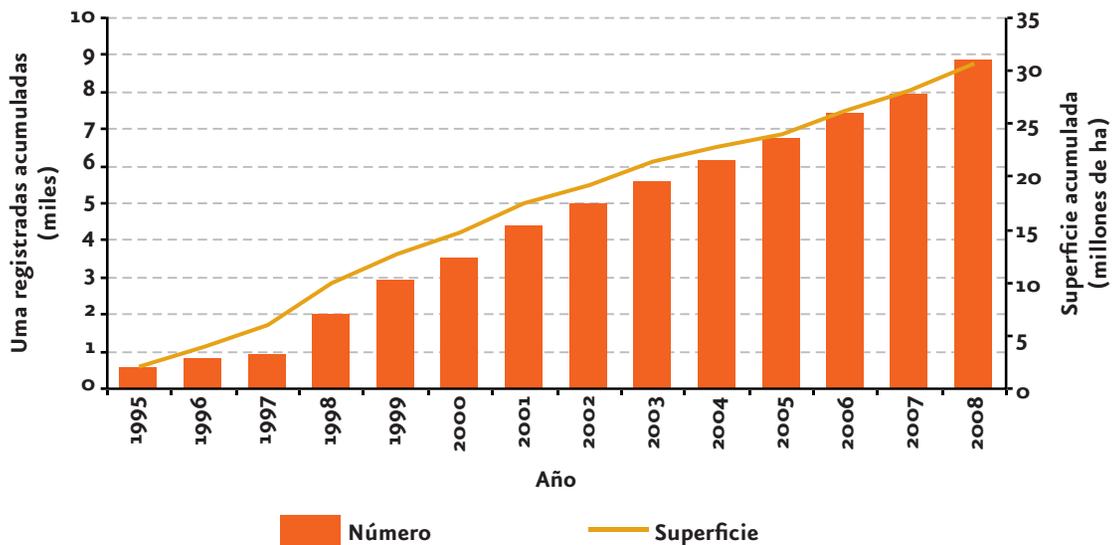
Tipos de aprovechamiento y destino en las Uma

Aprovechamiento extractivo	Aprovechamiento no extractivo	Destino
Cacería deportiva	Ecoturismo	Producción de pies de cría
Mascotas	Investigación	Bancos de germoplasma
Ornato	Educación ambiental	Trofeos de caza
Alimento	Fotografía, video y cine	Producción de ejemplares, partes y derivados
Insumos para la industria y artesanía		Investigación
Exhibición		Educación ambiental
Colecta		Capacitación

Fuente:
Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2008.

Figura 4.16

Superficie y número de Uma registradas, 1995 - 2008¹



Nota:
¹ Datos preliminares a noviembre.

Fuente:
Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2008.

vida libre, no requerirán aprobación de sus planes de manejo por parte de la Semarnat y no serán consideradas como Uma, sino como Predios e Instalaciones que Manejan Vida Silvestre (PIMVS). Entre ellos destacan los criaderos intensivos, zoológicos, viveros, jardines botánicos, circos, espectáculos fijos y espectáculos ambulantes. Hasta noviembre de 2008, se registraron un total de mil 965 PIMVS, de los cuales la mayor proporción correspondió a criaderos intensivos (57.6%), viveros (21%) y circos (6.5%; Tabla 4.4).

Centros de Conservación e Investigación de la Vida Silvestre (CIVS)

De conformidad a la Ley General de Vida Silvestre, los Centros de Conservación e Investigación de la Vida Silvestre (CIVS; *Cuadro D3_R_BIODIV04_04*) se refieren a las instalaciones que llevan actividades

de recepción, rehabilitación, protección, recuperación, reintroducción, canalización y cualquier otra actividad que contribuya a la conservación de ejemplares que son producto de rescate, entregas voluntarias o aseguramientos por parte de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) o de la Procuraduría General de la República (PGR). Asimismo, los CIVS llevan a cabo actividades de difusión, capacitación, monitoreo, evaluación, muestreo, manejo, seguimiento permanente y cualquier otra que contribuya al desarrollo del conocimiento de la vida silvestre y su hábitat, así como la integración de éstos a los procesos de desarrollo sustentable.

Actualmente existen ocho centros en el país, seis administrados por la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) y dos a través de convenios de colaboración: uno firmado entre la Semarnat y una ONG y el otro con la Universidad Autónoma

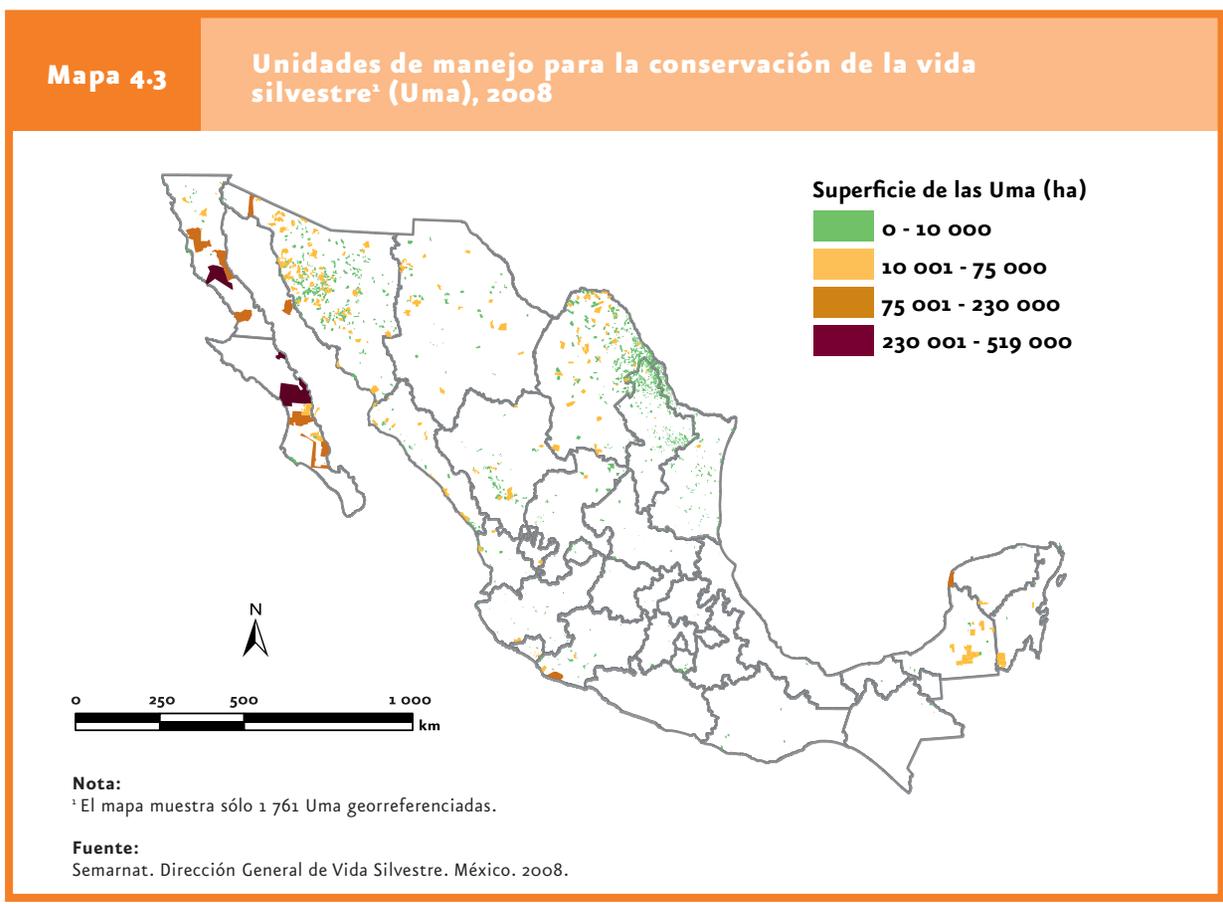


Tabla 4.4**Predios e Instalaciones que Manejan Vida Silvestre (PIMVS), 2008¹**

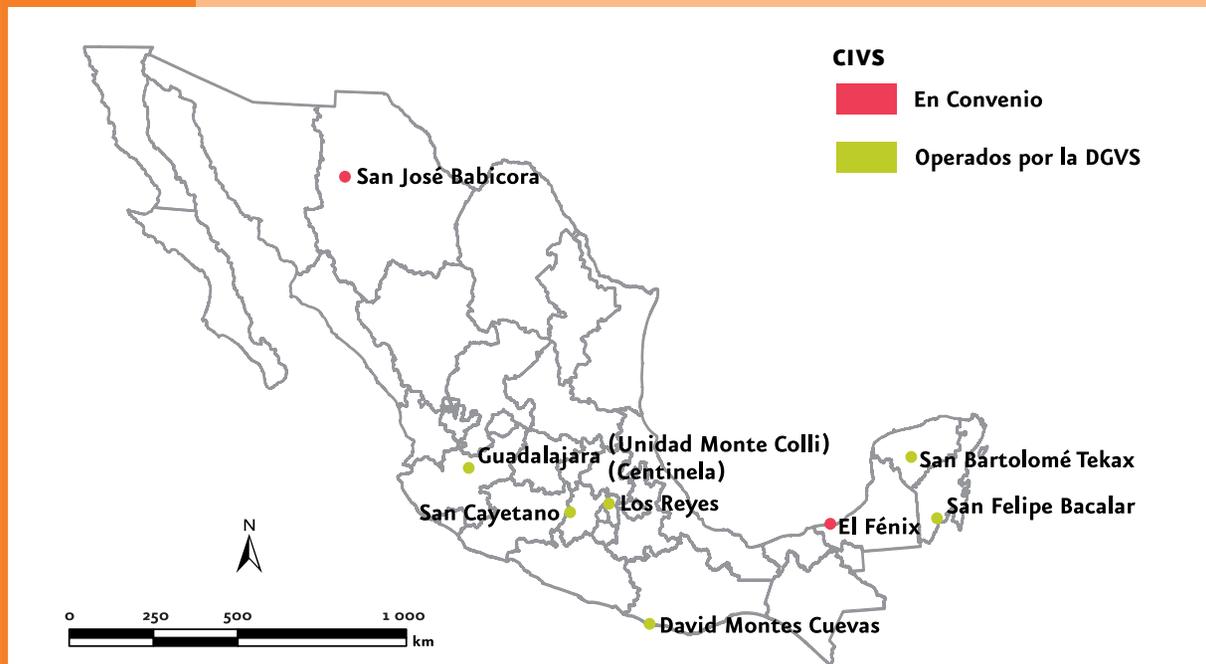
PIMVS	Cantidad
Criaderos intensivos	1 132
Zoológicos	89
Viveros	414
Jardines botánicos	73
Circos	127
Espectáculos fijos	49
Espectáculos ambulantes	81
Total	1 965

Nota:¹Datos preliminares a noviembre.**Fuente:**

Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2008.

de Chihuahua. Los CIVS se encuentran ubicados en los estados de Jalisco, Yucatán, Oaxaca, Quintana Roo, Campeche, Chihuahua y el Estado de México; en esta última entidad existen dos centros (Mapa 4.4).

Desde 1998 hasta el año 2008, los CIVS han recibido un total de 11 mil 865 ejemplares, de los cuales la mayor parte correspondió a reptiles (38.4%), seguidos por aves (27.5%), arácnidos (12.7%) y mamíferos (10.1%; Cuadro D3_BIODIV04_10). De los ingresos registrados en los CIVS en el mismo periodo, se liberaron un total de mil 619 ejemplares (alrededor de 13.6% de los ingresados). De los ejemplares liberados, 30.1% fueron reptiles, 26.7% arácnidos, 23.0% mamíferos y 19.5% aves.

Mapa 4.4**Centros para la Conservación e Investigación de la Vida Silvestre (CIVS), 2008****Fuente:**

Semarnat. Dirección General de Vida Silvestre. México. 2008.

REFERENCIAS

- Aburto-Oropeza, O., E. Ezcurra, G. Danemann, V. Valdez, J. Murray y E. Sala. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of National Academy of Sciences* 105: 10 456-10 459. 2008.
- Conabio. *La diversidad biológica de México: Estudio de país*. México. 1998.
- Conabio. *Capital Natural y Bienestar Social*. México. 2006.
- Conafor. Reporte semanal de resultados de incendios forestales 2007. México. 2007.
- Conanp. *Logros 2008*. México. 2008.
- CBD. *Status and trends of Global biodiversity*. 2002. Disponible en: www.cbd.int/gbo1/chap-01.shtml Fecha de consulta: 01-12-2008.
- 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. Suttko y M. van den Belt. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260. 1997.
- González Medrano, F. *Las comunidades vegetales de México*. Semarnat-INE. México. 2003.
- IUCN. *The IUCN Red List of Threatened Species*. The IUCN Species Survival Commission. 2008. Disponible en: www.iucnredlist.org/static/stats Fecha de consulta 01-12-2008.
- Leung, B., Lodge, D.M., Finnoff, D., Shogren, J.F., Lewis, M.A., Lamberti, G. An ounce of prevention or a pound of cure: bioeconomic risk analysis of invasive species. *Proceedings of the Royal Society: Biological Sciences* 269: 2407- 2413. 2002.
- Melo, C. *Áreas Naturales Protegidas de México en el Siglo XX*. Instituto de Geografía, UNAM. Temas selectos de Geografía de México, 1. Textos monográficos: 6. Medio ambiente. México. 2002.
- MEA. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute. Washington, D.C. 2005.
- OECD. *OECD Environmental Data. Compendium 2008*. France. 2008. Disponible en: www.oecd.org/dataoecd/30/18/41069197.pdf Fecha de consulta: 01-12-08.
- Profepa. *Informe Anual 2007*. México. 2008. Disponible en: www.profepa.gob.mx/PROFEPA/Conozcanos/Informes/INFORME2007.htm Fecha de consulta: 01-12-08.
- Rzedowski, J. Diversity and origins of the phanerogamic flora of Mexico. En: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (ed). *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM. México. 1998.
- Vitousek, P. M., C. M. Dantonio, L. L. Loope y R. Westbrooks. Biological Invasions as Global Environmental Change. *American Scientist* 84: 468-78. 1996.
- UNEP. *One planet Many People: an atlas of our changing environment*. Nairobi. 2005.
- UNEP, WCMC. *World Database on Protected Areas*. 2008. Disponible en: www.unep-wcmc.org/wdpa/mdgs/index.cfm Fecha de consulta: 01-12-2008

Capítulo 5. Atmósfera





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 debido a la generación de contaminantes y su manejo y disposición inadecuados (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 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 fenómeno de cambio climático global y la reducción del espesor de la capa de ozono estratosférico (WRI, 1998; UNEP, 1999; PNUMA, 2003).

La contaminación atmosférica tiene efectos a nivel local, regional y global. México enfrenta desde hace tiempo 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 su deterioro, 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 locales asociados a la mala calidad del aire en la salud de las personas o en el estado de sus pertenencias (como el deterioro de los monumentos arquitectónicos), también se presentan efectos a nivel regional, como la afectación de los bosques y ecosistemas acuáticos debido a la lluvia ácida (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 es importante contar con un diagnóstico de la situación de la calidad del aire en México (en las principales ciudades y zonas urbanas del país), 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

Una adecuada gestión de la calidad del aire requiere información tanto de los principales generadores de contaminantes como de la situación de la calidad del aire, para que sirva como base de programas tendientes a mejorar su calidad. Dicha información proviene principalmente de los inventarios y de las redes de monitoreo.

Inventarios de emisiones

La calidad del aire en una zona determinada, además de ser afectada por elementos climáticos y geográficos, está relacionada directamente con el volumen y características de los contaminantes emitidos local y regionalmente 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.

Los antecedentes de los inventarios de emisiones en México se remontan al año 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).

En 1995 inició un programa para incrementar la capacidad de México en la elaboración de inventarios de emisiones, el cual se amplió en 2001 orientándose a la elaboración del Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM). El desarrollo del INEM constó de tres fases: I) planeación, II) desarrollo del inventario para seis estados del norte e III) inventario de los estados restantes. Los resultados de 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, que incluyó información sobre las emisiones en

En 1999 se emitieron 40.5 millones de toneladas de contaminantes atmosféricos (58% por fuentes naturales y 42% por fuentes antropogénicas).

Baja California, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas (Semarnat, 2005; Semarnat, INE, 2005). Finalmente, en el año 2006 se publicó el INEM, que incluye información del año 1999, desagregada por fuente de emisión de contaminantes y para todos los estados y municipios del país (Semarnat, INE, 2006b).

Aunque este capítulo se enfocará con mayor detalle a los resultados del INEM, existen inventarios locales previos que comenzaron a desarrollarse en los años noventa y que aportan valiosa información sobre algunas zonas metropolitanas y ciudades del país (ver Recuadro *Inventarios locales de emisiones*).

De acuerdo con el inventario nacional (INEM), en 1999 se emitieron 40.5 millones de toneladas de contaminantes, de los cuales, 58% fueron emitidos por fuentes naturales –es decir, el suelo, la vegetación y la actividad volcánica- y 42% por fuentes antropogénicas. La vegetación generó emisiones de compuestos orgánicos volátiles, los suelos de óxidos de nitrógeno y la actividad volcánica emitió bióxido de azufre y partículas. Aunque las emisiones de fuentes naturales fueron de mayor magnitud que las antropogénicas, estas últimas tienen gran importancia porque se generan en, o cerca de ciudades o poblados, por lo que se incrementa el número de personas expuestas a los efectos nocivos de los contaminantes.

En el INEM se señala que es posible que las emisiones de fuentes naturales estén sobreestimadas, debido a que la información con la que se calcularon las emisiones de la vegetación y los suelos –como son los datos de uso de suelo, cobertura de vegetación y temperatura- posee cierto grado de incertidumbre. En el caso de las emisiones provenientes de los volcanes, los métodos para su estimación, así como la variabilidad de las emisiones generan un amplio margen de error (Semarnat-INE, 2006b).

A mediados de los años noventa se elaboraron los inventarios de emisiones de las principales zonas metropolitanas del país: Valle de México (ZMVM, 1996), Guadalajara (ZMG, 1995), Monterrey (ZMM, 1995) y Valle de Toluca (ZMVT, 1996), y de algunas ciudades como Mexicali (1996), Ciudad Juárez (1996) y Tijuana-Rosarito (1998). Posteriormente, se publicaron los inventarios de Salamanca-Corredor Industrial El Bajío (2000), Zona Metropolitana del Valle de Puebla (ZMVP, 2004) y León (2006). Sin embargo, sólo la ZMVM, ZMVT, Ciudad Juárez y Salamanca cuentan con actualización de sus inventarios.

En la ZMVM se estimaron las emisiones para el periodo 1994-2004. Cabe señalar que la metodología empleada en el inventario de 2004 se utilizó para recalculer las emisiones de años anteriores de tal forma que se pudieran comparar; por esta razón, es posible encontrar diferentes estimaciones de emisiones a la atmósfera en el Valle de México para la misma fecha. En el caso de la ZMVT y Ciudad Juárez se cuenta también con los inventarios de emisiones de 2002, sin embargo dichos inventarios no son comparables con los anteriores ya que emplean metodologías diferentes e incorporan otras fuentes de emisión. Salamanca actualizó su inventario con datos de 2006.

La zona que emitió a la atmósfera la mayor cantidad de contaminantes fue la ZMVM con alrededor de 3.1 millones de toneladas (Figura a). Las otras zonas que tuvieron emisiones

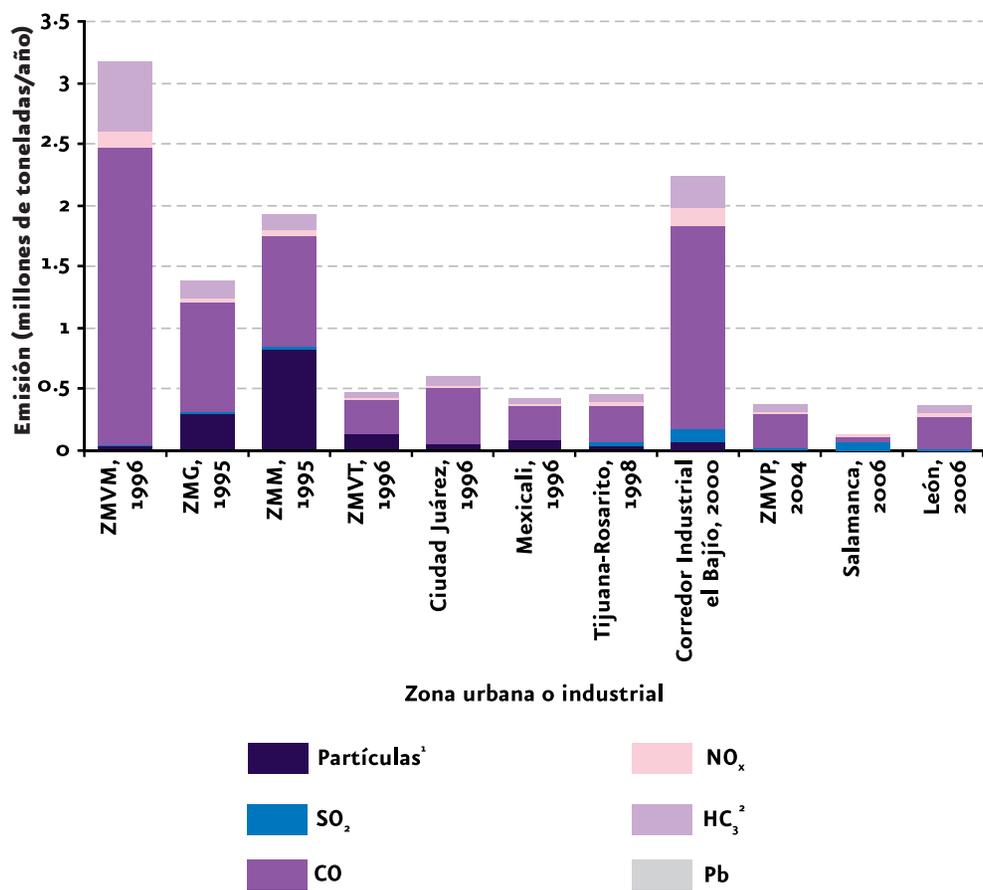
importantes fueron: el Corredor Industrial el Bajío con 2.2 millones de toneladas por año, la ZMM con 1.9 millones de toneladas por año y la ZMG con 1.4 millones de toneladas por año. A estas zonas les siguieron en magnitud de emisiones: Ciudad Juárez, la ZMVT, Tijuana-Rosarito, Mexicali, la ZMVP, León y, finalmente, Salamanca.

En todas las zonas, el monóxido de carbono (CO) fue el contaminante emitido en mayor proporción (entre 45 y 76%). En las ZMG, ZMM, ZMVT y Mexicali las partículas fueron el segundo contaminante más emitido, mientras que en ZMVM, ZMVP, Ciudad Juárez, Tijuana-Rosarito y Corredor Industrial el Bajío fueron los hidrocarburos (HC). En Salamanca el bióxido de azufre (SO₂) fue el segundo contaminante más emitido (37%) (Figura a).

Considerando a las fuentes generadoras de los contaminantes en las zonas urbanas o industriales examinadas, el transporte fue la principal fuente de contaminantes, con 76% del volumen total de las emisiones a la atmósfera, siendo el CO el principal contaminante emitido por este sector (Figura b). Las fuentes naturales (suelos y vegetación) contribuyeron con alrededor de 13% del total de emisiones, constituidas básicamente por partículas suspendidas y, en el caso de la ZMVM, Corredor Industrial el Bajío y León de HC, óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles, respectivamente. El sector servicios emitió 5.4% y el industrial alrededor de 4% del total de emisiones.

Figura a

Emisión de contaminantes en zonas urbanas e industriales, varios años



Notas:

¹ Para la ZMVM, Mexicali y Tijuana-Rosarito, Salamanca, Corredor Industrial el Bajío y la ZMVP sólo incluye a las partículas menores a 10 micrómetros.

² Para la ZMVP y León se refiere a compuestos orgánicos totales (COT) que incluyen hidrocarburos e isopreno y para Salamanca se refiere a compuestos orgánicos volátiles (COVs).

Fuentes:

Semarnat. 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.

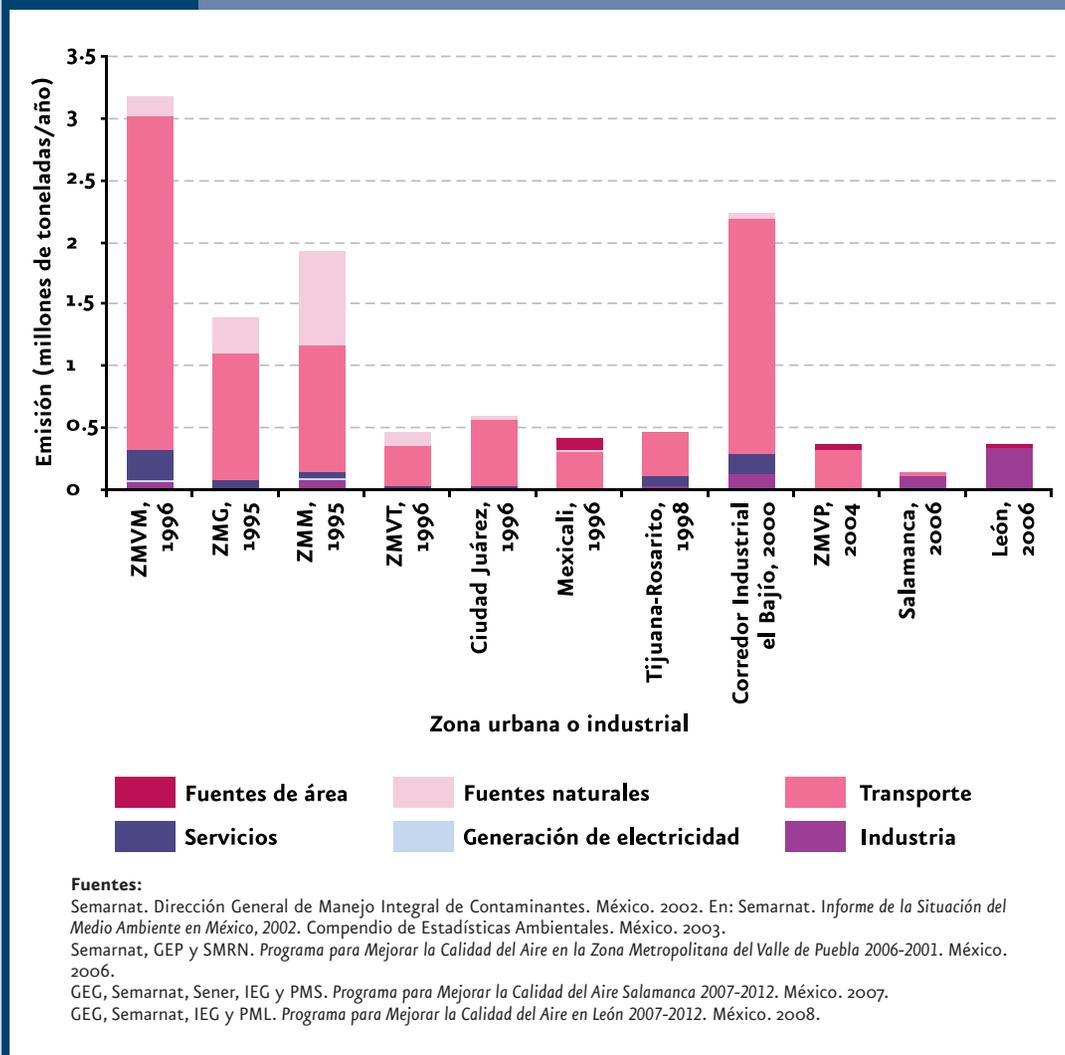
Semarnat, GEP y SMRN. Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de Puebla 2006-2001. México. 2006.

GEG, Semarnat, Sener, IEG y PMS. Programa para Mejorar la Calidad del Aire Salamanca 2007-2012. México. 2007.

GEG, Semarnat, IEG y PML. Programa para Mejorar la Calidad del Aire en León 2007-2012. México. 2008.

Figura b

Emisión de contaminantes en zonas urbanas e industriales por fuente, varios años



Referencias:

Semarnat. 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, GEP y SMRN. *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de Puebla 2006-2011*. México. 2006.

GEG, Semarnat, Sener, IEG y PMS. *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en Salamanca 2007-2012*. México. 2007.

GEG, Semarnat, IEG y PML. *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en León 2008 -2012*. México. 2008.

Considerando tan sólo las fuentes antropogénicas, los contaminantes emitidos en mayor proporción fueron el monóxido de carbono (CO; 7.5 millones de toneladas; 44% del total), óxidos de azufre (SO_x; 2.9 millones de toneladas; 17%) y los compuestos orgánicos volátiles (COV; 2.6 millones de toneladas; 15%; Figura 5.1). La mayor parte de las emisiones fueron generadas por los vehículos automotores (33.7% del total), otros usos de combustibles¹ (17.3%) y por las plantas de generación de electricidad (12%; Figura 5.2; IB 1.1-2).

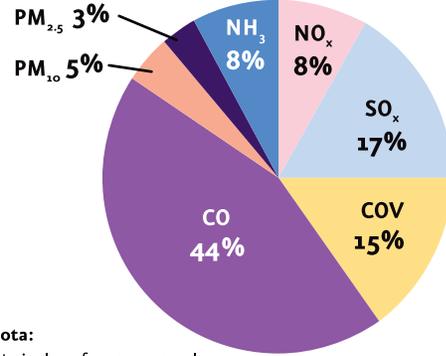


Los vehículos automotores emitieron principalmente CO (62% del total emitido

Las fuentes antropogénicas emitieron en mayor proporción CO (44%), SO_x (17%) y COV (15%).

Figura 5.1

Emisión nacional de contaminantes¹, 1999



Nota:

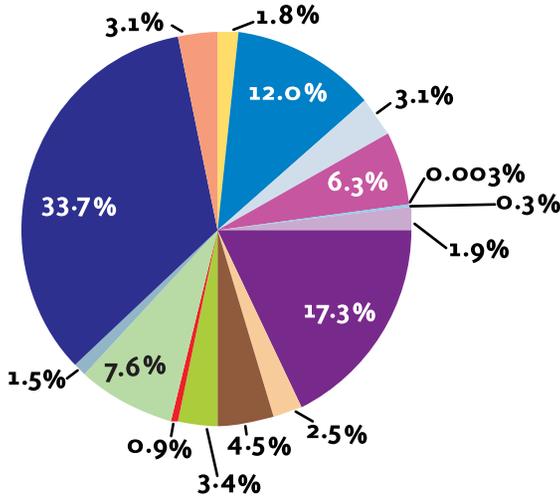
¹ No incluye fuentes naturales.

Fuente:

Semarnat, INE. Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999. México. 2006.

Figura 5.2

Emisión nacional de contaminantes por categoría de fuente¹, 1999



Nota:

¹ No incluye fuentes naturales.

Fuente:

Semarnat, INE. Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999. México. 2006.

- Minería
- Plantas de generación de electricidad
- Refinación de petróleo y otros combustibles fósiles
- Manufactura y otros procesos industriales
- Otros servicios
- Comercialización al mayoreo de bienes perecederos
- Combustión industrial de combustibles
- Otros usos de combustibles
- Distribución de combustible
- Uso de solventes
- Incendios y quemas
- Polvo fugitivo
- Fuentes de amoníaco
- Otras fuentes de área
- Vehículos automotores en ruta
- Fuentes móviles que no circulan por carreteras

¹ Otros usos de combustibles: incluye la combustión doméstica, agrícola y para el transporte de gas LP; combustión doméstica de gas natural y diáfano; combustión agrícola de diáfano y combustión de leña.

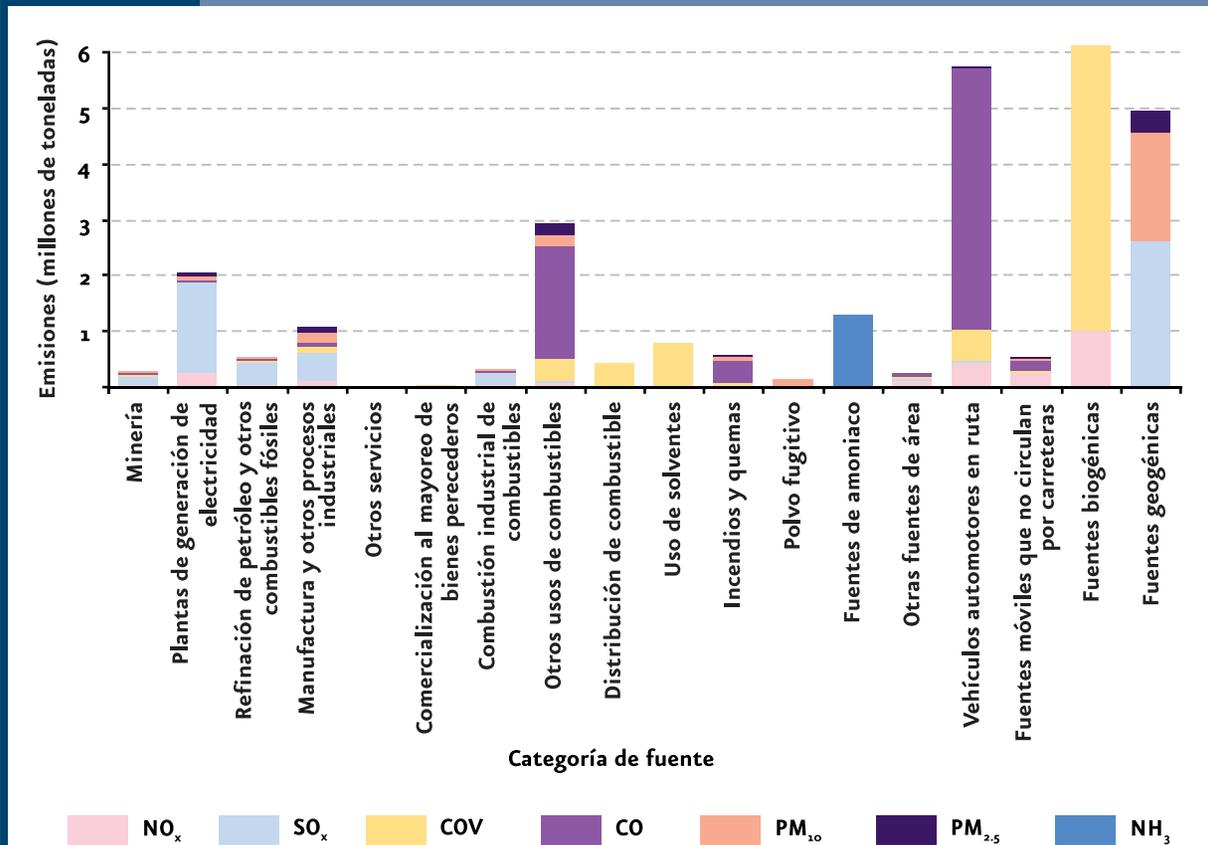


por todas las fuentes), óxidos de nitrógeno (NO_x ; 31%) y COV (22%; Figura 5.3; **IB 1.1-2**). Las plantas de generación de electricidad emitieron la mayor parte de los SO_x que se producen a nivel nacional por fuentes antropogénicas (56%), así como una cantidad importante de NO_x (18%). La categoría de otros usos de combustibles contribuyó con grandes cantidades de partículas menores a 2.5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$; 38%), partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10} ; 29%), CO_2 (27%) y COV (16%). En lo que se refiere al amoníaco (NH_3), fueron las actividades ganaderas, la aplicación de fertilizantes y la generación doméstica, las responsables de casi la totalidad (99%) de sus emisiones.

Por entidad federativa, la generación de contaminantes (Figura 5.4) fue mayor en el estado de México, Veracruz y Jalisco, así como el Distrito Federal (cuyas emisiones fueron originadas principalmente por el transporte y en el caso de Veracruz y Jalisco por transporte, combustión doméstica de leña y generación de electricidad). Cada una de estas entidades federativas generó entre 6.4 y 9.4% de las emisiones antropogénicas totales nacionales. En contraste, Baja California Sur, Quintana Roo, Nayarit, Tlaxcala y Aguascalientes emitieron cada una menos de 1% del total nacional.

Figura 5.3

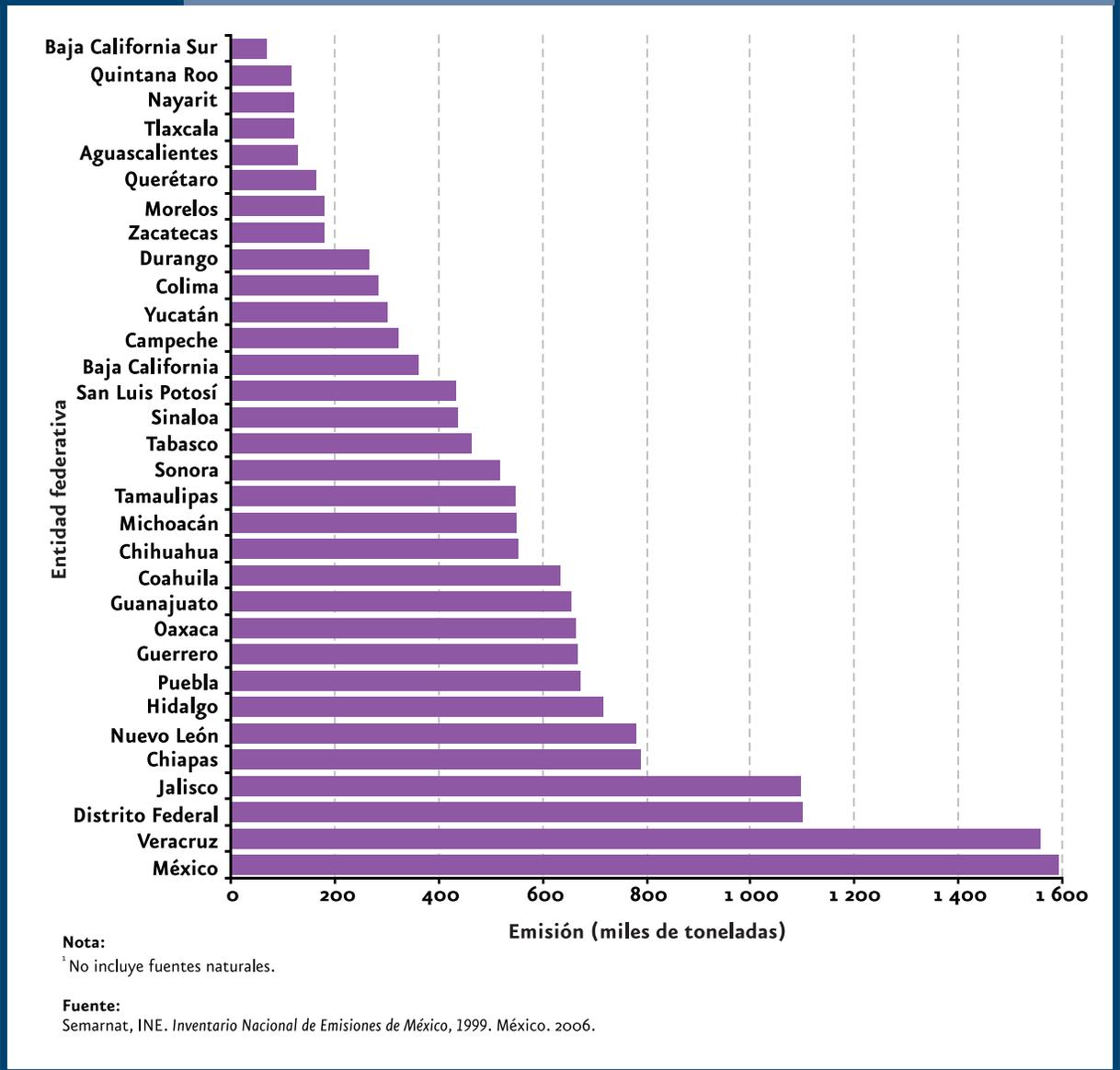
Emisión nacional de contaminantes por categoría de fuente y contaminante, 1999



Fuente: Semarnat, INE. Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999. México. 2006.

Figura 5.4

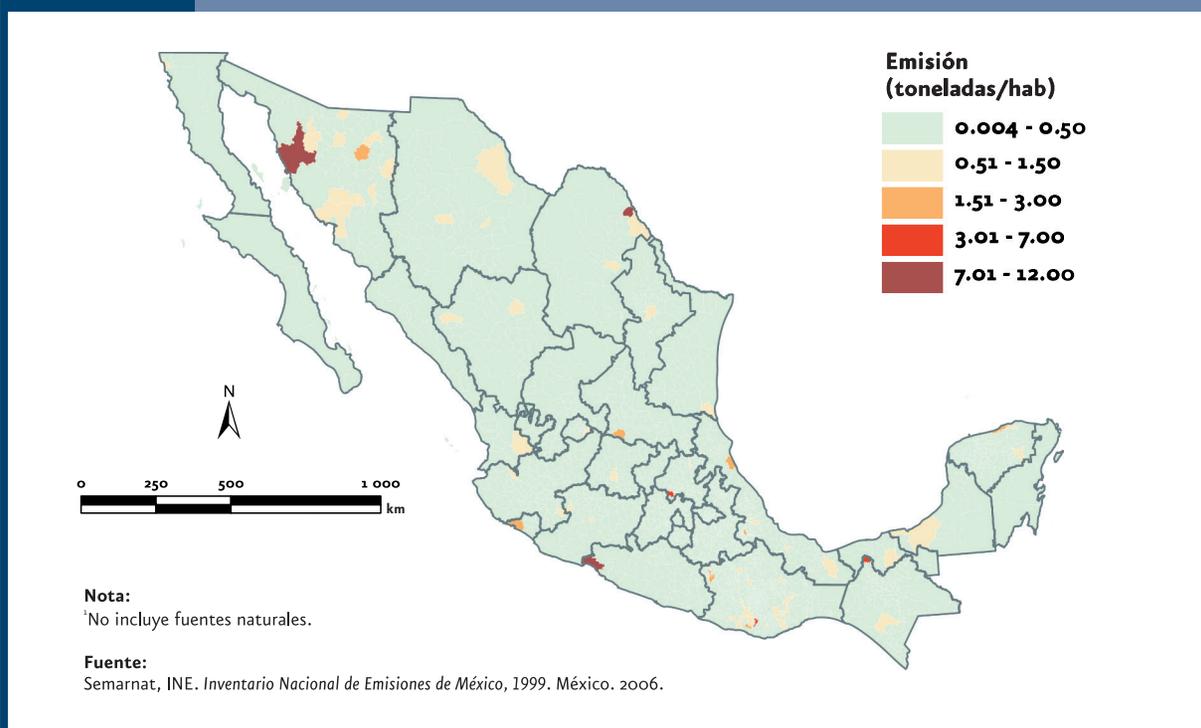
Emisión de contaminantes por entidad federativa¹, 1999



Cuando se analiza la emisión de contaminantes per cápita por municipio y delegación política, se obtiene que en 93% de ellos se generaron de 0.004 a 0.3 toneladas². Los tres municipios que reportaron una mayor emisión per cápita fueron: Nava (Coahuila), Pitiquito (Sonora) y La Unión de Isidoro Montes de Oca (Guerrero), con 11.9, 8.9 y

8.2 toneladas per cápita, respectivamente (Mapa 5.1). El resto de los municipios reporta emisiones per cápita menores a 5 toneladas. Si se considera el total de contaminantes generados en el año 1999 y la población total se obtiene que cada habitante emitió en promedio alrededor de 0.17 toneladas.

² La emisión per cápita se calculó con base en los datos del INEM que corresponden a 1999 y la población por municipio del año 2000.

Mapa 5.1**Emisión per cápita de contaminantes por municipio³, 1999**

Si se examina la información de emisiones por municipio y contaminante, se observa que alrededor de 95% de los municipios del país emitieron entre 0.6 y 2000 toneladas de NO_x , acumulando poco más de 429 mil toneladas que representan 30% del total nacional emitido de ese contaminante (Mapa 5.2). Si a estos municipios se suman los que emitieron hasta 15 mil toneladas se alcanza 68.7% del total nacional. Destaca el caso del municipio de Nava en Coahuila que emitió alrededor de 7% nacional de NO_x , proveniente casi en su totalidad de las fuentes fijas³, principalmente de las plantas de generación de electricidad.

En lo que se refiere a la emisión nacional de SO_x , 38% se concentró en cinco municipios: Tula de

En 1999, cada habitante del país emitió en promedio alrededor de 170 kilogramos de contaminantes atmosféricos.

Allende (Hidalgo), Tuxpan (Veracruz), Manzanillo (Colima), La Unión de Isidoro Montes de Oca (Guerrero) y Nava (Coahuila). En todos

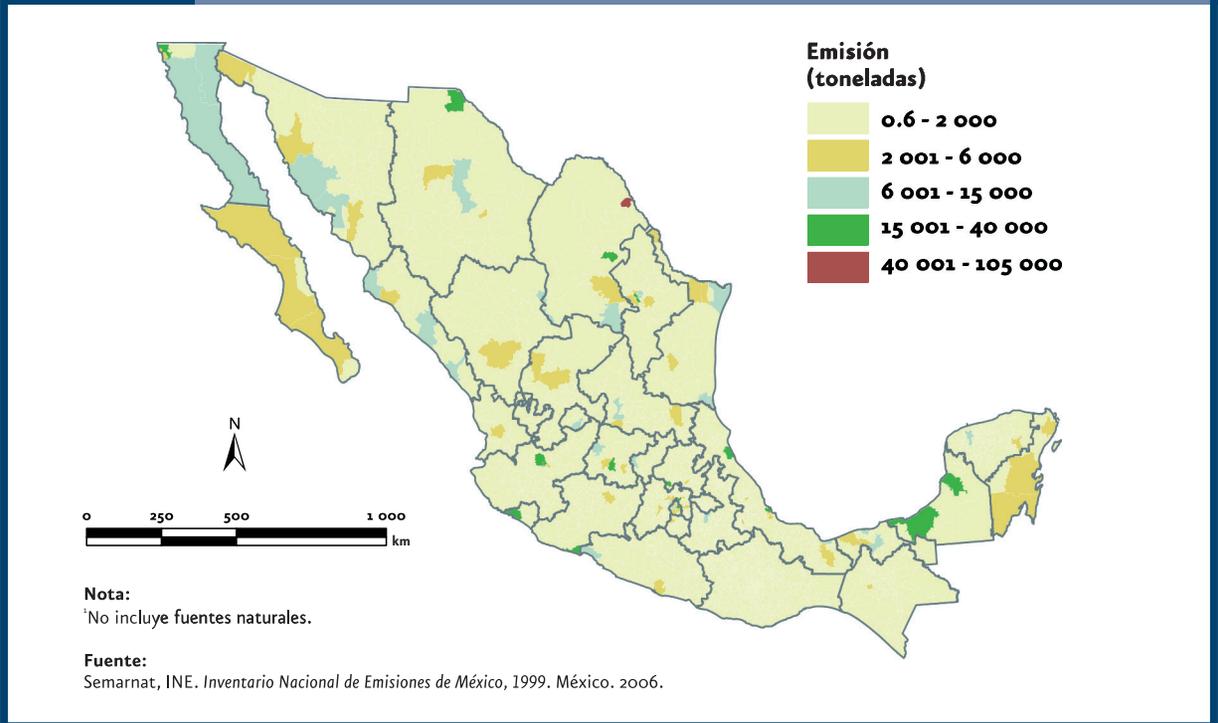
ellos, la mayor parte de las emisiones fueron generadas por las fuentes fijas, en particular por las plantas de generación de electricidad y por refinerías de petróleo (Mapa 5.3). La mayoría de los municipios en el país (95%) emitió entre 0.1 y mil toneladas de SO_x , que representan apenas 3.4% del total.

Por otro lado, los COV se generaron en cantidades que van de las cuatro a las mil toneladas en 83% de los municipios (Mapa 5.4). Los cuatro municipios y delegaciones que emitieron más COV fueron: Guadalajara (Jalisco), Juárez (Chihuahua),

³Fuentes fijas: minería, plantas de generación de electricidad, refinación de petróleo y otros combustibles fósiles, manufactura y otros procesos industriales, comercialización al mayoreo de bienes percederos y otros servicios (servicios educativos, hospitales, servicios de tintorería y lavandería, entre otros).

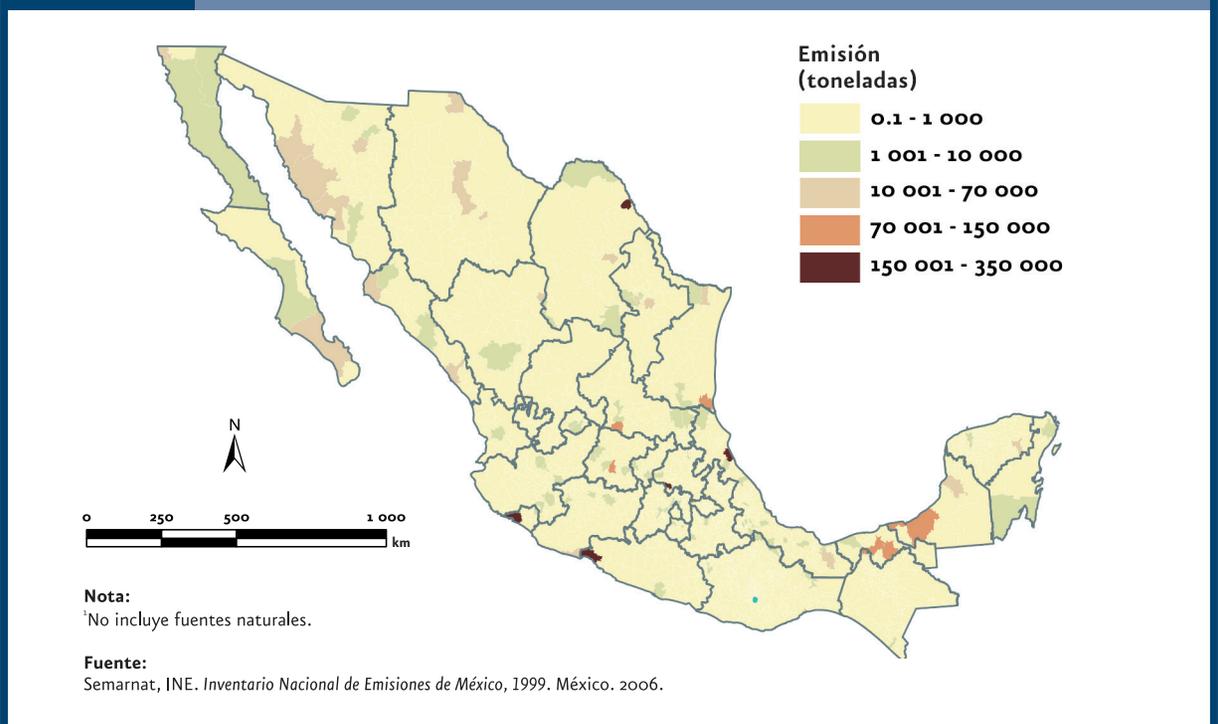
Mapa 5.2

Emisión de óxidos de nitrógeno por municipio¹, 1999



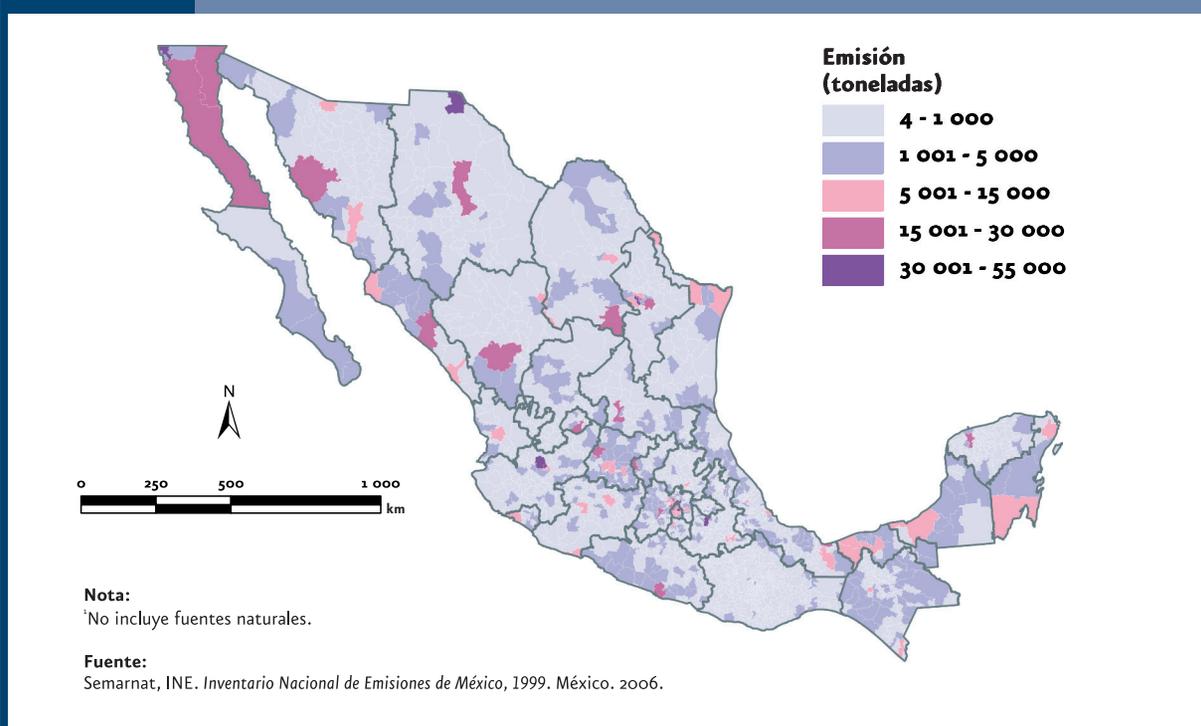
Mapa 5.3

Emisión de óxidos de azufre por municipio¹, 1999



Mapa 5.4

Emisión de compuestos orgánicos volátiles por municipio¹, 1999



Tijuana (Baja California) y Ecatepec de Morelos (México), así como la delegación Iztapalapa del Distrito Federal. Estos municipios y la delegación política generaron poco más de 222 mil toneladas de COV (equivalentes a 8.6% del total emitido), provenientes principalmente de las fuentes de área⁴ y los vehículos automotores.

Las cuatro entidades federativas que reportaron las mayores emisiones de contaminantes atmosféricos en 1999 fueron: México, Veracruz, Distrito Federal y Jalisco.

El CO fue generado en mayor cantidad en municipios pertenecientes a las grandes ciudades donde el número de vehículos es elevado. Los municipios que más CO emitieron fueron: Guadalajara (Jalisco), Ecatepec de Morelos (México), Monterrey (Nuevo León) y Zapopan (Jalisco), así como la delegación de Iztapalapa (Distrito Federal; Mapa 5.5).

En lo que se refiere a las PM₁₀, casi el total de

los municipios del país (98.6%) emitieron entre una y tres mil toneladas, acumulando 71% de la emisión total de este contaminante (Mapa 5.6).

Esto también se observa en el caso de la generación de PM_{2.5}, donde la mayor parte de los municipios (96%) emitieron de una a mil toneladas generando entre todos ellos 56% del total emitido (Mapa 5.7).

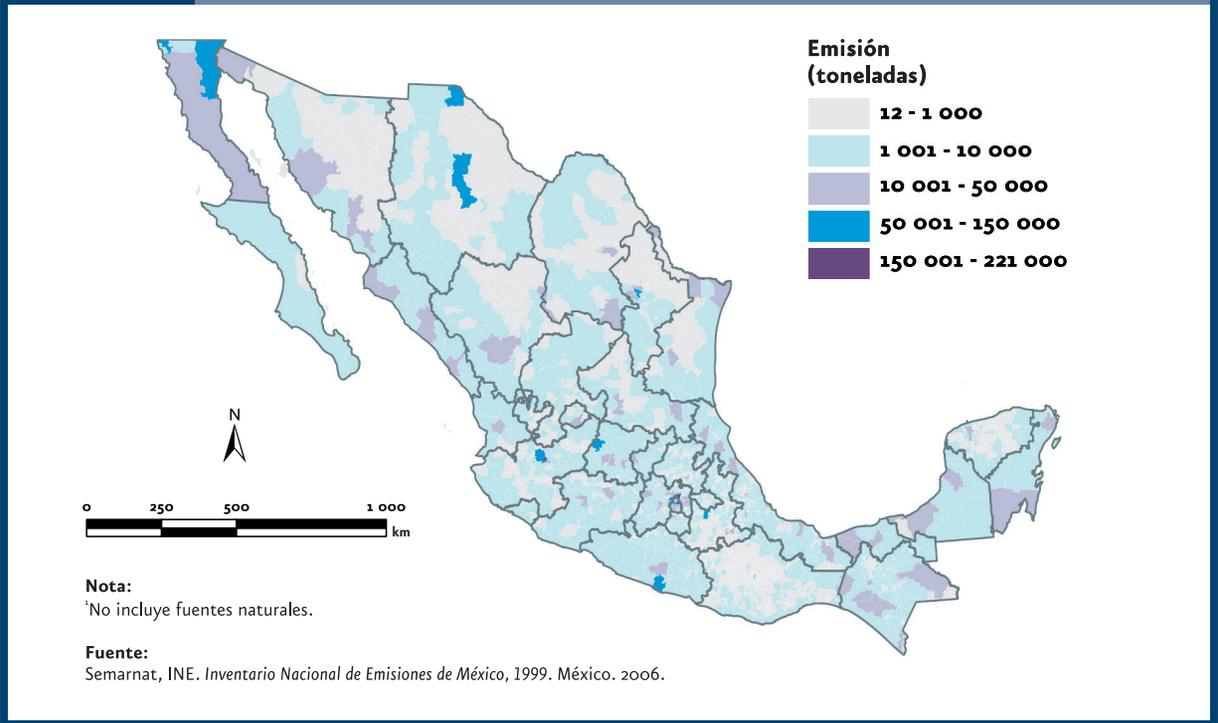
Ambos tipos de partículas fueron generados principalmente por las fuentes fijas y de área presentes en los municipios.

En lo que se refiere al amoniaco (NH₃), producido principalmente por las actividades ganaderas, 97% de los municipios produjeron entre 0.1 y 3 mil toneladas, acumulando un total de 962 mil 386 toneladas (que equivalen a 73.7% del total de NH₃ emitido; Mapa 5.8).

⁴Fuentes de área: combustión industrial de combustibles, otros usos de combustibles, distribución de combustible, uso de solventes, incendios y quemas, polvo fugitivo, fuentes de amoniaco y otras fuentes de área (locomotoras, aeronaves, panaderías y tratamiento de aguas residuales, entre otros).

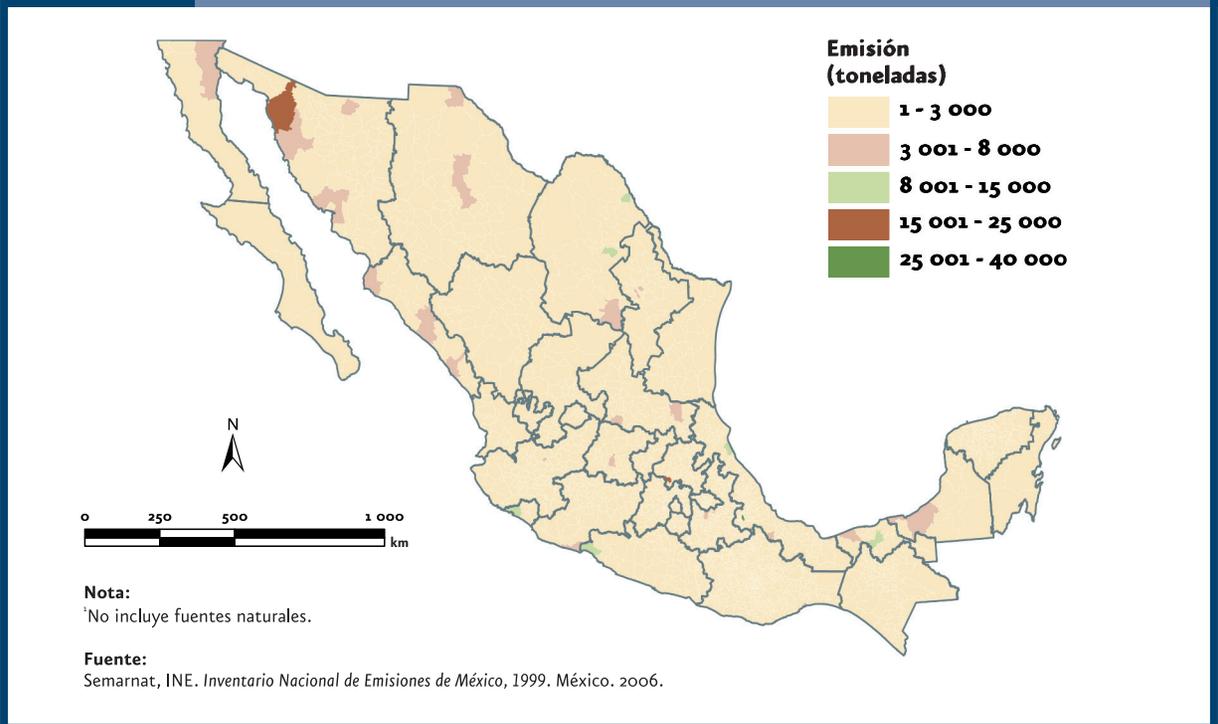
Mapa 5.5

Emisión de monóxido de carbono por municipio¹, 1999



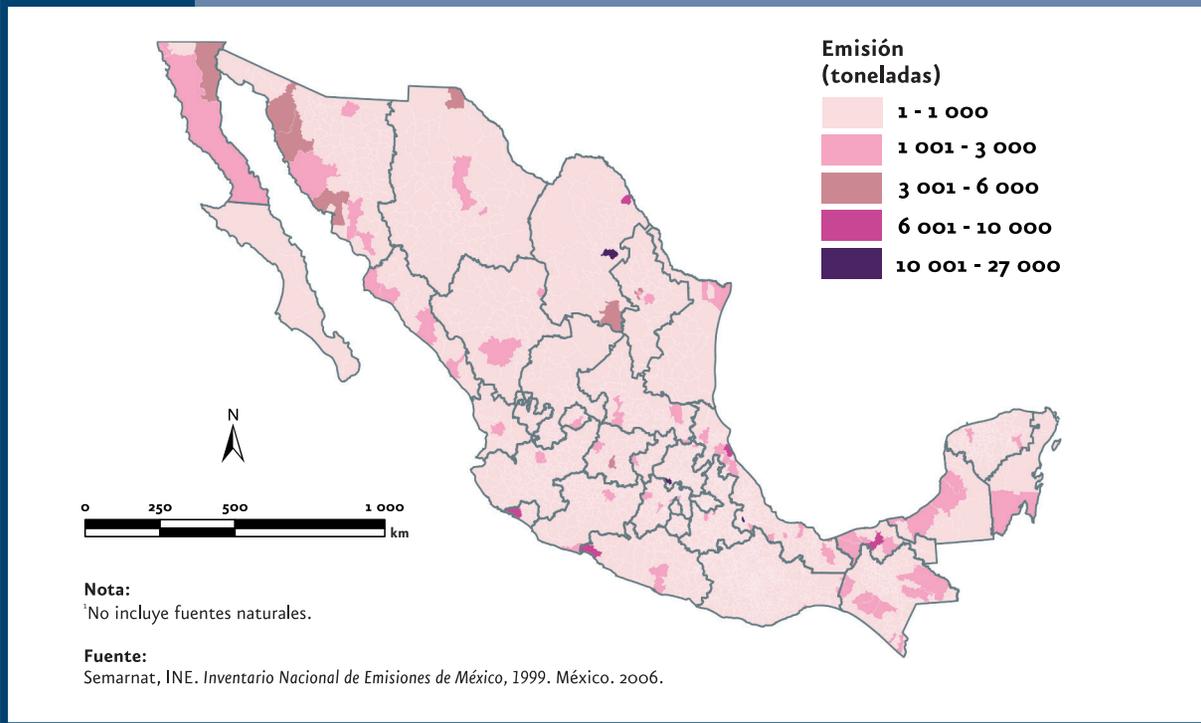
Mapa 5.6

Emisión de partículas menores a 10 micrómetros por municipio¹, 1999



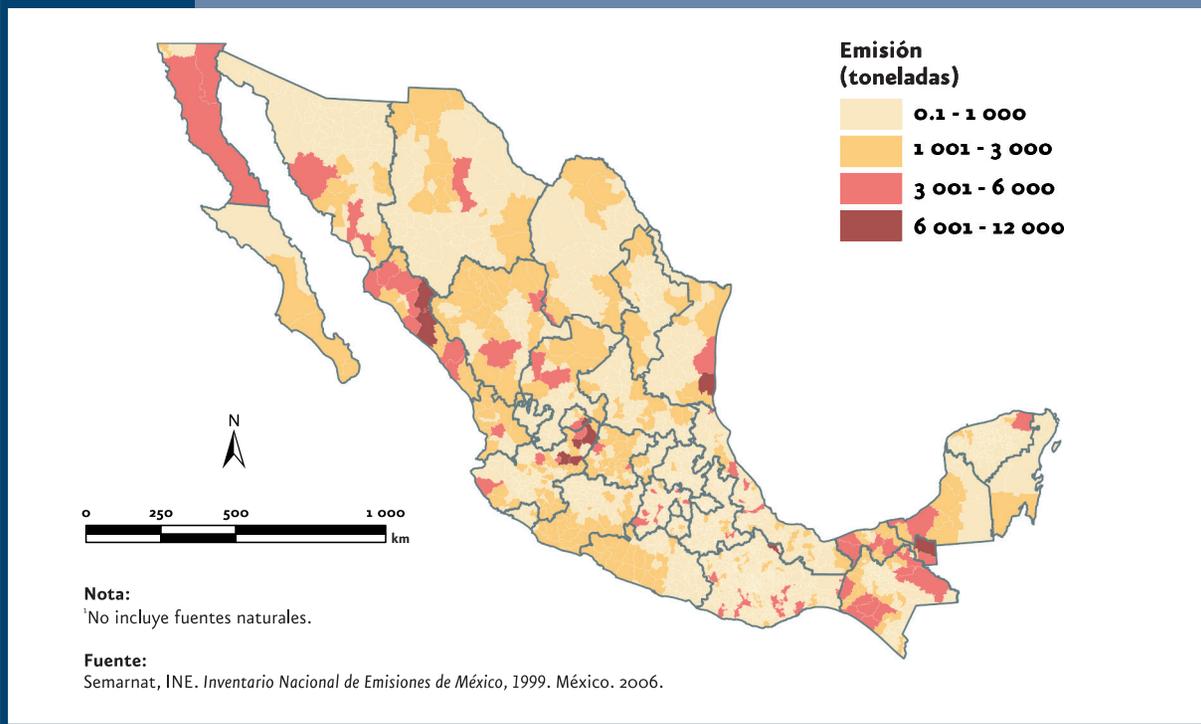
Mapa 5.7

Emisión de partículas menores a 2.5 micrómetros por municipio¹, 1999



Mapa 5.8

Emisión de amoníaco por municipio¹, 1999



Emisiones en la Zona Metropolitana del Valle de México

En la ZMVM se han estimado las emisiones de contaminantes, en intervalos de dos años, para el periodo 1994-2004, lo que permite hacer una descripción de los cambios en las emisiones en este periodo. Los resultados que se enfatizan en esta sección son los obtenidos en 2004, mientras que los cambios ocurridos toman como referencia el año 1994. La información para hacer este análisis fue la publicada en el inventario de emisiones de la ZMVM 2004, la cual incluye el recálculo de todos los años anteriores usando la misma metodología.

En la ZMVM, en el periodo 1994-2004 el CO fue el contaminante que más se emitió (50% del total) no obstante, sus volúmenes de emisión han disminuido.

En el año 2004 en la ZMVM, el transporte emitió el mayor volumen de contaminantes atmosféricos (75%).

Considerando el total de contaminantes emitidos entre 1994 y 2004, hubo una reducción importante entre 1994 y 1998, con cambios menos evidentes desde entonces (Figura 5.5). El CO ha sido consistentemente el contaminante que más se ha emitido, con valores superiores a 50% del total de las emisiones. No obstante, este gas es el que ha mostrado la disminución más drástica en su volumen de emisión, al pasar de 3.8 millones de toneladas en 1994 a 1.8 millones de toneladas en 2004, 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 los contaminantes, en 2004 las móviles generaron el mayor porcentaje (75%) (Figura 5.6). De las emisiones de ese año, producidas por dicha fuente, el CO representó la mayor proporción (83%). Las altas emisiones asociadas a las fuentes móviles pueden deberse a diversos factores, tales como el aumento del número de vehículos en circulación,

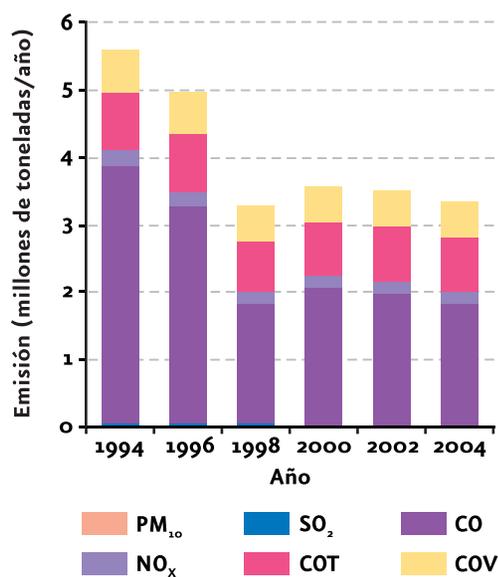
la cantidad de combustible que consumen y la baja proporción de vehículos con tecnologías de control incorporadas (por ejemplo, en el año 2004, 26% de los vehículos a gasolina no contaban aún con sistemas de control de emisiones).

A las fuentes móviles le siguen en importancia las fuentes de área, que emitieron 18.4% del total de los contaminantes. Las fuentes puntuales y la vegetación y el suelo contribuyeron con 6.1% de las emisiones.

El inventario de emisiones en la ZMVM también incluye los volúmenes de gases de efecto invernadero

Figura 5-5

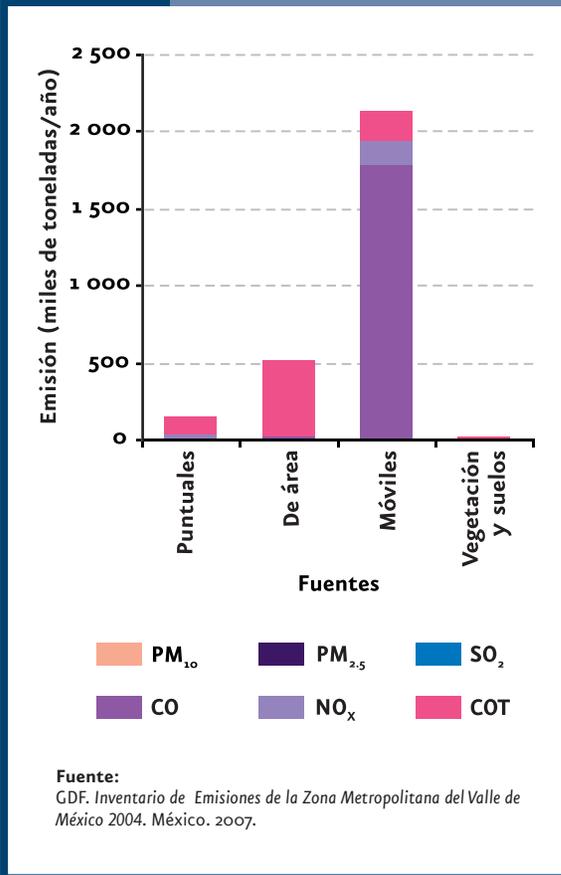
Emisión de contaminantes, en la Zona Metropolitana del Valle de México, 1994 - 2004



Fuente: GDF. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2004. México. 2007.

Figura 5.6

Emisión de contaminantes atmosféricos por fuente en la Zona Metropolitana del Valle de México, 2004



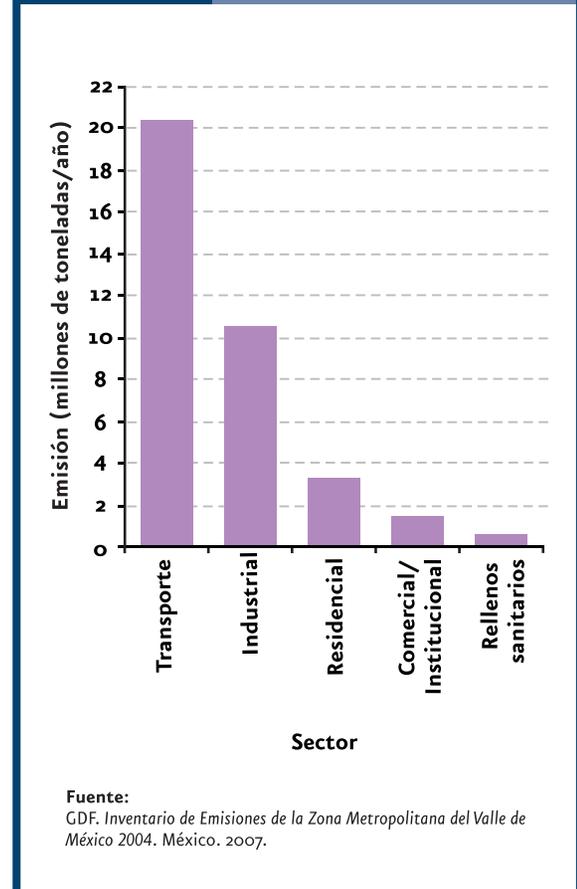
generados por los sectores transporte, industrial, residencial y comercial/institucional, estimados con la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Además, el inventario considera el CO₂ generado por la degradación de los residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios. De acuerdo con este inventario, las emisiones totales de CO₂ en 2004 para la ZMVM ascendieron a 35.8 millones de toneladas, 98% (35.2 millones de toneladas) generadas por la quema de combustibles fósiles por los cuatro sectores considerados y alrededor de 2% (600 mil toneladas) por la degradación de residuos sólidos urbanos en los rellenos sanitarios.

De acuerdo con este inventario, el transporte es el mayor emisor de CO₂ (57% del total), principalmente por el consumo de gasolina; el sector industrial representa 30% de las emisiones, destacando por la combustión de gas natural (26%) y los sectores residencial y comercial/institucional emiten el restante 13% (Figura 5.7; GDF, 2006b).

Además, se emitieron a la atmósfera 235 mil 65 toneladas de metano (CH₄); cabe señalar que este volumen se encuentra considerado dentro de las emisiones antes mencionadas de compuestos orgánicos totales (COT). Alrededor del 95% (223 mil 346 toneladas) del metano se generó en los rellenos sanitarios de la ZMVM.

Figura 5.7

Emisión de CO₂ por sector en la Zona Metropolitana del Valle de México, 2004



Normatividad y monitoreo de la calidad del aire

Los contaminantes atmosféricos tienen efectos negativos sobre la salud de la población, entre ellos las enfermedades respiratorias y los problemas cardiovasculares. Por esta razón, en nuestro país se monitorea la concentración atmosférica de los principales contaminantes: SO_2 , CO, bióxido de nitrógeno (NO_2), ozono (O_3), PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, partículas suspendidas totales (PST) y plomo (Pb). Para cada uno 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 ([Cuadro D3_R_AIRE01_03](#)).

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 de partículas, en la que se incluyen por primera vez las $\text{PM}_{2.5}$ (DOF, 2005). Por otro lado, la Semarnat tiene la facultad de expedir las normas oficiales mexicanas que señalan los 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 y las especificaciones de los combustibles que se utilizan ([Cuadro D3_R_AIRE01_03](#)).

Los límites que establecen las normas deben estar basados en estudios epidemiológicos, toxicológicos y de exposición que identifiquen los niveles del contaminante capaces de causar un efecto negativo en la salud con un cierto margen de seguridad. Sin embargo, en nuestro país, debido principalmente a la falta de recursos para realizar los estudios mencionados, así como

a la gravedad del problema a principios de los años noventa, las normas de calidad del aire mexicanas tuvieron como base la revisión de normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud y por la Agencia Ambiental de los Estados Unidos y no estudios particulares sobre la población de México.

Para conocer la concentración de contaminantes, se han establecido estaciones y redes de monitoreo atmosférico. Actualmente se cuenta con registros de contaminantes atmosféricos en 53 zonas metropolitanas y poblaciones (Mapa 5.9; [Cuadro D3_AIRE01_02](#); **IB 1.1-8**; **IC 7**). 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 cuenta con 36 estaciones

de monitoreo automático (EMA) y 13 estaciones de monitoreo manuales, que registran, entre otras variables, las concentraciones de O_3 , CO, SO_2 , NO_2 , PM_{10} y PST, considerados como

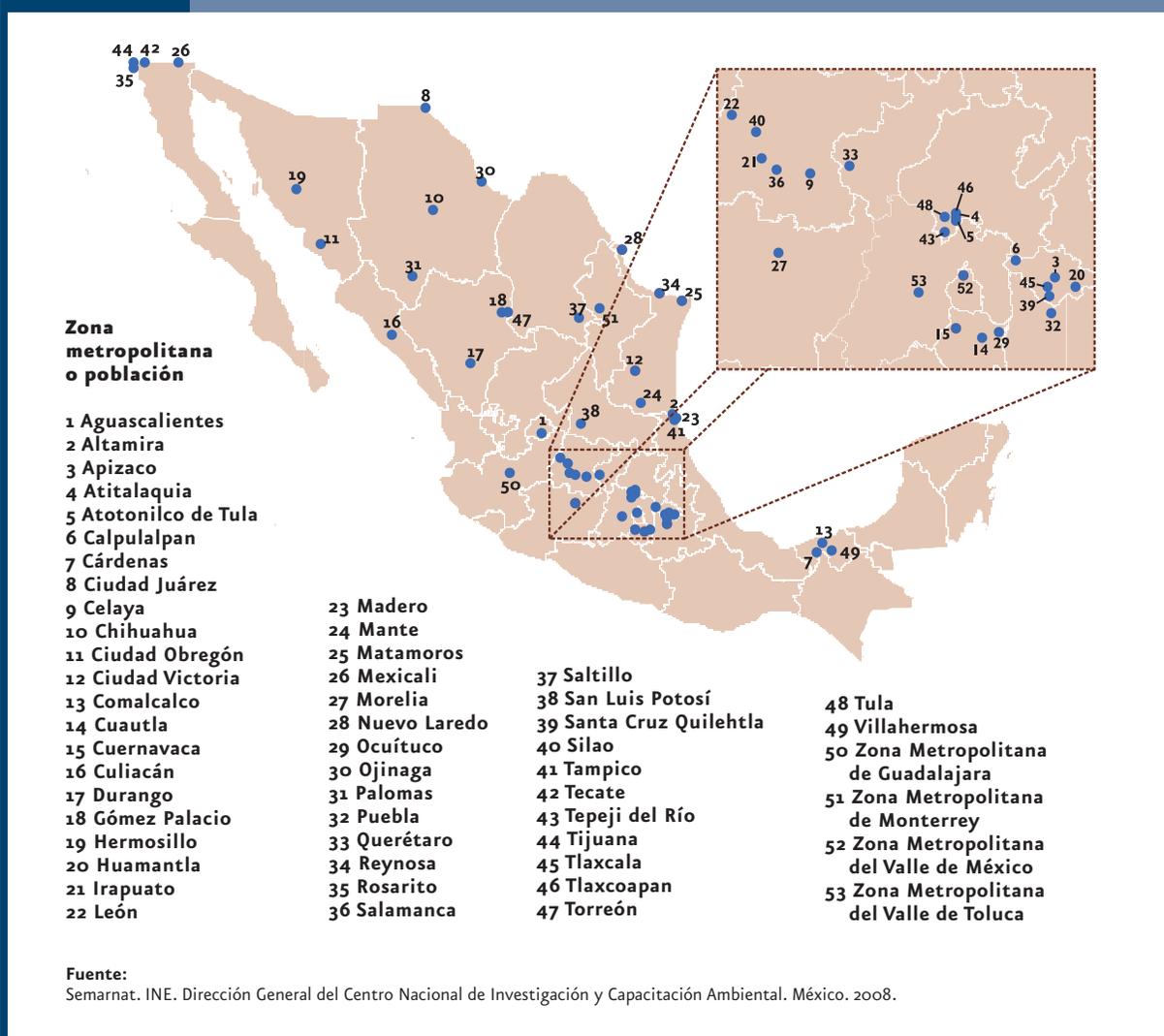
contaminantes criterio y de los cuales se tiene más información acerca de sus efectos sobre la salud. Debido a que la concentración de plomo en la ZMVM ha disminuido significativamente y se considera que está bajo control, no se incluye en este reporte.

Otras ciudades que cuentan con redes de 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 ciudades se concentran en evaluar alguno o varios contaminantes de importancia local, como es el caso de la mayoría de las ubicadas en Hidalgo, Ciudad Obregón y Naco en Sonora, que se enfocan en la medición de partículas, mientras que en Matamoros se registran SO_2 y 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](#).



Mapa 5.9

Zonas metropolitanas o poblaciones con monitoreo de la calidad del aire, 2008



Con el fin de hacer más comprensible el nivel de contaminación del aire, 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. En la escala utilizada por el Imeca, los valores están determinados en múltiplos de 50 Imeca ([Cuadro D3_R_AIRE01_04](#)).

La difusión del Imeca se inició en 1986 a través de diversos medios y actualmente se difunde por la radio, la prensa, la televisión y la Internet. Sin

embargo, al no existir un documento oficial que definiera el significado y utilidad del Imeca, así como los lineamientos para su generación, uso y difusión, se generó una falta de homologación de sus procedimientos entre los distintos generadores. Esto llevó a que en el Distrito Federal se elaborara la norma ambiental NADF-009-AIRE-2006 (GDF, 2006a), que establece los lineamientos que debe cumplir el Imeca. Dicha norma tiene aplicación en el Distrito Federal y se extiende a los municipios conurbados del Estado de México que comprenden la ZMVM. En este sentido, el Imeca tiene como objetivo

informar a la población de manera clara, oportuna y continua, sobre los niveles de contaminación atmosférica, los probables daños a la salud y las medidas de protección que puede tomar. Con esta nueva reglamentación la difusión del Imeca se realiza por medio de colores y calificativos sobre la calidad del aire de acuerdo con el grado de riesgo que represente para la salud humana (Tabla 5.1). El Imeca representa una herramienta muy valiosa para la evaluación inmediata durante la ocurrencia de episodios de contaminación del aire y facilita la comunicación de los mismos a la población. Sin embargo, para analizar el comportamiento histórico de la calidad del aire o el cumplimiento de las normas de calidad del aire en una región determinada, es más recomendable utilizar indicadores que se generen a partir de las bases de datos validadas por las redes de monitoreo atmosférico y con la aplicación de los mismos criterios durante el procesamiento de la información (INE, 2007).

Con base en los valores del Imeca, las autoridades pueden declarar una contingencia ambiental, que se refiere a una situación eventual y transitoria, en la que la concentración de contaminantes en la atmósfera alcanza niveles dañinos a la salud de la población en general. Algunas de las ciudades y zonas industriales que cuentan con programas de contingencias ambientales por contaminación atmosférica son el Valle de México, Guadalajara, Monterrey y Salamanca. En la ZMVM la última vez que se declaró una contingencia ambiental por ozono fue en el año 2002 y por PM_{10} en 2005.

En el Valle de México, algunas de las medidas que se aplican durante una contingencia son la suspensión de: actividades deportivas, cívicas y de recreo al aire libre, quemas a cielo abierto, actividades de bacheo y pintado, restricción a la circulación vehicular adicional al programa Hoy No Circula y restricción a la actividad industrial, entre otras.

Tabla 5.1		Interpretación del Imeca
Imeca	Condición	Efectos a la salud
0 – 50	Buena	Adecuada para llevar a cabo actividades al aire libre.
51 – 100	Regular	Posibles molestias en niños, adultos mayores y personas con enfermedades.
101 – 150	Mala	Causante de efectos adversos a la salud de la población, en particular los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares o respiratorias como el asma.
151 – 200	Muy mala	Causante de mayores efectos adversos a la salud de la población en general, en particular los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares o respiratorias como el asma.
> 200	Extremadamente mala	Causante de efectos adversos a la salud de la población en general. Se pueden presentar complicaciones graves en los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares o respiratorias como el asma.

Fuente:

GDF. Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México. Imeca. 2008. Disponible en: www.sma.df.gob.mx/simat/pnimeca.htm Fecha de consulta: 04-11-2008.

Calidad del aire en las ciudades del país

Existen diversas formas de abordar el análisis de la calidad del aire. Este capítulo se enfoca en las principales ciudades del país que cuentan con información confiable que permite un análisis adecuado, para ello se utilizó el número de días al año en los que se excede el valor de la norma asociada a cada contaminante. Dicha información se acompaña de las tendencias de los promedios anuales de las concentraciones de PM_{10} , SO_2 , O_3 , NO_2 y CO ⁵. Los días en que se excede el valor de la norma reflejan la magnitud del problema, ya

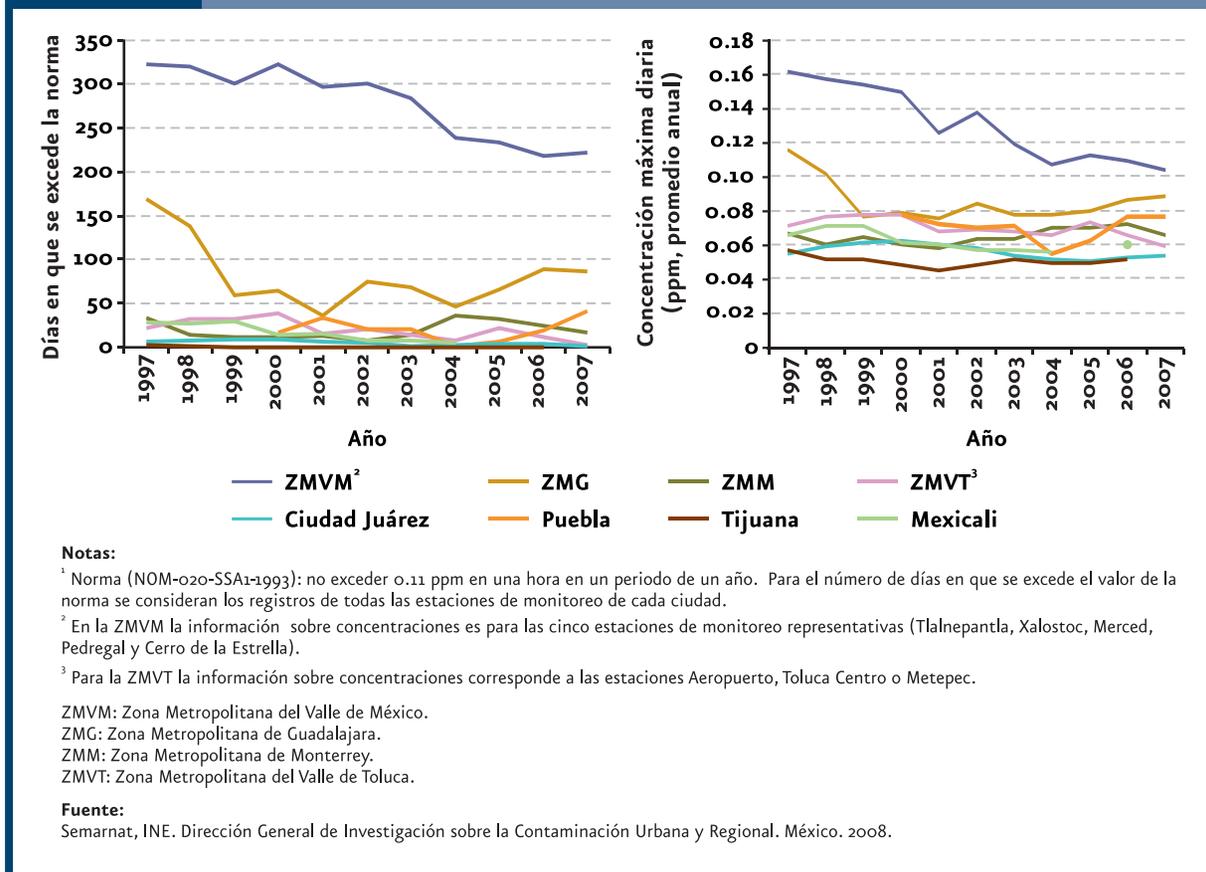
que muestran la frecuencia con la que se rebasa el umbral definido para proteger la salud; además, junto con las tendencias de los promedios anuales de las concentraciones, permiten tener una visión de la dinámica temporal de la calidad del aire y son un medio para evaluar la efectividad de las medidas 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 contaminantes más importantes en el país son el O_3 (Figura 5.8; IB 1.1-7) y las PM_{10} (Figura 5.9; IB 1.1-5), ya que todas las ciudades



Figura 5.8

Número de días en que se excede el valor de la norma horaria de ozono¹ y promedio anual de las concentraciones máximas diarias, 1997 - 2007



⁵Promedios de 24 horas para PM_{10} y SO_2 ; concentraciones máximas diarias para O_3 y NO_2 y concentraciones máximas diarias de los promedios móviles de 8 horas para CO .

rebasaron al menos una vez al año las concentraciones máximas permitidas. El O_3 es el principal problema en la ZMVM, ya que el número de días que se rebasa la norma horaria (0.11 ppm) aún es elevado (222 días en 2007, que representan 61% del año), aunque es considerablemente más bajo hoy día si se compara con los registros de finales de los noventas, cuando se mantuvieron alrededor de 86%. La ZMG disminuyó la frecuencia con la que excede la norma de O_3 de 169 días en 1997 a 87 días en 2007. Las demás ciudades mantuvieron valores inferiores a 41 días en el año 2007. Las ZMVM y

Los dos principales contaminantes en el país son el O_3 y las PM_{10} , ya que todas las ciudades para las que existe información rebasaron al menos una vez al año las concentraciones máximas permitidas.

ZMG muestran una tendencia muy clara de reducción de los promedios anuales de las concentraciones diarias de O_3 , aunque la ZMG volvió a mostrar un incremento a partir del año 2004. En el resto de las ciudades las

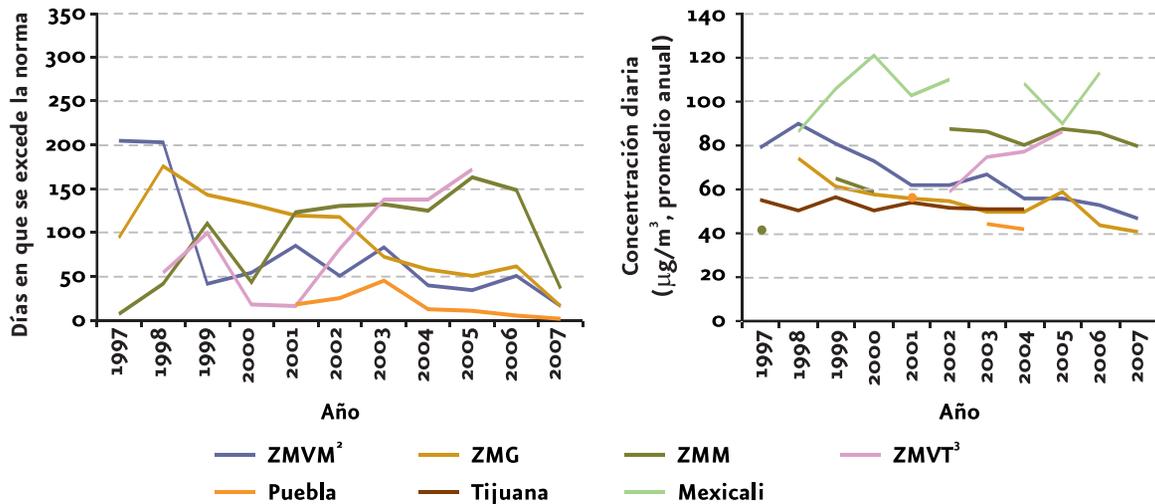
concentraciones se mantienen relativamente constantes con pequeñas variaciones (Figura 5.8; IB 1.1-7).



En el caso de las PM_{10} , la ZMVM ha dejado de ser la zona que excede con más frecuencia el límite establecido en la norma diaria (120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24 horas), ya que redujo su ocurrencia de 206

Figura 5.9

Número de días en que se excede el valor de la norma de 24 horas de partículas menores a 10 micrómetros² y promedio anual de las concentraciones diarias, 1997 - 2007



Notas:

¹ Modificación a la NOM-025-SSA1-1993: no exceder 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas en más del 2% de las mediciones realizadas. Para el número de días en que se excede el valor de la norma se consideran los registros de todas las estaciones de monitoreo de cada ciudad.

² En la ZMVM la información sobre concentraciones es para las cinco estaciones de monitoreo representativas (Tlalnepantla, Xalostoc, Merced, Pedregal y Cerro de la Estrella).

³ Para la ZMVT la información sobre concentraciones corresponde a las estaciones Aeropuerto, Toluca Centro o Metepec.

ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.

ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara.

ZMM: Zona Metropolitana de Monterrey.

ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Fuente:

Semarnat, INE. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional. México. 2008.

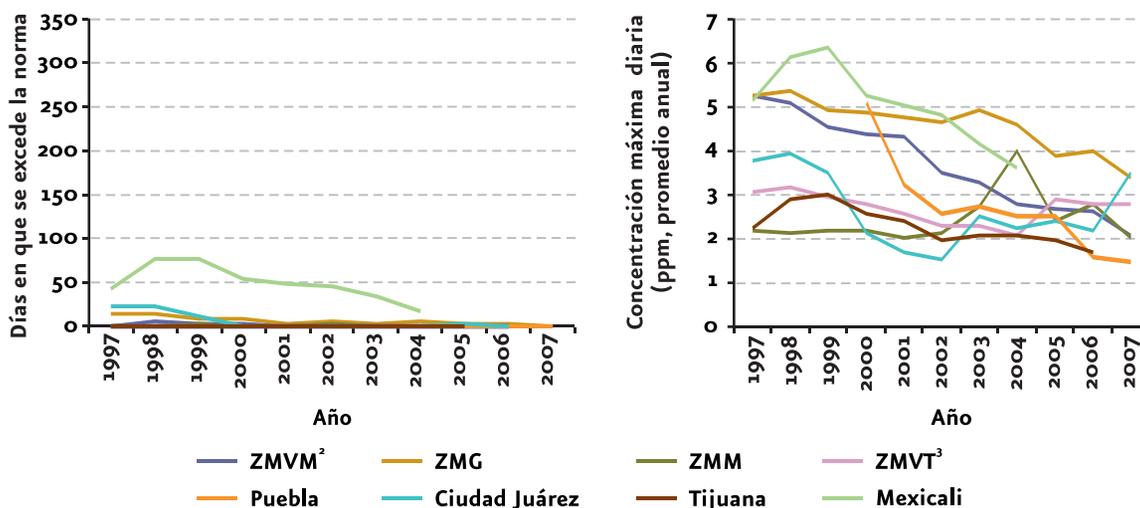
días (56%) en 1997 a sólo 17 días (5%) en 2007. En contraste, en el año 2005, la ZMVT rebasó la norma correspondiente 173 días (47%), mostrando una tendencia creciente en el número de días en los que se excede el valor de la norma (Figura 5.9; **IB 1.1-5**). En el caso de la ZMG, su tendencia es a la baja, registrándose 17 días por arriba de la norma en 2007. Los promedios anuales de las concentraciones diarias también disminuyeron: a partir de 1999 la ZMVM reporta concentraciones menores que las detectadas en la ZMM e incluso en varios años que las de ZMVT y Mexicali. Se observa un incremento en la ZMVT y ZMM, en contraste con la disminución registrada en la ZMG a partir de 1999. Por otro lado, Puebla registra valores por debajo de las cifras reportadas en las ciudades arriba mencionadas (Figura 5.9; **IB 1.1-5**).

La contaminación por CO no es actualmente un problema, a pesar de los valores tan altos de emisión (véase el Recuadro *Inventarios locales de emisiones*), ya que en 2007 ninguna ciudad reportó días fuera de la norma (Figura 5.10; **IB 1.1-3**). Los promedios anuales de las concentraciones diarias de este contaminante han disminuido en los últimos años en la mayoría de las ciudades que cuentan con información.

El SO₂ también parece estar controlado en casi todas las ciudades en las que se mide, ya que de 2003 a la fecha ninguna ciudad registró días por arriba del valor de la norma, con excepción de ZMM y Salamanca, que en el año 2005 reportaron 1 y 29 días respectivamente (Figura 5.11; **IB 1.1-6**). En todas las ciudades se observan concentraciones

Figura 5.10

Número de días en que se excede el valor de la norma de monóxido de carbono¹ y promedio anual de las concentraciones máximas diarias, 1997 - 2007



Notas:

¹ Norma (NOM-021-SSA1-1993): no exceder 11 ppm en promedio móvil de 8 horas una vez al año. Para el número de días en que se excede el valor de la norma se consideran los registros de todas las estaciones de monitoreo de cada ciudad.

² En la ZMVM la información sobre concentraciones es para las cinco estaciones de monitoreo representativas (Tlalnepantla, Xalostoc, Merced, Pedregal y Cerro de la Estrella).

³ Para la ZMVT la información sobre concentraciones corresponde a las estaciones Aeropuerto, Toluca Centro o Metepec.

ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.

ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara.

ZMM: Zona Metropolitana de Monterrey.

ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Fuente:

Semarnat, INE. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional. México. 2008.

diarias relativamente bajas; sólo Salamanca reporta niveles altos.

El problema de la contaminación por NO_2 ha disminuido de manera importante, en 2007 sólo la ZMG reportó exceder la norma 23 días (Figura 5.12;



IB 1.1-4). De la misma manera, la concentración de NO_2 muestra una tendencia a la baja desde finales de los años noventa en la ZMVM y ZMG; mientras que el resto de las ciudades 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 son suficientes para contar con una cobertura nacional y en algunos casos la información aún no tiene las características necesarias para hacer un análisis confiable.

En el caso del monitoreo de la lluvia ácida, aún no se cuenta con información a nivel nacional para evaluar la

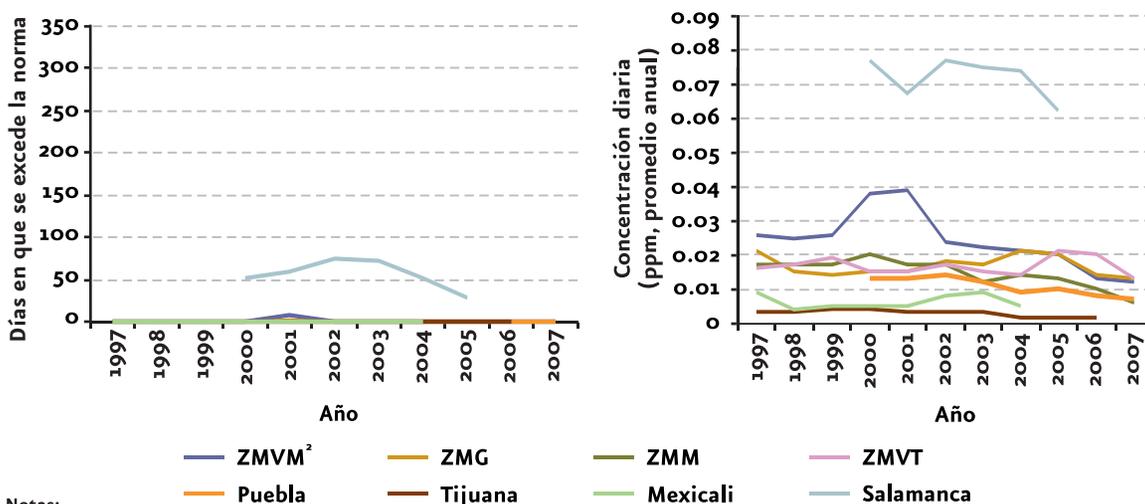
situación, sin embargo en la ZMVM ya existe una red de monitoreo que cuenta con datos históricos (ver Recuadro *Lluvia ácida: causas y consecuencias*).

El análisis de las tendencias de los principales contaminantes, sugiere que en general la calidad del aire en las principales ciudades del país ha mejorado. A pesar de que en la ZMVM la calidad del aire aún es deficiente, en particular debido a los niveles que alcanza el O_3 , es importante resaltar

Las concentraciones y el número de días en que se exceden las normas de CO , SO_2 y NO_2 han disminuido significativamente en la mayoría de las ciudades monitoreadas.

Figura 5.11

Número de días en que se excede el valor de la norma de 24 horas de bióxido de azufre¹ y promedio anual de las concentraciones diarias, 1997 - 2007



Notas:

¹ Norma (NOM-022-SSA1-1993): no exceder 0.13 ppm en 24 horas una vez al año. Para el número de días en que se excede el valor de la norma se consideran los registros de todas las estaciones de monitoreo de cada ciudad.

² En la ZMVM la información sobre concentraciones es para las cinco estaciones de monitoreo representativas (Tlalnepantla, Xalostoc, Merced, Pedregal y Cerro de la Estrella).

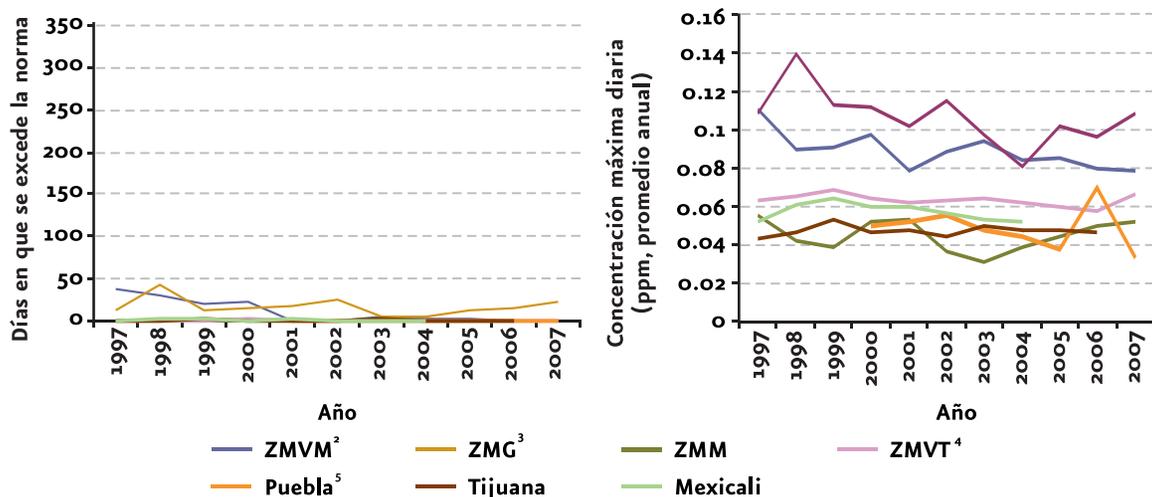
ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.
 ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara.
 ZMM: Zona Metropolitana de Monterrey.
 ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Fuente:

Semarnat, INE. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional. México. 2008.

Figura 5.12

Número de días en que se excede el valor de la norma horaria de bióxido de nitrógeno¹ y promedio anual de las concentraciones máximas diarias, 1997 - 2007



Notas:

¹ Norma (NOM-023-SSA1-1993): no exceder 0.21 ppm en una hora una vez al año. Para el número de días en que se excede el valor de la norma se consideran los registros de todas las estaciones de monitoreo de cada ciudad.

² En la ZMVM la información sobre concentraciones es para las cinco estaciones de monitoreo representativas (Tlalnepantla, Xalostoc, Merced, Pedregal y Cerro de la Estrella).

³ En el caso de ZMG no se considera la información sobre concentraciones de las estaciones LDO y ATM en 1997 y la de LDO de 1996, ya que no cumplen con el porcentaje de datos requeridos.

⁴ Para la ZMVT la información sobre concentraciones corresponde a las estaciones Aeropuerto, Oxtotitlán, Toluca Centro, Metepec y San Mateo Atenco.

⁵ En Puebla, el área eliminó la información sobre concentraciones de la estación Serdán del 2000, pues no tiene un comportamiento típico.

ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.

ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara.

ZMM: Zona Metropolitana de Monterrey.

ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Fuente:

Semarnat, INE. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional. México. 2008.

el hecho de que se presenta una tendencia a la baja en la concentración de los contaminantes y el número de días en los que se exceden las normas. Sin duda, 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 más estrictos para los vehículos nuevos, así como la adopción de tecnologías vehiculares cada vez más eficientes, han contribuido de manera significativa a que el plomo ya no sea un problema de contaminación en el aire y que los niveles de SO₂, CO y NO₂ raramente sobrepasen los valores de las normas.

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- a establecido programas para mejorar la calidad del aire conocidos como 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 aplicado en zonas metropolitanas que por sus características, como número de habitantes, actividades industriales, parque vehicular y condiciones climáticas y geográficas, entre otras, presentan los mayores problemas de contaminación atmosférica. Las zonas metropolitanas para las que se ha desarrollado por lo menos un Proaire

La lluvia, deposición o precipitación ácida son términos que se refieren a la caída de compuestos ácidos que se forman a partir de la reacción química entre sus precursores -dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x)- y la humedad atmosférica. Los ácidos sulfúrico y nítrico que se forman se depositan en construcciones y monumentos, vegetación, suelo y aguas superficiales y subterráneas a través de gases o partículas (deposición seca) o de lluvia, nieve o niebla (deposición húmeda). Para detectar la presencia de lluvia ácida en una región determinada, se utiliza como referencia el valor de pH del agua de lluvia, que es de 5.65.

Los precursores de la lluvia ácida provienen de fuentes naturales, como los volcanes y la materia orgánica en descomposición, o de fuentes antropogénicas relacionadas con la quema de combustibles fósiles en la industria, la generación de energía y el sector transporte (EPA, 2008). Los efectos de la deposición ácida (seca y húmeda) dependen de diversos factores, como el nivel de acidez del agua, la composición química y la capacidad de amortiguamiento de los materiales donde cae, así como la susceptibilidad de la vegetación y de los organismos expuestos a ella (INE, 2008).

Efectos de la lluvia ácida

La lluvia ácida puede afectar prácticamente a todos los ecosistemas. Llega a los cuerpos de agua directamente por los eventos pluviales o por las escorrentías de las zonas aledañas

(EPA, 2008). Puede producir la acidificación de lagos y arroyos con baja capacidad de amortiguamiento. Las escorrentías pueden arrastrar elementos tóxicos como el aluminio, el cual agrava el problema de la acidificación de las aguas porque afecta directamente a los organismos (Xu y Ji, 2001). Los lagos que tienen pH entre 6 y 8 pueden amortiguar el efecto ácido de la lluvia; mientras que en los que son naturalmente ácidos, la capacidad de amortiguamiento se ve disminuida (EPA, 2008).

La acidificación de los cuerpos de agua tiene diversas consecuencias en las redes tróficas. Por ejemplo, se ha observado la disminución de las poblaciones de invertebrados acuáticos así como del peso y talla de los peces (EPA, 2008). Esto a su vez impacta el éxito reproductivo y la abundancia de la aves que se alimentan de ellos (Graveland, 1998).

En los ecosistemas terrestres la acidez de la lluvia disuelve los nutrientes antes de que las plantas puedan aprovecharlos, provoca daños en las hojas y alteraciones fotosintéticas y en la fisicoquímica del suelo (Calva *et al.*, 1991; Saavedra-Romero *et al.*, 2003). Entre 7 y 17% de los ecosistemas terrestres del mundo están en riesgo crítico de acidificación (Bouwman *et al.*, 2002).

En México se han realizado diversos estudios para evaluar el efecto de la lluvia ácida en los ecosistemas, particularmente en los bosques que rodean a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). En el Parque Nacional

del Desierto de los Leones, en los bosques de *Abies religiosa* se registró un pH¹ de entre 5.11 y 6.64 (Saavedra-Romero et al., 2003). Esta acidez está relacionada con diferentes tipos de daño a la vegetación como pérdida de hojas y ramas, necrosis foliar, clorosis, descortezamiento y deficiencia nutrimental (Saavedra-Romero et al., 2003). Otro estudio registró pH promedio de 4.91 en otra zona del Desierto de los Leones y de 4.72 y 5.32 en bosques con dominancia de encinos en Chapa de Mota y San Luis Ayucan al noreste del Valle de México (Velasco-Saldaña et al., 2002).

Además del efecto en los ecosistemas boscosos, la lluvia ácida también está dañando a la roca caliza de edificios y monumentos históricos. Por ejemplo, en la zona arqueológica de El Tajín, en Veracruz, se registraron valores de pH menores a 5.62 en 85% de los eventos de lluvia comprendidos en el muestreo. El Tajín está rodeado de fuentes potenciales de precursores de lluvia ácida con alto contenido de azufre (plantas eléctricas y refinerías), los cuales son transportados por las corrientes de viento que usualmente atraviesan el sureste del Golfo de México (Bravo et al., 2006).

Monitoreo de la lluvia ácida en la ZMVM

A nivel nacional no hay un programa de monitoreo específico para la lluvia ácida; sin embargo, en la década de los ochenta se realizaron las primeras investigaciones sobre su presencia, caracterización y efectos

en la ZMVM. En 1987 comenzó su monitoreo sistematizado, pero es hasta 2001 que se consolidó la Red de Depósito Atmosférico (Redda), y posteriormente se integró al Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (Simat). En el año 2006, la ReddaA estaba formada por 16 estaciones de monitoreo distribuidas en las áreas urbana, rural y de conservación ecológica de toda la ZMVM. Actualmente en estas estaciones se registra el pH y la concentración de iones presentes en la deposición húmeda (Muñoz Cruz et al., 2008).

Los registros históricos en la ZMVM entre 1987 y 1993 indican que en los primeros años del monitoreo, el pH registraba valores menos ácidos y fue en 1989, cuando se registró el valor más ácido (3.4; INE, 2005). Datos más recientes de la Redda muestran valores de pH en un rango de 3.65 a 7.58 en 2006 y de 3.89 a 9.36 en 2007 (GDF, 2008). Con respecto a las emisiones de precursores de lluvia ácida, el Inventario de Emisiones 2004 señala que las emisiones de SO₂ y NO_x son mayores en la regiones centro, noreste y noroeste, lo cual está asociado con la mayor afluencia vehicular y la mayor concentración de industrias asentadas en estas zonas (GDF, 2006).

Durante la mayor parte del año, la dirección predominante de los vientos en la ZMVM es de norte a sureste. Esto propicia que los precursores de lluvia ácida que se emiten en la parte norte sean trasladados a la región sur de la Ciudad de México, donde las condiciones de presión y temperatura

favorecen la condensación de la humedad atmosférica, dando lugar a la precipitación pluvial con mayor acidez en las zonas agrícolas y forestales (GDF, 2006).

Nota:

¹ Es una medida que determina la acidez o alcalinidad de cualquier solución. La escala va de 0 (ácido) a 14 (básico). El 7 es neutro.

Referencias:

Bravo, H. R. Soto, R. Sosa, P. Sánchez, A. L. Alarcón, J. Kahl y J. Ruíz. Effect of acid rain on building material of the El Tajín archaeological zone in Veracruz, México. *Environmental Pollution* 144: 655-660. 2006.

Bouwman, A. F., D. P. Van Vuuren, R. G. Derwent y M. Posch. A global analysis of acidification and eutrophication of terrestrial ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution* 141: 349-382. 2002.

Calva, V. G., V. C. Flores., R. German., L. V. Ruz, R. M. Sánchez., T. A. Soto y R. Vázquez. Un fenómeno degradatorio de los bosques del Valle de México, la lluvia ácida. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 7: 105. 1991.

EPA. *Lluvia ácida*. Disponible en: www.epa.gov/acidrain/spanish/index.html Fecha de consulta: 05-12-2008.

GDF. *Inventario de emisiones a la atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México 2004*. México. 2006. Disponible en: www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=10 Fecha de consulta: 05-12-2008.

GDF. SIMAT. Disponible en: www.sma.df.gob.mx/simat/home_base.php Fecha de consulta: 02-12-2008.

Graveland, J. Effects of acid rain on bird populations. *Environmental Review* 6:41-54. 1998.

INE. Aire. 2005. Disponible en: www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/16/parte4_17.html Fecha de consulta: 05-12-2008.

INE. *Lluvia ácida*. Disponible en: www.ine.gob.mx/dgicur/calair/l/lluvia_acida.html Fecha de consulta: 05-12-2008.

Muñoz-Cruz, R., G. S. López-Venegas y A. Campos-Díaz. *Estado de la lluvia ácida en la zona metropolitana del Valle de México*. 2008. Disponible en: www.sma.df.gob.mx/simat/pdf/edo_lluvia_acida_zmvm.pdf Fecha de consulta: 02-12-2008.

Saavedra-Romero, D. Alvarado-Rosales, J. Vargas-Hernández y T. Hernández-Tejeda. Análisis de la precipitación pluvial en bosques de *Abies religiosa*, en el sur de la Ciudad de México. *Agrociencia* 37: 57-64. 2003.

Velasco-Saldaña, H. E., E. Segovia-Estrada, M. Hidalgo-Navarro, S. Ramírez-Vallejo, H. García-Romero, I. Romero, A. M. Maldonado, F. Ángeles, A. Retama, A. Campos, J. Montañón y A. Wellens. *Lluvia ácida en los bosques del poniente del Valle de México*. XXVIII Congreso Internacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 2002.

Xu, R. K. y G. L. Ji. Effects of H₂SO₄ and HNO₃ on soil acidification and aluminum speciation in variable and constant charge soils. *Water, Air, and Soil Pollution* 129: 33-43. 2001.

son el Valle de México, Monterrey, Guadalajara, Toluca, Ciudad Juárez, Mexicali, Tijuana-Rosarito, Salamanca, Michoacán, Puebla y León. En todos los casos, su elaboración tuvo como base la información de la calidad del aire y de las fuentes de emisiones. Las acciones contenidas en los Proaires 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.

Como parte de las medidas para controlar el problema de la contaminación del aire, en enero de 2006 se publicó la norma NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, que establece nuevas especificaciones para los combustibles que se venden en México, principalmente lo relacionado con el contenido de azufre, olefinas y benceno. En enero de 2005 se introdujo al mercado la gasolina Magna de 300 partes por millón (ppm) promedio de azufre y 500 ppm máximo; en octubre de 2006

se incorporó al mercado gasolina Premium UBA (ultra bajo azufre) de 30 ppm promedio de azufre y 80 ppm máximo para su consumo en todo el país. Además, a principios de 2007 se introdujo, en la zona fronteriza norte, el diesel UBA de 15 ppm máximo y se planea que en 2009 se distribuya en las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara y Monterrey, y posteriormente en todo el territorio nacional.

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, se requiere una mayor inversión para controlar y abatir la contaminación del aire. El gasto del sector público destinado en 2004 a prevenir y controlar la contaminación atmosférica, reportado por el INEGI, ascendió a 198 mil 910 millones de pesos, que representaron apenas 0.5% del gasto ambiental total, el cual incluye también actividades en materia de aguas residuales, residuos, suelos y agua subterránea, biodiversidad y paisaje, programas ecológicos de regulación y preservación, infraestructura ecológica, regulación humana de los establecimientos y educación ambiental, entre otras actividades (INEGI, 2007).

CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es uno de los principales problemas ambientales globales en la actualidad, con implicaciones que rebasan al ambiente, ya que sus efectos proyectados podrían tener consecuencias económicas, sociales y políticas importantes. Para comprender este fenómeno es necesario conocer tanto las bases científicas del problema como las causas y posibles efectos que trae consigo.

La atmósfera está constituida de manera natural principalmente por oxígeno y nitrógeno

que, en conjunto, representan el 99.03% de la composición de la atmósfera. El argón representa 0.93% del total. Existen además otros gases en concentraciones más bajas –bióxido de carbono (CO_2), vapor de agua, ozono (O_3), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O)–, que por su capacidad de absorber calor se conocen como gases de efecto invernadero (GEI).

El clima y particularmente la temperatura de la superficie de la Tierra dependen del balance entre la energía solar que recibe el planeta y el calor (radiación infrarroja) que emite. Los GEI 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; incluso, estos gases irradian nuevamente una parte de calor hacia ella, produciendo un efecto neto de calentamiento de manera similar al que ocurre en los invernaderos (Figura 5.13; [Cuadro D3_R_AIRE02_01](#)). Sin este fenómeno, la temperatura de la Tierra sería en promedio 33°C más fría y muy probablemente la vida no se hubiera desarrollado o sería muy distinta de como la conocemos hoy en día.

El clima es un fenómeno complejo que dista de ser constante pues aunque existen tendencias de largo plazo, también hay variaciones naturales que se manifiestan en intervalos de tiempo variables. Los cambios anuales en el clima (estaciones), así como aquéllos que han ocurrido en periodos más largos son resultado de la variación natural (ver el Recuadro [¿Qué motiva el cambio en el clima?](#)). A lo largo de la historia de la Tierra se han registrado épocas en las que se han presentado periodos de glaciación o de mayores temperaturas. Sin embargo, el cambio en el clima que se experimenta hoy día se atribuye a las actividades humanas.

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) definió el cambio climático como “...todo cambio en el clima

Figura 5.13

Efecto invernadero



Fuente:

Okinagan University College, University of Oxford, United States Environmental Agency. *The Science of Climate Change Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. UNEP, WMO. Cambridge University Press. U.S.A. 1996.

a través del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas” (IPCC, 2007b). A pesar de que existen varios factores que pueden afectar el clima, el IPCC concluyó en su Cuarto Informe de Evaluación de 2007 que el incremento de temperatura promedio observado desde mediados del siglo XX a la fecha se debe *muy probablemente*⁶ al incremento de las concentraciones de origen antropogénico de gases de efecto invernadero (IPCC, 2007a).

Emisiones antropogénicas de GEI

Los gases de efecto invernadero son emitidos tanto por fuentes naturales como por actividades humanas. Sin embargo, dentro de estas últimas, la fuente más importante es la quema de combustibles fósiles. A partir de la Revolución Industrial, iniciada en el siglo XVIII, se incrementó significativamente la producción de bienes y servicios, lo que generó una mayor

⁶De acuerdo con el IPCC “muy probablemente” corresponde a una probabilidad mayor a 90%.

El clima de la Tierra es todo menos simple, ya que una gran variedad de factores y procesos tienen influencia sobre él, ya sea de manera local o regional. Dichos elementos van desde cambios en la actividad solar, hasta erupciones volcánicas o fenómenos como El Niño. Por ello, es incorrecto atribuirle el cambio del clima únicamente a la presencia de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Cuando ocurren erupciones volcánicas se puede modificar el clima de forma importante durante periodos cortos, ya que incorporan a la estratosfera grandes concentraciones de gases con azufre (principalmente SO_2) que son transformados en aerosoles de sulfatos que reflejan la radiación solar y producen un enfriamiento a corto plazo. Los aerosoles, que son partículas microscópicas o gotas suspendidas en el aire (que también se producen 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; en contraste, si son de color oscuro, como las partículas de hollín, absorben la radiación e inducen el calentamiento.

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 terrestre¹ que modifican la cantidad de radiación que recibe un sitio. El resultado más evidente de estas variaciones son las glaciaciones, las

cuales se presentaron recurrentemente en la Tierra durante el Pleistoceno.

Otro ejemplo de la variabilidad climática del planeta es el fenómeno conocido como El Niño². 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), en el cual una masa de agua cálida se desplaza de su posición habitual en el oeste hacia las costas del continente americano, ocasionando, por ejemplo, un incremento de lluvias en Perú y sequías en los bosques tropicales de Indonesia.

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:

¹Esta 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.

²El 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.

Referencia:

IPCC. *Climate change 2001. Technical summary*. IPCC. United Kingdom. 2001.

demanda y consumo de combustibles fósiles que, al ser incorporados a la atmósfera, ocasionaron el incremento en la concentración de GEI, lo que, de acuerdo con la evidencia científica, promueve el calentamiento global y el cambio climático (IPCC, 2007a).

El CO₂ 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 radiativo⁷ (1.3-1.5 Wm⁻²) y al notable incremento de su concentración en la atmósfera (35% mayor respecto a la época preindustrial).

A este gas se le ha asignado un potencial de calentamiento de 1 y es usado como referencia para establecer el potencial del resto de los GEI (IPCC, 2001; NAS, 2001).

El incremento de temperatura promedio observado desde mediados del siglo XX se debe muy probablemente al incremento de las concentraciones de GEI de origen antropogénico.

Emisiones mundiales

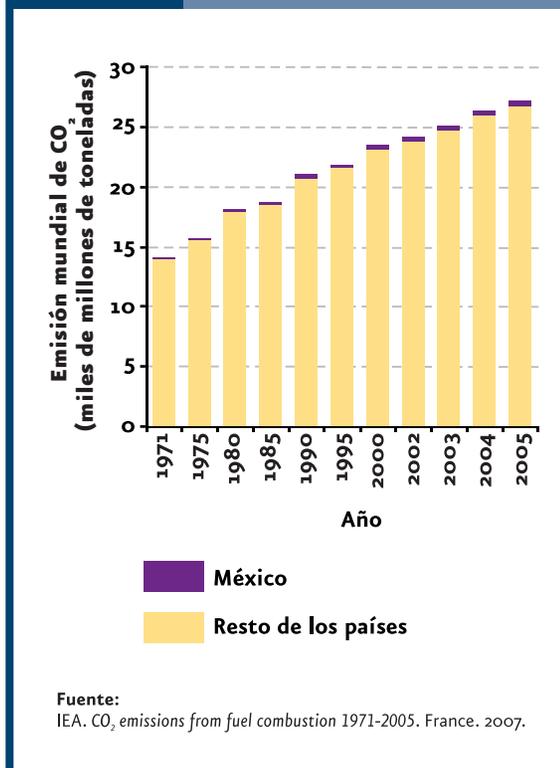
La emisión de CO₂ se ha incrementado de manera directa con la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso del suelo. Durante el periodo 1971-2005, la emisión mundial derivada del consumo y quema de combustibles fósiles aumentó alrededor de 90% (Figura 5.14, IB 1.2-1). México contribuyó, en 2005, con alrededor de 1.4% de las emisiones de GEI a nivel mundial, lo que lo ubica entre los primeros quince países por su volumen de emisión.

En 2005, cinco países fueron responsables de poco más de la mitad del CO₂ emitido a nivel mundial por consumo y

La emisión mundial derivada del consumo y quema de combustibles fósiles aumentó alrededor de 90% en el periodo 1971-2005. En 2005, México contribuyó con 1.4% de las emisiones globales de GEI.

Figura 5.14

Emisión mundial de CO₂ por consumo de combustibles fósiles, 1971 - 2005



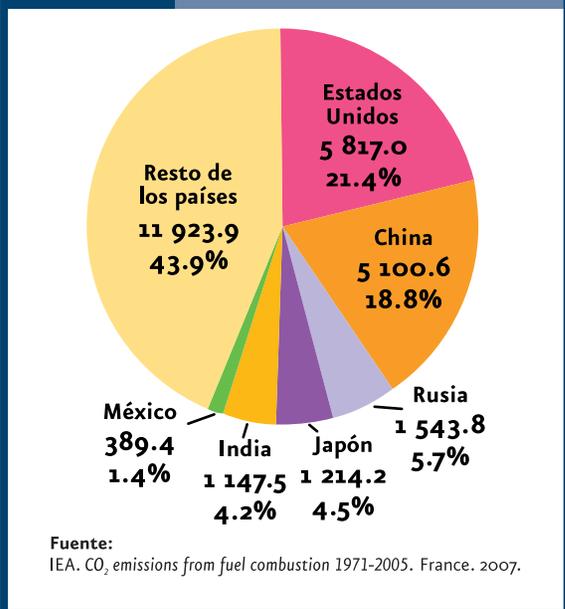
quema de combustibles fósiles (Figura 5.15). En ese año se generaron alrededor de 27 mil millones de toneladas de bióxido de carbono, de las cuales 14 mil 823 (54.6%) provinieron de Estados Unidos, China, Rusia, Japón e India. Destacan los casos de Estados Unidos y China, que fueron responsables de aproximadamente 22 y 19%, respectivamente, de las emisiones totales del planeta en ese año. La contribución de México ha representado entre

0.7 y 1.43% de las emisiones totales (Figuras 5.14 y 5.15). Si se considera la emisión de bióxido de carbono, metano y óxido nítrico, en el contexto regional sobresalen, además de Norteamérica (que en

⁷Índice del peso del factor (en este caso el CO₂) como mecanismo potencial de cambio climático. Se refiere al cambio en el flujo neto de energía radiativa hacia la superficie de la Tierra como resultado de cambios internos en la composición de la atmósfera, o cambios en el aporte externo de energía solar. Un forzamiento radiativo positivo contribuye a calentar la superficie terrestre, mientras que uno negativo favorece su enfriamiento.

Figura 5.15

Contribución de los principales países emisores y México a la emisión mundial de CO₂ por consumo y quema de combustibles fósiles, 2005. Millones de toneladas de CO₂ y porcentaje



2002 contribuyó con 26% del total de emitido), el este de Asia (15% del total), Europa occidental (14%) y Medio Oriente (13%; Mapa 5.10).

Si se examinan las emisiones por habitante, se observa que Estados Unidos posee una emisión (19.5 toneladas de CO₂ por persona) casi cinco veces mayor a la emisión per cápita mundial (4.12 toneladas de CO₂ por persona; Figura 5.16). Rusia y Japón poseen emisiones per cápita de poco más del doble que el valor mundial, mientras que China e India tienen valores menores que la emisión per cápita mundial (IEA, 2007; UNFPA, 2005). En el caso de México, la cifra puede variar entre 3.6 y 3.9 toneladas de CO₂ por persona

(ubicando a México en el lugar 69 a nivel mundial), dependiendo de la fuente de datos de emisión que se empleó (IEA, 2007; Semarnat, INE, 2006a).

Emisiones nacionales

La primera estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero para México se publicó en 1995 con datos de 1990. Los resultados se presentaron ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 1997 como parte de la Primera Comunicación Nacional de México ante la Convención. Posteriormente, en la Segunda Comunicación Nacional (2001) se calcularon las emisiones de 1994, 1996 y 1998 con la metodología revisada del IPCC de 1996. En el año 2006 se presentó la Tercera Comunicación Nacional, la cual incluye el inventario nacional recalculado para el periodo 1990-2002. Cabe señalar que debido al cambio de método, las comparaciones entre inventarios no son recomendables, por lo que en este texto haremos referencia sólo a los datos reportados en el último inventario publicado.

De acuerdo con el último Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGI), la emisión total de GEI aumentó alrededor de 30% entre 1990 y el año 2002. En el año 2002, las emisiones nacionales de GEI fueron de alrededor de 553 millones de toneladas de CO₂ equivalente⁸ (sin considerar las emisiones por el uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura).

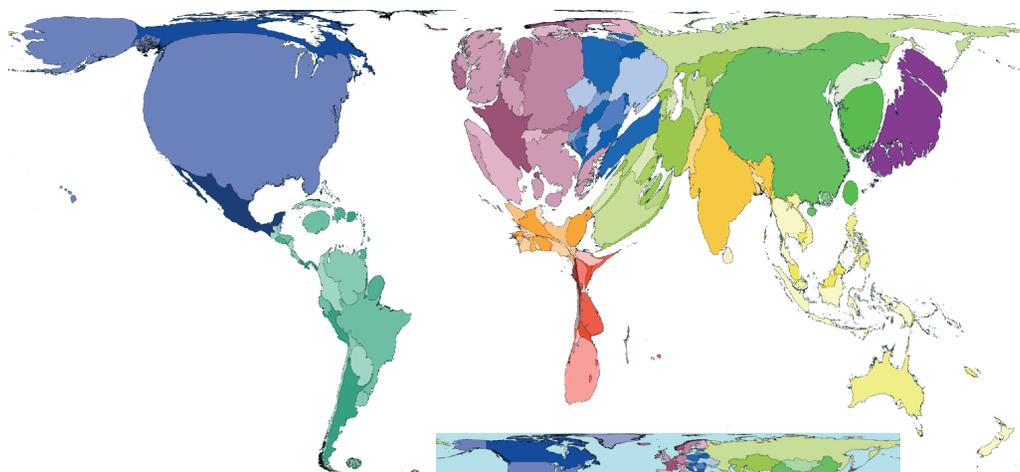
En el INEGI se indica que el sector energético (que incluye el consumo de combustibles fósiles y las emisiones fugitivas⁹) emitió en el 2002 más del 70% (389.5 millones de toneladas de CO₂ equivalente) del total de GEI (Figura 5.17, Cuadro D3_AIRE02_01). Dentro de este sector, el consumo de combustibles fósiles representó la principal fuente de emisiones de GEI en el país, ya que cada año ha contribuido con poco más del 63% de las emisiones totales.

⁸CO₂ equivalente: concentración de bióxido de carbono que podría causar el mismo grado de forzamiento radiativo que una mezcla determinada de bióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero.

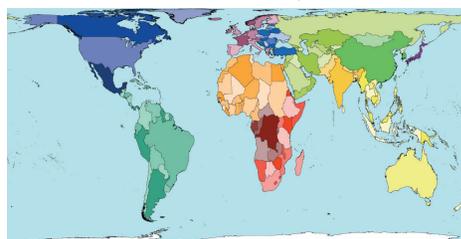
⁹Aquellas emisiones que se generan en las actividades antes, durante y después del minado del carbón, así como las registradas en la producción, transmisión, almacenamiento y distribución de petróleo y gas natural.

Mapa 5.10

Contribución regional a la emisión global de gases de efecto invernadero¹, 2002



El área de las regiones es proporcional a su emisión de gases de efecto invernadero. A la derecha se muestra el mapa con las proporciones reales.



Nota:

¹ Incluye la emisión de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico ponderada por su potencial de calentamiento.

Fuente:

SASI Group y M. Newman. 2006. Disponible en: www.worldmapper.org/textindex/text_index.html Fecha de consulta: 05-10-2008.

En el 2002, las emisiones derivadas de los desechos (disposición de residuos sólidos en suelo, manejo y tratamiento de aguas residuales e incineración de residuos) contribuyeron con 11.9% del total de GEI (65.6 millones de toneladas de CO₂ equivalente), mientras que los procesos industriales y la agricultura emitieron 9.4 y 8.3% (52.1 y 46.1 millones de toneladas de CO₂ equivalente) respectivamente, del total nacional.

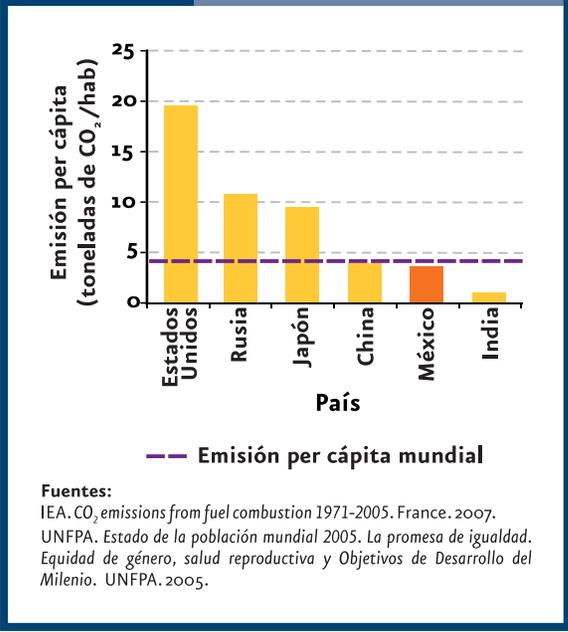
En el año 2002, México emitió alrededor de 553 millones de toneladas de CO₂ equivalente (sin considerar las emisiones por el uso del suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura). Si se consideran todas las fuentes esta cifra asciende a 643.2 millones de toneladas de CO₂ equivalente.

Si el análisis se hace considerando los seis principales GEI contemplados por el Protocolo de Kioto¹⁰ -CO₂ (bióxido de carbono), CH₄ (metano), N₂O (óxido nítrico), HFC (hidrofluorocarbonos), PFC (perfluorocarbonos) y SF₆ (hexafluoruro de azufre)-, el CO₂ es el contaminante que se emitió en mayor proporción a nivel nacional (71% del total de GEI emitidos; Figura 5.18, Cuadro D3_AIRE02_01), seguido por el metano, con alrededor del 25% del total.

¹⁰ Convenio internacional que busca reducir las emisiones de GEI.

Figura 5.16

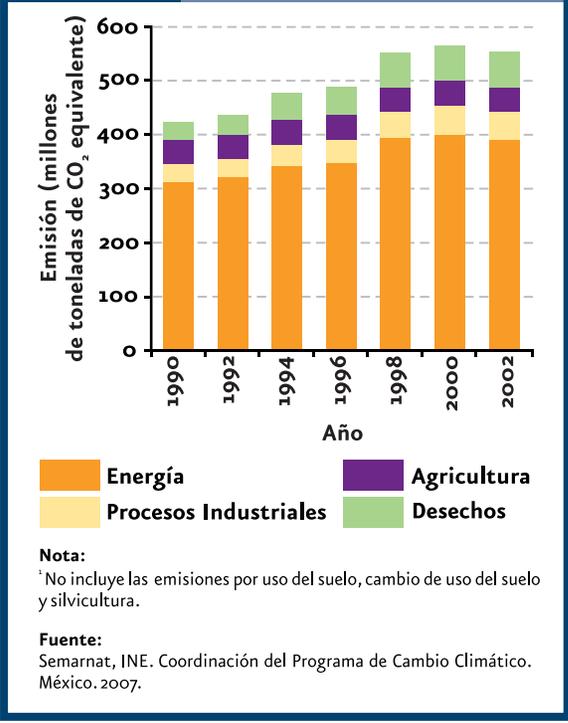
Emisión per cápita de CO₂ en los principales países emisores y México, 2005



Fuentes: IEA. CO₂ emissions from fuel combustion 1971-2005. France. 2007. UNFPA. Estado de la población mundial 2005. La promesa de igualdad. Equidad de género, salud reproductiva y Objetivos de Desarrollo del Milenio. UNFPA. 2005.

Figura 5.17

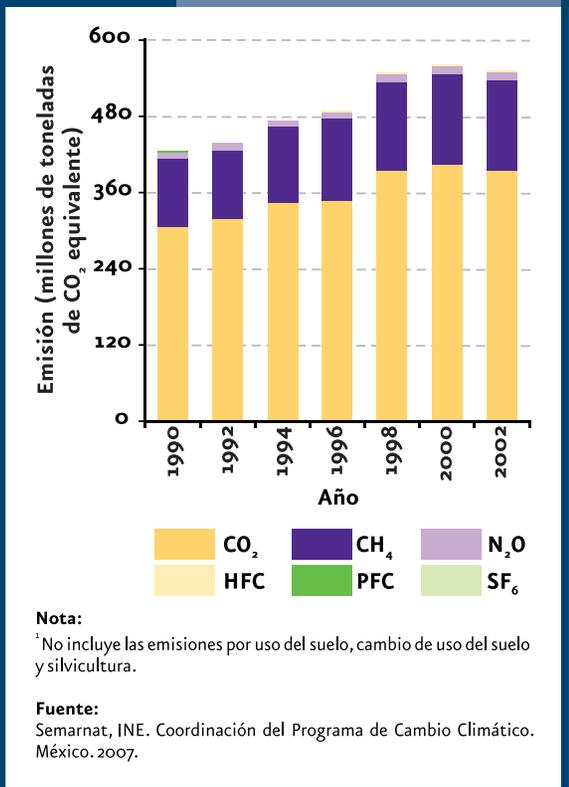
Emisión nacional de gases de efecto invernadero, por fuente¹, 1990 - 2002



Nota: ¹No incluye las emisiones por uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura. Fuente: Semarnat, INE. Coordinación del Programa de Cambio Climático. México. 2007.

Figura 5.18

Emisión nacional de gases de efecto invernadero, por gas¹, 1990 - 2002



Nota: ¹No incluye las emisiones por uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura. Fuente: Semarnat, INE. Coordinación del Programa de Cambio Climático. México. 2007.

Alrededor del 88% del CO₂ emitido provino del consumo de combustibles fósiles. El metano se generó principalmente (44%) por la disposición final de residuos sólidos en suelo y el manejo y tratamiento de aguas residuales (Cuadro D3_AIRE02_01), aunque la agricultura y las emisiones fugitivas de combustibles contribuyeron también con cantidades significativas (alrededor de 27% de la emisión total, cada una).

El CO₂ emitido a nivel nacional provino principalmente del consumo de combustibles fósiles (88%).

El cálculo de las emisiones de GEI para el periodo 1990-2002, que se reporta en el INEGI, no incluye las emisiones derivadas del uso de suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUSS). En el INEGI se reporta una estimación preliminar,

para el periodo 1993-2002, de 89.8 millones de toneladas de CO₂ equivalente promedio al año. La estimación incluye como principales fuentes a la combustión y descomposición de biomasa asociada a los procesos de conversión de bosques y superficies de vegetación natural a otros usos. Si se consideran todas las fuentes (incluyendo el USCUS), el total nacional de GEI emitidos en 2002 ascendería a 643.2 millones de toneladas de CO₂ equivalente y la contribución relativa de la categoría USCUS representaría 14% del total. Dicha estimación es importante ya que, además de significar un elevado porcentaje de las emisiones, existe evidencia de que el cambio de uso del suelo ha contribuido en el pasado con importantes cantidades de GEI, pues se calcula que los niveles de carbono en el suelo se reducen entre un 50 y 60% después de 50 a 100 años de uso agrícola (Stewart y Robinson, 2000).

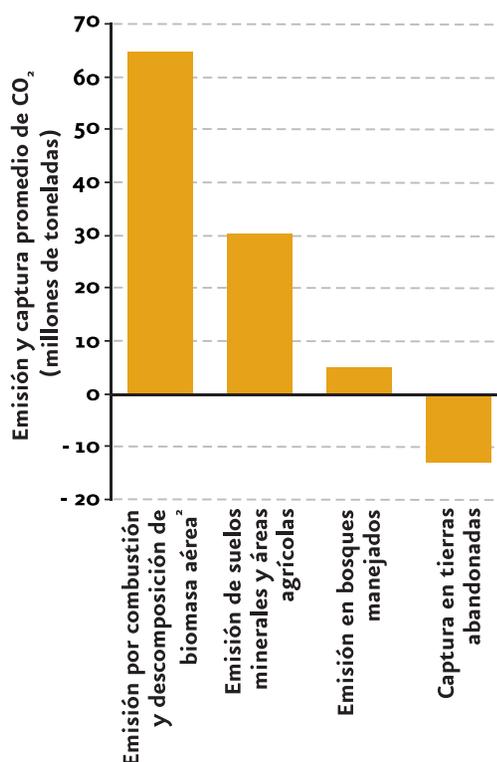
Si se consideran únicamente las emisiones de CO₂, la categoría USCUS aporta un total de 86.9 millones de toneladas. Estas emisiones son el resultado de un balance entre emisión y captura de CO₂; por un lado se contabilizan las emisiones provenientes de combustión y descomposición de biomasa aérea (64.5 millones de toneladas), suelos minerales y áreas agrícolas (30.4 millones de toneladas), así como bosques manejados (4.9 millones de toneladas); mientras que se descuenta la captura de CO₂ en tierras abandonadas (12.9 millones de toneladas; Figura 5.19; IB 1.2-3; Semarnat, INE, 2006a).



De acuerdo con el INEGI, entre 1990 y 2002 se incrementaron las emisiones nacionales de casi todos los gases de efecto invernadero, resaltando por su importancia en volumen las de CO₂, que aumentaron 28%. El CH₄ tuvo un incremento de 34% y el N₂O de 16%. En contraste, se redujeron las emisiones de PFC en 42%. Aunque los HFC y el SF₆ muestran un gran incremento (alrededor de 10 mil y 541% respectivamente) entre 1990 y 2002, debe considerarse que sus volúmenes emitidos son muy pequeños comparados con los otros gases.

Figura 5.19

Emisión y captura nacional de CO₂ por uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, 1993 - 2002¹



Nota:

¹ La emisión presentada corresponde al promedio anual del periodo 1993-2002.

² Emisión asociada con los procesos de conversión de bosques a otros usos.

Fuente:

Semarnat, INE. *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002*. México. 2006.

En el contexto mundial, si se examina la generación de CO₂ con referencia al Producto Interno Bruto (PIB) del país, México (con un valor de 0.61 kg de CO₂ por dólar a precio de 2000) ocupó en 2005 el treceavo lugar dentro de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) después de la República Checa, Polonia, Eslovaquia y Hungría, entre otros (OECD, 2007). Dicha intensidad de emisiones fue menor si se compara con la reportada para 2000 y

2002 (0.96 y 0.97 kg de CO₂ por dólar a precio de 1995; OCDE, 2002, 2004), lo que significaría una mayor eficiencia en la producción. De acuerdo con la OCDE, la emisión neta de CO₂ por habitante en México fue de 3.7 toneladas por año en 2005, lo que coloca al país como el segundo más bajo en emisiones de CO₂ per cápita dentro de los países de la OCDE, muy por debajo de la cifra de Luxemburgo, Estados Unidos, Australia y Canadá que reportan 24.83, 19.61, 18.4 y 17 toneladas por año, respectivamente (OECD, 2007). En el contexto latinoamericano, países como Trinidad y Tobago y Venezuela superan a México en los volúmenes de emisiones por habitante (IEA, OECD, 2008).

Existen otros gases de efecto invernadero que, no obstante ser emitidos en mucho menor volumen que el CO₂, 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 lo pueden hacer por 50 mil años. Los halocarbonos, que incluyen halones y CFC, tienen un forzamiento radiativo de 0.34 Wm⁻², que es equivalente al 14% del forzamiento radiativo de todos los GEI mezclados mundialmente (ver el Recuadro *¿Están relacionados el cambio climático y el adelgazamiento de la capa de ozono?* en la sección Ozono estratosférico de este capítulo; IPCC, 2001).

Concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera

La acumulación de CO₂ en la atmósfera se debe a que los sumideros naturales (por ejemplo,

la vegetación y los cuerpos de agua) no son suficientes para capturar las crecientes emisiones de este gas. Como consecuencia, su concentración en la atmósfera ha aumentado de manera considerable. Debido a que el CO₂ se dispersa fácilmente, las mediciones hechas en cualquier parte del planeta son representativas. El registro histórico más extenso y confiable corresponde a la zona del Mauna Loa en Hawái, por lo que los datos recogidos en este lugar se consideran representativos de la concentración global de este gas (Keeling y Whorf, 2005). La Figura 5.20 (IB 1.2-4) muestra que la concentración atmosférica de CO₂ se mantuvo relativamente constante durante la época preindustrial y se incrementó de manera clara a partir del siglo XVIII, con una aceleración muy marcada durante la segunda mitad del siglo XX. La concentración preindustrial de CO₂ fue de alrededor de 280 partes por millón (ppm) y en el año 2008 alcanzó las 386 ppm, lo que significa un incremento de 38%. De acuerdo con el IPCC, la concentración atmosférica de CO₂

en 2005 excedió por mucho la concentración natural de los últimos 650 mil años (180 a 300 ppm; IPCC, 2007a).

Otros gases, como el óxido nitroso (N₂O) y el metano (CH₄) también han aumentado significativamente su concentración en los últimos años. El CH₄ pasó de 715 partes por mil millones (ppmm) en la era preindustrial a mil 725 ppmm en 2006 (Figura 5.21). La concentración de N₂O pasó de 270 a 319 ppmm en el mismo periodo.

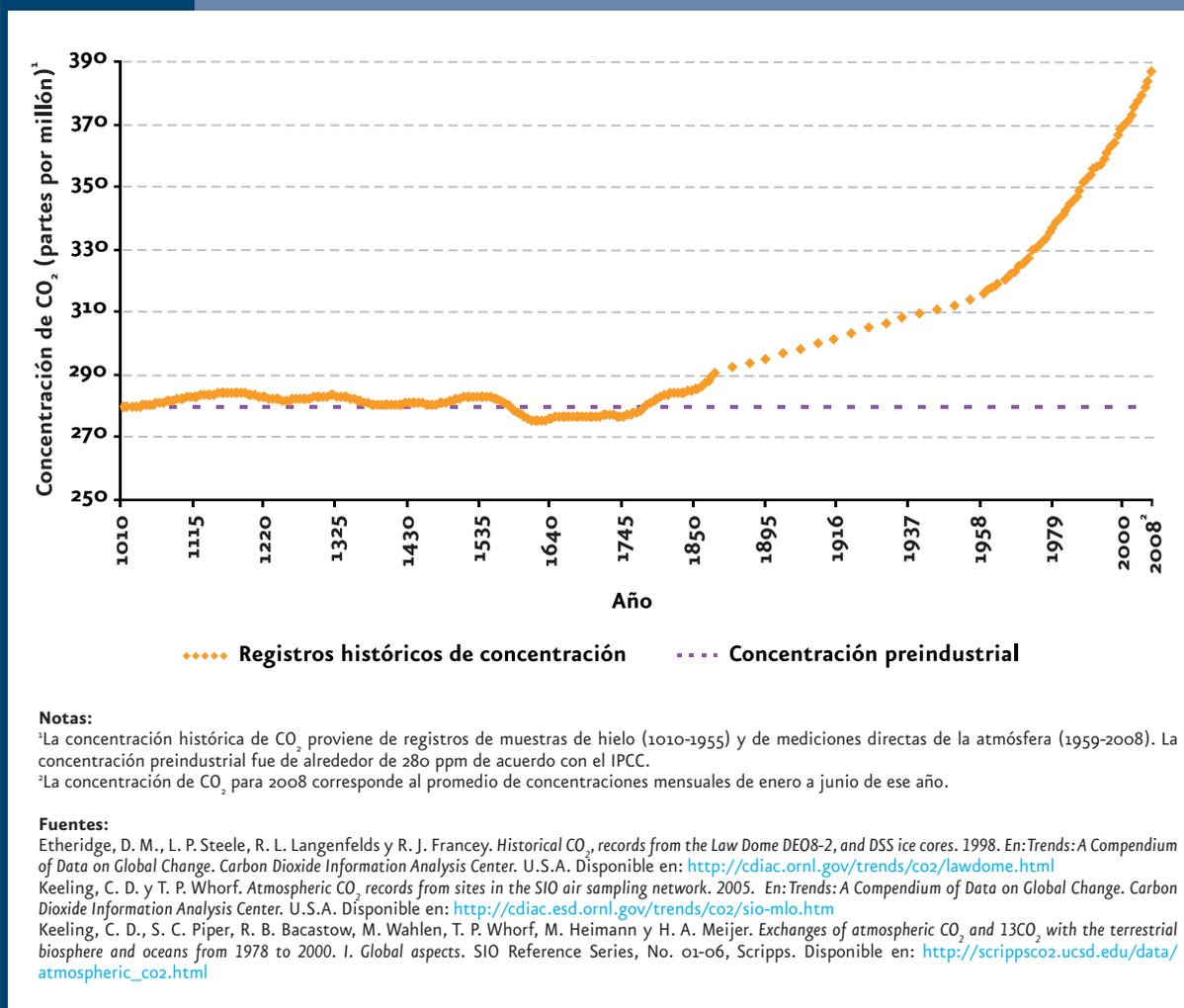
En términos generales, se ha estimado que el CO₂ es responsable de aproximadamente 60% del efecto invernadero acumulado desde el siglo XVIII, el CH₄ de 20%, el N₂O de 6% y los halocarbonos de 14% (IPCC, 2001; PNUMA, 2002). El forzamiento radiativo del CO₂ se incrementó 20% de 1995 a 2005, lo que representa el mayor



La concentración CO₂ en el año 2008 alcanzó las 386 ppm, 38% mayor a la concentración preindustrial.

Figura 5.20

Concentración global atmosférica de CO₂, 1010 - 2008



cambio por década en los últimos 200 años (IPCC, 2007a). De acuerdo con la última evaluación del IPCC, el forzamiento radiativo combinado, debido al incremento de CO₂, CH₄ y N₂O es de 2.30 Wm⁻² y su tasa de incremento a lo largo de la era industrial es muy probable que no tenga precedente en los últimos 10 mil años.

Evidencias del cambio climático

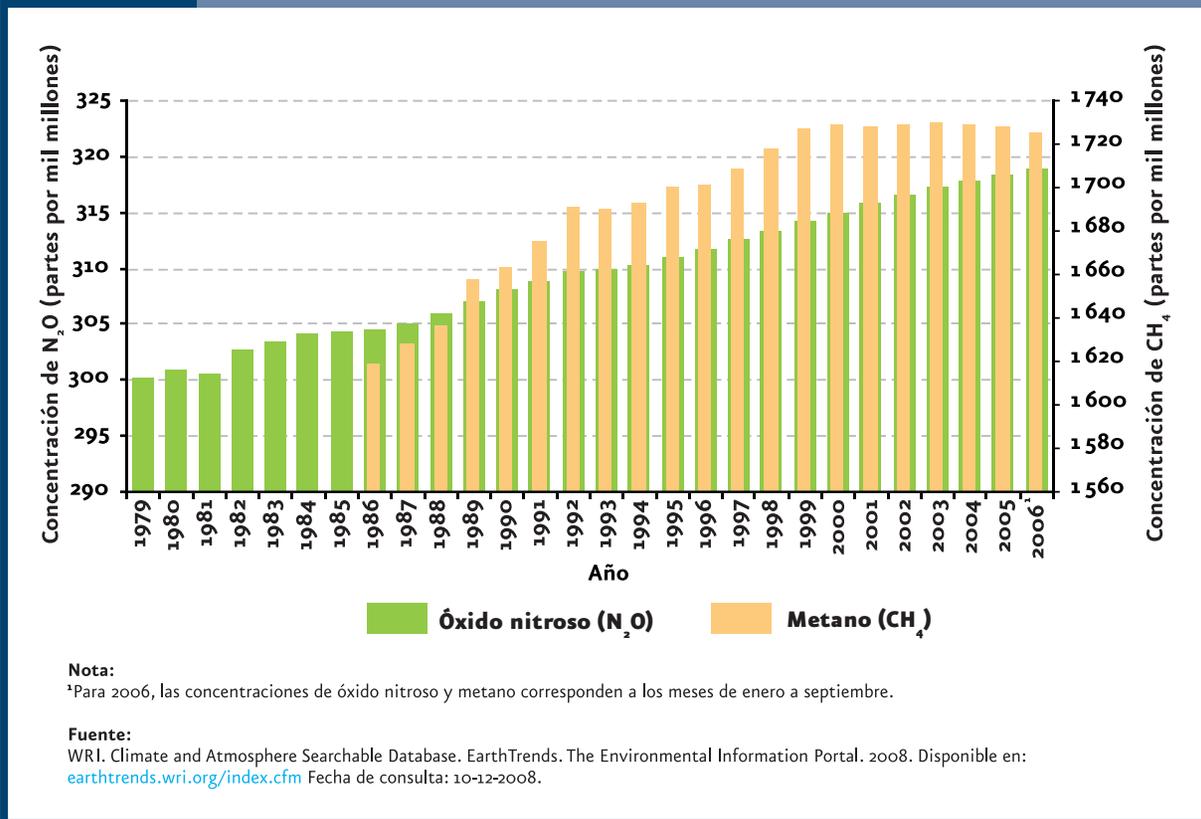
Las evidencias de cambios en el clima tanto a escala global como regional incluyen básicamente, incrementos de la temperatura (atmosférica y marina superficial), vapor de agua en la atmósfera

y nivel del mar, así como cambios en los patrones de precipitación, vientos y pautas de circulación atmosférica y oceánica (mayor frecuencia, persistencia e intensidad de los fenómenos de El Niño-Oscilación del Sur; Magaña, 1999; NAS, 2001; IPCC, 2007b).

El incremento de temperatura es una de las evidencias más contundentes sobre la existencia del cambio climático. Tan sólo en el periodo 1995-2006 se registraron once de los doce años más cálidos desde 1850. De acuerdo con los registros de temperatura global en los últimos diez años, la variación promedio fue de cerca de 0.5°C por arriba

Figura 5.21

Concentración global atmosférica de óxido nítrico y metano, 1979 - 2006



de la media del periodo 1951-1980; siendo 2005 el año en que se registró el mayor incremento (0.62°C), incluso superior a 1998 que había sido el año más caliente (0.57°C) hasta entonces registrado, influenciado por el fenómeno de El Niño de 1997–1998. En 2007, el incremento de temperatura fue de 0.57°C respecto a la media (Figura 5.22; **IB 1.2-5**). De acuerdo con el IPCC, la tendencia de calentamiento de los últimos 50 años (0.13°C por década) es casi el doble de la tendencia observada en los últimos 100 años. El incremento total de temperatura del periodo 1850-1899 con respecto al periodo 2001-2005 fue de 0.76°C (IPCC, 2007a).

El incremento total de temperatura de los periodos 1850 - 1899 a 2001 - 2005 fue de 0.76°C.

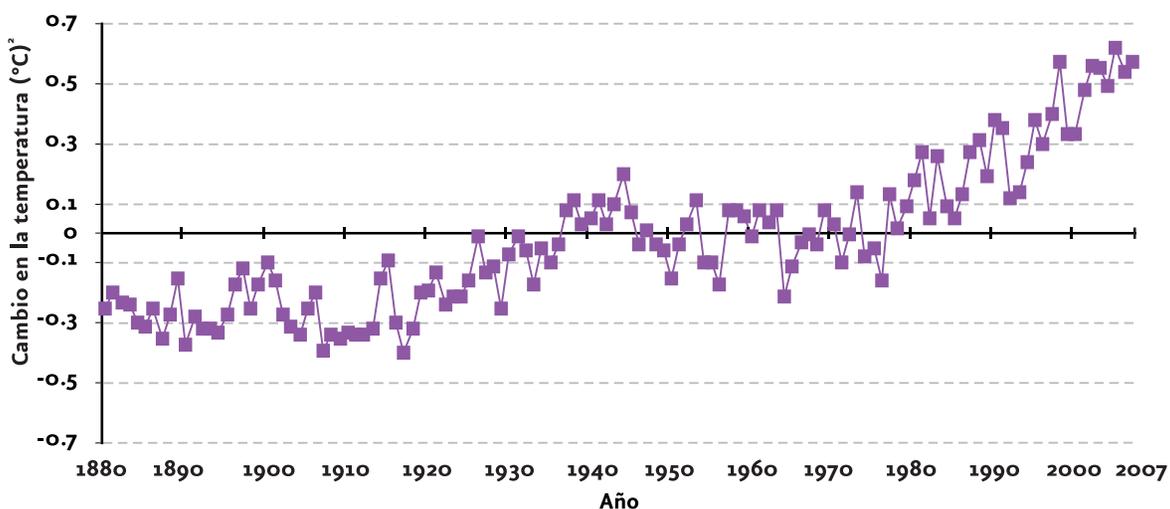
Regionalmente, la evaluación del IPCC señala que el incremento de la temperatura ha sido mayor en el hemisferio norte. La tasa de incremento de la temperatura promedio en el Ártico fue casi

del doble que la tasa registrada a nivel global en los últimos 100 años. Por su parte, las regiones terrestres se han calentado más rápido que los océanos, siendo más acelerado en Norteamérica, Europa y Asia (Figura 5.23).

Los registros demuestran que las olas de calor en el mundo aumentaron en frecuencia y duración. En el verano de 2003, Europa occidental y central enfrentaron una intensa ola de calor que mató a 35 mil personas. Ese verano fue el más cálido registrado desde 1780.

Además de los registros instrumentales de temperatura, también existen estimaciones de la temperatura del planeta miles de años atrás. Los paleoclimatólogos han reconstruido el clima del pasado a partir de muestras de hielo conocidas como “testigos de hielo”, que contienen burbujas



Figura 5.22**Variación de la temperatura global, 1880 - 2007¹****Notas:**

¹La serie de tiempo presenta el registro combinado de la temperatura global superficial terrestre y marina.

²El valor de 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.

Fuente:

NASA. GISS Surface Temperature Analysis. Global Annual Mean Surface Air Temperature Change. Global Land+Ocean Surface Temperature Anomaly (Base: 1951-1980). 2008. Disponible en: www.data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs Fecha de consulta: 02-10-2008.

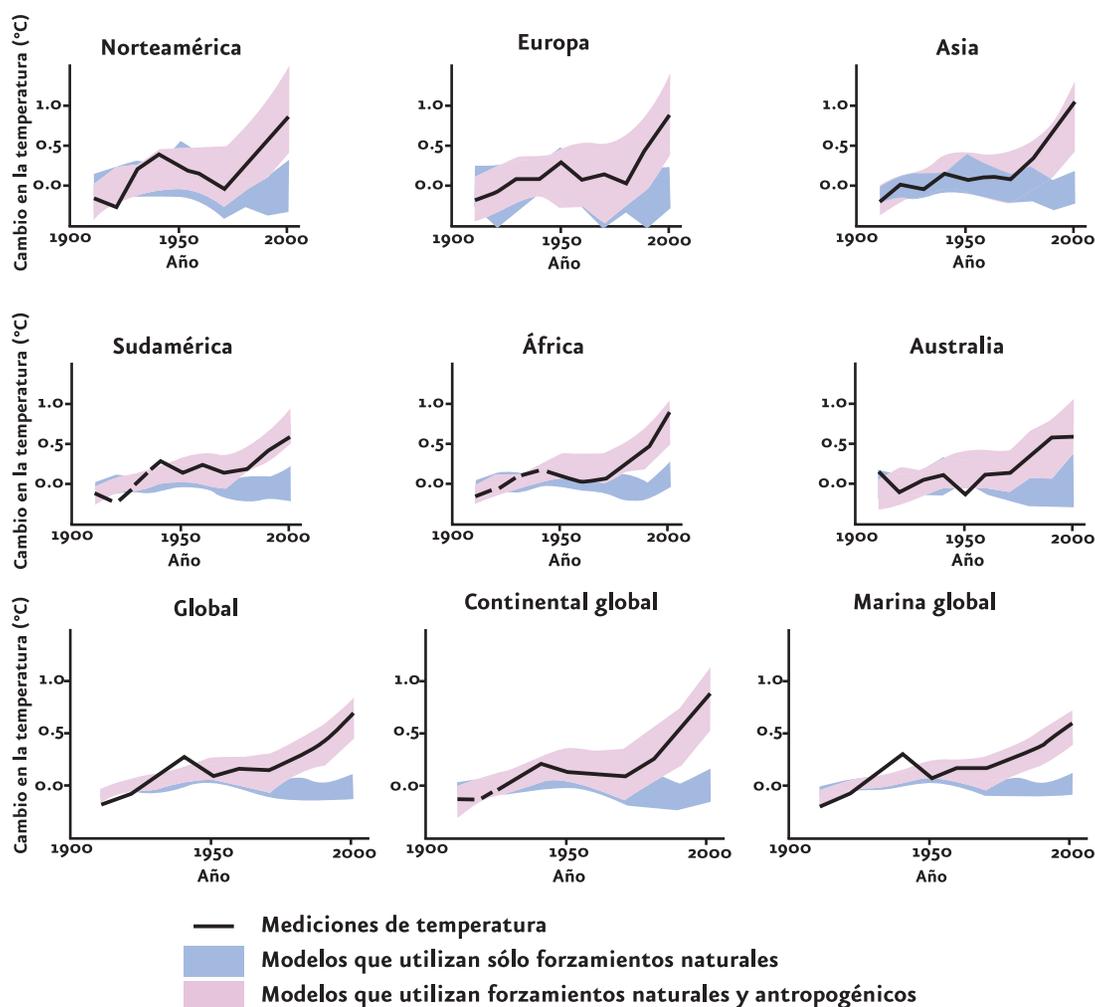
que atraparon una fracción de la atmósfera de la época en que se formaron. Al analizarlas se puede estimar la temperatura, concentración de oxígeno, CO₂, CH₄ y óxidos de azufre (entre otras variables). Esta información ha permitido establecer, además de una correlación positiva entre la temperatura y la concentración de gases de efecto invernadero (particularmente la de CO₂), que los niveles actuales de las concentraciones, no tienen precedente al menos en el último medio millón de años. Cuando se revisan tanto los registros instrumentales como los datos estimados de temperatura se observa que la Tierra ha pasado por ciclos de temperaturas muy bajas –llamados glaciaciones– y picos en los que la temperatura ha aumentado. Sin embargo, las temperaturas promedio globales de los últimos años están por arriba de cualquiera de los picos de temperatura observados al menos 20 mil años atrás.

Los registros instrumentales desde 1961 indican que la temperatura promedio global de los océanos ha aumentado, detectándose cambios incluso hasta los 3 mil metros de profundidad. Este calentamiento se debe a que los océanos han absorbido alrededor del 80% del calor que se ha adicionado al sistema climático (IPCC, 2007b). Este incremento en la temperatura ocasiona la expansión de los cuerpos de agua marina, lo cual contribuye al aumento del nivel del mar. A pesar de la tendencia mundial de calentamiento, es importante señalar que esto no ha ocurrido en todo el planeta. Por ejemplo, zonas del Atlántico Norte, Pacífico Norte y Pacífico ecuatorial se enfriaron durante los últimos 50 años (IPCC, 2007b), siguiendo un patrón opuesto a la tendencia global de calentamiento.

Debido a que la intensidad de los huracanes está influenciada por la temperatura de los océanos,

Figura 5.23

Cambios en las temperaturas marina y continental global, 1906 - 2000¹



Nota:

¹La figura muestra los cambios en temperatura utilizando dos tipos de modelos. Estos cambios difieren si se emplean sólo los forzamientos naturales o si se agrega la influencia humana; en todos los casos, las mediciones de temperatura coinciden con el modelo que utiliza la suma de los forzamientos radiativos natural y antropogénico.

Fuente:

IPCC. *The AR4 Synthesis Report*. France. 2007.

el número de huracanes intensos ha aumentado desde 1970. A nivel global, el número de huracanes de categoría 1¹¹ ha sido relativamente constante, pero cuando se considera como porcentaje del total de huracanes registrados

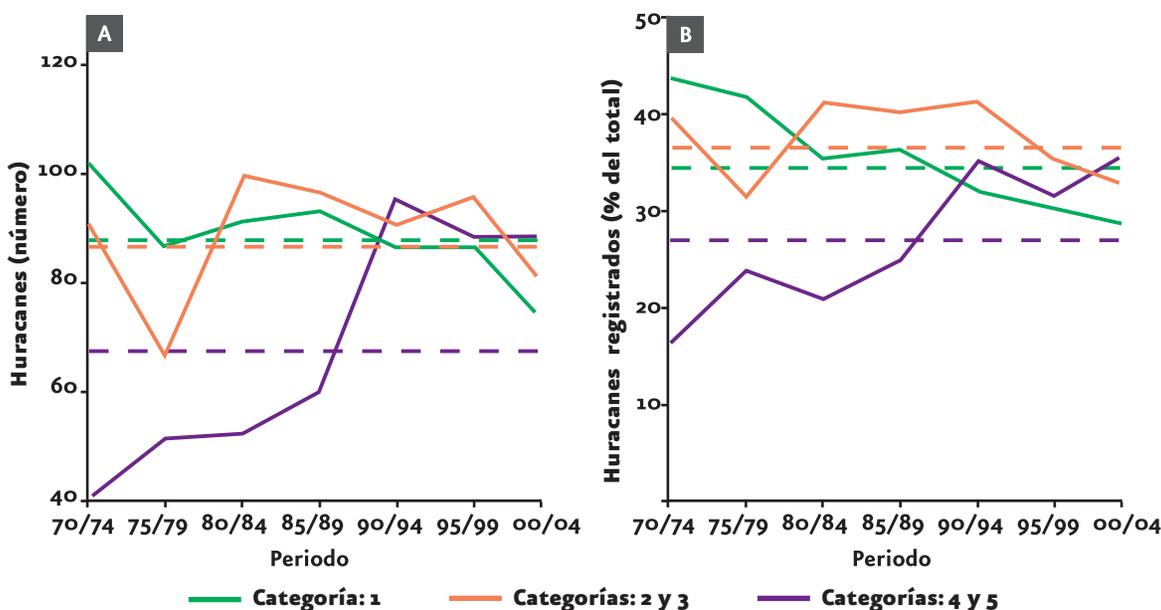
Los huracanes más intensos duplicaron su número y proporción durante la década pasada.

esta cifra muestra una clara disminución. En contraste, los huracanes de las categorías más fuertes (4 y 5) prácticamente duplicaron su número y proporción durante la década pasada (Webster et al., 2005; Figura 5.24).

¹¹ La escala Saffir-Simpson clasifica a los huracanes de acuerdo con la intensidad del viento; las categorías van de 1 a 5.

Figura 5.24

Ocurrencia de huracanes en el mundo, 1970 - 2004



Nota:
Las líneas punteadas representan el número promedio (A) y porcentaje promedio (B) de huracanes del periodo 1970-2004 para cada categoría.

Fuente:
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.

El aumento del nivel medio del mar es consistente con las consecuencias previstas en un escenario de calentamiento global. El promedio mundial de incremento del nivel del mar fue, en el periodo 1961-2003, de 1.8 mm por año (con un rango de 1.3 a 2.3 mm; Tabla 5.2). Pero en el periodo 1993-2003, la tasa promedio de incremento alcanzó los 3.1 mm (2.4 a 3.8 mm) por año. La Tabla 5.2 muestra las contribuciones al incremento del nivel medio del mar asociadas al deshielo de los casquetes polares, los glaciares y las placas de hielo de Groenlandia y Antártica. El incremento total del nivel medio del mar para el siglo XX se ha estimado en 17 cm (12 a 22; IPCC, 2007a). Tal vez este incremento parezca mínimo, pero si se considera que

El nivel medio del mar aumentó 1.8 mm por año en el periodo 1961-2003.

existen numerosas ciudades ubicadas en zonas costeras bajas e incluso por debajo del nivel del mar (como es el caso de Ámsterdam, en Holanda que está en promedio a 4 metros por debajo del nivel del mar) aun pequeños cambios en el nivel del mar pueden tener efectos importantes.

Durante el siglo XX, los glaciares y casquetes polares experimentaron una amplia pérdida de masa y contribuyeron al aumento del nivel del mar. La cobertura de los glaciares montañosos y la nieve ha disminuido en ambos hemisferios: el área máxima cubierta por terreno congelado estacionalmente ha disminuido cerca de 7% en el hemisferio norte desde 1900. Por su parte, datos

Tabla 5.2

Incremento del nivel medio del mar, 1961 - 2003

Fuentes de incremento del nivel del mar	Tasa de incremento del nivel medio del mar (metros por siglo)	
	1961 – 2003	1993 – 2003
Expansión térmica	0.042 ± 0.012	0.16 ± 0.05
Derretimiento de los glaciares y casquetes polares	0.050 ± 0.018	0.077 ± 0.022
Derretimiento de la placa de hielo de Groenlandia	0.05 ± 0.12	0.21 ± 0.07
Derretimiento de la placa de hielo de Antártica	0.14 ± 0.41	0.21 ± 0.35
Suma de las contribuciones individuales al incremento del nivel del mar	0.11 ± 0.05	0.28 ± 0.07
Incremento total observado del nivel del mar	0.18 ± 0.05 ¹	0.31 ± 0.07 ¹
Diferencia (incremento observado menos la suma de las contribuciones individuales estimadas)	0.07 ± 0.07	0.03 ± 0.10

Nota:

¹ Los datos anteriores a 1993 provienen de mediciones con mareógrafo costero, mientras que los posteriores a 1993 de mediciones satelitales.

Fuente:

IPCC. *The AR4 Synthesis Report*. France. 2007

provenientes de satélites muestran que la extensión del hielo marino ártico ha disminuido desde 1978 en 2.7% (con un rango de 2.1 a 3.3%) por década.

En el continente antártico, en el año 2002 se fracturó la plataforma Larsen B, con lo que se desprendió y deshizo una superficie de hielo de 3 mil 240 kilómetros cuadrados (Figura 5.25). Los deshielos también han afectado zonas altas de montañas y volcanes. Por ejemplo, los glaciares de los Alpes suizos perdieron un tercio de su superficie y al menos la mitad de su masa en el periodo 1850-1980. Se ha calculado que de seguir esa tendencia, para el 2050, el 75% de los glaciares de los Alpes desaparecerá (EEA, 2004). En México, los glaciares del Iztaccíhuatl sufrieron reducciones de hasta el 40% entre 1960 y 1983. El Pico de Orizaba y el Popocatepetl muestran

una tendencia similar, aunque en este último la reducción se aceleró por su actividad volcánica. Si se mantienen las tasas actuales de reducción de los glaciares mexicanos, es posible que desaparezcan por completo en menos de 30 años (Delgado, 2007).

También la temperatura en la superficie de la capa del permafrost¹² del Ártico ha aumentado (hasta 3°C) desde la década de los ochenta. Los cambios en las condiciones del permafrost pueden afectar la escorrentía de los ríos, el suministro de agua, el intercambio de carbono, la estabilidad del paisaje y la infraestructura de caminos (IPCC, 2007b).

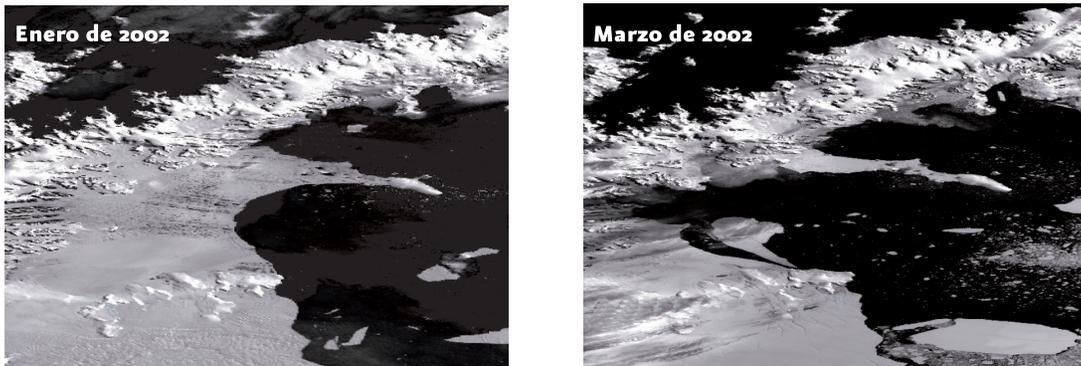
En lo que se refiere a la alteración del ciclo hidrológico, la humedad específica superficial aumentó en estrecha relación con el incremento de las temperaturas terrestres y oceánicas. La

¹² Permafrost: capa del suelo permanentemente congelado en las regiones muy frías.

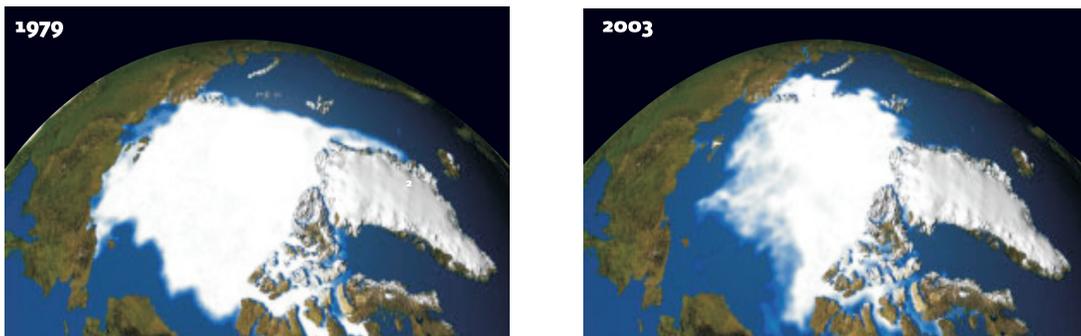
Figura 5.25 Deshuelos en Alpes suizos, Península Antártica y Ártico



Los glaciares de los Alpes suizos perdieron un tercio de la superficie y al menos la mitad de su masa.



Colapso de 3 240 km² de la Plataforma Larsen B en la Península Antártica.



Reducción del hielo en el casquete polar Ártico.

Fuentes:

ACIA. *Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge University Press. Canada. 2004.
UNEP. *Selected Satellite Images of our Changing Environment*. Kenya. 2003.

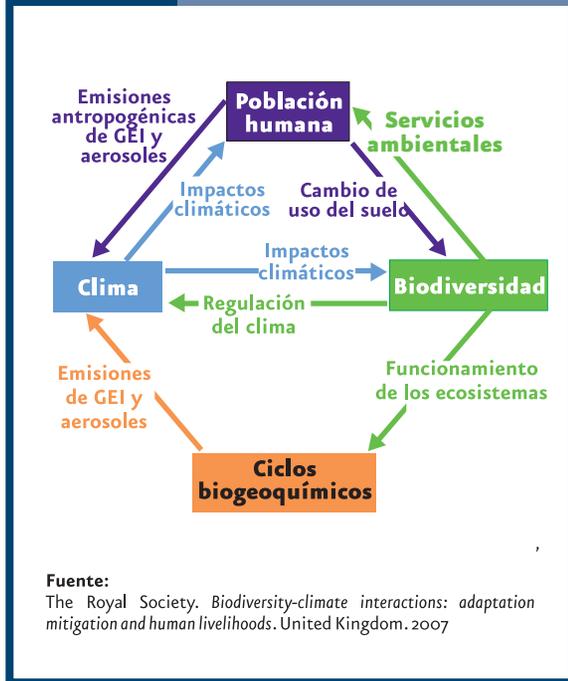
columna de vapor de agua total aumentó en los océanos mundiales 1.2% por década entre 1988 y 2004. El vapor de agua atmosférico adicional implica un aumento en la disponibilidad de humedad para las precipitaciones en algunas zonas del mundo. Por ejemplo, se ha observado un incremento significativo de las precipitaciones en zonas orientales de América del Norte y América del Sur, Europa septentrional y en Asia septentrional y central. Es probable¹³ que las precipitaciones intensas hayan aumentado en muchas regiones de la Tierra a partir del año 1950, incluso en las regiones donde se redujo la cantidad total de precipitación. Se han registrado también sequías más intensas y prolongadas, principalmente en los trópicos y subtropicos a partir de 1970 (IPCC, 2007a). En México en las últimas décadas se aprecia una tendencia a una mayor precipitación, principalmente en los estados del norte, mientras que en los estados en los que las lluvias dependen de lo que ocurre en el Pacífico (por ejemplo, Jalisco y Oaxaca) la tendencia parece ser en sentido opuesto.

Efectos del cambio climático sobre la biodiversidad

El desarrollo socioeconómico de la sociedad está inevitablemente ligado a la provisión de los servicios ambientales de los ecosistemas y, a fin de cuentas, a la biodiversidad que los constituye. No obstante, el balance entre la provisión de los servicios ambientales, el mantenimiento de la biodiversidad y los ecosistemas, así como el bienestar y desarrollo de la sociedad, depende a su vez de otros componentes ambientales dinámicos no menos importantes, como son los ciclos biogeoquímicos y el clima (Figura 5.26). En este sentido, la compleja red de interacciones que los vincula trae como consecuencia que la alteración y/o pérdida de alguno producirá consecuencias, con frecuencia difíciles de predecir, sobre los demás elementos.

La acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, resultado de la intensa actividad humana de los últimos 250 años –principalmente por la quema de combustibles fósiles, la agricultura y el cambio de uso del suelo–, ha traído consigo, como se ha mencionado en las secciones anteriores, alteraciones importantes en el clima global, las cuales no han pasado inadvertidas para la biodiversidad. Esto resulta obvio si se toma en cuenta que el clima es uno de los principales factores que determinan globalmente los patrones de vegetación, estructura, composición florística y faunística y la productividad primaria. Al efecto del cambio climático sobre los ecosistemas deben sumarse aquéllos previamente derivados de los cambios de uso del suelo, de la urbanización y de la sobreexplotación de los recursos naturales, entre otros factores.

Figura 5.26 Relación entre biodiversidad, cambio climático y bienestar humano



¹³ De acuerdo con el IPCC probable se refiere a una probabilidad mayor a 66%.

Durante la última década se han acumulado una cantidad importante de estudios que demuestran los efectos del cambio climático global sobre la biodiversidad y los ecosistemas (ver por ejemplo, IPCC, 2001). A nivel de los ecosistemas, los cambios regionales del clima han ocasionado principalmente: i) la modificación de su distribución (bosques boreales que migran hacia el norte en latitudes altas del hemisferio), ii) el reemplazo por ecosistemas distintos (humedales por bosques de coníferas en Alaska), iii) la degradación (como la de los arrecifes de coral en todo el mundo por el incremento de la temperatura marina) y iv) la modificación de su composición de especies (como se ha observado en bosques, comunidades alpinas y arrecifes de coral, entre otras). A lo anterior deben sumarse los efectos que el incremento de la frecuencia de eventos meteorológicos extremos (e.g. huracanes, sequías, inundaciones, granizos y rachas de vientos), y la presencia de plagas y enfermedades han tenido en la estructura, composición y dinámica de muchos ecosistemas a lo largo del mundo.

Si se estudian los efectos a nivel de las especies, las evidencias indican alteraciones en la fenología y los patrones morfológicos, fisiológicos y conductuales de un número significativo de especies. Con respecto a la fenología, se han observado cambios en los tiempos de reproducción (vistos ya sea como la floración en las plantas, la puesta de huevos o el inicio del cortejo en los animales), en la migración o en el desacoplamiento de los ciclos de vida de depredadores y presas. Morfológicamente, se han observado alteraciones en los patrones de crecimiento en reptiles (The Royal Society, 2007).

Las consecuencias de las afectaciones a la biodiversidad por el cambio climático podrían ser muy significativas ambientalmente y tener graves impactos sobre el bienestar humano. Según la última evaluación del IPCC, si el incremento de la temperatura excede en el futuro entre 1.5 y 2.3°C, tan sólo entre el 20 y 30% de las especies de plantas y animales que han sido monitoreadas y para las que existen datos de largo plazo, podrían estar

en riesgo de extinción (IPCC, 2007b; Parmesan y Yohe, 2003). La extinción de especies de algunos grupos como los anfibios, ya se asocia al cambio climático global (ver en el capítulo de *Biodiversidad* el Recuadro *Crisis global de los anfibios*). Debe tenerse en mente que la pérdida de especies no significa sólo reducir numéricamente la biodiversidad de una región o país, sino también comprometer la capacidad de los ecosistemas para proveer de todos los servicios ambientales con que benefician y sostienen a las sociedades humanas. Para conocer cómo el cambio climático afecta directamente a la sociedad, se recomienda leer el Recuadro *Impactos sociales del cambio climático*.

El clima del futuro y sus consecuencias

Impactos futuros globales

La gran cantidad de factores que intervienen para determinar el clima de un lugar traen consigo cierto grado de incertidumbre en las extrapolaciones obtenidas de las tendencias registradas en el pasado para predecir el clima del futuro. Las proyecciones sobre el clima se realizan por medio de modelos numéricos complejos que predicen la respuesta ante diferentes escenarios como, por ejemplo, diferentes volúmenes de emisiones de CO₂ o cambios en la dinámica de absorción por parte de la vegetación y los océanos. A pesar de la incertidumbre asociada, los escenarios más conservadores predicen serias consecuencias sobre aspectos tan importantes para el bienestar social 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.

De acuerdo con el IPCC, la concentración de CO₂ en el año 2100 podría ser de entre 540 y 970 partes por millón (ppm), muy superiores a las 280 ppm registradas en el periodo 1000-1750. Como consecuencia, se prevé que el aumento de la temperatura media superficial del planeta

Como consecuencia de los cambios en el clima y las alteraciones sobre los ecosistemas, la sociedad a nivel mundial también ha resentido los efectos del cambio climático, tanto en su vida cotidiana como a través de las pérdidas en las actividades productivas generadoras de riqueza. Por ejemplo, en el caso de la agricultura, la prevalencia de condiciones de altas temperaturas y sequía en el Sahel africano pudieron reducir la época de crecimiento de los cultivos y con ello el volumen de las cosechas. Asimismo, se ha encontrado, por ejemplo, que a pesar de que la elevada concentración de CO₂ provoca que en el corto plazo algunos cultivos sean más productivos, también genera que su calidad nutricional se reduzca de manera importante (IPCC, 2007). Un estudio reciente encontró que el incremento de CO₂ en la atmósfera reduce la concentración de proteínas en los cultivos de cebada, arroz, trigo y papa entre 10 y 15% (Taub *et al.*, 2008). En el caso de los recursos forestales, se ha observado que las alteraciones en los regímenes de fuego, así como la expansión de plagas y enfermedades forestales, podrían alterar negativamente la producción forestal en los países de latitudes ubicados muy al norte en el hemisferio norte (IPCC, 2007). El fenómeno meteorológico El Niño que se presentó en 1997-1998 redujo la producción nacional de erizo, langosta, abulón y camarón (Magaña y Gay, 2002).

Los efectos directos sobre la población son diversos, y van desde la elevada mortalidad que causan los llamados “golpes de calor” –situación en la que el cuerpo es incapaz de perder el calor excedente– y los efectos de la mayor incidencia de enfermedades transmitidas por vectores, hasta las pérdidas humanas y materiales producidas por los

eventos meteorológicos extremos. En México, los estados con mayor mortalidad por “golpes de calor” están en el norte del país, principalmente Sonora y Baja California. En 2003, una ola de calor causó 35 mil muertes en Francia, Bélgica, República Checa, Alemania, Italia, Portugal, Suiza, Holanda y Reino Unido y generó pérdidas en el sector agrícola por 15 mil millones de dólares (IPCC, 2007).

Otro efecto se refiere al cambio de distribución de especies animales que son transmisores de enfermedades, conocidos como vectores, como son los mosquitos y garrapatas que transmiten el dengue y el paludismo. Con el aumento de la temperatura global, se espera que las áreas de distribución de los vectores se amplíen y con ello las zonas de afectación de las enfermedades que transmiten.

La frecuencia e intensidad de los huracanes es, sin duda, otro de los fenómenos que se asocian comúnmente al cambio climático global y que impacta directamente a la sociedad (p.e., Emily en Yucatán, Katrina en el sureste de Estados Unidos y Stan y Wilma en el sureste de México que causaron importantes víctimas mortales y daños materiales cuantiosos). La frecuencia de huracanes de categorías 4 y 5 –las más fuertes– se ha incrementado y con ello la magnitud de las pérdidas.

Destacan también el incremento del nivel de mar y de la intensidad de las precipitaciones, que en algunas regiones del mundo han causado graves inundaciones. Los habitantes de algunos países de islas bajas han tenido que abandonar sus hogares como consecuencia del aumento del nivel del mar.

Recuadro

Impactos sociales del cambio climático (conclusión)

Por ejemplo, los residentes de Tuvalu, una isla localizada en el Pacífico entre Australia y Hawaii, han comenzado a migrar hacia otros países, debido a las constantes inundaciones. (Ralston et al., 2004).

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial, el número de víctimas en el mundo por desastres naturales aumentó de 147 millones en 1991 a 211 millones en 2000. El 90% de esos desastres estuvieron relacionados con el agua. La magnitud de los daños causados por desastres relacionados con el agua representó en 2005 aproximadamente 200 mil millones de dólares (Conagua, 2007). El 50% de los desastres naturales por agua fueron ocasionados por inundaciones, 28% por epidemias y 11% por sequías. Los

desastres se ubicaron principalmente en Asia y África (35 y 29% respectivamente), aunque en América y Europa también hubo una alta incidencia (Figura a).

Referencias:

Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. México. 2007.

IPCC. *The AR4 Synthesis Report*. France. 2007.

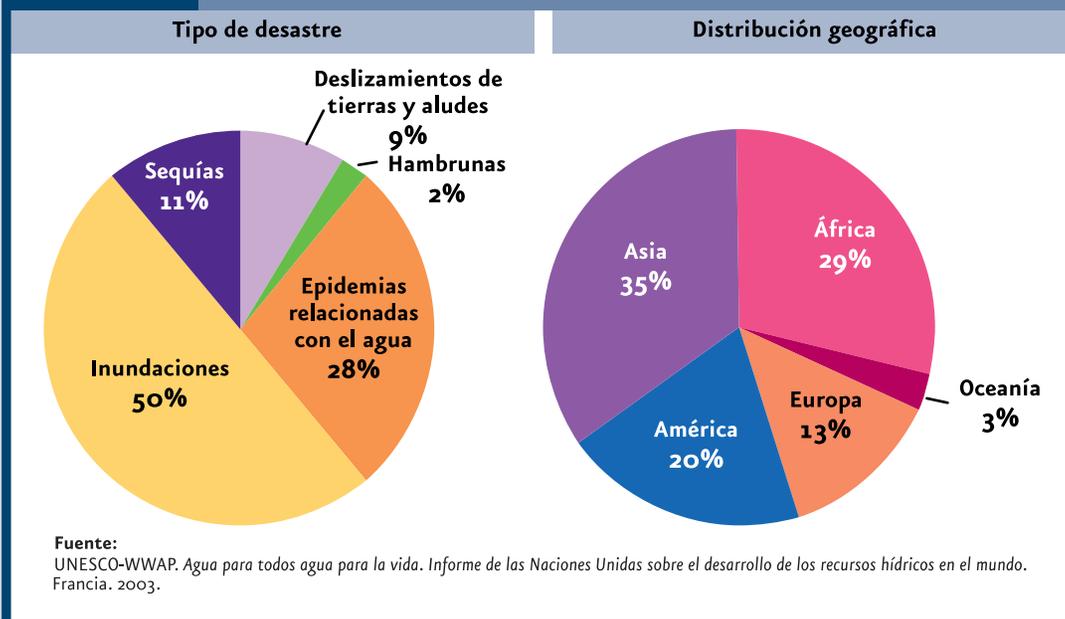
Magaña, V. O. y C. Gay. Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. *Gaceta Ecológica* 65: 7-23. 2002.

Ralston, H., B., Horstmann y C. Hol. *Climate change changes Tuvalu*. Germanwatch. 2004.

Taub, D. R, Miller, B. y Allen, H. Effects of elevated CO₂ on the protein concentration of food crops: a meta analysis. *Global Change Biology* 14: 565-575. 2008.

Figura a

Tipos y distribución de los desastres naturales relacionados con el agua, 1990 - 2001



sea de entre 1.8 y 4°C para fines de este siglo. Si se considera la incertidumbre asociada a los distintos escenarios de emisiones modelados, la temperatura podría variar de 1.1 a 6.4°C. Dicho calentamiento será diferencial, es decir, será mayor sobre la superficie y en latitudes más boreales y menor sobre el océano Antártico y el norte del océano Atlántico. El incremento de temperatura en los próximos veinte años se prevé de 0.2°C por década.

Es probable que la temperatura aumentará más en las latitudes norteñas, lo que traerá consigo que a finales del siglo XXI, el hielo marino del Ártico prácticamente desaparezca durante el verano. Las proyecciones a nivel global, indican que para fines del siglo XXI, como consecuencia del derretimiento del hielo, el nivel medio del mar se elevará entre 18 y 59 centímetros, aunque con importantes variaciones regionales (IPCC, 2007a). Se prevé que el derretimiento de la placa de Groenlandia continúe contribuyendo con la elevación del nivel del mar, por lo menos hasta el año 2100 (IPCC, 2007a).

También es probable que los ciclones tropicales sean más intensos, con mayor cantidad de lluvia y velocidad del viento y que las ondas de calor sean más frecuentes. Las precipitaciones se incrementarán muy probablemente en latitudes altas, mientras que en regiones subtropicales disminuirán hasta en un 20% hacia el año 2100 (IPCC, 2007a).

Entre los posibles impactos del cambio climático sobre la biodiversidad se ha planteado, por ejemplo, la reducción e incluso la pérdida de poblaciones y ecosistemas; mayores tasas de blanqueamiento en los arrecifes de coral; la reducción o expansión de las áreas

Las proyecciones indican que la concentración global de CO₂ podrá ser de entre 540 y 970 partes por millón (ppm), la temperatura media superficial del planeta será de entre 1.8 y 4°C más alta y el nivel medio del mar se elevará entre 18 y 59 centímetros para fines de este siglo.

La temperatura promedio de México será entre 2 y 4°C más elevada alrededor del año 2080.

de distribución de diversas especies de invertebrados, peces, insectos, aves y plantas; el adelanto de la floración en muchas especies de plantas y el anticipo en la llegada y reproducción de aves migratorias.

En la cuestión social se ha proyectado, que puede ocurrir un incremento del número de muertes de personas en el mundo por efecto de las ondas cálidas y que enfermedades como el paludismo 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).

Impactos futuros en México

En México también se han construido posibles escenarios de cambio climático. De acuerdo con la Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se prevé que la temperatura promedio de México sea entre 2 y 4°C más elevada alrededor del año 2080 (este incremento incluso podría registrarse desde el 2050) y que la región norte sea la que registre los mayores incrementos. Como consecuencia del aumento de temperatura también se espera un mayor número de incendios forestales (Semarnat, INE, 2006c). En el Caribe, Golfo de México y Pacífico mexicano, la temperatura superficial del mar podría aumentar entre 1 y 2°C, incrementando la probabilidad de que los ciclones tropicales alcancen categorías mayores en la escala Saffir-Simpson.

En lo que se refiere a las lluvias, el grado de incertidumbre de las proyecciones es del mismo orden de magnitud que los cambios proyectados. Algunos modelos advierten ligeros aumentos de

precipitación, mientras que otros han proyectado disminuciones drásticas. No obstante, la mayoría de ellos prevén que en invierno se reduzcan las precipitaciones hasta 15% en regiones del centro de México, y 5% en la zona del Golfo. También se prevén retrasos en el inicio de las lluvias, con una prolongación de la temporada hacia los meses de otoño, para gran parte del país (Semarnat, INE, 2006c).

Se espera que el número de tormentas severas aumente, pero que también se puedan producir periodos de sequía más extremos y prolongados. Considerando lo anterior y las proyecciones de las variables socioeconómicas (por ejemplo, población, producto interno bruto, agricultura, etcétera) que determinan la intensidad de uso de los recursos hídricos, se prevé que la disponibilidad de agua entre los años 2020 y 2030 pueda reducirse 10% respecto a sus valores del

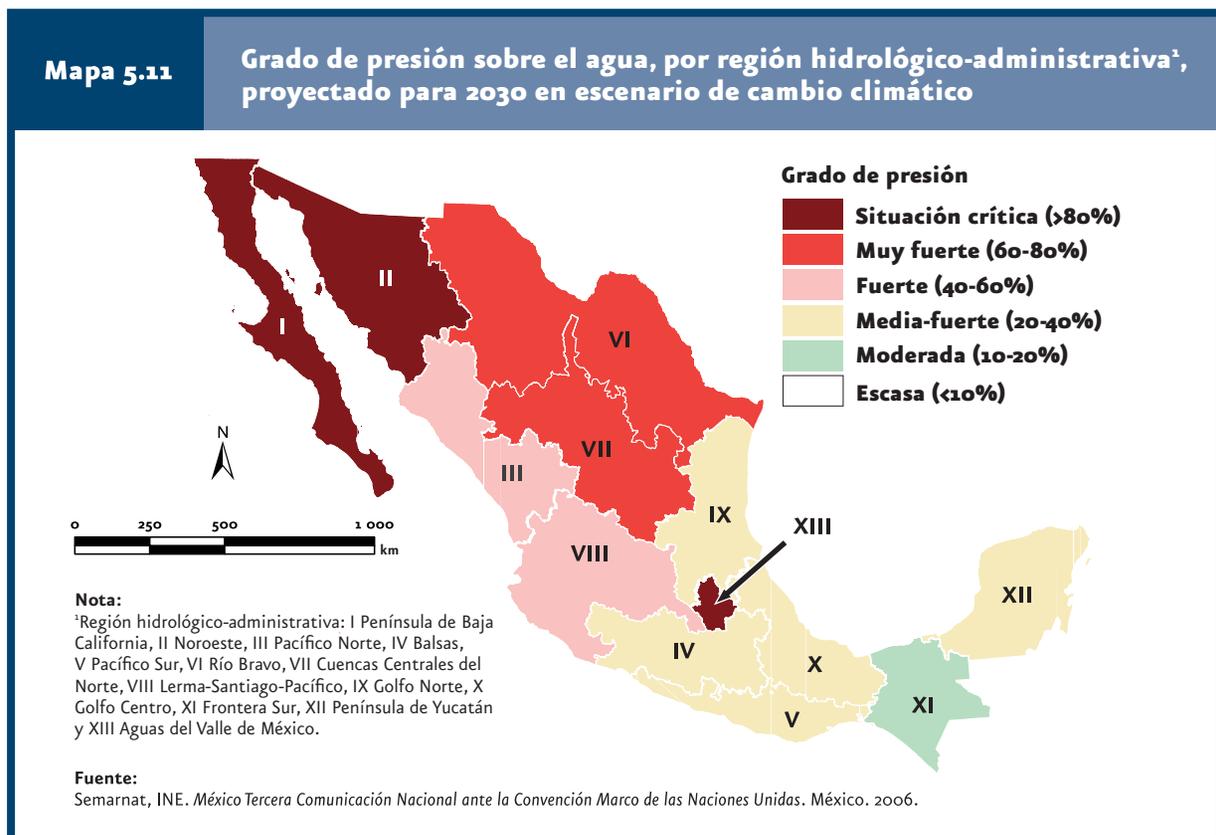
año 2000. En este escenario tanto Baja California como Sonora pasarán a una situación crítica en la presión sobre el recurso agua (Mapa 5.11).

Respecto a los ecosistemas, las proyecciones a nivel nacional indican que se afectará severamente la distribución de los pastizales, matorrales xerófilos y los bosques de encino, ya que entre 53 y 62% de la superficie de estas comunidades vegetales estará expuesta a condiciones climáticas distintas a las actuales (Semarnat, INE, 2006c).

Los escenarios del clima para el 2020 señalan reducciones moderadas en la aptitud para el cultivo de maíz de temporal e incrementos en la superficie no apta para este cultivo de hasta 4.2%.

La Canícula -temporada del año en que el calor es más fuerte- llegará sin agua con mayor frecuencia y con ello los efectos en cultivos de temporal serán negativos (Semarnat, INE, 2006c).

La disponibilidad nacional de agua podrá disminuir 10% entre los años 2020 y 2030 respecto al año 2000. Baja California y Sonora pasarán a una situación crítica en la presión sobre el recurso agua.



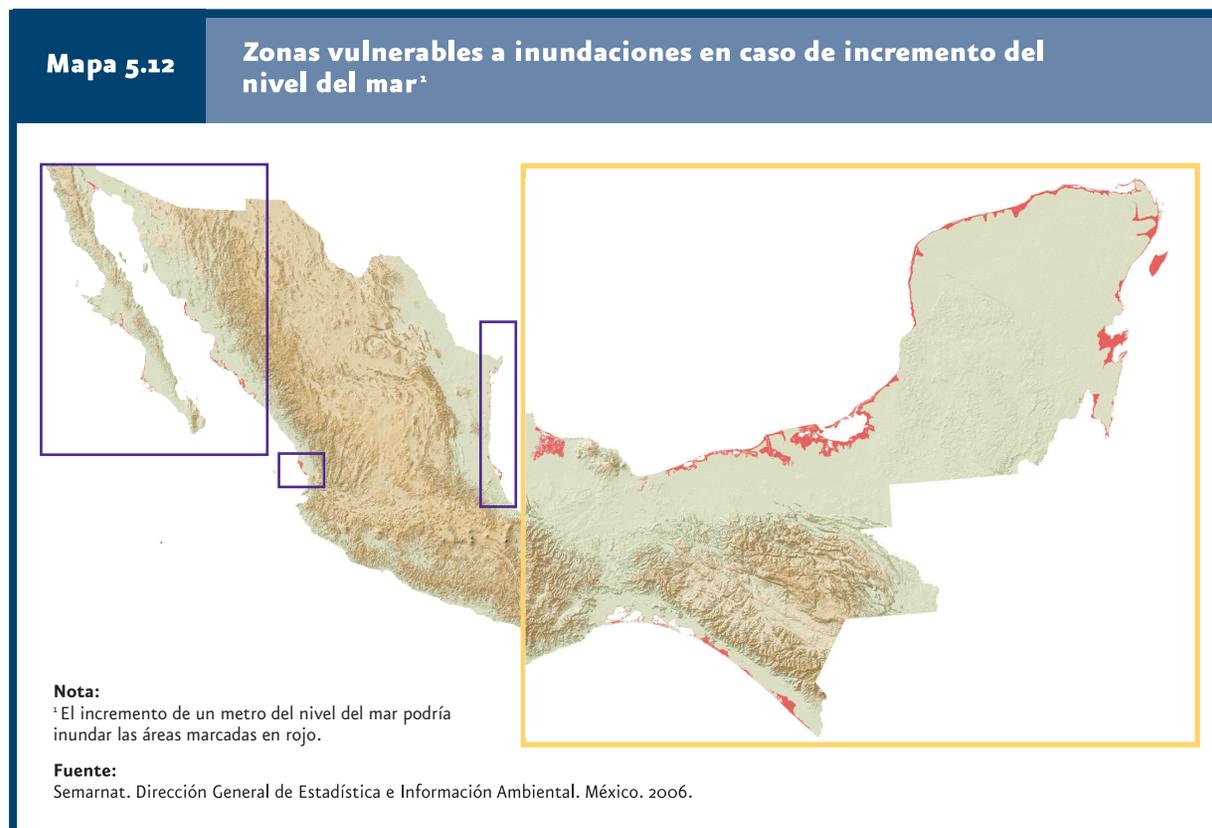
En el país existen diversas zonas costeras que pueden ser afectadas si el nivel del mar continúa aumentando (Mapa 5.12; Semarnat, 2007). De acuerdo con Magaña y Gay (2002), en México existen cerca de 20 millones de habitantes asentados en lugares de alto riesgo de inundación, lo que los hace especialmente vulnerables a las variaciones climáticas y eventos extremos como los huracanes.

Medidas para frenar y enfrentar el cambio climático

Como respuesta a esta problemática mundial surgió, en 1992, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés), 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, respectivamente (Semarnat, INE, 1999; UNEP, 2002).

Como instrumento de la UNFCCC surgió, en 1997, el Protocolo de Kioto, que estableció como obligación para los países desarrollados y las economías en transición (pertenecientes al Anexo I) la reducción en 5% de sus emisiones de GEI –tomando como base sus emisiones de 1990– para el periodo comprendido entre 2008 y 2012. Para los países en desarrollo, el Protocolo, no estableció metas cuantificables de reducción de emisiones de GEI, pero sí existen compromisos particulares, entre ellos la elaboración de inventarios nacionales de emisiones de GEI y de comunicaciones nacionales, así como estudios de mitigación y adaptación al cambio climático. México firmó este protocolo en 1998 y lo ratificó en el 2000 como país No Anexo I (países en desarrollo; Semarnat, INE, 1999).

A octubre de 2008, 182 países habían ratificado, aprobado o aceptado el Protocolo de Kioto que en conjunto representan el 63.7% de la emisión total de gases de efecto invernadero de los países desarrollados o con economías en transición (UNFCCC, 2008). Algunos de los países que más



GEI emiten a la atmósfera se han negado a ratificar el Protocolo de Kioto, entre ellos Estados Unidos, responsable de aproximadamente el 22% de las emisiones globales de CO₂. Cabe destacar que a pesar de que el Protocolo surgió en 1997, no fue sino hasta el año 2005 que entró en vigor, ya que se requería que fuera aceptado por un grupo de países Anexo I que en conjunto hubieran emitido el 55% de los GEI de 1990. Esta cifra se alcanzó a finales de 2004, cuando Rusia, responsable del 17.4% de las emisiones totales de los países Anexo I (a nivel mundial contribuye con el 6%), ratificó su adhesión al Protocolo.

En el marco de estos acuerdos internacionales, México ha impulsado distintas medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. El país se ha destacado a nivel internacional por su participación activa para enfrentar este problema, lo que lo sitúa como la cuarta nación que más esfuerzos dedica para combatir el cambio climático. Un breve resumen de las medidas tomadas por México se presenta en la Tabla 5.3.

Ante el escenario que se presenta es evidente la necesidad de que los gobiernos tomen medidas para reducir sus emisiones de GEI y se preparen con estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático. Se estima que los riesgos y los costos de los mayores impactos del cambio climático podrían reducirse significativamente si la humanidad logra estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera entre 450 y 550 ppm de CO₂ equivalente (CO₂e). De no ser así, si la concentración supera las 550 ppm de CO₂e, los riesgos y los costos podrían incrementarse de manera exponencial. Para lograr dicha estabilización, se requiere que para el 2050 se reduzcan las emisiones globales entre 20 y 70% respecto a los niveles actuales (Stern, 2007).

De acuerdo con el Informe Stern (*Stern review: the economics of climate change*), si no actuamos el costo total por los impactos del cambio climático

A finales de 2008, 182 países habían ratificado, aprobado o aceptado el Protocolo de Kioto; estos representan el 67.7% de la emisión del GEI de los países desarrollados.

podría ser equivalente al menos al 5% anual del PIB global, ahora y para siempre. Es importante destacar que si se consideran los riesgos y los costos de escenarios menos optimistas de cambio climático el costo estimado

asciende a más de 20% del PIB global. En contraste, si se toman medidas para reducir las emisiones globales de GEI, el costo podría ser de alrededor del 1% anual del PIB global (Stern, 2007). Ante este escenario, México prepara su propio Estudio sobre las Implicaciones Económicas del Cambio Climático, el cual permitirá evaluar la magnitud de los efectos económicos del cambio climático sobre los diferentes sectores.

OZONO ESTRATOSFÉRICO

La reducción del espesor de la capa de ozono representa otro de los problemas ambientales globales más importantes, ya que esta capa regula el paso de los rayos ultravioleta (UV) emitidos por el Sol. Los rayos UV son de tres tipos: UV-A, UV-B y UV-C. La radiación UV-A es la menos nociva y la que llega en menor cantidad a la superficie terrestre. Los rayos UV-C son los más nocivos, ya que son altamente energéticos, pero la capa de ozono no permite su paso. Por último, los rayos UV-B, también muy dañinos, son en su mayor parte retenidos por la capa de ozono, aunque una pequeña parte la atraviesa alcanzando la superficie de la Tierra pudiendo causar daños a las células y tejidos de los organismos.

La capa de ozono se ha adelgazado como resultado de la acción de varios agentes, conocidos genéricamente como sustancias agotadoras del ozono (SAO). Éstos contienen en su estructura átomos de cloro, bromo y flúor que se generan principalmente como resultado de las actividades humanas. Las SAO más conocidas son los clorofluorocarbonos (CFC), pero también destacan los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), halones, bromuro de metilo (MBR), tetracloruro

Tabla 5.3

Acciones tomadas por México en materia de cambio climático

Medidas, compromisos o acciones tomadas	Observaciones
Programa Especial de Cambio Climático (PECC; próximo a publicarse).	Este programa se basa en la Estrategia Nacional de Cambio Climático. Incluirá las medidas de acción climática (mitigación y adaptación) contenidas en los programas sectoriales o institucionales de las dependencias involucradas.
Estudio sobre las Implicaciones Económicas del Cambio Climático en México.	El estudio proveerá insumos estratégicos para el PECC y su realización. Se basa en el Informe Stern (<i>Stern review: the economics of climate change</i>), que analiza los impactos económicos globales del cambio climático.
Propuesta mexicana para la creación de un Fondo Multinacional de Cambio Climático.	México propuso la creación de este Fondo que, en principio, tendrá la participación de todos los países bajo el principio de responsabilidades compartidas pero diferenciadas. Esto significa que la aportación de cada nación se determinará considerando sus emisiones totales, sus emisiones per cápita y su Producto Interno Bruto. El propósito fundamental del Fondo será apoyar tanto acciones dirigidas a reducir la emisión de GEI, como de adaptación, así como brindar asistencia técnica para formular proyectos y programas de mitigación y adaptación en sectores prioritarios.
Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC).	En mayo de 2007 se publicó la ENACC, cuyos objetivos son: <ul style="list-style-type: none"> • Identificar oportunidades de reducción de emisiones y desarrollar proyectos de mitigación. • Reconocer la vulnerabilidad de los respectivos sectores y áreas de competencia e iniciar proyectos para el desarrollo de capacidades nacionales y locales de respuesta y adaptación. • Proponer líneas de acción, políticas y estrategias, que sirvan de base para la elaboración del Programa Especial de Cambio Climático que se encuentra en desarrollo.
Inventarios Nacionales de Emisiones de GEI 1990, 1994-1998 y 1990-2002.	Se han publicado tres inventarios de emisiones acompañando a sus respectivas comunicaciones nacionales. En el último inventario (1990-2002) se calcularon nuevamente las emisiones de todo el periodo.

Tabla 5.3

Acciones tomadas por México en materia de cambio climático (continúa)

Medidas, compromisos o acciones tomadas	Observaciones
Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (2006).	Hasta mayo de 2008, sólo cuatro países no Anexo I habían presentado su segunda comunicación nacional (México, Corea, Uruguay y Argentina); México es el único país en desarrollo que ha entregado su tercera comunicación nacional.
Programa Voluntario de Contabilidad y Reporte de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.	En el año 2004, la Semarnat firmó un convenio de colaboración con el Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés) y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD, por sus siglas en inglés) para iniciar un programa voluntario en el que las empresas reporten anualmente sus emisiones de gases de efecto invernadero. Actualmente el Programa ha sido suscrito por 52 empresas o instituciones mexicanas, entre las que destacan Pemex y dos Secretarías (la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México).
Comité Mexicano para Proyectos de Reducción y Captura de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (Comegei) y la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático.	El Comegei se creó en 2004 y funciona como un grupo de trabajo de la Comisión y su función principal es promover, difundir y evaluar proyectos del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (previsto en el Protocolo de Kioto). La Comisión se creó en 2005 y tiene como fin formular políticas públicas y estrategias transversales de mitigación y adaptación. Está integrada por los titulares de las Secretarías de Medio Ambiente y Recursos Naturales (quien la preside y tiene a su cargo el Secretariado Técnico); Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Comunicaciones y Transportes; Economía; Desarrollo Social; Energía; Relaciones Exteriores y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público como miembro invitado permanente.
Investigación científica y desarrollo tecnológico.	México es el tercer país receptor de ayuda financiera del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés). De un total de casi 389 millones de dólares recibidos, México ha destinado casi 250 millones al apoyo de la investigación científica y el desarrollo tecnológico en materia de cambio climático.

Tabla 5.3

Acciones tomadas por México en materia de cambio climático (continúa)

Medidas, compromisos o acciones tomadas	Observaciones
<p>Proyectos registrados ante el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL).</p>	<p>Hasta mediados de mayo de 2008, México ocupaba el cuarto lugar mundial con 105 proyectos registrados, ante la Junta Ejecutiva del MDL, de un total mundial de mil 59 proyectos; el quinto por el volumen de Reducciones Certificadas de Emisiones (RCE) esperadas por año (7.4 megatoneladas –Mt– de un total mundial de 214.7 Mt) y el sexto por las ya obtenidas, que ascienden a 3.8 Mt (de un total mundial de 147.5 Mt).</p>
<p>Programas de gobierno que apoyan las acciones tomadas en materia de cambio climático y programas de adaptación, mitigación, comunicación y difusión del cambio climático.</p>	<p>Existe una gran cantidad de programas, estudios e iniciativas en la materia. Con el fin de ejemplificar se enlistan algunos de ellos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entre los programas que apoyan la protección de los ecosistemas forestales y con ello a los sumideros de carbono existentes, se encuentran el ProÁrbol de Conafor, los de conservación de hábitat de la Conanp, las Unidades de Manejo Sustentable de Vida Silvestre (Uma), así como las acciones desplegadas junto con la Profepa, el ejército mexicano y las autoridades locales para evitar la tala clandestina y los incendios forestales. • Estudios para una adecuada adaptación al cambio climático a nivel nacional, sectorial, estatal, local y regional. Por ejemplo: Escenarios de cambio climático para México; Programa de modelación del clima: vulnerabilidad y adaptación en el sector agua; Vulnerabilidad del sector energía; Estudio de adaptación en el sector agua urbana en Hermosillo, Sonora y Fomento de las Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba: sectores agrícola, forestal e hídrico. • Programas para mitigar el cambio climático en los sectores energético, transporte, social, forestal y agrícola, así como programas transversales. Por ejemplo: Aprovechamiento de fuentes renovables; Estudios de aprovechamiento de biogás; Esfuerzos de acción climática en el subsector autotransporte foráneo de carga y pasaje; Programa para desarrollar el mercado de servicios ambientales por captura de carbono,

Tabla 5.3

Acciones tomadas por México en materia de cambio climático (conclusión)

Medidas, compromisos o acciones tomadas	Observaciones
<p>Programas de gobierno que apoyan las acciones tomadas en materia de cambio climático y programas de adaptación, mitigación, comunicación y difusión del cambio climático.</p>	<p>los derivados de la Biodiversidad y para fomentar el establecimiento y mejoramiento de los Sistemas Agroforestales (PSA-CABSA); Proyecto de energías renovables para la agricultura (FIRCO) y el Fondo Mexicano de Carbono (FOMECAAR).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Programas de difusión y participación en actividades internacionales e integración del tema en políticas nacionales. Por ejemplo: Portal de cambio climático: www.ine.gob.mx/cclimatico/index.html; Centro Nacional de Observación Climática de Gran Altitud; Participación en el Panel Intergubernamental de Cambio Climático y Autoevaluación de Capacidades Nacionales para la Implementación de las Convenciones sobre Diversidad Biológica, Cambio Climático y Combate a la Desertificación.

Nota:

Para ampliar la información sobre las medidas, programas e iniciativas aquí mencionadas se recomienda visitar la página electrónica de la Semarnat y las de otras dependencias involucradas.

Fuente:

Semarnat. *Acciones de México de mitigación y adaptación ante el cambio climático global*. México. 2008. Disponible en: www.semarnat.gob.mx/queessemarnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Pages/estrategia.aspx Fecha de consulta: 05-12-2008.

de carbono (TET) y metil cloroformo. Las SAO se utilizan comúnmente en los sistemas de refrigeración, aire acondicionado, espuma rígida de poliuretano, solventes, insecticidas, aerosoles y extintores, entre otros. Al ser emitidas, 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 (WMO y UNEP, 2003).

Aunque las emisiones de SAO se generan en todo el planeta y el adelgazamiento de la capa de ozono ocurre a nivel global, la circulación atmosférica desplaza la mayoría de las SAO hacia los polos. Las condiciones climáticas del Polo Sur favorecen las reacciones que convierten a las SAO en gases

reactivos que destruyen el ozono. Esta destrucción ocurre sobre la superficie de las partículas de hielo de las nubes estratosféricas que se forman sobre la Antártica en el invierno. Durante dichas reacciones se liberan cloro y bromo en formas activas que se acumulan en las nubes polares. En la primavera, cuando aumenta la temperatura, las nubes se disgregan y liberan cloro y bromo activos, que destruyen rápidamente el ozono. Por esta razón, aunque el problema es global, sus efectos son menores cerca del ecuador y se incrementan con la latitud hacia los polos, en particular hacia el Polo Sur (PNUMA, 2002, 2003; WMO y UNEP, 2003).

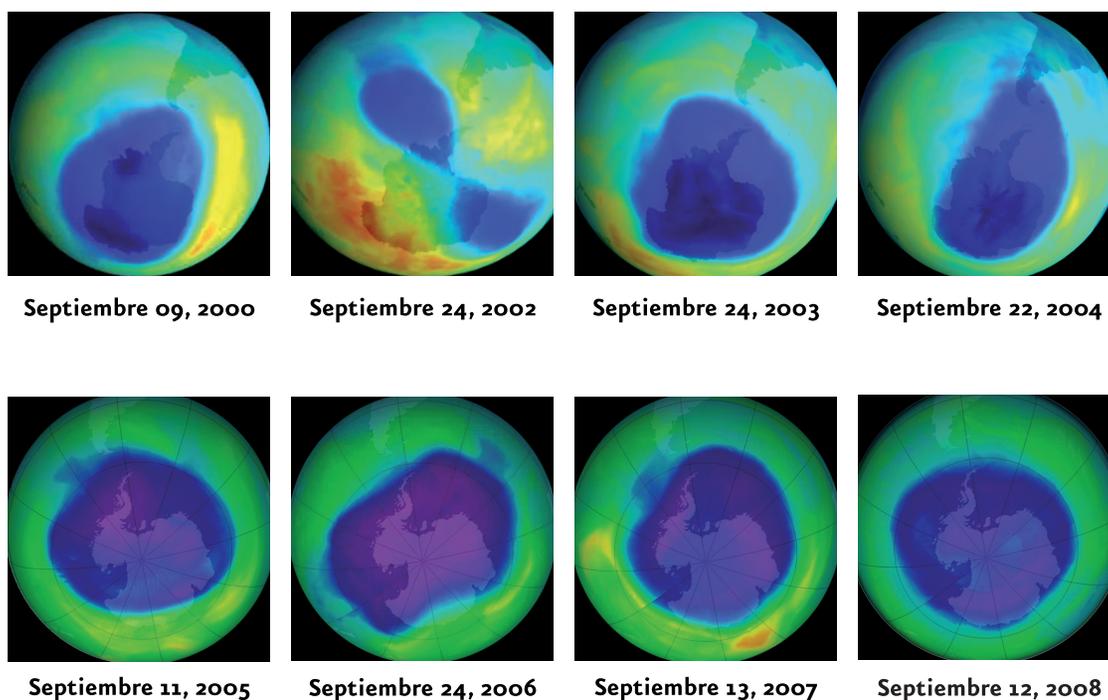
El adelgazamiento de la capa de ozono en Antártica ha producido lo que se conoce como el “agujero de ozono”¹⁴, observado por primera vez a principios

¹⁴Se considera que existe un “agujero” en la capa de ozono cuando la concentración de ozono estratosférico es menor a 220 unidades Dobson (UD) -la concentración global es de alrededor de 300 UD-. 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 (PNUMA, 2003; WMO y UNEP, 2003).

de los años ochenta y que presentó su máximo tamaño registrado en el año 2000, cubriendo cerca de 29.4 millones de km² (Figura 5.27 y Tabla 5.4). En 2008, el tamaño máximo fue de 27 millones de km², una superficie ligeramente más grande que Norteamérica (NASA, 2008).

En la Figura 5.28 se observan las concentraciones de ozono estratosférico global, para Antártica, Ciudad de México y Guadalajara, entre 1979 y 2008. Es evidente la baja concentración que se registra desde principios de los años ochenta (en el mes de octubre) en Antártica, comparada con

Figura 5.27 Imágenes del agujero de ozono, 2000 - 2008



Nota:
El área en azul representa el "agujero de ozono".

Fuentes:

- NASA. Goddard Space Flight Center. *Largest-ever ozone hole observed over Antarctica*. 2000. Disponible en: www.gsfc.nasa.gov/topstory/20000908largest_ozone_hole.html Fecha de consulta: 15-11-2000.
- NASA. *Waves in the atmosphere batter south pole, shrink 2002 ozone hole*. 2002. Disponible en: www.gsfc.nasa.gov/topstory/20021206ozonehole.html Fecha de consulta: 13-11-2000.
- NASA. *Looking at earth. NASA and NOAA Announce Ozone Hole is a Double Record Breaker*. 2006. Disponible en: www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ozone_record.html Fecha de consulta: 20-11-2006.
- NASA. *Looking at earth. NASA Date Reveals 'Average' Ozone Hole in 2007*. 2007. Disponible en: www.nasa.gov/vision/earth/environment/ozone_2007.html Fecha de consulta: 06-12-2007.
- NASA. *The ozone hole*. 2008. Disponible en: www.theozonehole.com/ozonehole2008.htm Fecha de consulta: 18-03-2009.
- NASA. *2003 Ozone 'Hole' Approaches, But Falls Short Of Record*. Nasa News. 2003. Disponible en: www.gsfc.nasa.gov/topstory/2003/0925ozonehole.html Fecha de consulta: 18-11-2003.
- NASA. *Looking at earth. 2004 Antarctic Ozone Hole*. 2004. Disponible en: www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ozone_hole_2004.html Fecha de consulta: 23-11-2004.
- NASA. *Looking at earth. NASA's Aura Satellite Peers Into Earth's Ozone Hole*. 2005. Disponible en: www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ozone_five.html Fecha de consulta: 02-12-2005.

Tabla 5.4		Superficie máxima cubierta por el agujero de ozono, 2000 - 2008
Año	Superficie máxima¹ (millones de km²)	
2000	29.4	
2001	25	
2002	20.7	
2003	28.4	
2004	24.2	
2005	24.1	
2006	27.1	
2007	24.8	
2008	27.0	

Nota:
¹ Todas las superficies presentadas en la tabla corresponden al mes de septiembre de cada año.

Fuentes:
 NASA. Goddard Space Flight Center. Largest-ever ozone hole observed over Antarctica. 2000. Disponible en: www.gsfc.nasa.gov/topstory/20000908largest_ozone_hole.html
 NASA. 2003 Ozone 'Hole' Approaches, But Falls Short Of Record. NASA News. 2003. Disponible en: www.gsfc.nasa.gov/topstory/2003/0925ozonehole.html
 British Antarctic Survey. The Ozone Hole. 2004. Disponible en: www.antarctica.ac.uk/Key_Topics/The_Ozone_Hole/index.html
 NASA. Looking at earth. 2004 Antarctic Ozone Hole. 2004. Disponible en: www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ozone_hole_2004.html
 NASA. Looking at earth. NASA's Aura Satellite Peers Into Earth's Ozone Hole. 2005. Disponible en: www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ozone_five.html
 NASA. Looking at earth. NASA and NOAA Announce Ozone Hole is a Double Record Breaker. 2006. Disponible en: www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ozone_record.html
 NASA. Looking at earth. NASA Data Reveals 'Average' Ozone Hole in 2007. Disponible en: www.nasa.gov/vision/earth/environment/ozone_2007.html
 NASA. The ozone hole. 2008. Disponible en: www.theozonhole.com/nasaoct2008.htm Fecha de consulta: 05-11-2008.

En 2008, el agujero de ozono cubrió una superficie de 27 millones de kilómetros cuadrados, que es una extensión ligeramente más grande que Norteamérica.

la concentración global (IB 1.3-3). En esa región se ha mantenido una tendencia decreciente en la concentración de ozono y aunque en algunos años



se han registrado incrementos, éstos siempre se han mantenido por debajo de la concentración global. En contraste, tanto la concentración global como la de las dos ciudades mexicanas que se muestran como referencia, no presentan cambios significativos en sus curvas de concentración, lo cual refuerza el hecho de que a pesar de que se trata de un problema generado a nivel global, sus consecuencias son regionales.

Consumo y concentración de SAO

Dado que el impacto de las SAO depende de su potencial de agotamiento del ozono¹⁵ (WMO y UNEP, 2003), en este capítulo se presentan el consumo, tanto global como nacional, ponderado por dicho potencial. Cabe mencionar que el consumo ponderado de SAO considera de manera integral el ciclo de vida de estas sustancias (producción, importación y exportación), así como su capacidad específica para destruir el ozono.

A pesar de que el consumo global de SAO disminuyó drásticamente a principios de los noventa (reducción de 90% en el periodo 1986-2004), esto no se ha reflejado en su concentración atmosférica (Figuras 5.29 y 5.30; IB 1.3-1 y 1.3-4). Esto se debe a que las SAO se han acumulado lentamente en la estratosfera, lo que ha generado que el incremento en su concentración se haya detenido y que sus niveles se mantengan relativamente



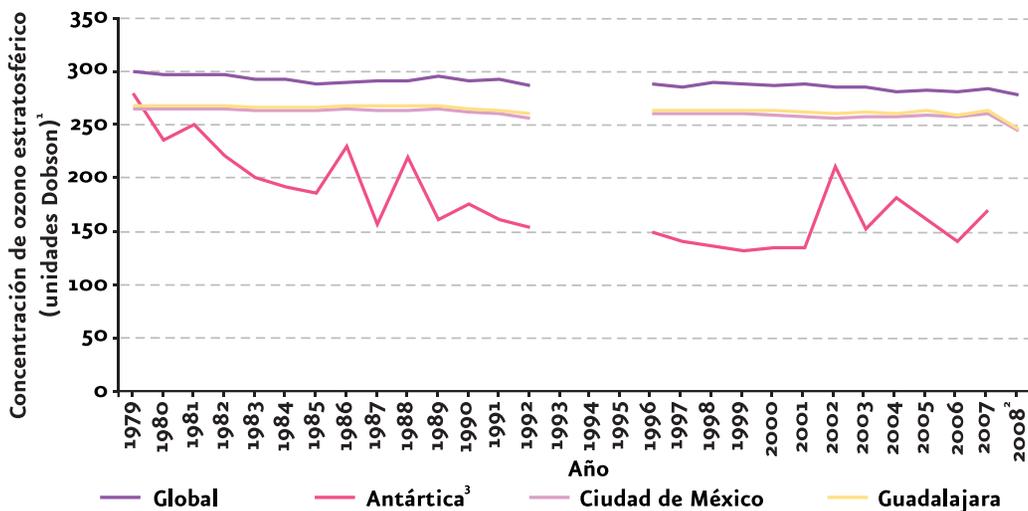
El consumo global de SAO disminuyó 90% en el periodo 1986-2004.

constantes desde principios de los años noventa (WMO y UNEP, 2003).

¹⁵Potencial de agotamiento del ozono: capacidad de cada SAO para destruir al ozono. El potencial de agotamiento del ozono (PAO) se calcula para cada sustancia, usando como referencia al CFC-11 con PAO igual a 1.

Figura 5.28

Concentración del ozono estratosférico global, en Antártica y en dos ciudades mexicanas, 1979 - 2008



Notas:

¹La unidad Dobson es una medida para estimar el grosor de la capa de ozono. Cien unidades Dobson representan una cantidad equivalente a un milímetro de grosor de la capa de ozono a 0°C y a una presión de 1 013 hectopascales, es decir a nivel del mar.

²Incluye mediciones sólo hasta marzo para el ozono global y abril para las ciudades de México y Guadalajara.

³Los promedios anuales corresponden al mes de octubre (mes en el que se registra el agujero de ozono) en Bahía Halley, Antártica.

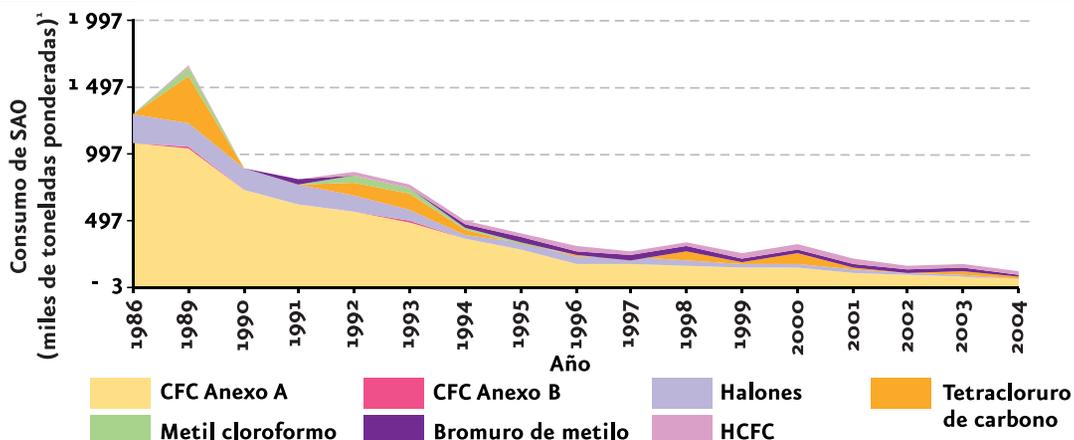
Fuentes:

NASA. Total Ozone Mapping Spectrometer. 2005. Disponible en: www.toms.gsfc.nasa.gov Fecha de consulta: 06-12-2005.

NASA. Aura Validation Center. 2008. Disponible en: www.avdc.gsfc.nasa.gov/ Fecha de consulta: 29-10-2008.

Figura 5.29

Consumo global ponderado de sustancias agotadoras del ozono, 1986 - 2004



Nota:

¹ El consumo es el resultado de la producción más la importación menos la exportación de SAO. Algunos datos de consumo son negativos debido a que la exportación fue mayor a la producción e importación. El consumo neto es ponderado por el potencial de agotamiento de la capa de ozono que posee cada sustancia.

Fuente:

UNEP. Production and Consumption of Ozone Depleting Substances under the Montreal Protocol 1986 – 2004. Ozone Secretariat, UNEP. Kenya. 2005.

En los escenarios más optimistas, se predice que la capa de ozono podría comenzar a recuperarse en 10 o 20 años y su recuperación plena no llegaría antes de la primera mitad del siglo XXI (PNUMA, 2002). Esta incertidumbre se debe, en parte, a que algunos estudios plantean que se requieren series históricas más largas y una mayor comprensión de los procesos atmosféricos y sus efectos sobre el ozono para poder predecir cuándo se recuperará la capa de ozono. Además de la concentración atmosférica de SAO, existen otros factores que influyen en la destrucción del ozono como la temperatura en la estratosfera, la actividad solar, la concentración atmosférica de

gases como el metano, vapor de agua y el óxido nítrico (Weatherhead y Andersen, 2006; ver el Recuadro *¿Están relacionados el cambio climático y el adelgazamiento de la capa de ozono?*).

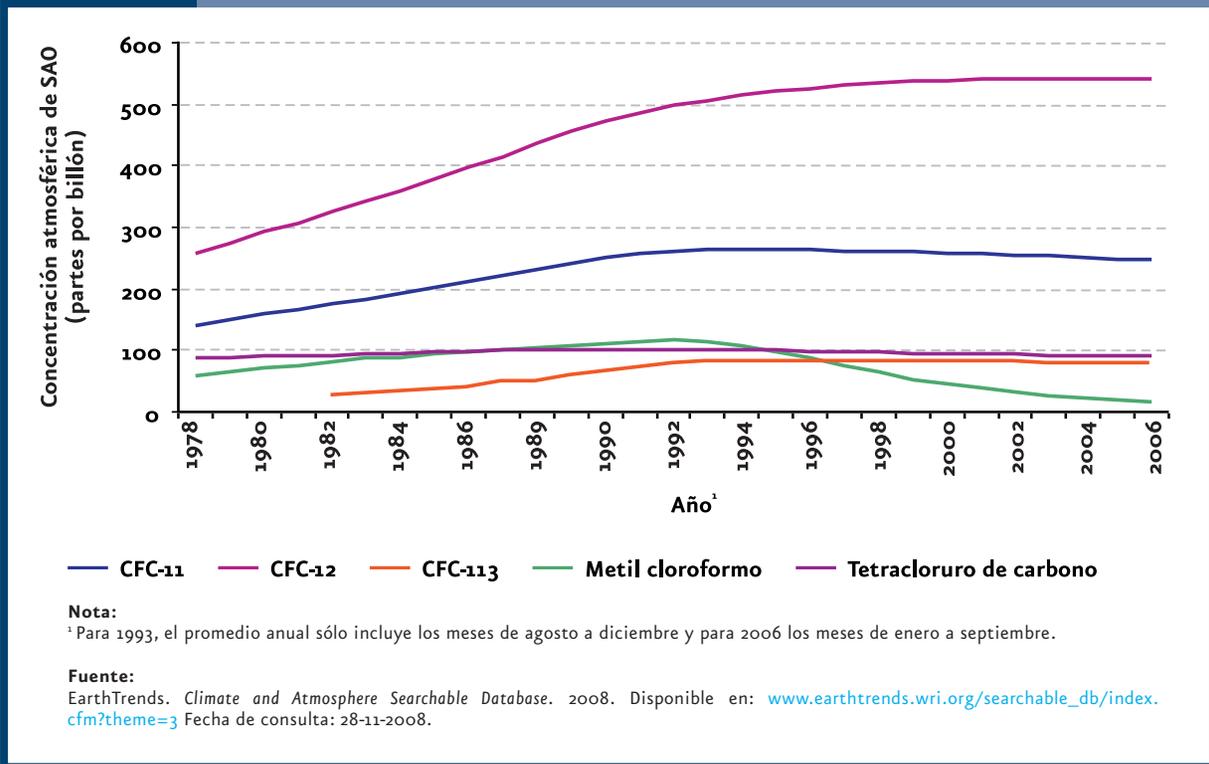
En México, el consumo total de SAO ponderado disminuyó 95% en 2007 (se consumieron 764 toneladas) comparado con el reportado en 1989 (15 mil toneladas en el año de entrada en vigor del Protocolo de Montreal¹⁶; Figura 5.31; IB 1.3-2; IC9). Esta disminución es debida principalmente a la eliminación del consumo de CFC como parte del cumplimiento de metas de México para proteger la capa de ozono.

El consumo nacional de SAO disminuyó 95% en el periodo 1989-2007.



Figura 5.30

Concentración atmosférica global de sustancias agotadoras del ozono, 1978 - 2006



¹⁶ Tratado internacional que establece los compromisos de reducción de la producción y el consumo de SAO con el fin de proteger la capa de ozono.

Recuadro

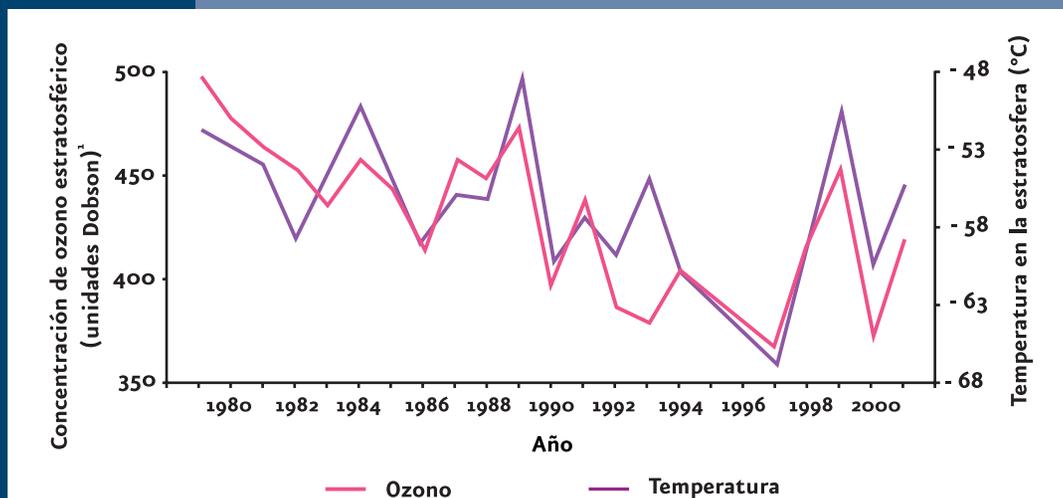
¿Están relacionados el cambio climático y el adelgazamiento de la capa de ozono?

A pesar de que comúnmente el cambio climático y el problema del adelgazamiento de la capa de ozono se han visto como dos problemas globales independientes, recientes hallazgos demuestran que en realidad podrían existir complejas interacciones entre ellos.

El adelgazamiento de la capa de ozono, además de permitir una mayor penetración de la radiación UV-B, genera también el enfriamiento de las zonas altas de la atmósfera. El ozono normalmente retiene la radiación infrarroja (calor) que proviene de la superficie terrestre, por lo que al adelgazarse

la capa de ozono se reduce la cantidad de calor retenido, generándose temperaturas más bajas en la estratosfera. Esto se apoya en observaciones que muestran que zonas entre los 30 y 50 km de altura se han enfriado entre 1 y 6°C en décadas recientes (Figura a), paralelamente con el incremento de las concentraciones de GEI en la troposfera. El enfriamiento en la estratosfera es uno de los requisitos indispensables para la pérdida del ozono, ya que favorece, en ciertas zonas del globo –sobre Antártica, por ejemplo– la formación de las nubes polares que facilitan las reacciones químicas entre los clorofluorocarbonos (CFCs) y el ozono.

Figura a Concentración de ozono y temperatura estratosféricas 1979 - 2001



Nota:

¹ La unidad Dobson es una medida para estimar el grosor de la capa de ozono. Cien unidades Dobson representan una cantidad equivalente a 1 milímetro de grosor de la capa de ozono a 0°C y a una presión de 1 013 hectopascales, es decir a nivel del mar.

Fuente:

NASA Earth Observatory. *The Ozone Hole. Ozone and Climate Change*. 2004. Disponible en: www.theozonehole.com/climate.htm
Fecha de consulta: 18-12-2008.

Recuadro

¿Están relacionados el cambio climático y el adelgazamiento de la capa de ozono? (conclusión)

Sin embargo, se ha sugerido que la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la troposfera podría favorecer la pérdida del ozono estratosférico. Una hipótesis sostiene que el calentamiento de la troposfera inducido por la acumulación de estos gases podría retener el calor en esta capa de la atmósfera e impedir el calentamiento natural de la estratosfera, produciendo un efecto de enfriamiento y con ello, la destrucción del ozono.

Todo lo anterior ha hecho pensar que, dadas la interacción entre fenómenos, la recuperación de la capa de ozono podría darse, no como se había previsto hacia

el año 2050, sino hasta el 2060 o 2070. No obstante, son necesarios muchos más estudios que comprueben la existencia de la relación entre la acumulación de los GEI y el adelgazamiento de la capa de ozono, los cuales permitan conocer con mayor detalle la dinámica de destrucción de las moléculas del ozono y con ello, su posible recuperación en el tiempo.

Referencias:

IPCC. *The AR4 Synthesis Report*. France. 2007.

NASA Earth Observatory. *The Ozone Hole. Ozone and Climate Change*. 2004. Disponible en: www.theozonehole.com/climate.htm Fecha de consulta: 18-12-2008.

Protección de la capa de ozono

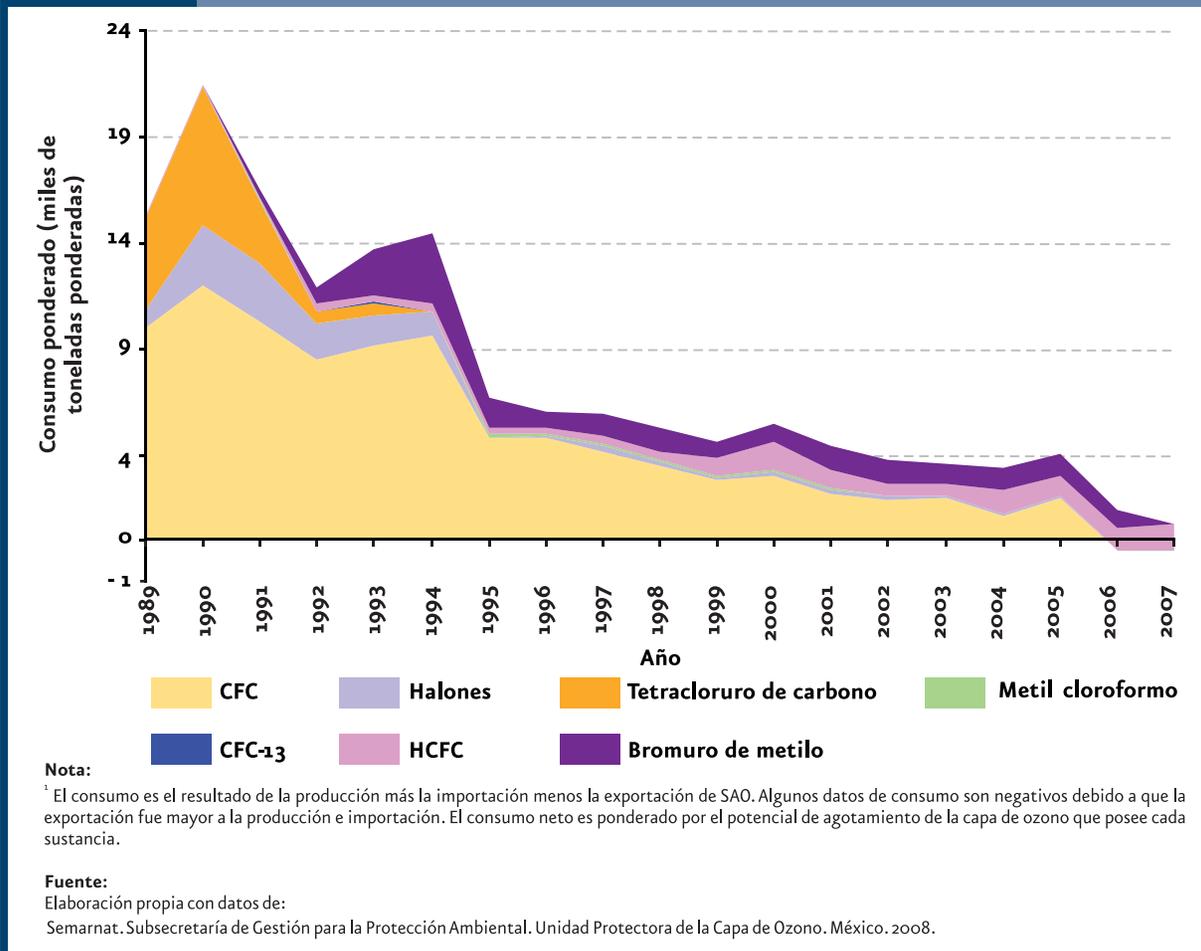
La preocupación de la comunidad científica y de los gobiernos de diversos países por la pérdida del ozono estratosférico llevó a la adopción de la Convención de Viena sobre la Protección de la Capa de Ozono (1985) y del Protocolo de Montreal sobre Sustancias que Degradan la Capa de Ozono (1987), en los cuales se establecieron compromisos para reducir el consumo y la producción de SAO (PNUMA, 2003). México firmó estos tratados, y adoptó las enmiendas de Londres, Copenhague y recientemente las de Montreal (2006) y Beijing (2007). 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, el protocolo especificó un periodo de gracia de diez años para su eliminación y,

además, se ofrecieron apoyos financieros que les permitirían a estos países enfrentar los costos de eliminar las SAO.

Además de disminuir el consumo de SAO, México se ha adelantado a los controles internacionales, ya que para varias de las sustancias alcanzó las metas comprometidas antes de la fecha de vencimiento. La estrategia que ha seguido el país se basa 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, 3) introducción de tecnologías limpias que empleen sustancias alternativas a las SAO y 4) 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.

Figura 5.31

Consumo nacional ponderado de sustancias agotadoras del ozono, 1989 - 2007¹



De las metas comprometidas por México destaca que para los CFC, tetracloruro de carbono (TET) y metil cloroformo (MCF), México cumplió con las metas que se había planteado anticipadamente. Por ejemplo, para los CFC en el año 2007 se reportó un consumo negativo, ya que se eliminó la producción de estas sustancias y la exportación fue mayor que la importación (Figura 5.32). Para información más detallada sobre producción, importación, exportación y consumo de SAO en México se recomienda consultar los Cuadros: [D3_AIRE03_01](#), [D3_AIRE03_02](#), [D3_AIRE03_03](#) y [D3_AIRE03_04](#).

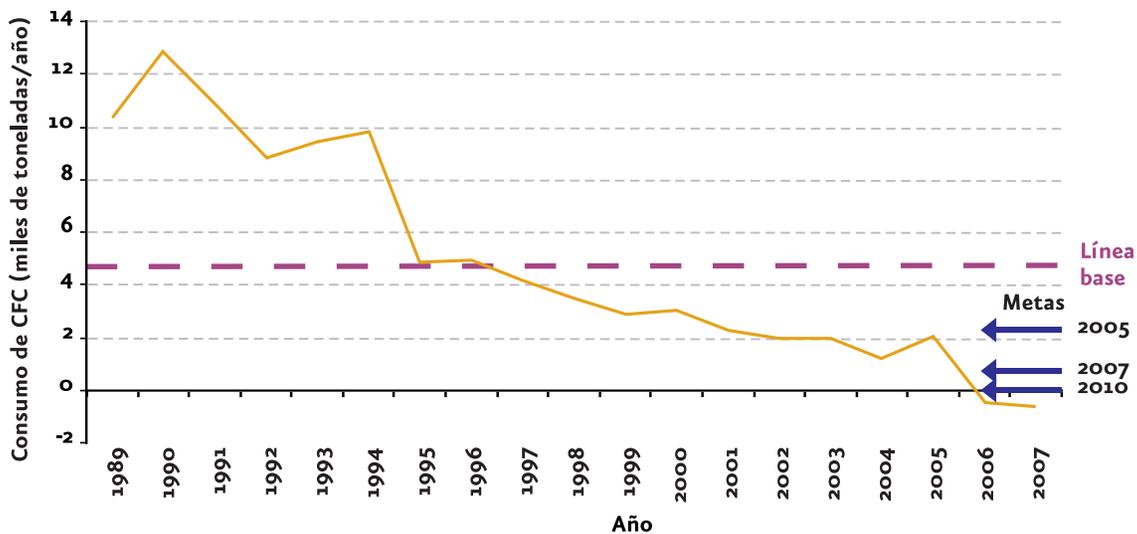
México ha cumplido con las metas de reducción de consumo de varias SAO, como los CFC, TET y MCF.

Como parte del fomento al uso de sustancias alternativas, se han empleado algunas menos dañinas a la capa de ozono. Por ejemplo, los HCFC han sustituido a los CFC, ya que poseen menor potencial de agotamiento de ozono. En México, los HCFC consumidos poseen potenciales de agotamiento de entre 0.04 y 0.07, mientras que los CFC van de 0.6 a 1.0. La Figura 5.33 muestra el resultado de la sustitución de CFC, es decir, mientras el consumo de CFC usados principalmente en la refrigeración y aire acondicionado ha disminuido, el consumo de HCFC ha ido incrementándose (IB 1.3-5).



Figura 5.32

Consumo nacional de CFC y metas comprometidas para alcanzar ante el Protocolo de Montreal, 1989 - 2007



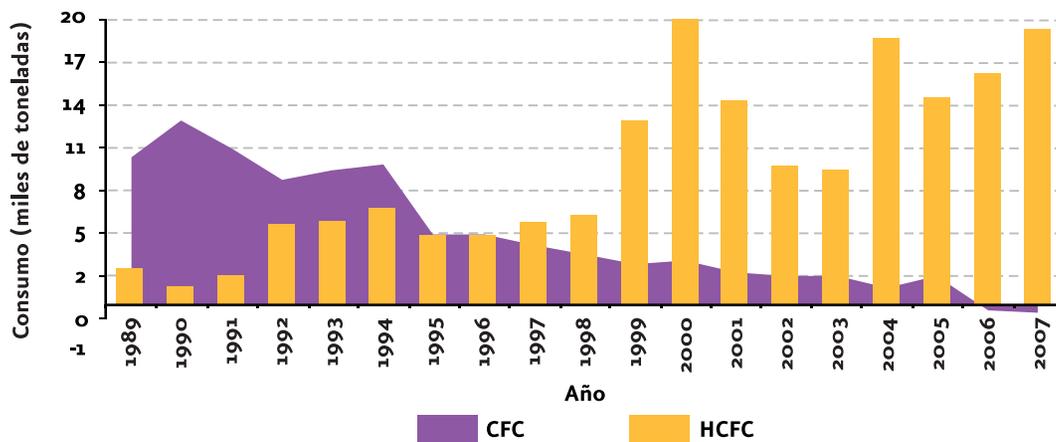
Línea base: consumo promedio 1995-1997 (4 643.5 toneladas métricas). A partir de este consumo promedio, las metas son la reducción del 50% en 2005, 85% en 2007 y 100% en 2010.

Fuente:

Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Unidad Protectora de la Capa de Ozono. México. 2008.

Figura 5.33

Consumo nacional de HCFC como sustancias alternativas a los CFC, 1989 - 2007¹



Nota:

¹ El consumo es el resultado de la producción más la importación menos la exportación de SAO. Algunos datos de consumo son negativos debido a que la exportación fue mayor a la producción e importación.

Fuente:

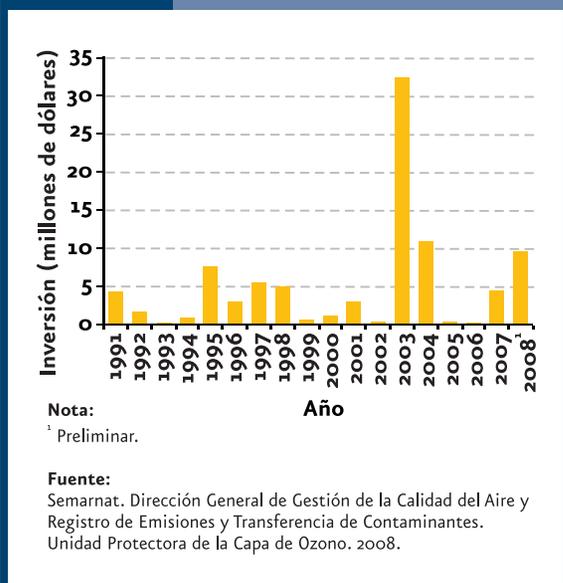
Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Unidad Protectora de la Capa de Ozono. México. 2008.

Cabe señalar que incluso para los HCFC existen metas de reducción de consumo. 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.

Para auxiliar a los países en desarrollo a cumplir con las medidas de control adoptadas ante el Protocolo de Montreal, existe a nivel internacional el Fondo Multilateral para la Implementación del Protocolo de Montreal (PNUMA, 2003; UNEP, 2001, 2003). Los recursos de este Fondo se dirigen a impulsar la introducción de tecnologías limpias y la capacitación de los usuarios de SAO. En el periodo 1991-2008, este Fondo destinó alrededor de 2 mil 400 millones de dólares a nivel mundial para apoyar a los países en desarrollo en la ejecución de proyectos y dentro de ellos otorgó poco más de 91.5 millones de dólares a México (Figura 5.34).

Figura 5.34

Fondos otorgados a México por el Fondo Multilateral para la Implementación del Protocolo de Montreal, 1991 - 2008



A nivel nacional y con el fin de implementar las medidas necesarias para el cumplimiento de los compromisos de México ante el Protocolo de Montreal, hace más de diez años se creó la Unidad de Protección a la Capa de Ozono, dependiente de la Semarnat (Semarnat, 2007). Entre los logros que se han obtenido destaca la eliminación del consumo de CFC, debido a la ejecución de más de 100 proyectos para la sustitución del uso de estas sustancias en los refrigeradores domésticos, comerciales, aires acondicionados, aerosoles, solventes y espumas de poliuretano. Como parte de la estrategia de eliminación de CFC, en el año 2005 se cerró la planta de producción de estas sustancias, con lo cual nuestro país se adelantó cuatro años a lo establecido por el Protocolo de Montreal. Con ello, además de anular la producción en México, se generó una reducción de 12% de la producción mundial y de 60% en América Latina.

Por otro lado, se desarrolló el Sistema de Información y Monitoreo de Importaciones, Exportaciones y Producción de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SISSAO) para vigilar la importación y exportación de estas sustancias y contar con un registro estadístico. También están en marcha proyectos para brindar asistencia técnica y capacitación a usuarios de bromuro de metilo -sustancia que se utiliza como plaguicida para la fumigación de suelos y sistemas de almacenamiento de granos y harinas- para reducir su consumo.

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.
- Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. México. 2007.
- Delgado, G. H. Volcano-Ice Interactions in Mexico: Extinction of Glaciers at Popocatepetl and the Fate of the Glaciers of Iztaccíhuatl and Citlaltépetl Volcanoes. *American Geophysical Union*. Vol. 33. 2007.
- DOF. Modificación a la NOM-020-SSA1-1993. México. 2002 (30 de octubre).
- DOF. Modificación a la NOM-025-SSA1-1993. México. 2005 (26 de septiembre).
- DOF. NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005. México. 2006 (30 de enero).
- EEA. *Impacts of Europe's changing climate*. 2004. Disponible en: http://reports.eea.europa.eu/climate_report_2_2004/en Fecha de consulta: 10-11-2008.
- GDF. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*. México. 2006a.
- GDF. *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2004*. México. 2006b.
- IEA, OECD. *Map Energy Indicators - Latin America - CO2 / Population 2005*. 2008. Disponible en: www.iea.org/Textbase/country/maps/LAMERICA/co2_pop.htm Fecha de consulta: 06-12-2008.
- IEA. *Key World Energy Statistics*. 2007.
- INE. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional. México 2007.
- INEGI. Dirección General de Contabilidad Nacional y Estadísticas Económicas. México. 2007.
- IPCC. *Climate Change 2001: the Scientific Basis*. Cambridge University Press. United Kingdom. 2001.
- IPCC. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2007a.
- IPCC. *The AR4 Synthesis Report*. France. 2007b.
- Keeling, C.D. y T.P. Whorf. Atmospheric CO₂ Records from Sites in the SIO Air Sampling Network, 2005. En: *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center. USA. Disponible en: <http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/sio-keel.html> Fecha de consulta: 27-09-2008.
- 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.
- NAS. *Climate Change Science. An Analysis of Some Key Questions*. National Academy Press. Estados Unidos. 2001.
- NASA. *The ozone hole*. 2008. Disponible en: www.theozonehole.com/nasaoct2008.htm Fecha de consulta: 19-12-2008.
- OCDE. *Evaluación del desempeño ambiental en México*. Francia. 2003.
- OECD. *OECD in Figures. Statistics on the Member Countries*. France. 2002.
- OECD. *OECD in Figures 2004 Edition. Statistics on the Member Countries*. France. 2004.
- OECD. *OECD in Figures 2007 Edition*. France. 2007.
- Parmesan, C. y Yohe, G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across

natural systems. *Nature* 421:37-42. En: The Royal Society. Biodiversity-climate interactions: adaptation, mitigation and human livelihoods. 2007.

PNUMA. *Acción por el ozono*. Kenya. 2000.

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*. Costa Rica. 2003.

Ralston, H., B., Horstmann, y C., Hol. Climate change changes Tuvalu. *Germanwatch*. 2004.

Rehfish, M. M., C. J., Feare, N. V., Jones, y C. Spray. Climate change and coastal birds. *Ibis* 146 Supplement 1. 2004.

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.

Semarnat, INE. *Estrategia Nacional de Acción Climática*. México. 1999.

Semarnat-INE. *Gestión de la calidad del aire en México. Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000*. México. 2000.

Semarnat, GEP y SMRN. *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de Puebla 2006-2011*. México. 2006.

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.

Semarnat, INE. *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002*. México. 2006a.

Semarnat, INE. *Inventario nacional de emisiones de México, 1999*. México. 2006b.

Semarnat, INE. *México Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México. 2006c.

Semarnat. *¿Y el medio ambiente? Problemas en México y el mundo*. México. 2007.

Semarnat. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. México. 2005.

Semarnat. *Implementación del Protocolo de Montreal en México*. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. 2007. Disponible en: www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/calidaddelaire/Pages/proteccionlacapadeozono.aspx Fecha de consulta: 19-12-2008.

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

Semarnat-INE, GEG, GMS. *Programa para mejorar la calidad del aire en Salamanca*. México. 2004.

Sener. *Programa Energía y Medio Ambiente hacia el Desarrollo Sustentable Sener-Semarnat 2002*. México. 2003.

Smith, J. B., J. L., Jeerey y 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*. United Kingdom. 114-139. 2003.

Stern, N. *Stern Review. The Economics of Climate Change*. United Kingdom. 2007.

Stewart, B. A. y C. A. Robinson. Land Use Impact on Carbon Dynamics in Soils of the Arid and Semiarid Tropics. En: Lal, R., J. M. Kimble y B. A., Stewart. *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*. CRC Press. United States. 251-257. 2000.

Taub, D. R., Miller, B. y Allen, H. Effects of elevated CO₂ on the protein concentration of food crops: a meta analysis. *Global Change Biology* 14: 565-575. 2008.

The Royal Society. *Biodiversity-climate interactions: adaptation, mitigation and human livelihoods*. United Kingdom. 2007.

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. United Kingdom. 1999.

UNEP. *Multilateral Fund for the Implementation of the Montreal Protocol*. 2003. Disponible en: www.multilateralfund.org/ Fecha de consulta: 19-12-2008

UNEP. *Protecting the Ozone Layer*. Volume 1 Refrigerants. Malta. 2001.

UNEP. *UNFCCC Convention on Climate Change*. Climate Change Secretariat. Francia. 2002.

UNFCCC. *Kyoto Protocol. Status of Ratification*. 2008. Disponible en: http://unfccc.int/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php Fecha de consulta: 07-12-2008.

UNFPA. *Estado de la población mundial 2005. La promesa de igualdad. Equidad de género, salud reproductiva y Objetivos de Desarrollo del Milenio*. UNFPA. 2005.

Weatherhead, E. C. y S. B., Andersen. The search for signs of recovery of the ozone layer. *Nature* 441: 39-45. 2006.

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.

Welbergen, J. A., Klose, S. M., Markus, N. y Eby, P. Climate change and the effects of temperature extremes on Australian Flying-foxes. *Proceedings of The Royal Society*. 2007.

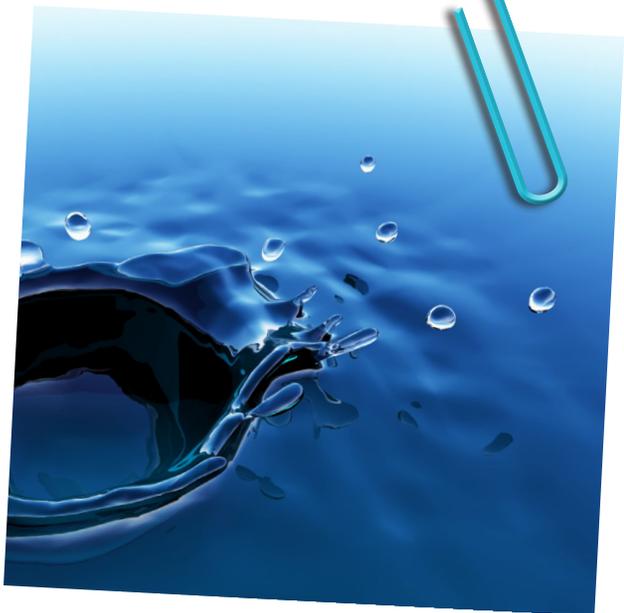
WMO, UNEP. *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002. Global Ozone Research and Monitoring Project*. Report No. 47. Ginebra. 2003.

WRI. *A Guide to the Global Environment 1998-1999*. Oxford. United States of America. 1998.

WRI. *World Resources 1998-99. A Guide to the Global Environment*. Oxford University Press. United States of America. 1998.

Capítulo 6. Agua





Agua

El agua es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta. Los seres humanos dependemos de su disponibilidad no sólo para el consumo doméstico, sino también para el funcionamiento y la continuidad de la actividad agrícola e industrial. En las últimas décadas y con el objetivo de producir más alimentos, energía y proporcionar servicios a una población cada vez más numerosa, la demanda por el líquido ha crecido significativamente y no ha podido ser cubierta. Ejemplo de ello es que en el año 2007 alrededor de 2 mil 600 millones de personas en el mundo no tuvieron acceso a servicios relacionados con el agua, entre ellos el aprovisionamiento de agua potable (UNEP, 2007). La situación podría ser más grave en el futuro ya que, según pronósticos, alrededor del año 2025 cerca de mil 800 millones de personas vivirán en países o regiones con completa escasez de agua, y dos terceras partes de la población mundial podrían estar sujetas a condiciones de estrés hídrico (UNEP, 2007).

La disponibilidad no es el único problema relacionado con el agua. Su contaminación es el otro aspecto importante, ya que agrava el problema de la escasez. Las aguas de los cuerpos

superficiales y subterráneos se contaminan por las descargas sin tratamiento de las aguas municipales e industriales, lo que además de perjudicar a los ecosistemas naturales y a su biodiversidad, disminuye e impide su uso para consumo humano. Se estima que en los países en vías de desarrollo se vierten a los ríos u otras corrientes superficiales cerca de 90% de las aguas residuales sin previo tratamiento, lo que acarrea problemas de salud: 80% de las enfermedades en los países en desarrollo tiene su origen en el agua contaminada, así como la muerte anual de 2.2 millones de personas (de las cuales 50% son niños menores de 5 años) y de 400 millones de casos de malaria (citado en Carabias y Landa, 2005).

A pesar de que el tema del agua se ha enfocado principalmente hacia las necesidades humanas, resulta esencial destacar su importancia como elemento clave para el funcionamiento y el mantenimiento de los ecosistemas naturales y su biodiversidad. En ausencia del agua que garantice su función y mantenimiento, los ecosistemas naturales se degradan, pierden su biodiversidad y con ello dejan de proveer o reducen la calidad de los bienes y servicios ambientales que sostienen a las sociedades actuales. Por todo ello, la humanidad enfrenta también, a través de la pérdida y deterioro de los ecosistemas (causados, entre otros factores por la deforestación, la sobreexplotación y contaminación de acuíferos y aguas superficiales, la degradación de los ecosistemas acuáticos y la sobreexplotación pesquera), la escasez y contaminación del agua.

El tema del agua es hoy día uno de los más importantes de la agenda ambiental mundial. Además de su importancia para el funcionamiento de los ecosistemas y el mantenimiento de la biodiversidad, se relaciona íntimamente con aspectos sociales relativos a la salud, la seguridad alimentaria y humana, la subsistencia y el desarrollo socioeconómico.

EL AGUA DULCE EN EL MUNDO

Recursos hídricos mundiales

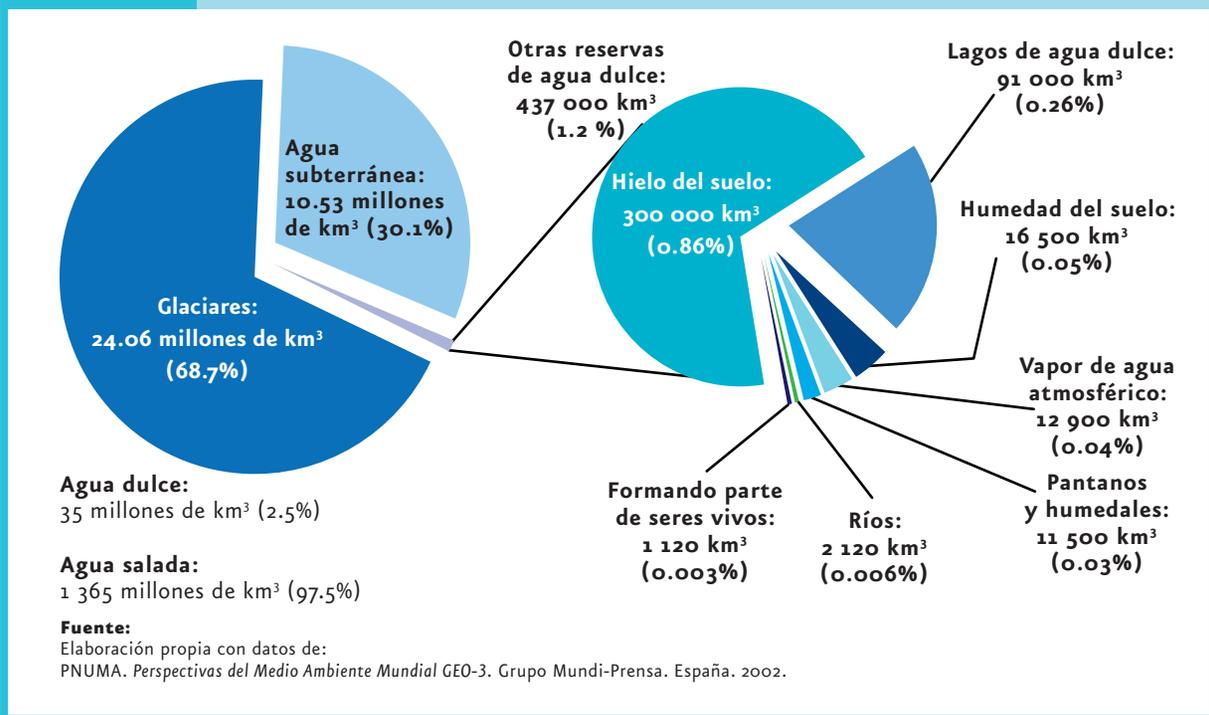
Se ha estimado que existen alrededor de mil 400 millones de kilómetros cúbicos de agua en el planeta, de los cuales sólo 2.5% es agua dulce. Este pequeño porcentaje se localiza principalmente en los ríos, lagos, glaciares, mantos de hielo y acuíferos del planeta (Figura 6.1). Casi tres cuartas partes del agua dulce del planeta están contenidas en los glaciares y mantos de hielo, de los cuales alrededor de 97% son inaccesibles para su uso, ya que se encuentran en la Antártica, el Ártico y Groenlandia. Los glaciares continentales, así como el hielo y las nieves perpetuas de volcanes y cadenas montañosas constituyen una fuente explotable de agua, por lo que son parte importante de los recursos hídricos de muchos países.

Casi tres cuartas partes del agua dulce del planeta están contenidas en los glaciares y mantos de hielo; de ese total alrededor de 97% es inaccesible para su uso.

El agua subterránea representa 96% del agua dulce no congelada del planeta. Esta fuente resulta importante como abastecimiento para arroyos, manantiales y humedales, así como un recurso fundamental para satisfacer las demandas de agua de muchas sociedades en el mundo. Por su parte, aunque las aguas superficiales (es decir, lagos, embalses, ríos, arroyos y humedales) retienen un pequeño porcentaje del total de los recursos de agua dulce de la Tierra (0.3%), representan cerca de 80% de las aguas superficiales renovables anualmente. Los lagos del mundo almacenan el mayor volumen de agua dulce superficial (91 mil km³), más de 40 veces el volumen presente en ríos y arroyos (2 120 km³) y aproximadamente 9 veces el contenido en los pantanos y humedales. No debe dejarse de lado el agua contenida en la atmósfera que, aunque no representa un volumen comparable a los mencionados anteriormente, es muy importante por su papel en la regulación del clima.

Figura 6.1

Reservas de agua dulce en el mundo



DISPONIBILIDAD DEL AGUA

Balance de agua regional

La distribución de la precipitación y de la evapotranspiración varía notablemente entre regiones del planeta, lo que se traduce en distintos volúmenes de recursos hídricos disponibles en cada una de ellas. Sudamérica y Asia son las regiones con mayores recursos hídricos renovables, mientras que Oceanía y el Caribe poseen los menores volúmenes (Figura 6.2).

En México, el volumen promedio de agua que se obtiene por precipitación cada año es de mil 488 kilómetros cúbicos, pero la mayor parte, mil 079 km³ (72.5%),

El agua verde abastece los ecosistemas terrestres y la agricultura de temporal a través de la humedad del suelo y también es agua verde la que se evapora de las plantas y las superficies acuáticas a la atmósfera en forma de vapor de agua.

Las aguas azules están directamente relacionadas con los ecosistemas acuáticos y fluyen en masas de agua superficial y en acuíferos.

regresa a la atmósfera por evapotranspiración (llamada “agua verde” por Falkenmark y Rockström, 2004; Cuadro D3_AGUA01_04). Además del agua que ingresa por precipitación, México recibe por importaciones 49.744 km³ de los ríos

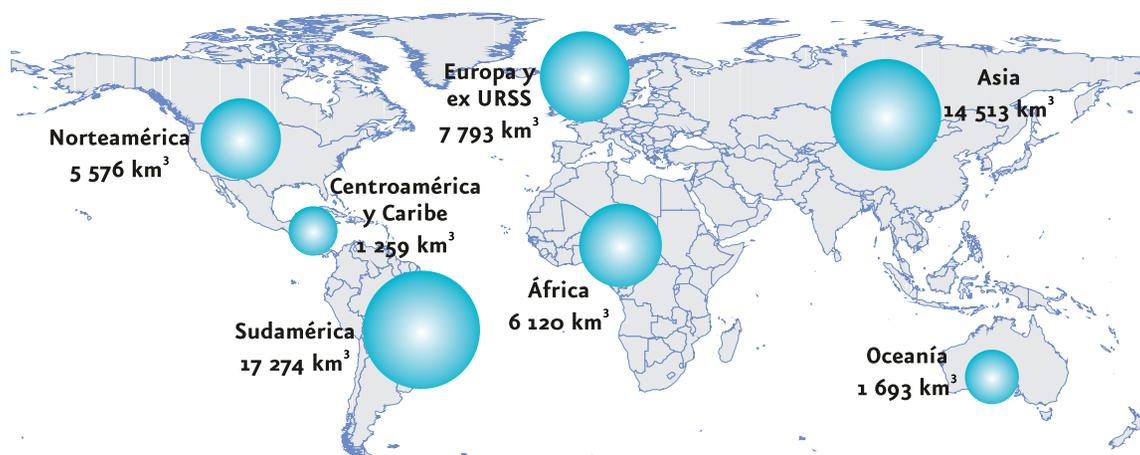
de las fronteras norte y sur y exporta 0.432 km³ del río Bravo a Estados Unidos de acuerdo con el Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales firmado entre los dos países en 1944. De esta forma, el balance general muestra que la

disponibilidad media natural de México es de 458 kilómetros cúbicos de agua en promedio al año (Figura 6.3); valor superior al de la mayoría de los países europeos, pero muy inferior si se compara

con el de Estados Unidos (3 mil 51 km³), Canadá (2 mil 902 km³) o Brasil (8 mil 233 km³; FAO, 2007).

Figura 6.2

Reservas de agua dulce en el mundo por región

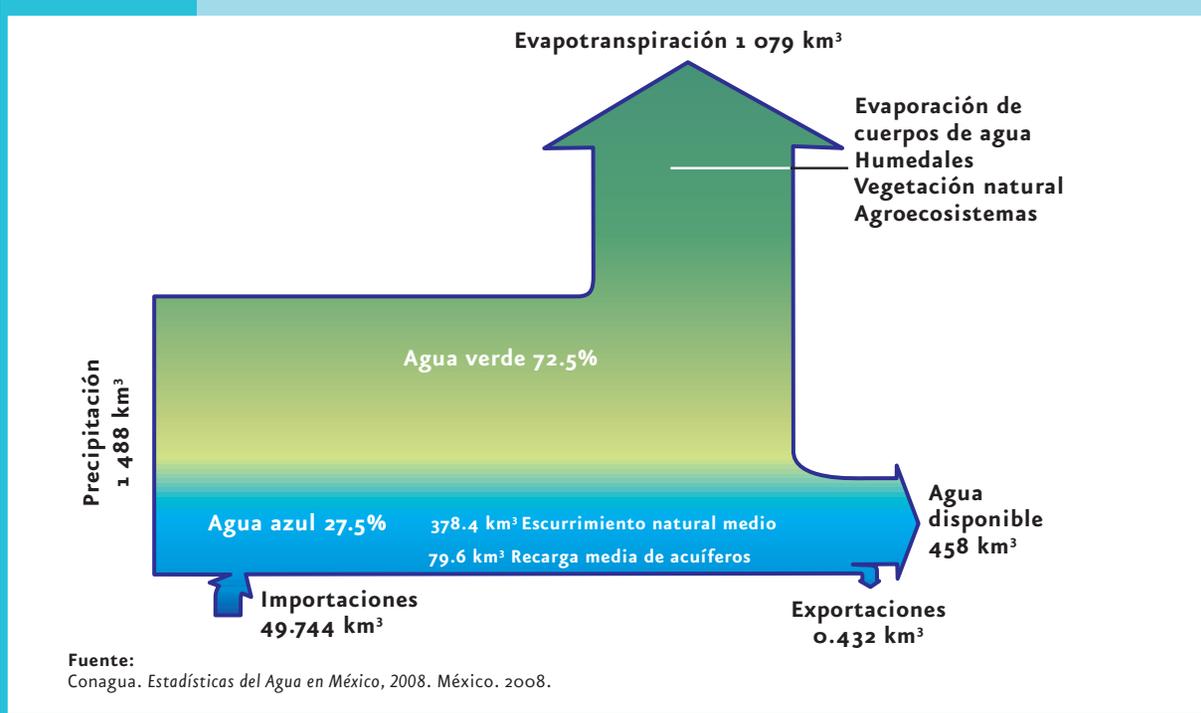


Fuente:

FAO. AQUASTAT. Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural de la FAO. Disponible en: www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm Fecha de consulta 01-12-2008.

Figura 6.3

Balace de agua en México, 1971 - 2000



Variabilidad espacial y temporal en la disponibilidad del agua

En México, la precipitación promedio anual durante el periodo 1971-2000 fue de 760 milímetros, un volumen que se considera abundante (CNA, 2008). Sin embargo, esta cifra resulta poco representativa de la situación hídrica a lo largo del país. En estados como Baja California Sur, apenas se registran 161 milímetros de lluvia en promedio al año, mientras que en Tabasco la precipitación alcanza los 2 mil 102 milímetros (*Cuadro D3_AGUA01_01*).

A nivel de las regiones hidrológico-administrativas de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), las diferencias también son claras (Mapa 6.1). Las regiones I, II, III y VI, localizadas en el norte del país y que ocupan 45% del territorio nacional, reciben 26.5% de la precipitación; en contraste las regiones administrativas IV, V, X, XI y XII, situadas

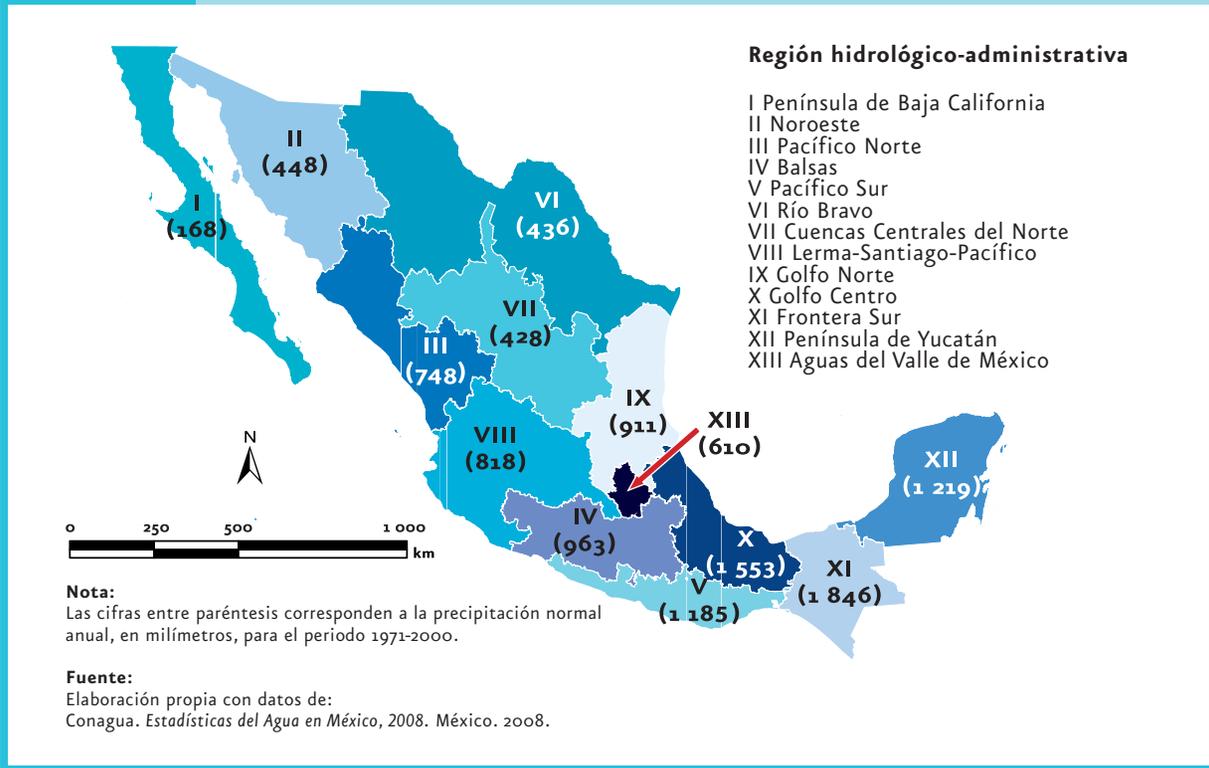
en la parte sur, que ocupan 27.6% del territorio reciben en promedio 48.7% de la lluvia (*Cuadro D3_AGUA01_02*; Tabla 6.1).

El escurrimiento superficial¹ también muestra variaciones importantes en la geografía del país. Del volumen promedio de agua disponible, 83% (378.4 km³) escurre superficialmente y el resto (79.6 km³) se incorpora a los acuíferos. En la región de la Frontera Sur escurre cerca de 37% 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 cercano a 1%. Esto responde, en el caso de Baja California, a su escasa precipitación, y en Yucatán a su relieve plano y sustrato permeable que no facilitan la formación de escurrimientos superficiales de importancia (Tabla 6.2; *Cuadro D3_AGUA01_08*). No obstante, en la planicie yucateca se favorece la recarga de las aguas subterráneas.

¹El escurrimiento superficial se refiere al flujo de agua proveniente de la lluvia, del derretimiento de nieve u otras fuentes sobre la superficie terrestre.

Mapa 6.1

Precipitación normal anual por región hidrológico-administrativa 1971 - 2000



La mayor parte de los escurrimientos superficiales del país se canalizan por los grandes ríos: los siete principales (Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Pánuco, Coatzacoalcos, Balsas, Santiago y Tonalá) captan, en conjunto, 65% del escurrimiento superficial (*Cuadro D3_AGUA01_05*).

De la misma manera que los valores promedio de la precipitación y el escurrimiento no reflejan la heterogeneidad espacial del país, tampoco muestran las variaciones temporales. En 2004, por ejemplo, la precipitación fue casi 15% superior al promedio del periodo 1971-2000, mientras que en 1994, 1996, 1997, 1998 y 2002 estuvo por debajo de los 760 milímetros. De hecho, considerando a todo el país entre 1994 y 2002, la precipitación promedio estuvo por debajo de la media histórica, mientras que entre los años 2003 y 2007 fue superior a la media histórica de 1971-2000 (Figura 6.4).

Figura 6.4 Precipitación anual, 1994 - 2007

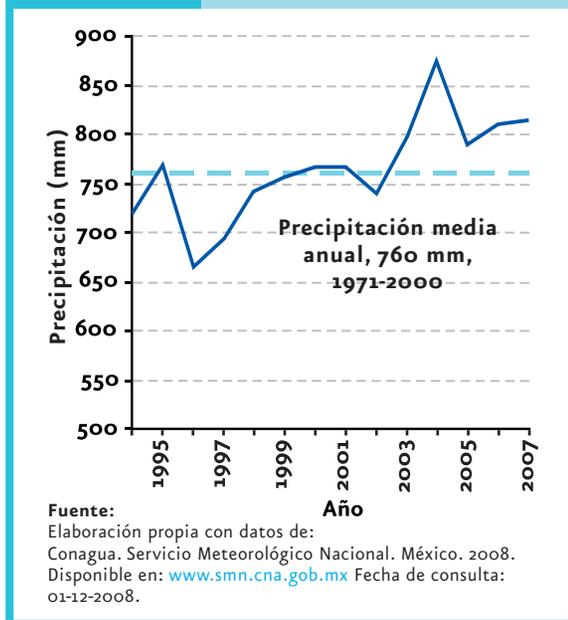


Tabla 6.1
Contribución a la precipitación y superficie de las regiones hidrológico-administrativas, 1971 - 2000

Región hidrológico-administrativa		Superficie		Precipitación normal anual 1971-2000 (mm)	Precipitación media anual	
		(km ²)	(%)		(hm ³ /año)	(%)
I	Baja California	145 489	7.4	168.3	24 487.4	1.6
II	Noroeste	205 291	10.5	448.1	91 987.8	6.2
III	Pacífico Norte	151 934	7.8	747.7	113 593.9	7.6
IV	Balsas	119 219	6.1	963.0	114 806.7	7.7
V	Pacífico Sur	77 087	3.9	1184.6	91 315.6	6.1
VI	Río Bravo	379 604	19.4	435.9	165 464.7	11.1
VII	Cuencas Centrales del Norte	202 385	10.3	427.6	86 548.3	5.8
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	190 438	9.7	817.9	155 755.2	10.5
IX	Golfo Norte	127 138	6.5	910.9	115 807.6	7.8
X	Golfo Centro	104 631	5.3	1 552.8	162 471.7	10.9
XI	Frontera Sur	101 813	5.2	1 845.6	187 904.6	12.6
XII	Península de Yucatán	137 795	7.0	1 219.2	167 993.9	11.3
XIII	Aguas del Valle de México	16 424	0.8	610.2	10 022.1	0.7
Nacional		1 959 248	100.0	759.6	1 488 191.8	100.0

Fuente:
Conagua. *Estadísticas del Agua en México*, 2008. México. 2008.

Estas variaciones en las precipitaciones pueden traducirse en eventualidades como las sequías, las cuales pueden tener importantes consecuencias económicas, principalmente sobre la agricultura y la ganadería. En el último siglo se presentaron en el país cuatro grandes periodos de sequía: 1948-1952, 1960-1964, 1970-1978 y 1993-1996, así como una sequía severa en 1998, que afectaron principalmente a los estados del norte del país. Entre los años 2000 y 2003, 18 estados fueron

afectados por sequía. De acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), éstos sufrieron pérdidas económicas valuadas en más de mil 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 y 2004).

Tabla 6.2

Disponibilidad natural media, escurrimiento superficial y recarga de agua subterránea por región hidrológico-administrativa, 2007

Región hidrológico-administrativa		Escurrimiento natural medio superficial total (hm ³)	Recarga media de acuíferos ^b (hm ³)	Disponibilidad natural media total ^b (hm ³)
I	Península de Baja California	3 367	1 249	4 616
II	Noroeste	5 074	3 130	8 204
III	Pacífico Norte	22 364	3 263	25 627
IV	Balsas	17 057	4 601	21 651
V	Pacífico Sur	30 800	1 994	32 794
VI	Río Bravo	6 857	5 167	12 024
VII	Cuencas Centrales del Norte	5 506	2 274	7 780
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	26 351	7 686	34 037
IX	Golfo Norte	24 227	1 274	25 500
X	Golfo Centro	91 606	3 849	95 455
XI	Frontera Sur	139 739	18 015	157 754
XII	Península de Yucatán	4 329	25 316	29 645
XIII	Aguas del Valle de México	1 174 ^a	1 834	3 008
Nacional		378 449	79 651	458 100

^aSe consideran las aguas residuales de la Zona Metropolitana del Valle de México.

^bIncluye importaciones y excluye exportaciones. Las medias se refieren a valores históricos de acuerdo con la disponibilidad de estudios hidrológicos.

Fuente:

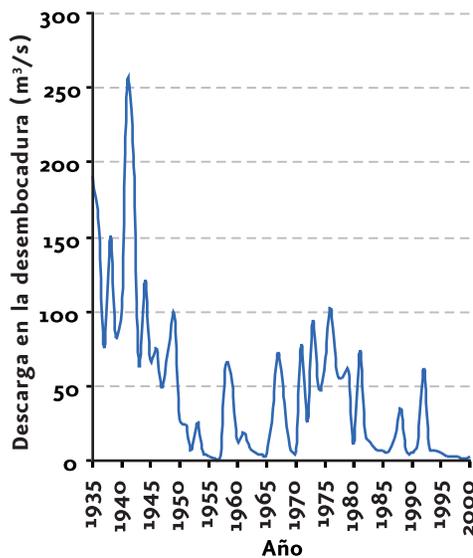
Conagua. *Estadísticas del Agua en México*, 2008. México. 2008.

Junto con la variación interanual en la precipitación, debe considerarse la variación en la precipitación que ocurre entre meses. En el país, 68% de la precipitación normal mensual cae entre los meses de junio y septiembre (*Cuadro D3_AGUA01_03*), lo cual afecta la disponibilidad temporal del líquido en muchas zonas del país, sobre todo en aquellas localizadas en zonas secas. Como consecuencia de ello, casi todos los ríos muestran una diferencia notable en el volumen de agua que acarrearán entre 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. Ejemplo de ello es el río Bravo, el cual después de la construcción de presas sobre el caudal principal y sus afluentes (algunas de las cuales están catalogadas como “grandes presas”, entre ellas La Amistad y Falcón), redujo de manera importante su caudal, el cual en algunos momentos ha llegado a ser nulo en su desembocadura (Figura 6.5).

Figura 6.5

Volumen de agua descargada en la desembocadura del río Bravo, 1935 - 2000



Fuente:
The Global Runoff Data Centre. Long Term Mean Monthly Discharges and Annual Characteristics of Selected GRDC Stations. Koblenz, Germany. 2005. Disponible en: www.grdc.barfg.de Fecha de consulta: 01-12-2008.

Los ciclones que afectan regularmente las costas del país también modifican los volúmenes temporales de precipitación en el territorio nacional. En México se presentan alrededor de 25 ciclones al año con vientos mayores a 63 kilómetros por hora, principalmente en las costas del Pacífico (60% del total), de los cuales cuatro, en promedio, tienen efectos importantes sobre el territorio (*Cuadro D1_DESASTRE00_01*). La ocurrencia de ciclones tropicales se concentra entre mayo y noviembre, con lluvias intensas en cortos periodos que incrementan sustancialmente la cantidad de agua que cae sobre ciertas zonas. Sin embargo, el agua que ingresa por estos meteoros, además de que frecuentemente ocasiona inundaciones y daños a las poblaciones, en muchos casos no es aprovechable, ya que escurre muy rápidamente vertiéndose a los ríos o directamente al mar.

Disponibilidad natural

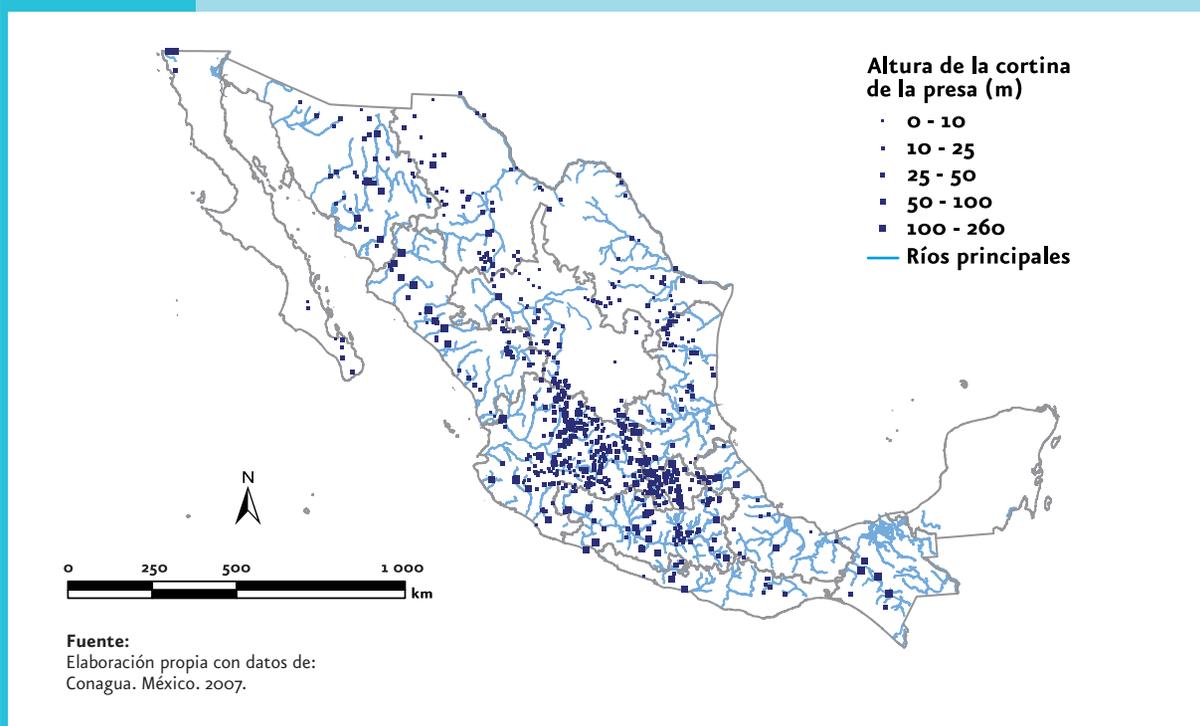
Existen diversas formas para estimar la disponibilidad de agua de un país o región, aunque la precisión y realismo del valor calculado dependen de la información con la que se cuenta. Una aproximación muy gruesa es la precipitación total. En este sentido, los 760 mm de precipitación anual que recibe el país lo clasifican según la OCDE en la lista de países con abundante disponibilidad de agua. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la alta tasa de evapotranspiración (72.5% de la precipitación total) y la heterogeneidad geográfica disminuyen significativamente el volumen de agua disponible en las diferentes zonas del territorio.

El volumen total de recursos hídricos renovables en México es de 458 km³ (volumen de agua disponible), que suele calcularse como la suma del escurrimiento natural medio anual y la recarga media de aguas subterráneas. 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. Por lo anterior, los volúmenes aprovechables y disponibles como recursos para satisfacer las demandas de la sociedad son, en realidad, considerablemente menores que la cifra máxima que se calcula para cada país.

Con objeto de asegurar el suministro de agua para los diferentes usos en todo el país, y considerando la heterogeneidad espacial y temporal en la precipitación, se ha construido una importante red de infraestructura hidráulica en forma de presas y embalses. Con excepción de la Península de Yucatán, donde no hay corrientes de agua superficiales, el resto de las regiones hidrológico-administrativas cuentan con presas (Mapa 6.2). La capacidad de almacenamiento de las cerca de 4 mil presas existentes (de las cuales 667 están clasificadas como grandes presas de acuerdo con los criterios de la Comisión Internacional de Grandes Presas) es de 150 kilómetros cúbicos (**IB 2.1-9**), que equivale a 40% del escurrimiento promedio anual del país.

Mapa 6.2

Distribución de las principales presas, 2007



En contraste, el volumen de agua almacenado en los lagos y lagunas del país es pequeño (poco más de 6.5 km³), ya que México no cuenta con lagos extensos y profundos ([Cuadro D3_AGUA01_06](#)). Debe notarse, sin embargo, que no toda el agua que se almacena en las presas y otros embalses tiene algún uso consuntivo (es decir, agropecuario, público o industrial): cerca de 80% del agua se descarga al mar sin haberse consumido.

Aunado a lo anterior, debe tomarse en cuenta que una gran cantidad del agua almacenada en estos reservorios se evapora hacia la atmósfera, calculándose que incluso podría exceder a nivel global las necesidades conjuntas de la industria y el consumo doméstico, lo cual además se exagera en las regiones tropicales.

Con respecto al uso de las presas en el país, de las 52 más grandes, 25 tienen más de un uso,

La capacidad de almacenamiento de las cerca de 4 mil presas existentes es de 150 kilómetros cúbicos, que equivalen a 40% del escurrimiento promedio anual del país.

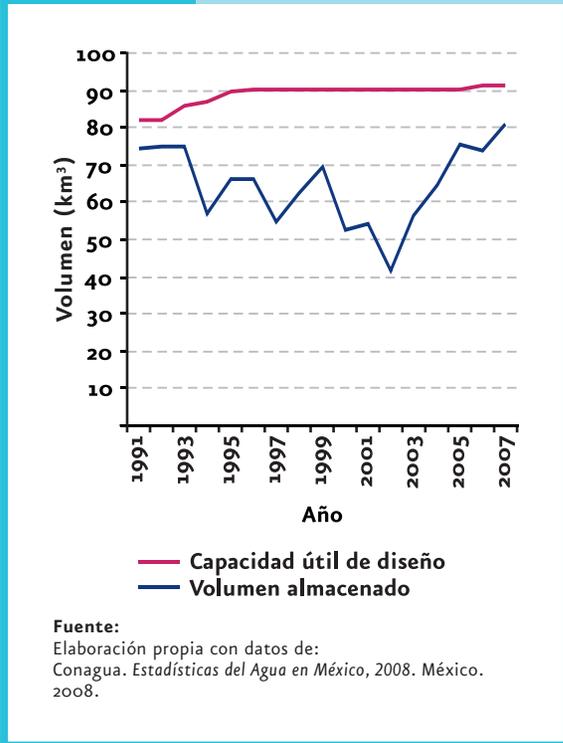
26 tienen entre sus objetivos la generación de energía eléctrica, 39 suministran agua para riego y 9 de ellas se destinan para el abastecimiento público y/o control de avenidas. En total, 6.5 millones de hectáreas de agricultura de riego y 2.5 millones de temporal tecnificado son atendidas por la infraestructura hidráulica.

La cantidad de agua almacenada en las presas varía de un año a otro, debido principalmente a la precipitación y la demanda del líquido (Figura 6.6). Entre 1990 y el año 2002 el volumen almacenado en las principales presas del país tendió a decrecer, recuperándose a partir del último año llegando a los 80 mil 876 millones de metros cúbicos en 2007 ([Cuadro D3_AGUA01_07](#); [IB 2.1-9](#)). Considerando la geografía nacional, el volumen de almacenamiento tampoco es homogéneo. El 18% del volumen de almacenamiento del país



Figura 6.6

Volumen almacenado y capacidad útil de diseño de las presas principales en México, 1991 - 2007



se ubica en zonas por arriba de los 500 metros sobre el nivel del mar, a pesar de que en éstas habita más de 75% de la población y se localizan las mayores superficies de riego agrícola.

Además de los efectos positivos que tienen las presas (p.e. a través del flujo continuo de agua, el control de avenidas y la generación de energía, principalmente) también tienen efectos negativos importantes sobre el ambiente, entre los que destacan la fragmentación de los ecosistemas que se establecen a lo largo de las márgenes de los ríos (con su consecuente pérdida de la biodiversidad), la modificación de la calidad del agua, la pérdida de los servicios ambientales de las cuencas que inundan y la pérdida de los sedimentos en la zona

En México, la disponibilidad natural de agua por habitante en el año 2007 fue de 4 mil 312 metros cúbicos anuales, la cual se considera como una disponibilidad baja.

costera que se detienen detrás de las cortinas de estas obras (MEA, 2005). Paralelamente, pueden derivarse problemas de salud pública ocasionados por las aguas estancadas que aumentan la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores.

Disponibilidad per cápita

Otra forma en la que se evalúa la disponibilidad del agua es por el volumen que le corresponde a cada habitante (IB 2.1-5). El valor de esta medida depende claramente del tamaño de la población que se asienta en el país o región para el cual quiera calcularse, considerando que la precipitación no se reduce de un año al otro. A nivel mundial, la tendencia en la disponibilidad per cápita ha sido decreciente. En 1960, a cada ciudadano del mundo le correspondían 11 mil 300 metros cúbicos por año, los cuales se redujeron a tan sólo 5 mil 600 en el año 2000 y, según proyecciones, podrían ser tan sólo 5 mil para el año 2010 (MEA, 2005).

En México, considerando la proyección de la población a diciembre de 2007, que estimaba un total de 106.23 millones de personas en el país, la disponibilidad natural de agua por habitante fue de 4 mil 312 metros cúbicos anuales (IB 2.1-1),

un volumen que, de acuerdo al World Resources Institute (WRI), se considera como de disponibilidad baja (el límite inferior para clasificar a la disponibilidad media es de 5 mil metros cúbicos por habitante por año). En el contexto mundial, la disponibilidad de agua por habitante en México en la actualidad es mucho menor que la de países como Canadá (91 420 m³/hab/año), Brasil (45 570 m³/hab/año) o Estados Unidos (10 270 m³/hab/año), y en general toda América del Sur, pero ligeramente superior al promedio de los países europeos (PNUMA, 2002).



Una disponibilidad inferior a los mil 700 metros cúbicos por habitante por año se considera como una situación de estrés hídrico (Indicador de Falkenmark; UNDP *et al.*, 2000), en la cual con frecuencia puede ocurrir el desabasto de agua para las diversas actividades que la consumen (sobre todo en países con propensión a sufrir sequías, como es el caso de México). Cuando la disponibilidad es inferior a los mil metros cúbicos por habitante por año, las consecuencias pueden ser más severas y comprometen seriamente la seguridad alimentaria, 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).

La disponibilidad de agua per cápita también se ha reducido con el tiempo en México. En 1950, la disponibilidad promedio era de 17 mil 742 metros cúbicos por habitante, la cual se redujo en 1960 a poco menos de 11 mil metros cúbicos y en 1970 había caído por debajo de los 8 mil. De acuerdo con las proyecciones que realiza el Consejo Nacional de Población (Conapo) sobre la población media del país, se estima que para el año 2010 la disponibilidad de agua por habitante se reducirá a 4 mil 210 metros cúbicos y para 2030 se limitará a tan sólo 3 mil 783 metros cúbicos por habitante por año (Conagua, 2008).

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 (UNDP *et al.*, 2000). De esta forma, si se examina por regiones, México presenta todo el espectro de categorías de disponibilidad de agua. El país se puede dividir en general en dos grandes zonas: la zona norte, centro y noroeste, donde se

concentra 77% de la población y se genera 87% del producto interno bruto, pero únicamente ocurre 31% del agua renovable; y la zona sur-sureste, donde habita 23% de la población, se genera 13% del PIB y ocurre 69% del agua renovable. Para ilustrar la heterogeneidad en la disponibilidad per cápita, la región Aguas del Valle de México y Frontera Sur constituyen buenos ejemplos. La disponibilidad per cápita en la región Aguas del Valle de México es de 143 metros cúbicos por habitante por año, lo que la clasifica en la categoría de disponibilidad extremadamente baja, mientras que la región de la Frontera Sur, con 24 mil 270 metros cúbicos por habitante por año, muestra una disponibilidad calificada como muy alta (Mapa 6.3, [Cuadro D3_AGUA03_01](#)). Tomando en cuenta tan sólo a las regiones hidrológico-administrativas del país con disponibilidades iguales o menores a los mil 700 metros cúbicos por habitante por año, 60 millones de habitantes en el país se encuentran en situación de estrés hídrico.

De acuerdo con un estudio enfocado a detectar áreas donde la disponibilidad de agua podría caer por debajo de los mil 700 metros cúbicos por habitante por 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 (UNDP *et al.*, 2000).

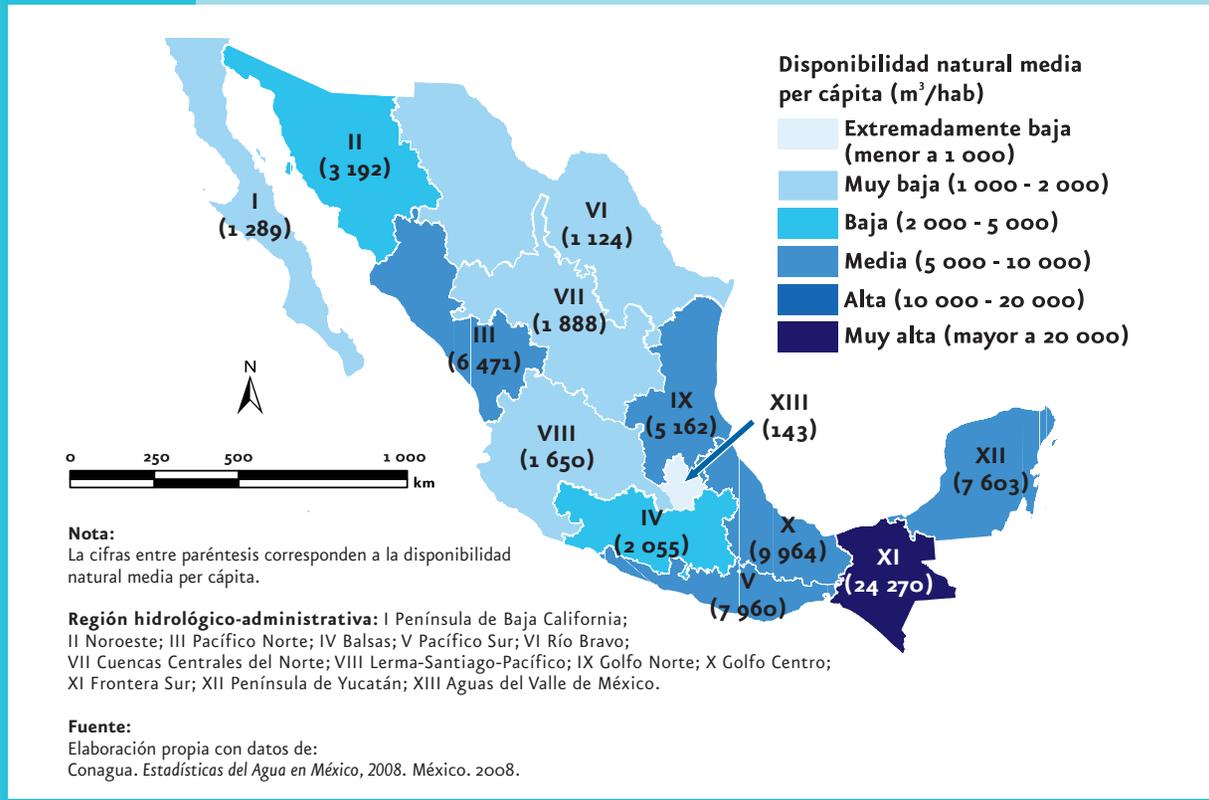
Grado de presión

El grado de presión sobre los recursos hídricos (GPR; **IB 2.1-6, IC 10**), que representa la proporción del agua disponible que se extrae en una zona, ya sea para fines agrícolas, públicos, industriales o de otros tipos, es otra forma de evaluar la disponibilidad del agua. La Comisión para el Desarrollo Sustentable (CDS) de la ONU define cuatro categorías para clasificar el grado de presión, que van desde una presión fuerte (la extracción supera el 40% de la disponibilidad natural) hasta una presión escasa



Mapa 6.3

Disponibilidad natural media per cápita por región hidrológico-administrativa, 2007



(el agua extraída no rebasa el 10% del líquido disponible). México, con un valor estimado de GPR de 17% en 2007, se encuentra en la categoría de presión moderada, valor ligeramente superior al 11.5% estimado como promedio para los países de la OCDE (OECD, 2002). No obstante, el valor relativamente bajo de GPR de México está influido de manera muy significativa por la alta disponibilidad de agua en el sur del país, ya que en regiones como Frontera Sur, Golfo Centro, Península de Yucatán y Pacífico Sur se extrae menos del 8% de su agua disponible. En contraste, las regiones de Baja California, Noroeste, Pacífico Norte, Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte, Balsas y Lerma-Santiago-Pacífico, se encuentran en una situación radicalmente distinta, con grados de presión superiores al 40% (Mapa 6.4).

México, con un valor estimado de grado de presión de 17% en 2007, se encuentra en la categoría de presión moderada, con grandes variaciones regionales.

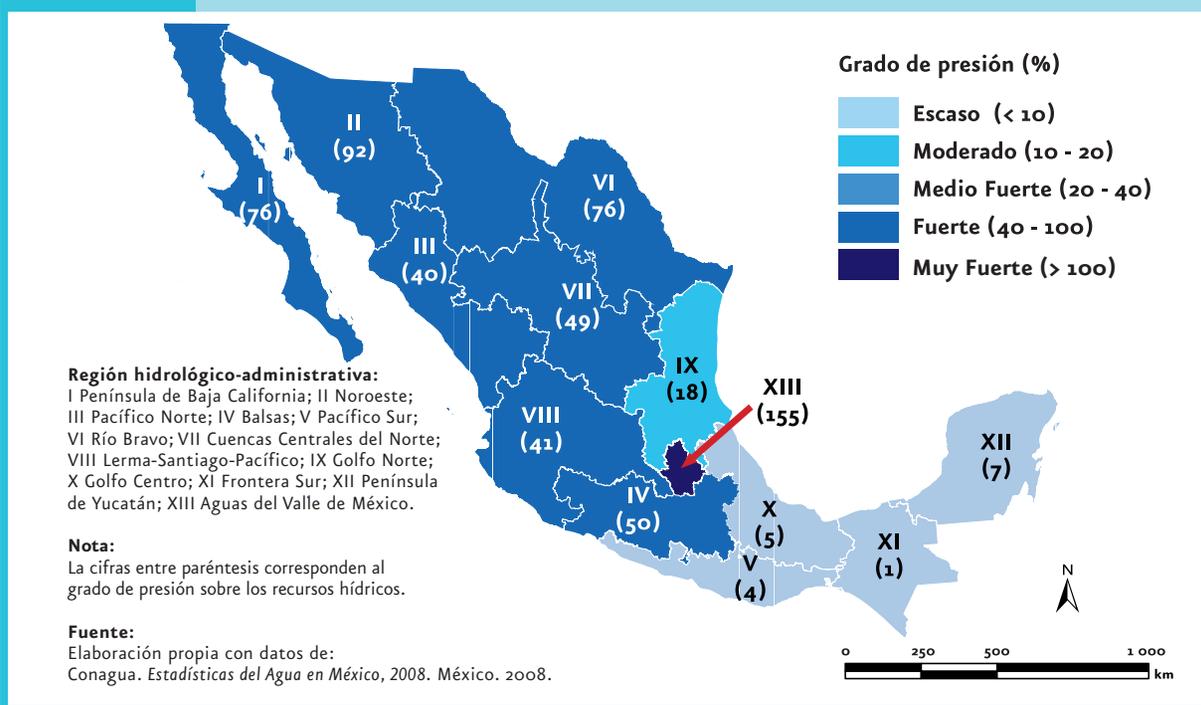
Caso particular es el de la región de Aguas del Valle de México, cuyo valor de presión sobre el recurso alcanzó 155% en 2007.

Finalmente, otra medida de la disponibilidad de agua 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 2007 fue de 743 metros cúbicos por habitante por año, valor semejante al de Italia (774 m³/hab) y Japón (691 m³/hab) e inferior al de los Estados Unidos (1 596 m³/hab), Canadá (1 438 m³/hab), Australia (1 191 m³/hab) y al promedio de los países miembros de la OCDE,

estimado en alrededor de 920 metros cúbicos por habitante al año (OECD, 2003; FAO, 2007).

Mapa 6.4

Grado de presión sobre los recursos hídricos por región hidrológico-administrativa, 2007



EXTRACCIÓN Y USOS CONSUNTIVOS DEL AGUA

La extracción de agua en el mundo ha crecido significativamente con objeto de abastecer a la agricultura, la generación de energía eléctrica y el consumo de una población cada vez más numerosa. En 1995, la extracción mundial de agua dulce fue de 3 mil 790 kilómetros cúbicos. En ese año, 59% de la extracción mundial correspondió tan sólo a Asia, en donde se ubican las mayores superficies de tierras irrigadas. Las predicciones señalan que la extracción global anual podría crecer entre 10 y 12% anual cada 10 años, alcanzando en el año 2025 los 5 mil 240 kilómetros cúbicos (Shiklomanov, 1999).

En México, se estima que en el 2007 se extrajeron 79 kilómetros cúbicos de agua de los ríos, lagos y acuíferos del país para los principales usos consuntivos, lo que representa 17% del agua

disponible (IB 2.1-2). Siguiendo la tendencia global, la mayor parte del agua que se extrae en el país se destina a las actividades agropecuarias: 77% se utiliza para el riego de 6.5 millones de hectáreas y para los usos pecuario y acuícola. En 2006, la superficie agrícola de riego representó la cuarta parte de la superficie sembrada y generó más de la mitad del valor de la producción agrícola nacional. El uso para abastecimiento público le sigue con 14% del volumen total de agua extraída y el industrial con 9% (Figura 6.7; ver el Recuadro *Huella hídrica, patrones de consumo y comercio internacional*). Dentro de los usos no consuntivos del agua, en 2007 las hidroeléctricas emplearon para su funcionamiento un volumen de 123 kilómetros cúbicos de agua para generar 29 mil 700 GWh de electricidad (13% del total del país).

La distribución del agua para los usos consuntivos difiere entre países y regiones en función de su disponibilidad, del tipo y capacidad de su industria



El hombre utiliza grandes cantidades de agua para actividades cotidianas, 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 (Chapagain y Hoekstra, 2004). El concepto de huella hídrica está estrechamente relacionado con el concepto de agua virtual, la cual corresponde a la cantidad de agua utilizada durante el proceso de producción de un bien o servicio (Figura a). Debe mencionarse que el contenido virtual de agua de un determinado producto puede variar dependiendo del clima y las condiciones en las que se produjo.

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 los indicadores tradicionales de uso del agua por los diferentes sectores. Como indicador agregado muestra los requerimientos totales 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 (Chapagain y Hoekstra, 2004).

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 respectivo contenido virtual de agua.

Figura a

Agua utilizada para producir algunos alimentos y bebidas



Fuente: Chapagain, A. K. y A. Y. Hoekstra. *Water footprints of nations. Value of Water. Research Report Series No. 16.* UNESCO-IHE. Delft. The Netherlands. 2004. Disponible en: www.waterfootprint.org Fecha de consulta: 01-12-2008.

Recuadro

Huella hídrica, patrones de consumo y comercio internacional (continúa)

Los principales factores que determinan la huella hídrica per cápita de un país son: 1) el consumo de agua promedio per cápita, generalmente relacionado con el ingreso nacional bruto; 2) los hábitos de consumo de sus habitantes (p.e. proporción de carne consumida); 3) el clima, en particular la demanda evaporativa, lo que determina las condiciones de cultivo; y 4) las prácticas agrícolas (eficiencia en el uso del agua).

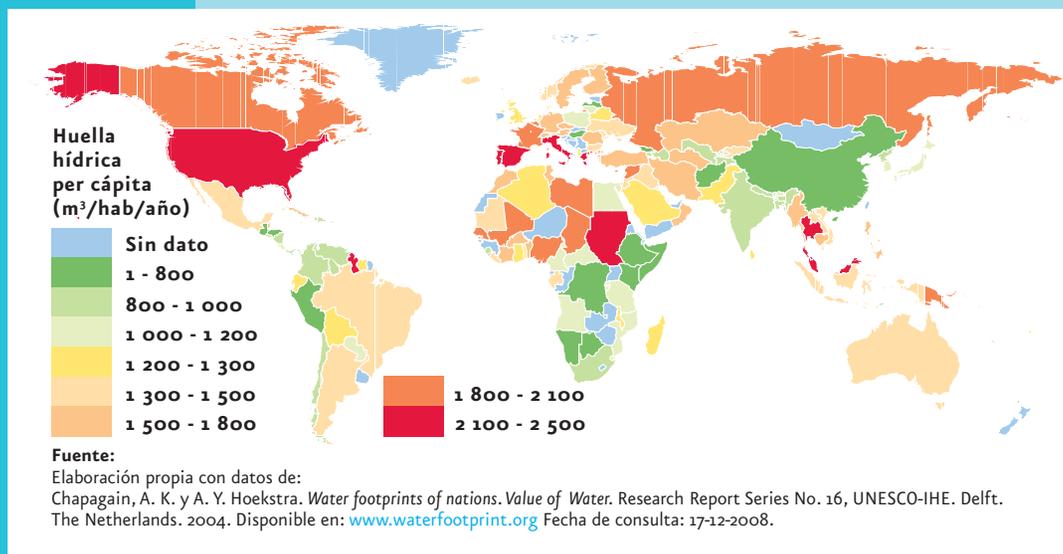
En los países desarrollados, donde el nivel de consumo de bienes y servicios es elevado, la huella hídrica per cápita es alta debido en parte al alto consumo de carne y productos industrializados. Los países en vías de desarrollo, con un bajo consumo de carne, pueden también tener altas huellas hídricas 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 (987 km³), China (883 km³) y Estados Unidos (696 km³). México, con una huella hídrica total de 140 kilómetros cúbicos por año, es el décimo país a nivel mundial. Por su huella hídrica per cápita, estimada en 2 mil 483 metros cúbicos por habitante por año, Estados Unidos ocupa el primer lugar mundial, mientras que China (702 m³/hab/año) e India (980 m³/hab/año) ocupan posiciones bajas (134 y 108, respectivamente). México tiene una huella hídrica per cápita estimada en mil 441 metros cúbicos por habitante por año (49 lugar mundial; Mapa a).

La huella hídrica de un país puede reducirse de varias maneras, entre las cuales destacan tres: 1) adoptar sistemas de producción que requieran menor cantidad de agua por unidad de producto (por ejemplo, la productividad

Mapa a

Huella hídrica per cápita promedio, 1997-2001



Recuadro

Huella hídrica, patrones de consumo y comercio internacional (conclusión)

del agua en la agricultura puede mejorarse aplicando técnicas de cosecha de agua de lluvia y riego suplementario); 2) optar por patrones de consumo que requieran menos agua (p.e. reduciendo el consumo de los productos que requieren una gran cantidad del líquido en su producción); y 3) desplazar las zonas de producción hacia áreas de mayor productividad, aumentando la eficiencia global de uso del agua.

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 con frecuencia diferente de lo que las extracciones de agua sugieren. La huella hídrica de un país tiene, por tanto, los componentes interno y externo. La huella hídrica interna es el volumen utilizado de recursos hídricos del país. Por su parte, la externa corresponde al volumen de agua utilizado en otros países para

producir los bienes y servicios importados y consumidos por los habitantes de un país. México se sitúa en el sexto lugar mundial con una importación neta de 29 kilómetros cúbicos de agua virtual, con lo que reduce su demanda de agua en 65 kilómetros cúbicos en comparación con lo que se necesitaría si tuviera que producir la cantidad total de alimentos para satisfacer la demanda de la población mexicana (Mapa b; Chapagain et al., 2006).

Referencias:

Chapagain, A.K. y A. Y. Hoekstra. Water footprints of nations, Value of Water. Research Report Series. 16, UNESCO-IHE. Delft. The Netherlands. 2004. Disponible en: www.waterfootprint.org Fecha de consulta: 17-12-2008.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G. Water saving through international trade of agricultural products. *Hydrology and Earth System Sciences* 10:455-468. 2006. Disponible en: www.waterfootprint.org/ Fecha de consulta: 01-12-08.

Mapa b

Reducción promedio del uso de agua como resultado del comercio internacional de productos agrícolas, 1997-2001

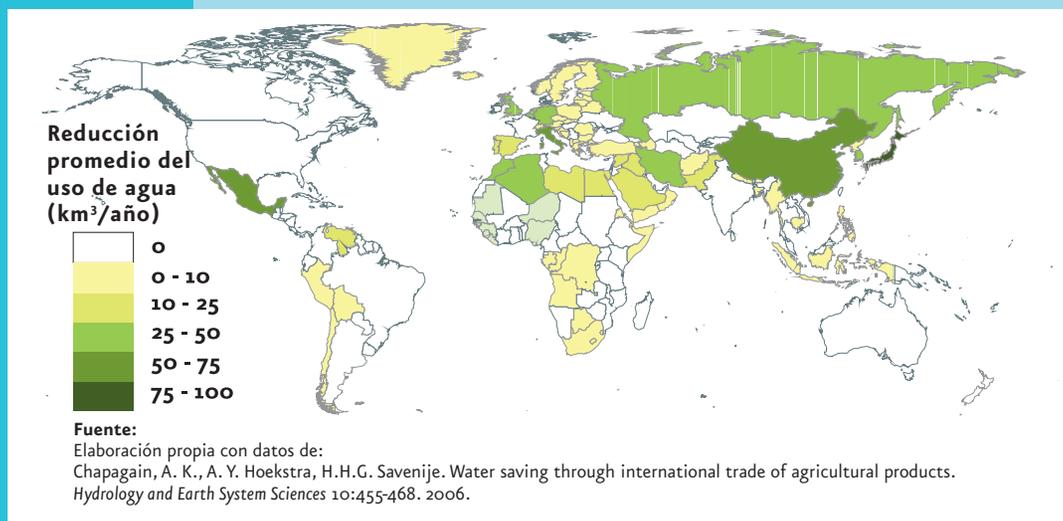
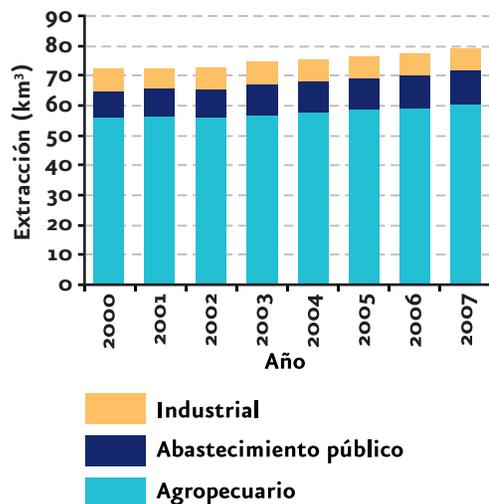


Figura 6.7

Volumen
concesionado para
uso consuntivo,
2000 - 2007

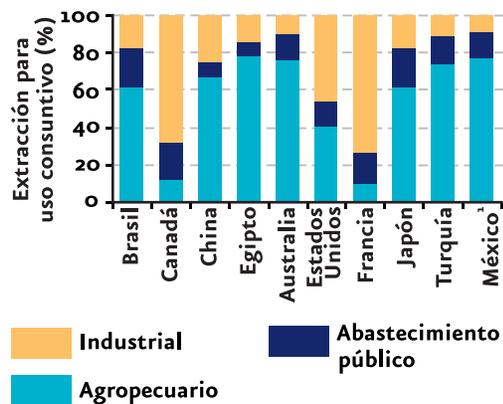


Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
Conagua. Compendio básico del agua en México 2002. México. 2002.
Conagua. Estadísticas del Agua en México. México. Varios años.

Figura 6.8

Extracción de agua
para uso consuntivo
en México y otros
países, 2005



Nota:

¹Para México, los datos corresponden a 2007.

Fuentes:

Conagua. Estadísticas del Agua en México, 2008. México. 2008.
FAO. Aquastat. Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el medio Rural de la FAO. Roma. Disponible en:
www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm. Fecha de consulta: 01-12-2008.

y agricultura, así como de su población y sus patrones de consumo. Por ejemplo, con respecto al abastecimiento público, las personas de los países desarrollados consumen en promedio cerca de diez veces más agua que las personas en vías de desarrollo (UNESCO, 2000 citado en UNEP, 2002). En general, la distribución del agua en México para los diferentes usos consuntivos es similar a la que tienen países como Australia, Egipto y Turquía, pero difiere significativamente de la mayoría de los países desarrollados, donde la proporción destinada a usos industriales es mucho mayor, como es el caso de Canadá y Francia (Figura 6.8).

El 77% del agua que se extrae en el país se destina a las actividades agropecuarias.

Las regiones hidrológico-administrativas del país que tienen la mayor extracción de agua son Lerma-Santiago-Pacífico, Balsas, Pacífico Norte y Río Bravo, mientras que las de menor consumo son Pacífico Sur, Frontera Sur y Península de Yucatán (Figura 6.9).

Si se analiza la extracción del agua según su origen, el mayor volumen proviene de las fuentes superficiales: considerando el agua consumida, en el año 2007 el 63% del volumen provino de estas fuentes y el restante 37% de las aguas subterráneas. Entre el año 2000 y 2007 la extracción de fuentes superficiales se incrementó 12%, pero la extracción de agua subterránea se mantuvo prácticamente sin cambios (IB 2.1-3). Existen diferencias marcadas al interior del país con respecto a la proporción de

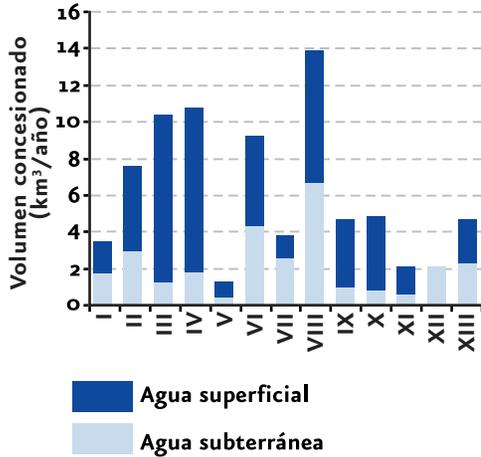
agua superficial y subterránea que se utiliza. Por ejemplo, en las regiones del Pacífico Norte, Golfo Centro y Balsas, el agua procede en mayor

medida de fuentes superficiales según origen (87, 82 y 83%, respectivamente), mientras que en las regiones de las Cuencas Centrales del Norte y Península de Yucatán se utiliza una fracción considerable del agua de origen subterráneo (68 y 99%, respectivamente; Figura 6.9; Cuadro D3_AGUA03_03).



Figura 6.9

Volumen concesionado por región hidrológico-administrativa, 2007



Región hidrológico-administrativa: I Península de Baja California; II Noroeste; III Pacífico Norte; IV Balsas; V Pacífico Sur; VI Río Bravo; VII Cuencas Centrales del Norte; VIII Lerma-Santiago-Pacífico; IX Golfo Norte; X Golfo Centro; XI Frontera Sur; XII Península de Yucatán; XIII Aguas del Valle de México.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conagua. *Estadísticas del Agua en México*, 2008. México. 2008.

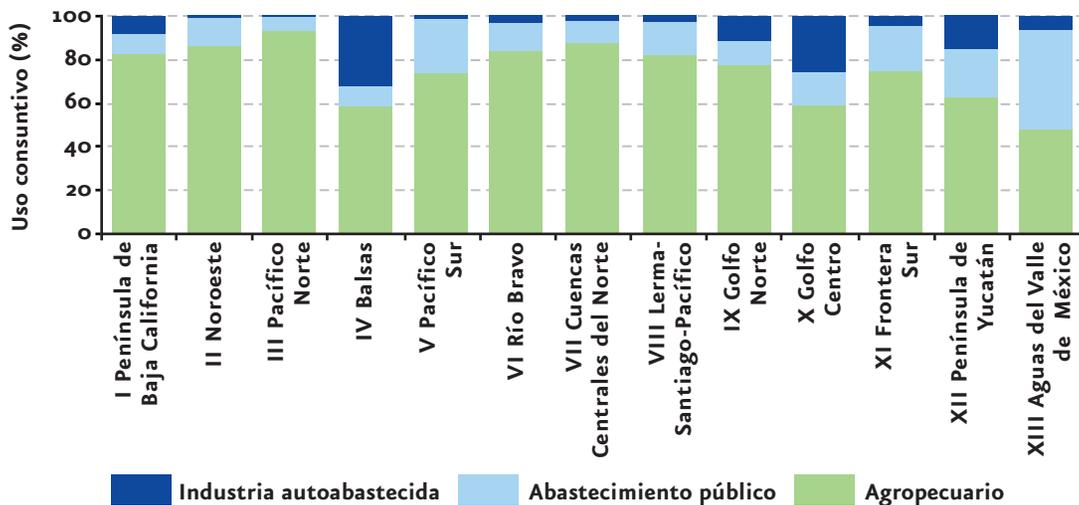
El uso de agua superficial se mantuvo con pocos cambios en la mayoría de las regiones del país entre los años 2000 y 2007. En la Península de Yucatán el uso del agua subterránea aumentó 80% en ese mismo periodo.

Si se analizan los usos consuntivos del agua regionalmente, se pueden apreciar diferencias importantes. En 2007, mientras que en la región del Pacífico Norte 93% del agua se destina a actividades agropecuarias, en la región del Valle de México (la que menos consume en el país para este uso) no alcanza 50% (Figura 6.10, [Cuadro D3_AGUA03_03](#)). Sin embargo, en lo que se refiere al agua para el abasto público, las regiones Aguas del Valle de México (46%), Península de Yucatán (22%), Pacífico Sur (25%) y Frontera Sur (21%), son las que, en proporción, asignan más agua. El agua destinada para el uso industrial en general es inferior al uso para abastecimiento público, excepto en las regiones Balsas, Golfo Norte y Golfo Centro.

El abastecimiento de agua para uso agrícola y para la industria autoabastecida a nivel nacional

Figura 6.10

Uso consuntivo del agua por región hidrológico-administrativa, 2007



Fuente:
Conagua. *Estadísticas del Agua en México*, 2008. México. 2008.

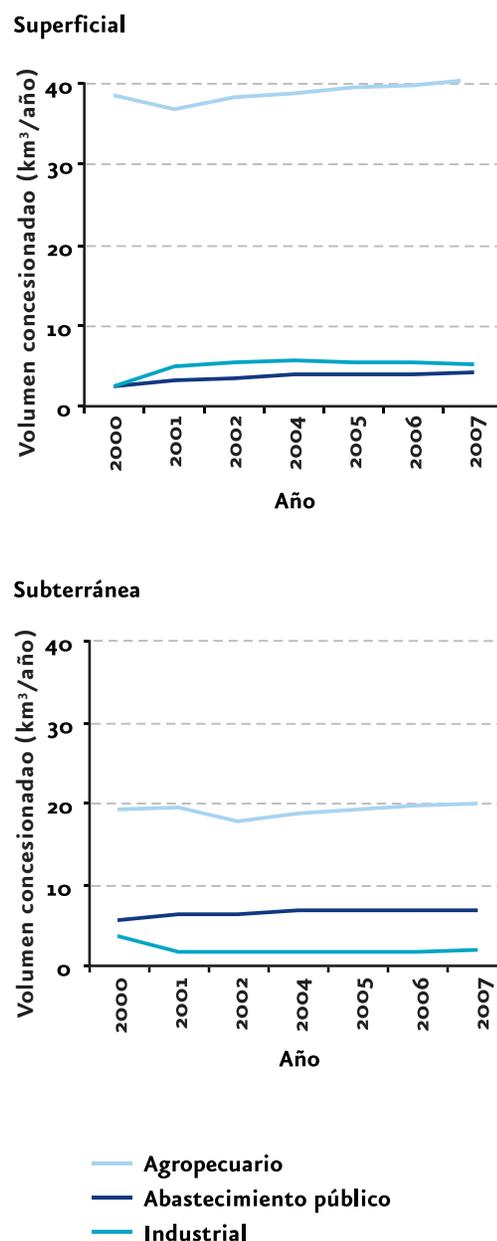
proviene en su mayor parte de fuentes superficiales (67 y 74%, respectivamente), en contraste con el agua que se destina al uso público, que en su mayoría proviene de fuentes subterráneas (62%). Entre 2000 y 2004 el uso de agua superficial y subterránea para el abastecimiento público se incrementó en 50 y 20% respectivamente; mientras que en el periodo de 2000 a 2006, el uso industrial de agua superficial se duplicó (Figura 6.11, Cuadro D3_AGUA03_03). La extracción para abastecimiento público tanto superficial como subterránea, aumentó menos de 1% entre 2004 y 2006; y para uso industrial la extracción de agua subterránea aumentó casi 20% entre 2000 y 2006.

Para conocer cómo afectan los usos consuntivos la sostenibilidad de los recursos subterráneos, puede emplearse como medida la intensidad de uso, que se calcula como el cociente de la extracción de agua subterránea por la recarga media de los acuíferos. El volumen total concesionado en 2007 para los distintos usos consuntivos que provino de aguas subterráneas fue de 28.9 kilómetros cúbicos (superior 6% al volumen extraído en 2004), y que correspondió a 35% de la recarga anual estimada para el país. Esta cifra parece indicar, por un lado, un balance positivo en la explotación de las aguas subterráneas nacionales y, por otro, la existencia de una reserva aprovechable importante del líquido para el futuro. Sin embargo, cuando se analiza la situación a escala regional, el panorama es radicalmente diferente. En 2007, los valores de intensidad de uso del agua subterránea registraron déficit importantes (en los que el agua utilizada excedió la recarga) en las regiones Península de Baja California y Aguas del Valle de México, con valores de 145 y 126% respectivamente. No obstante, la región de Cuencas Centrales del Norte mostró también un déficit, calculado en el orden de 14%, (Mapa 6.5; Cuadro D3_AGUA02_01; IC 11).

La situación de las aguas subterráneas es grave en el país, debido principalmente a la fuerte explotación que se hace de ellas en muchas regiones. A partir de la década de los 70, ha venido aumentando el número de acuíferos sobreexplotados. En 1975 existían 32 acuíferos sobreexplotados, cifra que se

Figura 6.11

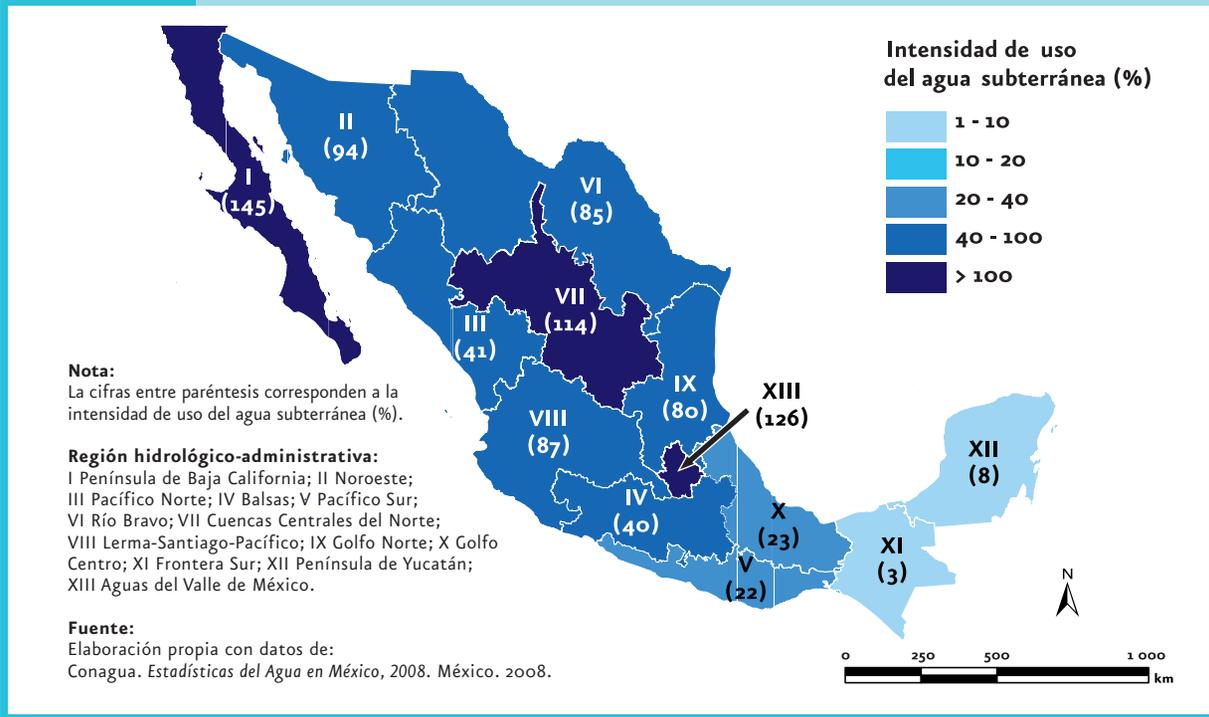
Volúmenes concesionados para usos consuntivos según origen, 2000 - 2007



Fuentes:
Elaboración propia con datos de:
Conagua. Compendio básico del agua en México 2002. México. 2002.
Conagua. Estadísticas del Agua en México. México. Varios años.

Mapa 6.5

Intensidad de uso del agua subterránea por región hidrológico-administrativa, 2007



elevó a 36 en 1981, 80 en 1985, 102 en 2003 y 104 en el 2006. Sin embargo, en el año 2007 se redujo el número a 101, lo que representa 15% de los 653 acuíferos en que se ha dividido el país. Los acuíferos sobreexplotados se concentran en las regiones hidrológicas de Baja California, Noroeste, Cuencas Centrales del Norte, Río Bravo y Lerma-Santiago-Pacífico (Mapa 6.6; [Cuadro D3_AGUA02_04](#)). De estos acuíferos se extrae 58% del agua subterránea para todos los usos (Conagua, 2007).

Además de la sobreexplotación, 17 acuíferos tienen problemas de intrusión salina (10 de ellos están sobreexplotados), sobre todo los que se localizan en las costas de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Veracruz y Colima ([Cuadro D3_AGUA02_03](#); [IB 2.1-7](#)). En amplias zonas de riego, la sobreexplotación de los acuíferos ha provocado que los niveles de agua subterránea hayan descendido 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 del agua salada del mar y la disminución de la calidad de su agua.

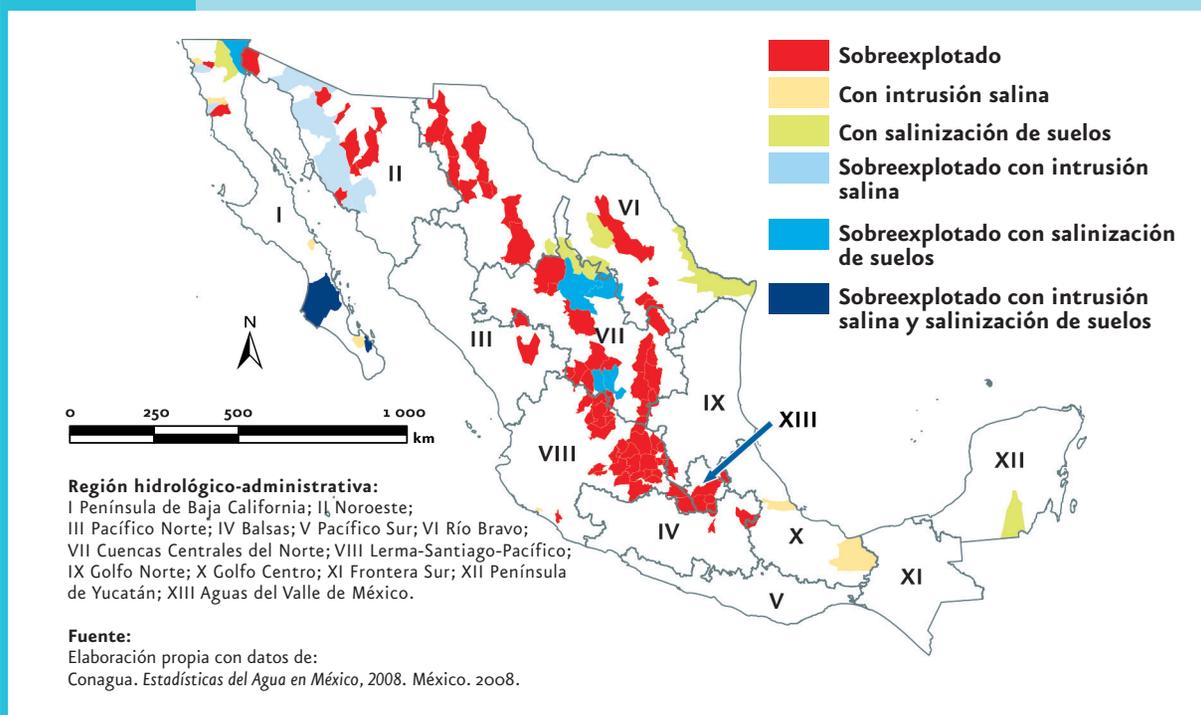
Escenarios futuros

El problema fundamental con la disponibilidad del agua es que la cantidad del líquido es prácticamente invariable y no así la demanda de una población creciente que requiere mayor cantidad de alimentos, productos manufacturados y energía. El tema de la escasez es por tanto uno de los más importantes de la agenda ambiental global. Las Naciones Unidas (2007) reconocen cuatro fuerzas fundamentales que podrían incrementar la escasez de agua en las décadas siguientes. La primera de ellas corresponde al crecimiento de la población. En 2005, la población mundial alcanzó los 6 mil 400 millones, esperando que para el año 2050, la población del mundo podría contabilizar los 8 mil 900 millones de personas, lo que reducirá



Mapa 6.6

Situación de los acuíferos por región hidrológico-administrativa, 2007



significativamente la disponibilidad per cápita. Se estima que en el 2025 cerca de mil 800 millones de personas vivirán en países o regiones en condición de completa escasez de agua, mientras que dos terceras partes de la población mundial podrían estar sujetas a condiciones de estrés hídrico (UNEP, 2007).

Para el caso de México, la disponibilidad per cápita en 2007 fue de 4 mil 312 metros cúbicos, que para 2030 se reducirá a tan sólo 3 mil 783 por habitante por año (Conagua, 2008). A nivel regional, en 2006 los habitantes de tres regiones hidrológico-administrativas presentaron ya una disponibilidad per cápita clasificada como muy baja, y la región Aguas del Valle de México se encontraba en la categoría de extremadamente baja. Para el año 2030, considerando que la disponibilidad natural se mantendrá constante, los pronósticos señalan que dos regiones más, las de la Península de Baja California y Río Bravo, se integrarán a la lista de las regiones con categoría de disponibilidad

extremadamente baja, mientras que las regiones Balsas y Cuencas Centrales del Norte (actualmente con disponibilidad per cápita baja) tendrán una disponibilidad catalogada como muy baja (Tabla 6.3).

La segunda causa de la escasez de agua se encuentra la creciente urbanización de los países, la cual podría exacerbar el problema en virtud de la mayor demanda de una mayor población más concentrada (UN, 2007). En 1950, de los 2 mil 500 millones de habitantes del planeta, tan sólo el 29% vivía en zonas urbanas, mientras que el restante 71% (alrededor de mil 800 millones de personas) habitaba zonas rurales. Para el año 2050, según estimaciones, la situación se invertirá: cerca del 70% de la población global (6 mil 400 millones) vivirá en ciudades, y el resto (30%, es decir, 2 mil 790 millones de personas) ocupará las zonas rurales (UN, 2008). México ha seguido un patrón de urbanización similar al mundial. En 1970, el 51.7% de la población vivía en zonas urbanas, y se

Tabla 6.3
Proyección de la disponibilidad de agua per cápita nacional a 2030

Región hidrológico-administrativa		Disponibilidad natural por habitante en 2030 (m ³ /hab/año) ¹	Categoría de disponibilidad en 2030
I	Península de Baja California	780	Extremadamente baja
II	Noroeste	2 819	Baja
III	Pacífico Norte	6 753	Media
IV	Balsas	1 946	Muy baja
V	Pacífico Sur	8 154	Media
VI	Río Bravo	907	Extremadamente baja
VII	Cuencas Centrales del Norte	1 703	Muy baja
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	1 448	Muy baja
IX	Golfo Norte	5 001	Media
X	Golfo Centro	9 618	Media
XI	Frontera Sur	21 039	Muy alta
XII	Península de Yucatán	5 105	Media
XIII	Aguas del Valle de México	127	Extremadamente baja
Nacional		3 783	Baja

Nota:

¹Cálculo basado en la proyección de la población a 2030 del Conapo.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Conagua. *Estadísticas del Agua en México*, 2008. México. 2008.

Conapo. *Proyecciones de la Población de México 2005-2050*. México. 2006.

incrementará hasta 68% en el año 2030 (Conapo, 2006; Reyna y Hernández, 2006), lo cual podría incrementar, en las regiones más urbanizadas, como el centro y poniente del país, la condición crítica de abasto de agua.

En tercer lugar como fuerza impulsora de la escasez de agua se encuentra el consumo per cápita. En la medida que el desarrollo económico eleva el estado de bienestar de los países, el consumo por habitante tiende a crecer (UN, 2007). Finalmente, mientras los factores anteriores modifican la

demanda del líquido, el cambio climático tendrá un efecto importante alterando la disponibilidad a nivel mundial. Si el cambio climático sigue los escenarios proyectados, se observará un clima más errático en el futuro, lo que supondrá una mayor variabilidad en las precipitaciones, riesgo para las cosechas agrícolas y el suministro a la población.

CALIDAD DEL AGUA

La situación de la disponibilidad del agua no refleja cabalmente la magnitud del problema

con el líquido. Debido a la descarga continua de aguas residuales sin tratamiento, cargadas de contaminantes domésticos e industriales, así como los escurrimientos con agroquímicos provenientes de las actividades agrícolas y pecuarias asentadas en las diferentes cuencas, la calidad del agua de los cuerpos superficiales y subterráneos se afecta negativamente, con lo cual la escasez del líquido se agrava y se pone en riesgo la salud de importantes segmentos de la población. Paralelamente, el deterioro y la pérdida de ecosistemas naturales impiden que éstos brinden de manera natural sus bienes y servicios ambientales, entre los que se encuentran la captación y purificación del agua, lo cual agrava la carestía de este valioso recurso. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2002 alrededor de mil 100 millones de personas no tenían acceso al agua potable, lo que representaba cerca de 17% de la población mundial (WHO, 2004). Esto ocurre principalmente en las áreas rurales donde no existe la posibilidad de que el agua tenga tratamiento previo que mejore su calidad y posibilite su uso.

El agua de buena calidad es un atributo que se define en función del uso que se le asigna (ya sea como agua potable, de recreación, para uso agrícola o industrial, por ejemplo), lo que implica necesariamente la existencia de estándares de calidad específicos para los distintos usos (UNDP et al., 2000). Por esta razón, para evaluar la calidad del agua es necesario considerar el uso que tendrá.

La calidad del agua de un cuerpo superficial o subterráneo depende de múltiples factores, algunos de los cuales la reducen directa o indirectamente y otros que pueden revertir los efectos de la contaminación y por lo tanto, mejorarla. Entre los factores que reducen la calidad del agua destacan las descargas directas de agua o residuos sólidos provenientes de las actividades domésticas, agropecuarias o industriales. Indirectamente, la disposición inadecuada en el

suelo de residuos sólidos urbanos o peligrosos puede ocasionar que escurrimientos superficiales contaminen los cuerpos de agua lóticos o lénticos y que los lixiviados contaminen los acuíferos. Por otro lado, y actuando para mejorar la calidad del agua, está la capacidad natural de los ecosistemas acuáticos para descomponer o inmovilizar los contaminantes, la cual no obstante puede ser sobrepasada (ya sea por la misma carga de contaminantes o el deterioro de los ecosistemas), amenazando la biodiversidad acuática y su potencial para seguir proporcionando estos y otros servicios ambientales (Vörösmarty et al., 2005).

Descarga de aguas residuales

Las aguas residuales de origen urbano provienen de las viviendas, edificios públicos y de la escorrentía urbana que se colecta en el drenaje. Sus principales contaminantes son los nutrientes (nitrógeno y fósforo), organismos patógenos (bacterias y virus), materia orgánica biodegradable, metales pesados, sustancias químicas orgánicas sintéticas, hormonas y productos farmacéuticos (Silk y Ciruna, 2004). Muchas de las sustancias contaminantes pueden ser absorbidas y acumularse en los tejidos de los organismos acuáticos (tanto plantas como animales), afectando en consecuencia la cadena trófica, la abundancia de las especies y la estructura de las comunidades biológicas.

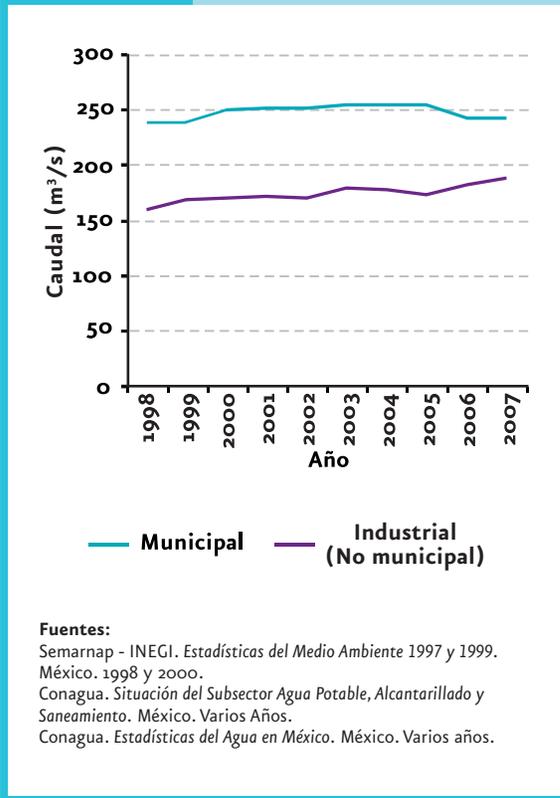
En México, en 2007, el volumen de aguas residuales provenientes de los centros urbanos ascendió a 7.66 kilómetros cúbicos. Este volumen ha crecido de manera proporcional al crecimiento de la población y la urbanización: entre 1998 y 2007 la generación de aguas residuales de los centros urbanos se incrementó de 239 a 243 metros cúbicos por segundo (Figura 6.12; **IB 2.2-1**).

Por su parte, las descargas de aguas residuales no municipales en 2007 fueron de alrededor de 5.98 kilómetros cúbicos (es decir, cerca de 188.7 m³/s; **IB 2.2-2**) que representan 6.95 millones de toneladas de DBO al año ([Cuadro D3_AGUA07_10](#)).



Figura 6.12

Agua residual generada, 1998 - 2007



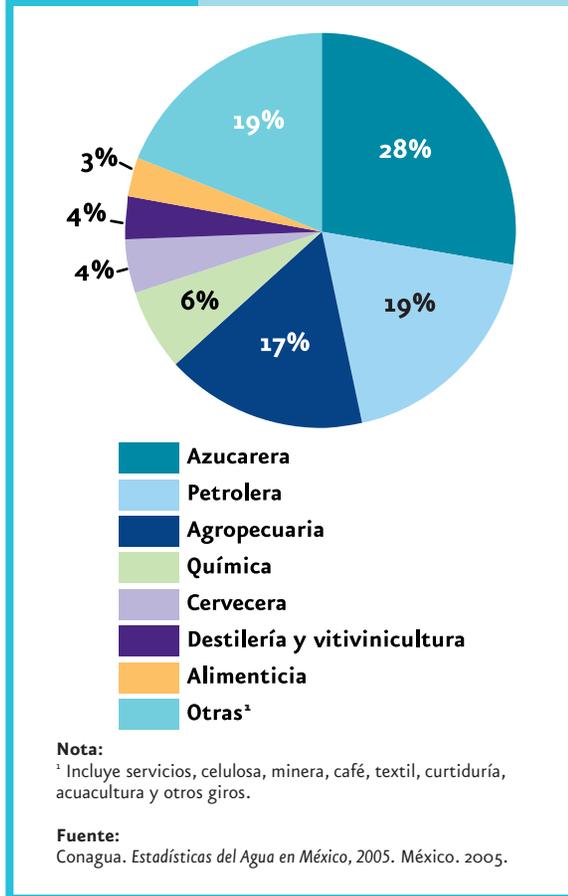
Estas descargas hacia los cuerpos de agua no se han incrementado de manera notable en los últimos años en el país: entre el año 2000 y el 2007 el volumen de la descarga creció en diecinueve metros cúbicos por segundo, lo que significó un incremento de 11% del volumen descargado en 2000.

Las descargas industriales provienen principalmente de las industrias química, azucarera, minera, petrolera, del hierro y acero, celulosa, papelera, textil y acuícola (*Cuadro D3_AGUA07_10*). Si se considera la materia orgánica descargada, las industrias que aportan los mayores volúmenes son la azucarera (28%), petrolera (19%) y la agropecuaria (17%; Figura 6.13).

En México, entre 1998 y 2007 la generación de aguas residuales de los centros urbanos se incrementó de 239 a 243 metros cúbicos por segundo.

Figura 6.13

Materia orgánica descargada en aguas residuales: principales giros industriales, 2002



Monitoreo de la calidad del agua

La Comisión Nacional del Agua (Conagua) realiza la medición sistemática de la calidad del líquido a través de su Red Nacional de Monitoreo (RNM). En 2007, la RNM contó con mil 14 sitios, de los cuales 389 corresponden a la red primaria, con 207 ubicados en cuerpos de agua superficiales, 52 en zonas costeras y 130 en acuíferos. En la red secundaria se tenían 285 estaciones, de las cuales 241 estaban localizadas en aguas superficiales, 19 en zonas costeras y 25 en aguas subterráneas. El resto pertenece a la red de

estudios especiales (251) y a la red de referencia de agua subterránea (89). Es importante mencionar que los sitios con monitoreo de calidad del agua están ubicados en los principales cuerpos de agua del país, incluyendo zonas con alta influencia antropogénica ([Cuadro D3_R_AGUA05_03](#)).

Actualmente, la Conagua publica entre sus principales indicadores de la calidad del agua, la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO_5), la demanda química de oxígeno (DQO) y la concentración de sólidos suspendidos totales (SST). Estas variables muestran la influencia humana por la presencia de centros urbanos e industriales. Otros parámetros que se registran en la mayoría de los sitios de la RNM de la calidad del agua son las concentraciones de nitratos (**IB 2.2-11**) y fosfatos² (**IB 2.2-10**), dureza, oxígeno disuelto y pH.



La demanda bioquímica de oxígeno se utiliza como indicador de la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua (**IB 2.2-9** e **IC 13**). El incremento de la materia orgánica provoca la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua (lo cual crea condiciones de “anoxia”), con efectos negativos en las comunidades biológicas presentes en los ecosistemas acuáticos. En 2007, en 38% de los sitios de monitoreo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) fue inferior a los 3 mg/L, lo que se considera como valor límite para una excelente calidad del agua, un porcentaje 14% menor al registrado en 2003. No obstante, cerca de 14% de los cuerpos de agua monitoreados registró valores de DBO_5 mayores a 30 mg/L, valor que se considera el límite máximo permisible para protección de la vida acuática en ríos (Mapa 6.7; [Cuadro D3_AGUA05_02](#)). La mayor cantidad de estaciones



con altos valores de DBO_5 (mayores a 30 mg/L) se concentraron en el centro del país: en las regiones Aguas del Valle de México, Noroeste y Balsas; en 72, 50 y 26% de sus estaciones respectivamente, se registraron valores promedio en 2006 superiores a 30 mg/L (Mapa 6.7).

Otro contaminante detectado frecuentemente en los cuerpos de agua son los fosfatos, que provienen, por lo general, de los compuestos que se aplican como fertilizantes en zonas agrícolas y de los detergentes que se emplean en las zonas urbanas, aunque también se generan por la erosión del suelo y la materia orgánica en descomposición que descargan industrias, hogares y granjas de animales domésticos. Aun cuando no se considera tóxico para los humanos y los animales, los fosfatos pueden tener efectos negativos indirectos a través de la eutrofización de los cuerpos de agua superficiales, lo que implica el crecimiento explosivo de algas y el posterior abatimiento del oxígeno disuelto (Carpenter *et al.*, 1998). En 2006, en más de 88% de los sitios de monitoreo del país la concentración de fosfato total fue superior a 0.1 mg/L³. En el caso de las regiones hidrológico-administrativas Noroeste, Pacífico Norte, Balsas, Golfo Centro y Aguas del Valle de México se superó este límite en 100% de los sitios monitoreados (Mapa 6.8).

Los nitratos son componentes importantes de los fertilizantes que pueden originarse también de la oxidación del amonio (NH_4^+) y de otras fuentes presentes en los restos orgánicos. Los nitratos tienen efectos adversos en la salud humana, causando cianosis y hasta asfixia. En 2006 se detectaron concentraciones superiores a 0.2 mg/L⁴ en 74% de los sitios de monitoreo de la RNM (Mapa 6.9). En las regiones Pacífico Norte, Balsas,

²Se establece como concentración máxima permisible, en las fuentes de abastecimiento de agua potable, una concentración de nitratos de 5 mg/L y de fosfatos de 0.1 mg/L.

³Se 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).

⁴Se establece como concentración máxima 0.2 mg/L para el consumo a largo plazo, con el fin de prevenir la metahemoglobinemia en niños (WHO, 2004).

Mapa 6.7

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2007

Región hidrológico-administrativa:

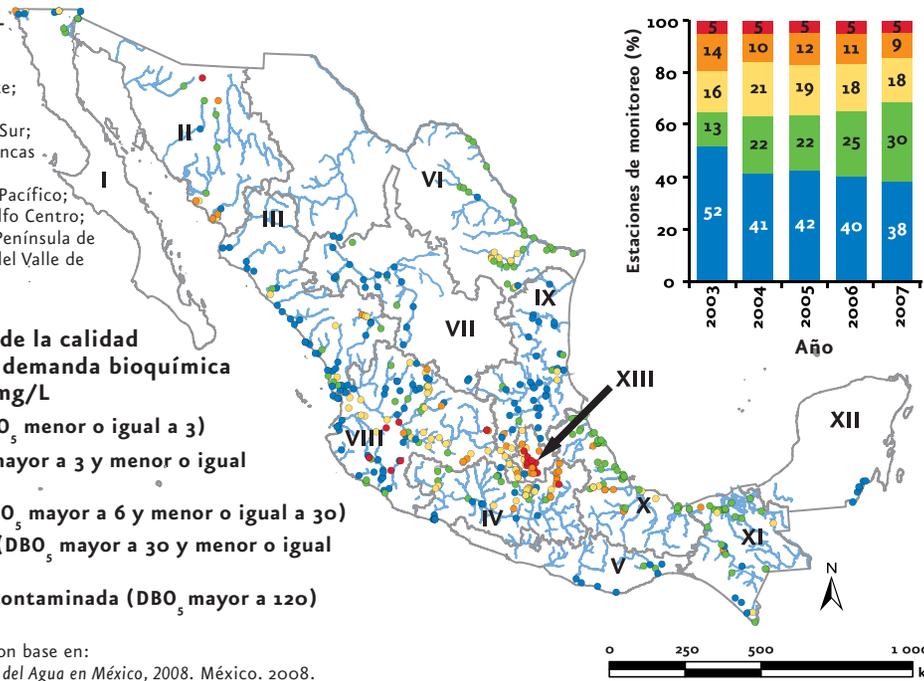
- I Península de Baja California; II Noroeste;
- III Pacífico Norte;
- IV Balsas; V Pacífico Sur;
- VI Río Bravo; VII Cuencas Centrales del Norte;
- VIII Lerma-Santiago-Pacífico;
- IX Golfo Norte; X Golfo Centro;
- XI Frontera Sur; XII Península de Yucatán;
- XIII Aguas del Valle de México.

Interpretación de la calidad del agua según demanda bioquímica de oxígeno en mg/L

- Excelente (DBO₅ menor o igual a 3)
- Buena (DBO₅ mayor a 3 y menor o igual a 6)
- Aceptable (DBO₅ mayor a 6 y menor o igual a 30)
- Contaminada (DBO₅ mayor a 30 y menor o igual a 120)
- Fuertemente contaminada (DBO₅ mayor a 120)

Fuente:

Elaboración propia con base en: Conagua. *Estadísticas del Agua en México*, 2008. México. 2008.



Mapa 6.8

Fosfato total en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2006

Concentración promedio anual (mg/L)

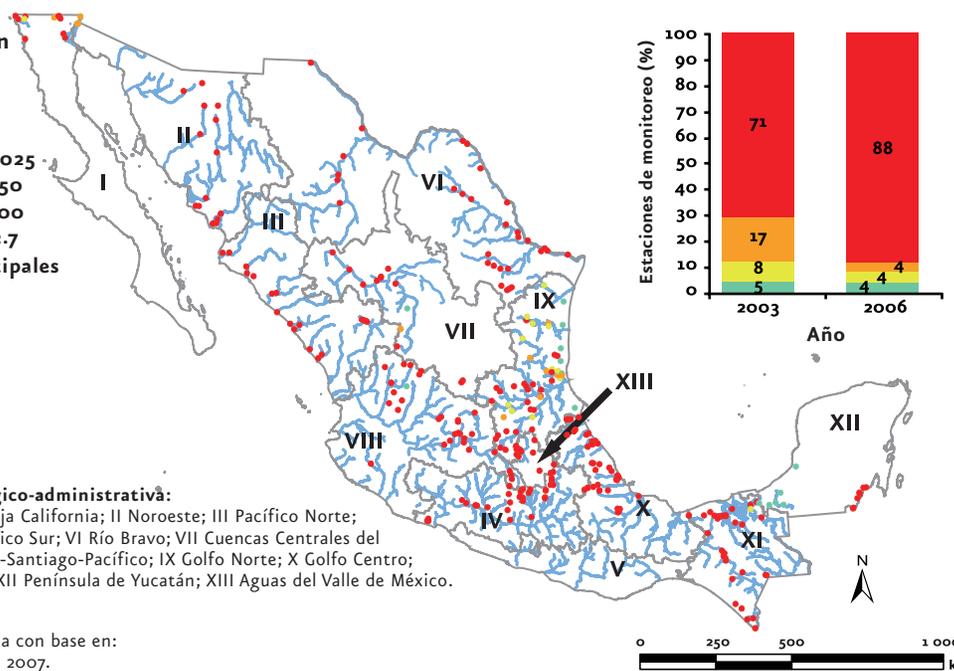
- 0
- 0.0001 - 0.025
- 0.025 - 0.050
- 0.050 - 0.100
- 0.100 - 802.7
- Ríos principales

Región hidrológico-administrativa:

- I Península de Baja California; II Noroeste; III Pacífico Norte;
- IV Balsas; V Pacífico Sur; VI Río Bravo; VII Cuencas Centrales del Norte;
- VIII Lerma-Santiago-Pacífico; IX Golfo Norte; X Golfo Centro;
- XI Frontera Sur; XII Península de Yucatán; XIII Aguas del Valle de México.

Fuente:

Elaboración propia con base en: Conagua. México. 2007.



Pacífico Sur, Cuencas Centrales del Norte, Golfo Norte y Golfo Centro, más de 75% de los sitios de monitoreo sobrepasaron ese nivel. Ese mismo año, 7.7% de los sitios de monitoreo de la región Cuencas Centrales del Norte registró concentraciones de nitrato mayores a 5 mg/L, lo que significa que en los ecosistemas acuáticos se puede favorecer el crecimiento de algas y la disminución de los niveles de oxígeno.

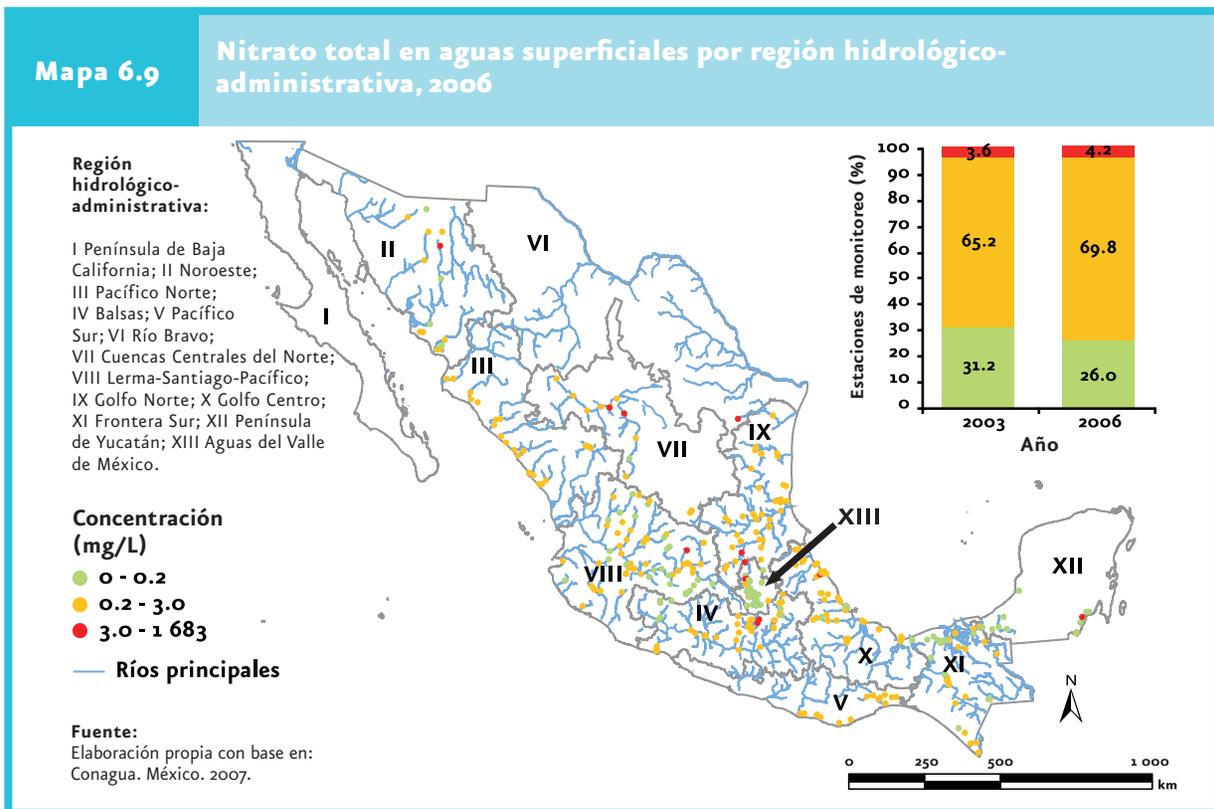
El aumento en la demanda química de oxígeno indica la presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales. Los valores superiores a 40 mg/L indican la presencia de descargas de aguas residuales crudas. En 2007, la concentración promedio anual de 32% de los sitios de monitoreo de la calidad del agua superó este límite y un poco menos de un tercio de ellos registraron valores promedio superiores a los 200

mg/L (Mapa 6.10). En las regiones Península de Baja California, Noroeste, Balsas, Lerma-Santiago-Pacífico y Aguas del Valle de México más de la mitad de los sitios de monitoreo tuvieron concentraciones promedio anual, mayores a 40 mg/L (Mapa 6.10).

Cerca de 14% de los cuerpos de agua monitoreados registró valores de DBO₅ mayores a 30 mg/L, valor que se considera el límite máximo permisible para la protección de la vida acuática en ríos.

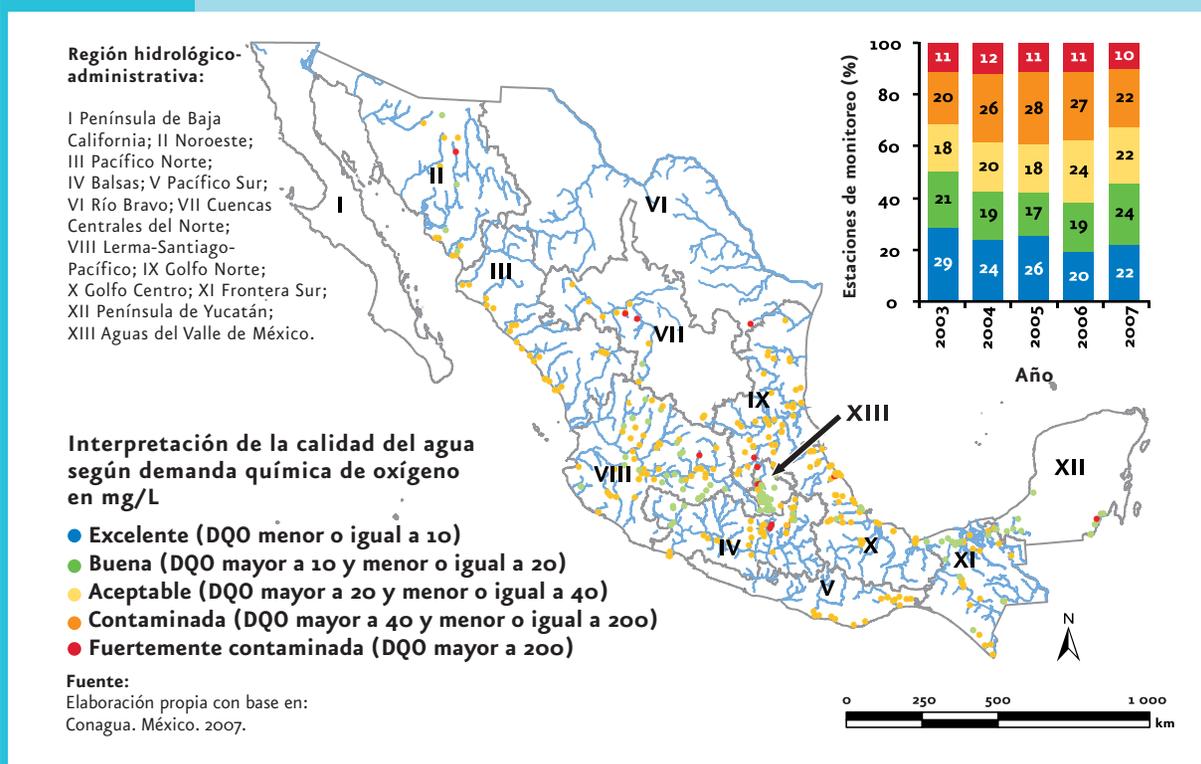
Los sedimentos se depositan en las masas de agua de forma natural y por causa de las actividades humanas. Cuando esto ocurre de manera excesiva, puede tener efectos graves sobre los recursos hídricos de una

región. La tala de bosques, la transformación de los ecosistemas naturales en tierras de cultivo o pastoreo, la urbanización y la construcción de nuevas carreteras con frecuencia se traducen en una mayor erosión del suelo y en un intenso transporte de sedimentos y contaminantes a los arroyos. El aumento de la cantidad de sedimentos



Mapa 6.10

Demanda química de oxígeno (DQO) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2007



tiene consecuencias para los ecosistemas acuáticos (afecta a los organismos del fondo de los ríos, altera la disponibilidad de alimento y la supervivencia de los peces), pero también para el manejo del agua: aumenta el desgaste de bombas y turbinas, reduce el ciclo de vida de las instalaciones hidroeléctricas y aumenta el costo de mantenimiento de los sistemas de riego. En el país, en 2007, de las 501 estaciones de monitoreo que registran sólidos suspendidos totales, 40 se consideraron que están contaminadas (5.8%) o fuertemente contaminadas (2.2%; Mapa 6.11).

Otro tipo de contaminación de la que se cuenta con información es la que ocurre por aceite y petróleo, derivada de derrames accidentales, fugas en las redes de transporte o por la descarga rutinaria durante las operaciones petroleras.

Este tipo de contaminación es muy dañina para el ambiente, ya que la mayoría de las especies acuáticas son muy susceptibles al contacto directo con los hidrocarburos y sus compuestos derivados disueltos en agua. En general, la descarga de agua congénita⁵ y la de contaminantes derivados de la actividad petrolera han disminuido entre 2000 y 2004. En cambio, el volumen de los derrames y fugas tuvo, en 2002, un aumento considerable (Figura 6.14; IB 6.2-3).

El agua contaminada que corre por ríos y arroyos no sólo tiene efectos sobre la población y los ecosistemas que la usan o se establecen en ellos, sino también en las zonas costeras en donde desembocan. Muchos de los contaminantes llegan al mar y pueden generar un efecto negativo sobre los ecosistemas marinos y la salud

⁵Es el agua salada que se encuentra dentro de la roca, asociada a los hidrocarburos. Contiene sales disueltas e incluso algunos metales que pueden tener impactos negativos en el ambiente.



Mapa 6.11

Sólidos suspendidos totales (SST) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2007

Región hidrológico-administrativa:

- I Península de Baja California; II Noroeste;
- III Pacífico Norte;
- IV Balsas; V Pacífico Sur;
- VI Río Bravo; VII Cuencas Centrales del Norte;
- VIII Lerma-Santiago-Pacífico; IX Golfo Norte;
- X Golfo Centro; XI Frontera Sur;
- XII Península de Yucatán;
- XIII Aguas del Valle de México.

Interpretación de la calidad del agua según sólidos suspendidos totales en mg/L

- Excelente (SST menor a 25)
- Buena (SST mayor a 25 y menor o igual a 75)
- Aceptable (SST mayor a 75 y menor o igual a 150)
- Contaminada (SST mayor a 150 y menor o igual a 400)
- Fuertemente contaminada (SST mayor a 400)

Fuente:

Elaboración propia con base en: Conagua. Estadísticas del Agua en México, 2008. México. 2008.

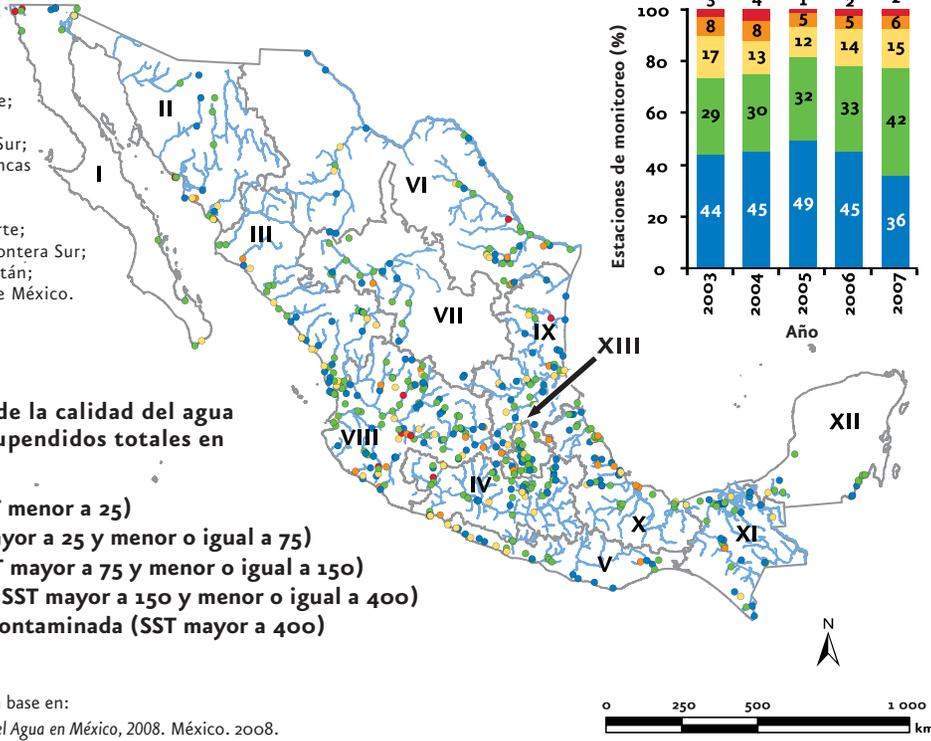
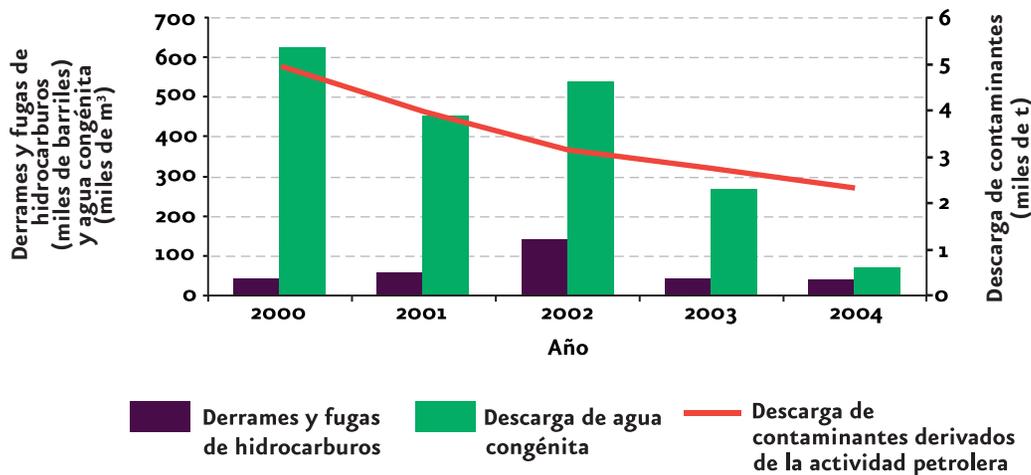


Figura 6.14

Descarga de contaminantes, fugas y derrames de hidrocarburos en aguas continentales, 2000 - 2004



Fuente:

PEMEX. Informes de Seguridad y Medio Ambiente. México. Varios años.

humana, dependiendo de su concentración y tiempo de exposición. Los daños más comunes a la salud que pueden producirse por nadar en aguas contaminadas son las enfermedades gastrointestinales, la irritación en la piel e infecciones en ojos y oídos. A pesar de que estas infecciones generalmente no son graves, la actividad turística puede afectarse cuando existen playas cuya agua carece de la calidad requerida por los visitantes.

Con el objetivo de monitorear y mejorar la calidad bacteriológica del agua de mar en destinos turísticos de playa, en 2003 se inició el “Programa Integral de Playas Limpias” y el Sistema Nacional de Información sobre la Calidad del Agua en Playas Mexicanas, en el que participan las Secretarías de Marina (Semar), Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), Salud (SS) y Turismo (Sectur). Este programa sistematiza y homogeneiza los monitoreos de la calidad del agua de mar de acuerdo con los criterios descritos por la Organización Mundial de la Salud para fines recreativos. Actualmente cuenta con laboratorios estatales de salud, los cuales siguen los lineamientos emitidos por la Secretaría de Salud y en coordinación con ésta, realizan los muestreos y análisis del agua en cada uno de los 17 estados costeros de México.

Debido a la dificultad técnica y económica para determinar todos los parámetros relacionados con la calidad del agua, se utilizan los enterococos como indicadores del grado de contaminación del agua de mar y de los riesgos sanitarios para usarla con fines recreativos. De acuerdo con la Conagua, las muestras con un contenido entre 201 y 500 enterococos en 100 mililitros no son recomendables para uso recreativo, mientras que valores mayores a 500 enterococos representan ya un riesgo sanitario. El número de sitios de muestreo ha crecido en el tiempo: mientras que en el año 2003 se muestrearon 209 sitios, para 2008 el número aumentó a 302. En ese periodo, 94% de las muestras de agua de mar colectadas en todo el país cumplieron con los criterios

aceptables de calidad (es decir, fueron aptas para el uso recreativo).

Entre los años 2003 y 2008, los estados con más sitios muestreados en donde no se cumplieron los estándares de calidad fueron Jalisco (con 9% del total de muestreos para el periodo), Chiapas (5%), Campeche, Veracruz y Sonora (3% en cada uno; Mapa 6.12). Es importante resaltar que, desde que inició el programa de monitoreo en 2003, la mayoría de los estados han registrado una mejoría en la calidad del agua.

EL AGUA Y EL BIENESTAR DE LA POBLACIÓN

Servicios y protección al ambiente

El bienestar de la población depende, en gran medida, de su acceso a servicios básicos, siendo el agua potable y alcantarillado dos de los más importantes. Estos servicios no sólo satisfacen la sed y otras necesidades domésticas como la higiene en los hogares, sino que también se ligan íntimamente a la salud de la población. Actualmente se reconoce que el agua contaminada genera 80% de las enfermedades en los países en desarrollo, la muerte anual de 2.2 millones de personas (de las cuales 50% son niños menores de 5 años) y 400 millones de casos de malaria (citado en Carabias y Landa, 2005).

Claramente ha sido imperativo para los gobiernos del mundo el impulso hacia la construcción de la infraestructura hidráulica que lleve los servicios de agua potable y alcantarillado a sus crecientes poblaciones. Sin embargo, falta mucho por hacer. Aun cuando el último informe de los Objetivos de Desarrollo del Milenio destaca que de 1990 a la fecha mil 600 millones de personas en el mundo tienen acceso a fuentes de agua potable, también reconoce que 2 mil 500 millones de personas no tienen servicios de saneamiento mejorados (UN, 2008). Por tanto, el desafío de alcanzar la cobertura total de agua potable y saneamiento en zonas urbanas y rurales permanece, para muchos países, incluido México, como uno de sus más grandes retos.

Agua potable

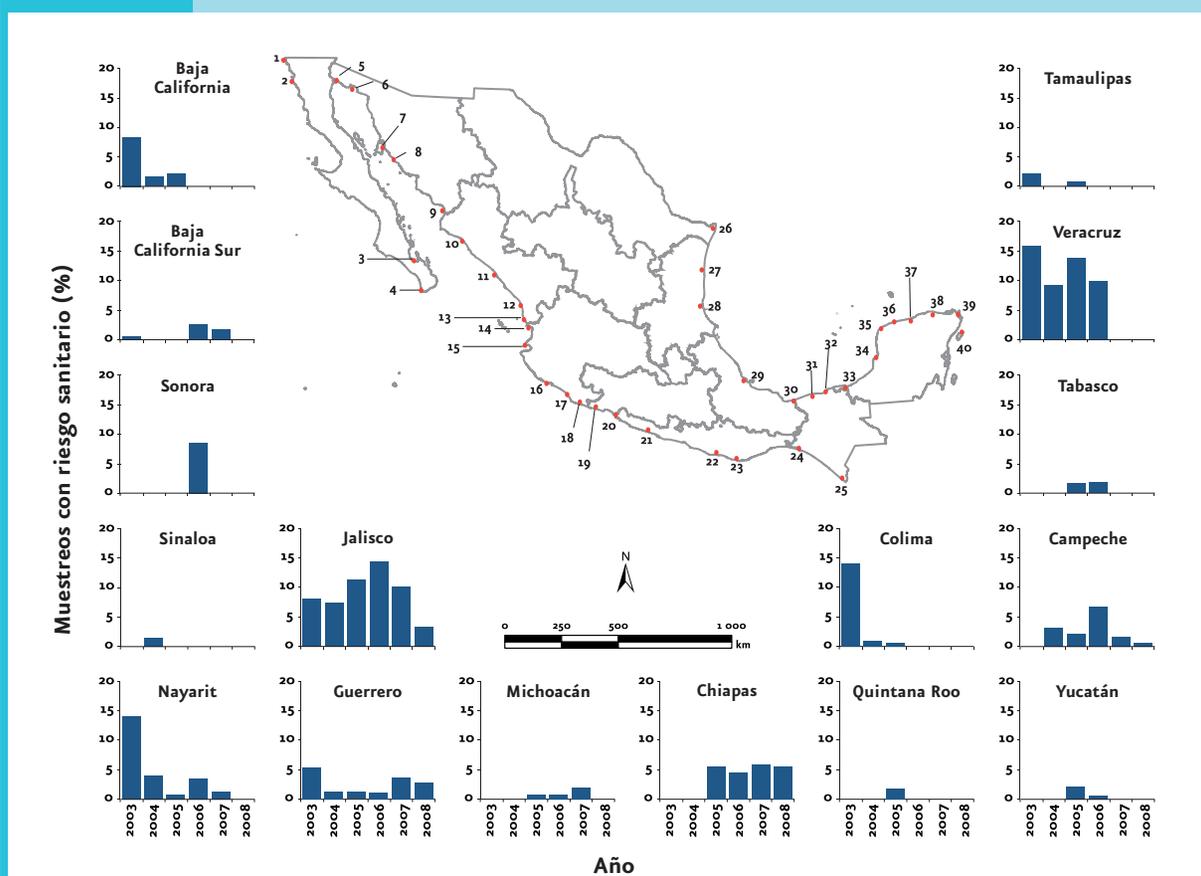
La cobertura mundial de la población con acceso a fuentes de agua apta para consumo humano se estima en alrededor de 83% (WHO-UNICEF, 2004). Sin embargo, existen grandes contrastes: países como Estados Unidos, Francia y Canadá tienen

coberturas prácticamente de 100%, mientras que el promedio de África subsahariana apenas alcanza 56% (WHO-UNICEF, 2004).

En México en el año 2000, la cobertura de agua potable alcanzó 87.9% (valor ligeramente superior al estimado para América Latina y el Caribe (de

Mapa 6.12

Destinos turísticos y porcentaje de los muestreos que representaron riesgo sanitario por entidad federativa, 2003 - 2008



Destinos turísticos:

1 Ensenada, 2 Rosarito-Tijuana, 3 La Paz, 4 Los Cabos, 5 San Luis Río Colorado, 6 Puerto Peñasco, 7 Bahía Kino, 8 Guaymas, 9 Huatabampo, 10 Bahía de Altata-Novolato, 11 Mazatlán, 12 Tecuala, 13 Santiago Ixcuintla, 14 San Blas y Compostela, 15 Bahía Banderas-Puerto Vallarta, 16 Manzanillo, 17 Coahuayana, 18 Aquila, 19 Lázaro Cárdenas, 20 Ixtapa-Zihuatanejo, 21 Acapulco, 22 Puerto Ángel y Puerto Escondido, 23 Huatulco, 24 Tonalá, 25 Tapachula, 26 Matamoros, 27 Soto la Marina, 28 Ciudad Madero, 29 Veracruz, 30 Cárdenas, 31 Paraíso, 32 Centla, 33 Campeche, 34 Ciudad del Carmen, 35 Celestún, 36 Progreso, 37 Telchac, 38 Ría Lagartos, 39 Cancún, Isla Mujeres y Rivera Maya, 40 Cozumel.

Nota:

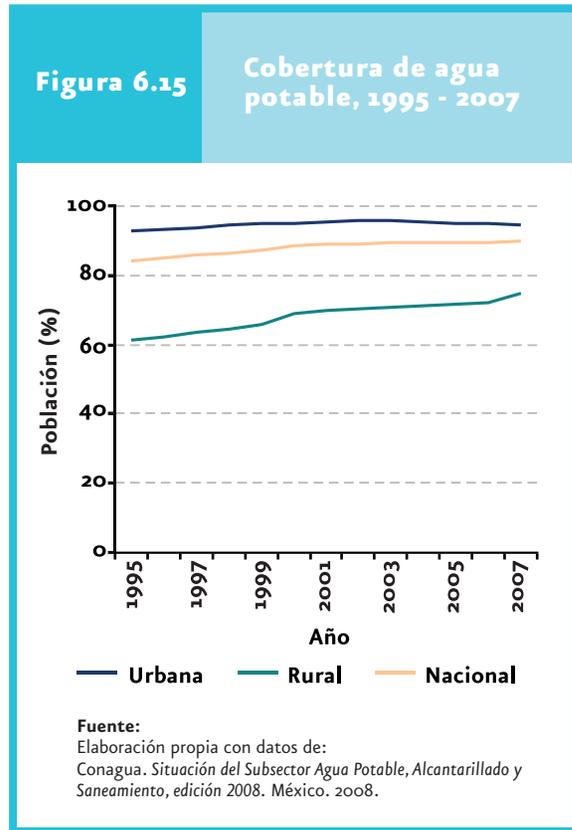
Datos al primer semestre de 2008. Se considera que el agua de mar representa riesgo sanitario cuando se encuentra por arriba del límite de 500 enterococos /100 ml.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
Semarnat. Sistema Nacional de información sobre la Calidad del Agua en Playas Mexicanas. México. 2008.
Disponible en: www.semarnat.gob.mx/informaciónambiental/Pages/playas.aspx Fecha de consulta: 03-10-2008.



alrededor de 85%; PNUMA, 2003) y, en 2007, ya se había incrementado a 89.9% (Conagua, 2007; **IB 2.1-11**). Entre 2000 y 2007, la cobertura en zonas urbanas pasó de 94.6 a 94.5%, mientras que en



las zonas rurales siguió siendo considerablemente menor, pasando en el mismo periodo de 68 a 74.7% (Figura 6.15, [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, aunque existen diferencias importantes ([Cuadro D3_AGUA06_01](#)). Mientras que entidades como el Distrito Federal, Aguascalientes, Colima, Coahuila y Tlaxcala tenían en 2007 coberturas de agua potable superiores a 97%, en Guerrero se daba servicio a poco menos de 75% de la población (Mapa 6.13).

También son notorias las diferencias en los esfuerzos por incrementar la cobertura. Por ejemplo, Veracruz, San Luis Potosí, Zacatecas,

Hidalgo, Nayarit, Campeche, Oaxaca, Guerrero y Michoacán incrementaron en más de 5% la cobertura entre los años 2000 y 2007 (Figura 6.16). En contraste, otros estados como Baja California Sur, Quintana Roo y México enfrentan un problema grande, ya que las tasas de crecimiento del servicio resultan insuficientes para lograr niveles de cobertura aceptables en una población en continuo crecimiento ([Cuadro D3_AGUA06_01](#)).

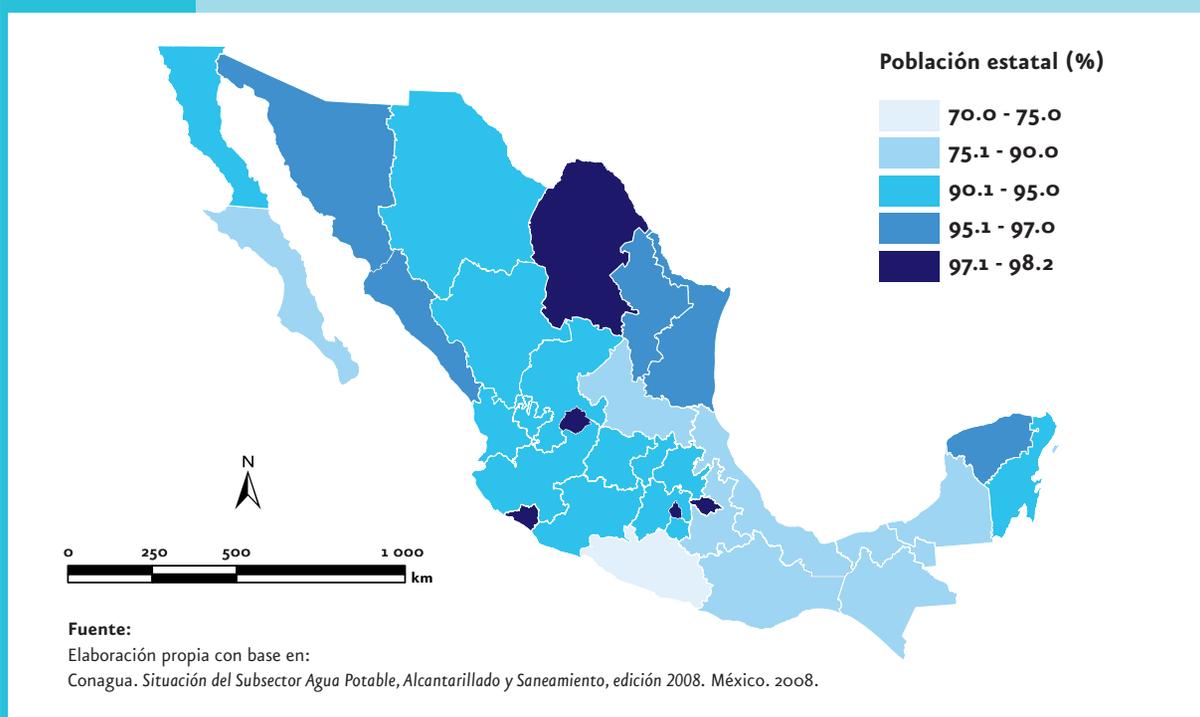
El suministro de agua de buena calidad en los sistemas de abastecimiento es importante para la salud e higiene de la población, por lo que es necesaria la construcción de instalaciones específicas para potabilizar el agua. En 2007 se suministraron, a nivel nacional, 327 mil litros de agua por segundo para consumo humano, de los cuales 96% (315 mil) fue desinfectado y 26% (86 mil) potabilizado, en su gran mayoría por el proceso de clarificación completa ([Cuadros D3_AGUA07_02](#) y [D3_AGUA07_05](#)).

Estas cifras significan que se suministraron alrededor de 278 litros por día por habitante en promedio a nivel nacional, lo que está por arriba del nivel 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). A nivel estatal, en ese mismo año, Colima, Morelos, Sonora, Tabasco, Durango, Baja California Sur y Zacatecas registraron suministros superiores a 400 litros diarios por habitante, mientras que Oaxaca, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Chiapas y San Luis Potosí no sobrepasaron los 200 litros (Mapa 6.14).

En 2007, el agua potable suministrada que pasó por el proceso de potabilización completo y no sólo por desinfección fue, en promedio a nivel nacional, de 71 litros diarios por persona. Tamaulipas tuvo el mayor volumen por habitante con 319 litros diarios de agua potabilizada por persona, mientras que estados como Morelos, Nayarit, Quintana Roo, Tlaxcala y Yucatán carecen actualmente de plantas potabilizadoras en operación.

Mapa 6.13

Cobertura de agua potable por entidad federativa, 2007



Alcantarillado

En el mundo, el porcentaje de la población que cuenta con servicios de alcantarillado creció de 49 a 59% entre 1990 y 2004 (WHO y UNICEF, 2008). Sin embargo, al igual que en el caso del agua potable existen diferencias muy marcadas a nivel regional: mientras que en América Latina este valor alcanzó, en promedio, 79%, en África subsahariana no rebasó 31% (UN, 2008). La situación es grave a nivel mundial: las Naciones Unidas (2008) estiman que alrededor de 2 mil 500 millones de personas en el mundo no tienen acceso a servicios de saneamiento.

En México, la cobertura de alcantarillado en el país en 2007 fue de 86.1% (**IB 2.2-12**), valor superior al promedio 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 94.2% en 2007, mientras que en las segundas apenas se cubrió 59.9% (Figura 6.17).

Entre las entidades federativas del país, el Distrito Federal, Aguascalientes, Colima, Jalisco y Nuevo León tienen coberturas mayores a 95%, mientras que los estados de Oaxaca, Guerrero y Yucatán no alcanzan el 70% (Mapa 6.15).

Los estados que tienen mayores diferencias entre la cobertura de agua potable y alcantarillado son Yucatán (28%), Oaxaca (15%) y Tamaulipas (13%).

Aunque todas las entidades federativas tuvieron un incremento en su cobertura de alcantarillado entre 2000 y 2007, sobresalen Oaxaca, Campeche, San Luis Potosí,

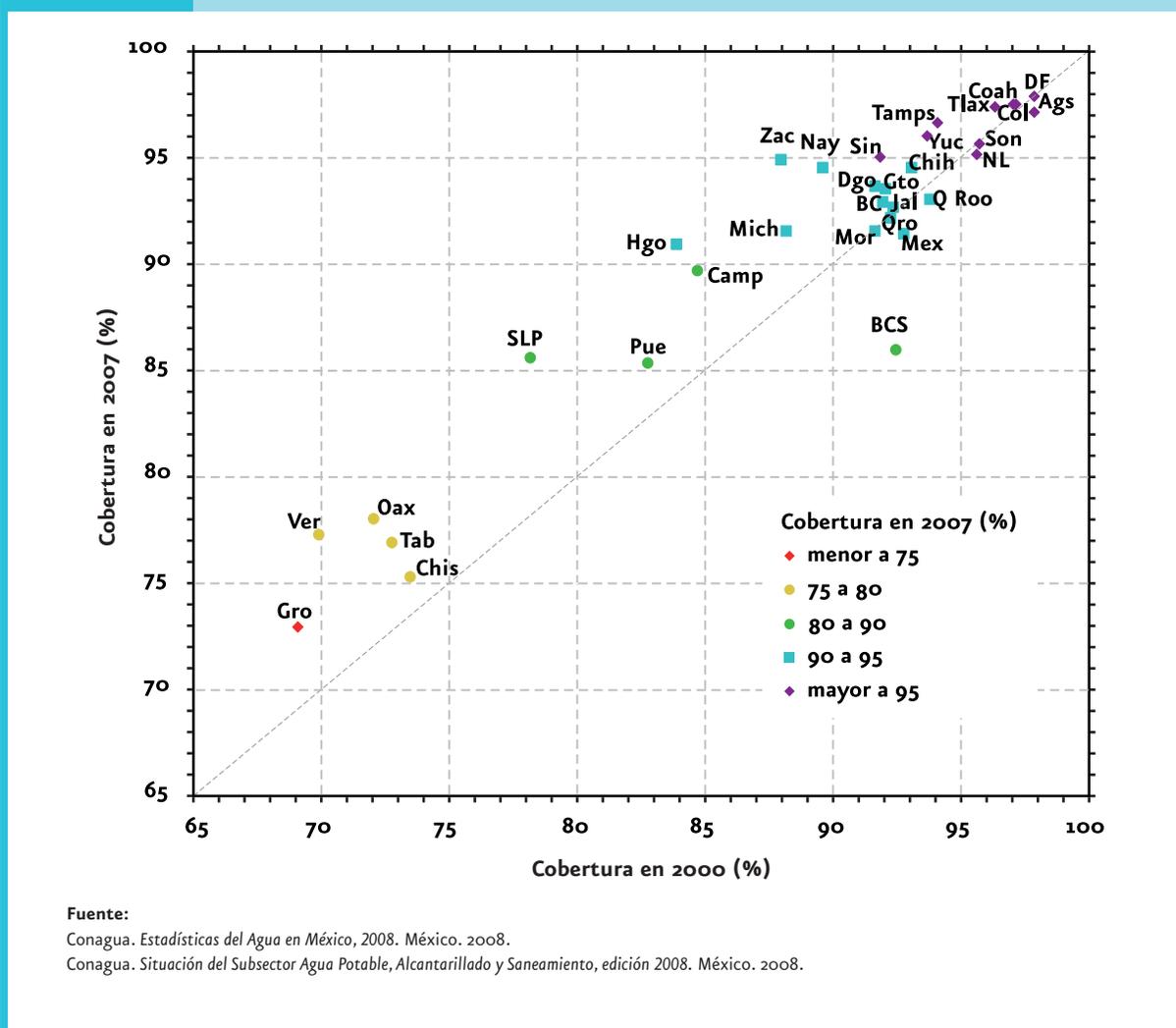
Puebla, Guerrero, Zacatecas, Sinaloa, Chiapas e Hidalgo, con incrementos superiores a 15% (Figura 6.18; **Cuadro D3_AGUA06_04**).

En México la cobertura de agua potable alcanzó en 2007, 89.9%.



Figura 6.16

Incremento en la cobertura de agua potable por entidad federativa, 2000 - 2007



Tratamiento de aguas residuales

En los países en desarrollo es todavía poco común que el agua residual reciba tratamiento. Entre 85 y 95% del agua residual en el mundo es descargada directamente a los ríos, lagos y océanos sin recibir ningún tratamiento previo (FNUAP, 2001; Vörösmarty et al., 2005).

México trató en 2007 cerca del 25.3% del caudal generado, considerando ambos tipos de descargas: municipales (32.6% del total municipal generado) e industriales (15.8%; Figura 6.19). Aunque la

cantidad de agua que se trata aún resulta baja, está por encima del promedio de América Latina, que apenas llega a 13%. Como es evidente, la mayoría de los cuerpos de agua superficiales del país reciben continuamente descargas residuales sin tratamiento que ocasionan su contaminación y, en consecuencia, afectaciones a la salud de la población y de las especies que los habitan. No debe olvidarse que la reducción de la calidad del agua de los cuerpos superficiales y subterráneos agrava aún más la escasez del líquido, ya que no puede ser empleado, en muchas ocasiones, sin tratamiento previo.

Mapa 6.14

Suministro de agua potable per cápita por entidad federativa, 2007

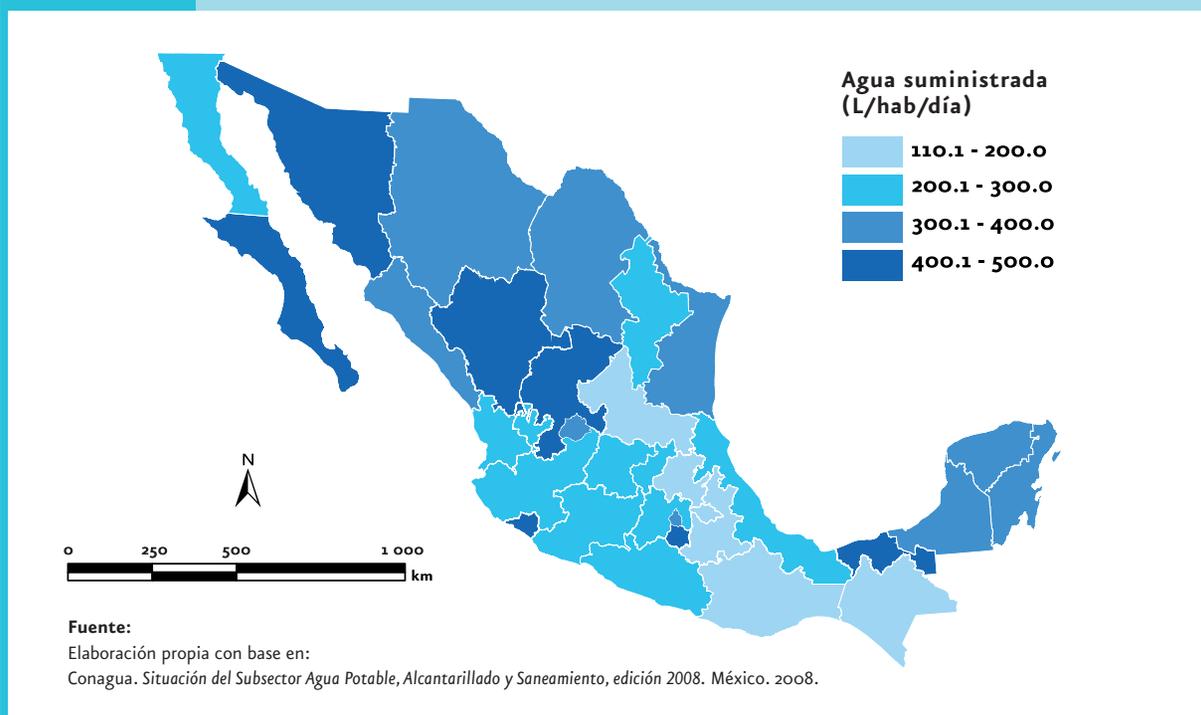
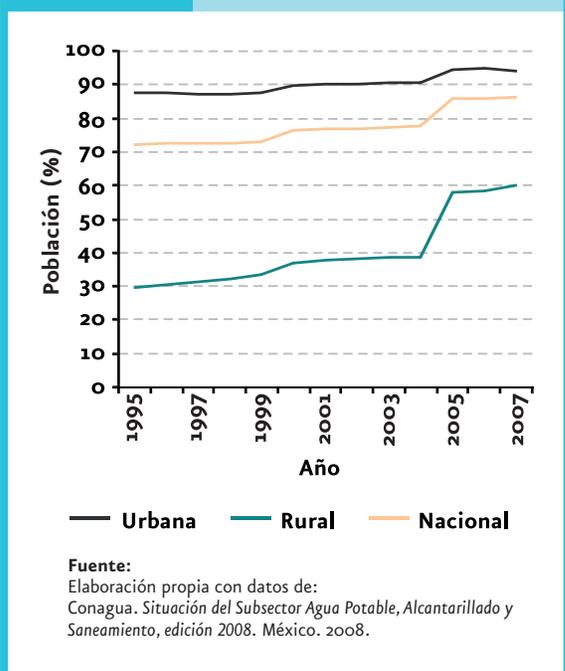


Figura 6.17

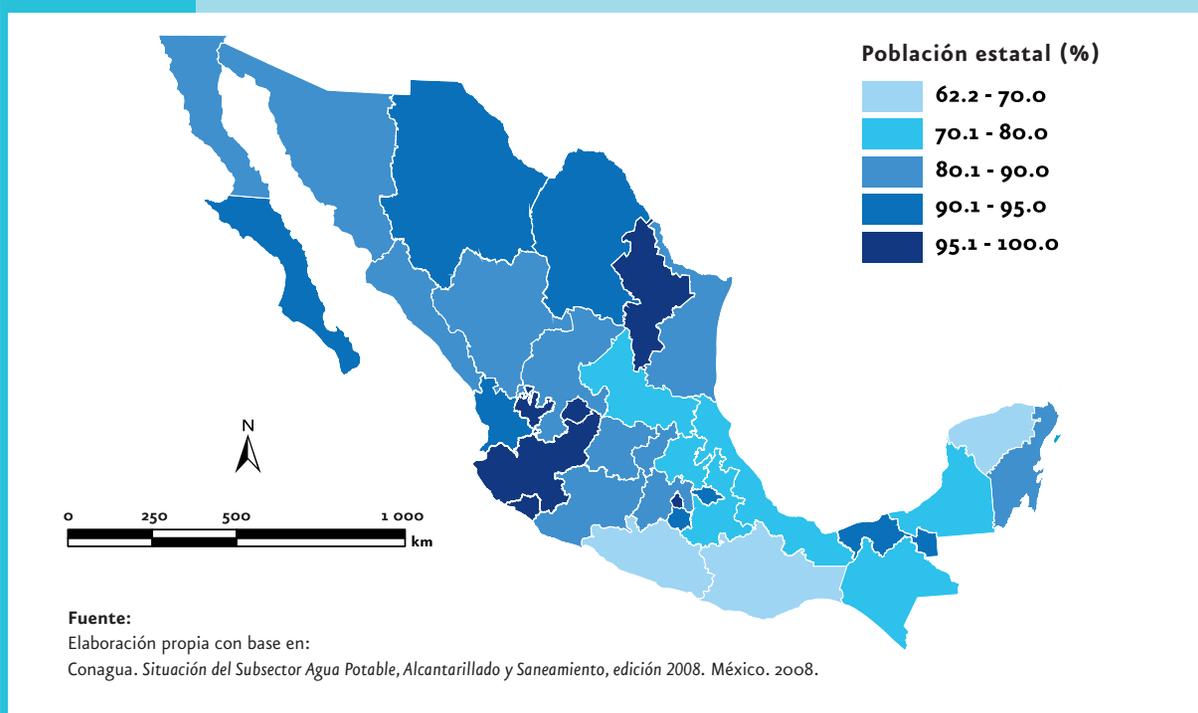
Cobertura de alcantarillado, 1995 - 2007



En 2007 se estimó que los centros urbanos del país generaron 243 metros cúbicos por segundo de aguas residuales, de las cuales 85% (207 m³/s) se colectaron en el alcantarillado, lo que significa un incremento de 5% con respecto al volumen colectado en 2003. Del caudal colectado en 2007, 38% (79.3 m³/s) recibió algún tipo de tratamiento (*Cuadro D3_AGUA07_093*). Cuando se relaciona la eficiencia de captación y el tratamiento del agua colectada, se obtiene que a nivel nacional, en 2007, tan sólo 32.6% del agua residual municipal se trata antes de ser vertida a los cuerpos de agua (Mapa 6.16, IC 12). Solamente Nuevo León, Baja California y Aguascalientes dan tratamiento a más de 90% del agua residual que se colecta en los sistemas de alcantarillado.

A nivel nacional en el año 2007 se trataron en promedio 65 litros diarios de agua residual por habitante, con grandes diferencias entre los estados, ya que Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Durango,



Mapa 6.15**Cobertura de alcantarillado por entidad federativa, 2007**

Quintana Roo, Sonora, Sinaloa, Nayarit, Colima y Nuevo León procesaron volúmenes por encima de 100 litros diarios por persona, mientras que Campeche, Hidalgo y Yucatán no llegaron a 10 litros diarios por habitante (Mapa 6.17). La mayor parte del agua municipal 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 6.20; [Cuadro D3_AGUA07_093](#)).

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, Quintana Roo y Baja California con una relación entre el agua tratada y la suministrada mayor a 50%; en contraste, Yucatán, Campeche e Hidalgo no alcanzan 6 % (Mapa 6. 18).

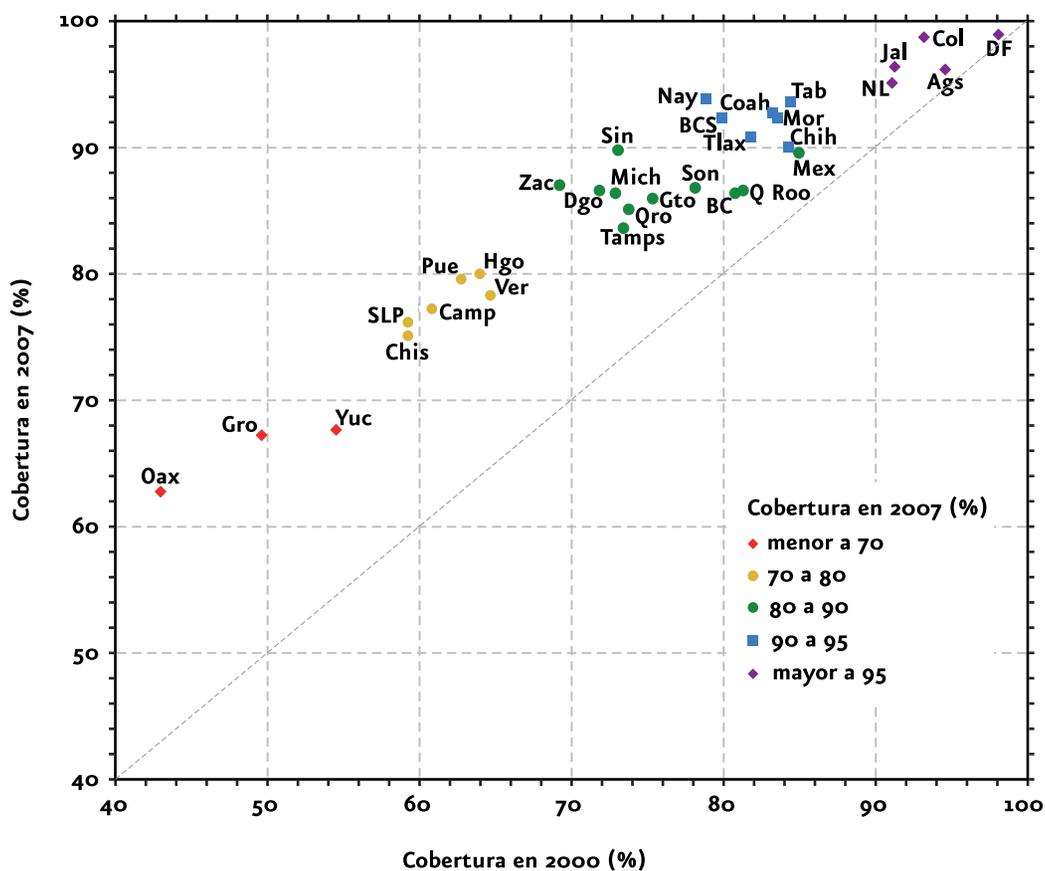
A diciembre de 2007, el país contaba con 2 mil 21 plantas de tratamiento de agua residual industrial en operación y procesaban 29.9 metros cúbicos por segundo (16% del agua generada). El tipo de tratamiento más utilizado es el secundario en mil 119 plantas y con un gasto de operación de 15 mil 90 litros por segundo. Veracruz es el estado que produce mayor volumen de descargas y también el que procesa más agua residual con cerca de 30% del total nacional, seguido por Nuevo León, el Estado de México, Michoacán, Morelos y Jalisco, que dan tratamiento a más de mil litros por segundo ([Cuadro D3_AGUA07_13](#)).

ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

Aunque tradicionalmente los temas relativos a la disponibilidad y calidad del agua y los ecosistemas acuáticos (tanto continentales como oceánicos) se tratan separadamente, están íntimamente relacionados. Los ecosistemas acuáticos, tanto los dulceacuícolas como los costeros y oceánicos,

Figura 6.18

Incremento en la cobertura de alcantarillado por entidad federativa, 2000 - 2007



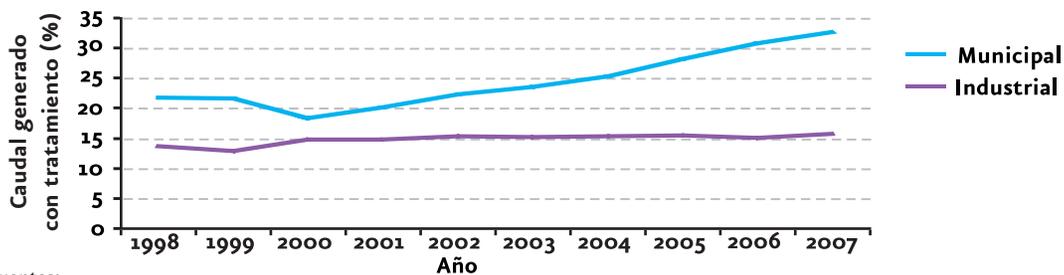
Fuentes:

Conagua. Estadísticas del Agua en México, 2008. México. 2008.

Conagua. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, edición 2008. México. 2008.

Figura 6.19

Tratamiento del agua residual, 1998 - 2007



Fuentes:

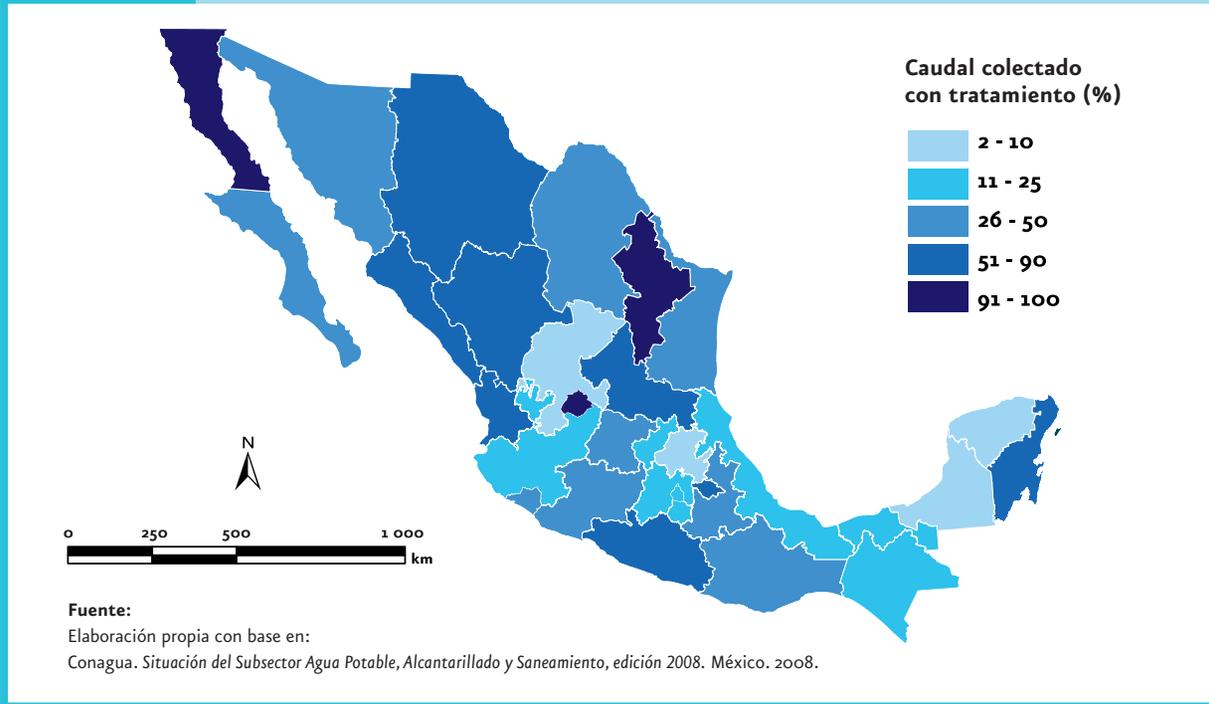
Semarnap, INEGI. Estadísticas del Medio Ambiente 1999. México. 2000.

Conagua. Estadísticas del Agua en México, 2008. México. 2008.

Conagua. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, edición 2008. México. 2008.

Mapa 6.16

Tratamiento de agua residual por entidad federativa, 2007

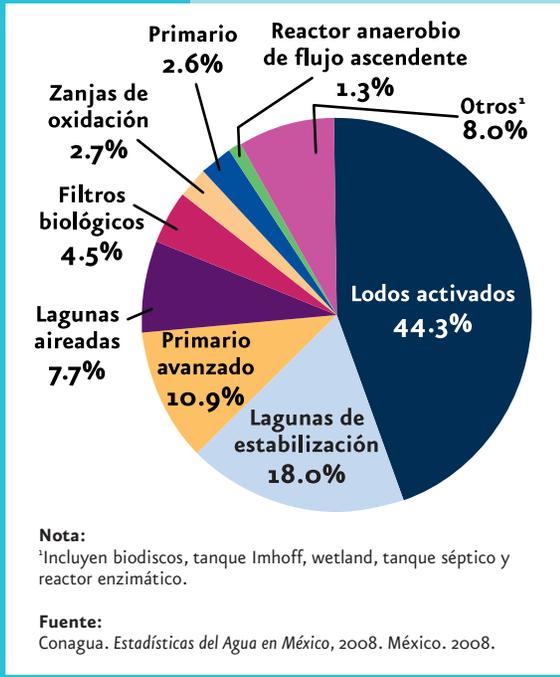


participan de manera importante en el ciclo hidrológico, actuando por un lado, como los reservorios más importantes de agua, y por otro, como las fuentes primarias del vapor de agua que alcanza la atmósfera y posteriormente regresa a ellos en forma de precipitación y escurrimientos. En este sentido, actúan directa e indirectamente sobre los balances hídricos locales y regionales, es decir, sobre la disponibilidad del agua. Paralelamente, funcionan como receptores y filtros de los contaminantes que traen consigo las aguas que escurren y llegan a ellos, purificándolas y contribuyendo a mejorar su calidad.

Los cuerpos de agua continentales se forman por la interacción de la orografía y la entrada del agua proveniente de la lluvia o del derretimiento de la nieve o el hielo de los glaciares. En ellos se desarrolla una amplia gama de ecosistemas que van desde las charcas y ríos intermitentes, hasta los manantiales, ríos permanentes, lagos, lagunas

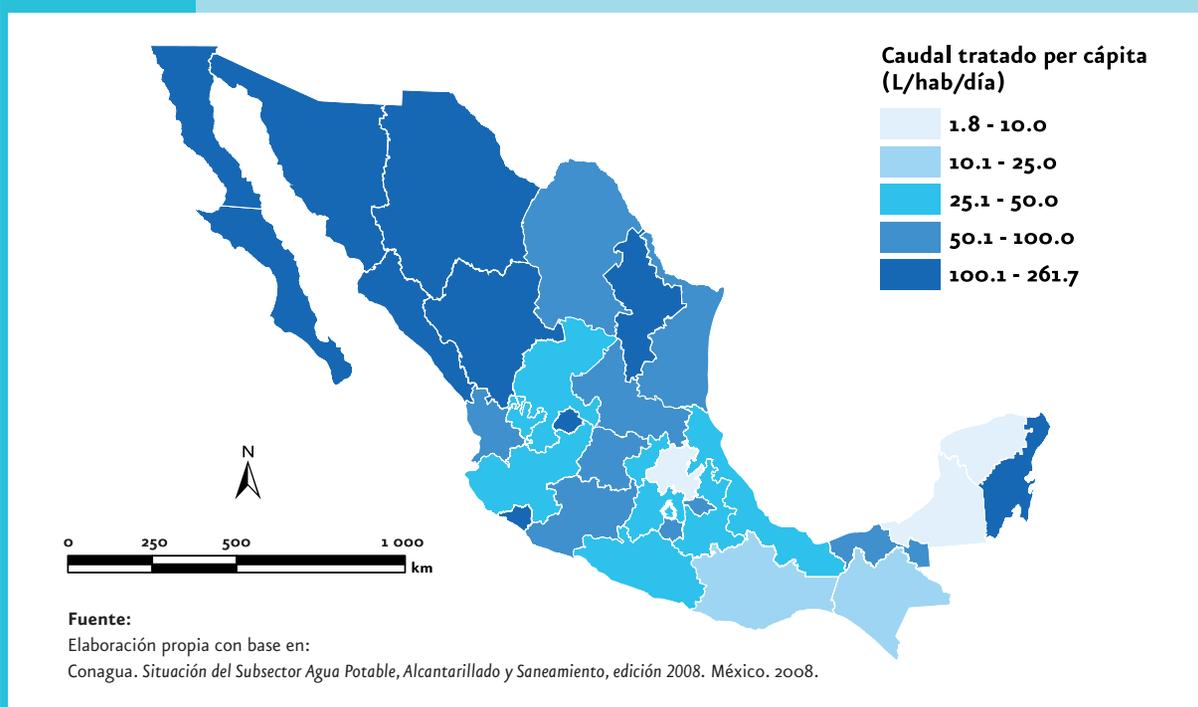
Figura 6.20

Agua municipal residual tratada según proceso, 2007



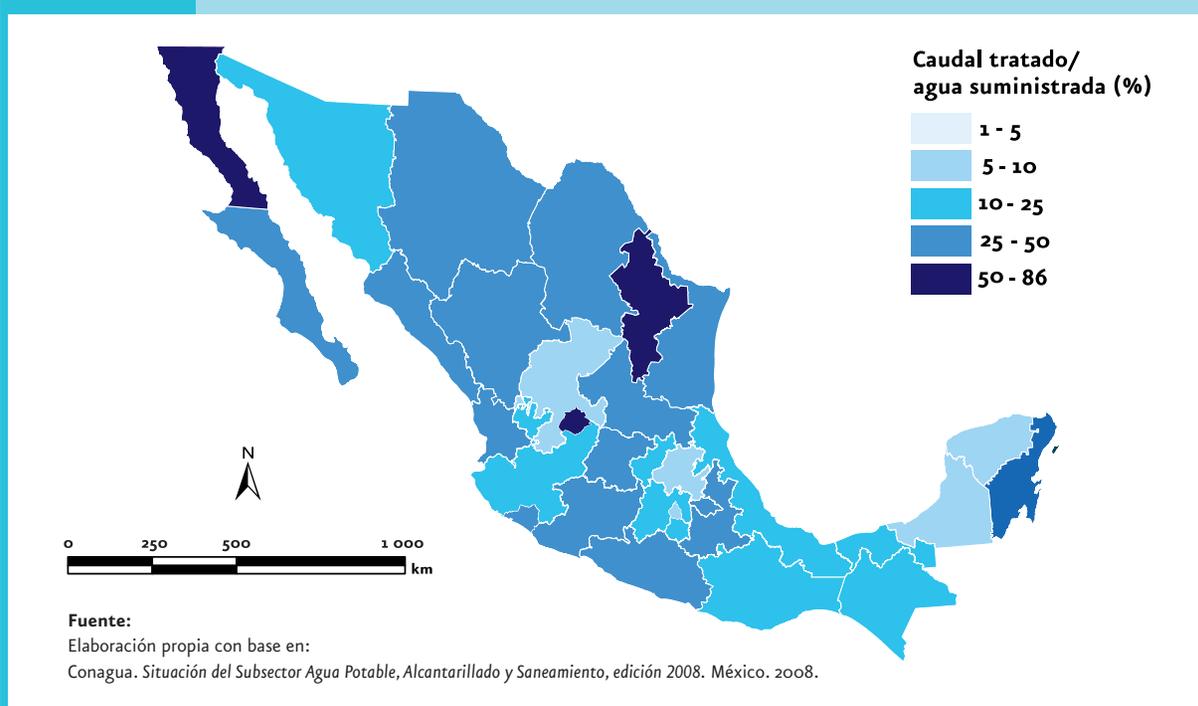
Mapa 6.17

Tratamiento de agua residual municipal per cápita por entidad federativa, 2007



Mapa 6.18

Tratamiento de agua residual municipal con respecto al agua suministrada por entidad federativa, 2007



y esteros. Sus características ecológicas varían dependiendo de las condiciones particulares de sus cuencas, así como del clima, suelo, tipo de vegetación y biodiversidad. Los ecosistemas acuáticos continentales pueden dividirse en sistemas lóticos, es decir, aquéllos cuyas aguas están en movimiento y corresponden principalmente a las corrientes superficiales (p.e. ríos y arroyos) y los sistemas lénticos, los cuales son almacenamientos de agua, ya sea naturales o artificiales (p.e. lagos, embalses y presas; Arriaga *et al.*, 2000).

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, Ometepepec, 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 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 México existe una gran diversidad de ecosistemas con influencia marina. El litoral mexicano se extiende por alrededor de 11 mil kilómetros, bañado por las aguas de tres grandes cuencas marinas: el Océano Pacífico, el Golfo de México y el Mar Caribe. La longitud del litoral y su diversidad de ambientes permiten la existencia de multitud de ecosistemas naturales que incluyen manglares, lagunas costeras, marismas, esteros, planicies de marea, islas de barrera, comunidades de pastos marinos y arrecifes de coral. De igual modo, la enorme extensión de su zona económica exclusiva (de alrededor de 315 millones de hectáreas, es decir, 1.6 veces su superficie terrestre) suma una gran diversidad de ambientes, como cañones submarinos, planicies abisales, montes y volcanes submarinos, trincheras y ventilas hidrotermales, los que sin duda enriquecen significativamente la biodiversidad nacional.

Los ecosistemas acuáticos participan de manera importante en el ciclo hidrológico.

Biodiversidad dulceacuícola y marina

En números absolutos, los ecosistemas acuáticos continentales tienen relativamente pocas especies, pero su número por unidad de área es ligeramente superior al encontrado en ecosistemas terrestres y cerca de 15 veces superior al observado para los ecosistemas marinos (Arriaga *et al.*, 2000; Tabla 6.4). La riqueza de especies acuáticas en el mundo es muy elevada: 40% de las 25 mil especies conocidas de peces viven en agua dulce, aunque los lagos y ríos tan sólo representan 0.3% del agua en el planeta (PNUMA, 2004).

Estimaciones para el territorio nacional señalan que la fauna acuática continental asciende a 384 especies de peces, 280 de anfibios, 41 de reptiles y 361 aves de ambientes acuáticos (Aguilar, 2003).

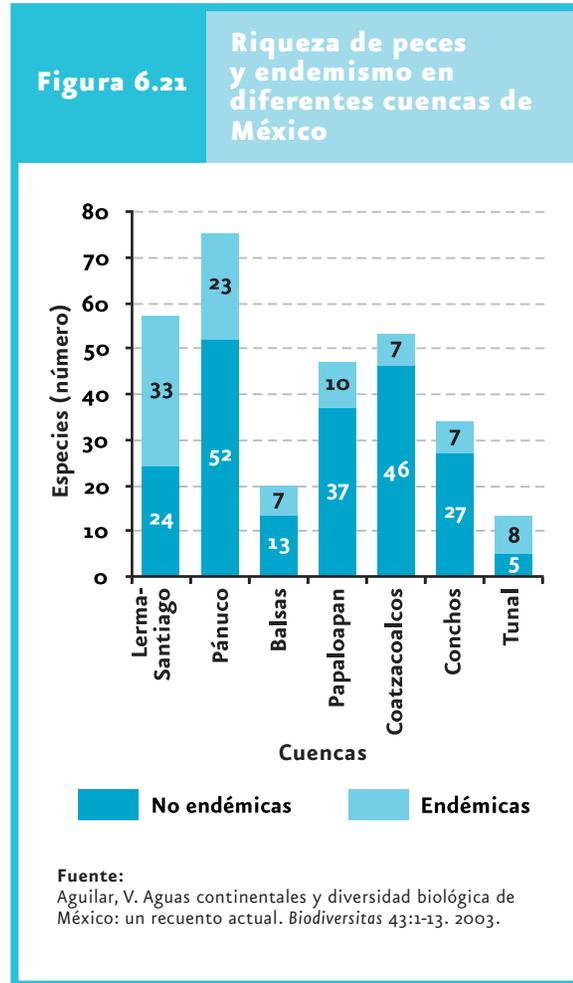
Tabla 6.4			
Riqueza relativa de especies en los ecosistemas dulceacuícolas, terrestres y marinos			
Ecosistemas	Extensión del hábitat (% del mundo)	Diversidad de especies (% de las especies conocidas)	Riqueza relativa de especies
Dulceacuícolas	0.8	2.4	3
Marinos	70.8	14.7	0.2
Terrestres	28.4	77.5	2.7

Fuente:
Arriaga, L., V. Aguilar Sierra y J. Alcocer Durand. *Aguas continentales y diversidad biológica de México*. Conabio. México. 2000.

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; Figura 6.21). La riqueza de la flora se estima en 763 especies de plantas acuáticas, entre helechos, gimnospermas y angiospermas (Aguilar, 2003).

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 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 endémicos), 33 de moluscos, 16 de peces

Cuarenta por ciento de las 25 mil especies conocidas de peces en el mundo viven en agua dulce, aunque los lagos y ríos tan sólo representan 0.3% del agua en el planeta.



(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).

La biodiversidad marina de México, como en el mundo entero, es menos conocida que la de los ambientes dulceacuícolas y terrestres. Las dificultades técnicas y el costo económico de la investigación del ambiente marino han limitado significativamente el conocimiento biológico que se tiene de él. Los estudios que se poseen abarcan, en muchos de los casos, regiones o

localidades muy particulares, lo que dificulta obtener cifras nacionales. Aguilar y colaboradores (2008) estiman que la relación de estudios sobre biodiversidad terrestre y marina a nivel mundial es de aproximadamente de diez a uno. A pesar de ello, de algunos grupos se tiene información confiable sobre su riqueza de especies. Para los corales hermatípicos o formadores de arrecifes se ha estimado para México entre 63 y 81 especies, lo cual representa entre 8 y 10% de las especies conocidas globalmente (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993; Spalding *et al.*, 2001). En cuanto a los mamíferos marinos, se reconocen 45 especies, la mayoría en el Golfo de California (Conabio, 2006), mil 600 especies de algas marinas, entre mil y mil 300 de poliquetos, cerca de 2 mil de crustáceos y poco más de 500 de equinodermos (Arriaga *et al.*, 1998).

Bienes y servicios ambientales de los ecosistemas acuáticos

Los ecosistemas naturales proveen de multitud de bienes y servicios indispensables para la vida diaria y el desarrollo de las sociedades. Estos bienes y servicios son resultado, finalmente, de la biodiversidad y de los procesos ecológicos que se llevan a cabo de manera natural y que mantienen en funcionamiento a los ecosistemas (ver también los capítulos de *Ecosistemas terrestres* y *Biodiversidad*). Actualmente, el reconocimiento de la importancia de los bienes y servicios ambientales se ha fortalecido en virtud de la dificultad, tanto económica como técnica, de sustituirlos una vez que los ecosistemas han sido degradados o destruidos en una región.

Aunque el agua dulce para el consumo humano es uno de los bienes más importantes que los ecosistemas acuáticos continentales brindan a la humanidad, existen otros no menos importantes (Tabla 6.5; ver para más información Daily *et al.*, 1997, Wilson y Carpenter, 1999, MEA, 2005). Por ejemplo, en cuanto a bienes que se

cotizan directamente en el mercado, además del agua potable, podemos distinguir su utilidad como medios para el transporte humano y de mercancías (p.e. en el caso de ríos y lagos), la generación de energía eléctrica, el abasto de alimentos (p.e. peces, moluscos y crustáceos, entre otros) y la irrigación de las tierras agrícolas. En el caso de los bienes y servicios no cotizados en el mercado, debemos destacar el papel que los humedales tienen como reguladores del control de las “avenidas” que resultan de los eventos de precipitación intensa (lo que evita o reduce las pérdidas humanas y económicas derivadas de las inundaciones), el mantenimiento de su rica biodiversidad (que incluye no sólo las especies que se emplean como alimento o como fuentes de materiales, sino también a las que sostienen a los ecosistemas), el reciclaje de nutrimentos (por medio de los ciclos biogeoquímicos), la purificación del agua de los desechos domésticos e industriales y la regulación del clima a nivel local y regional.

Los ecosistemas costeros y oceánicos también son proveedores de múltiples bienes y servicios ambientales. Además de los productos pesqueros que brindan una importante proporción de la ingesta proteica de la población mundial o de materias primas para la construcción (p.e. piedra caliza y arena), los ecosistemas costeros (manglares y arrecifes de coral) protegen a las poblaciones costeras del embate de los fuertes vientos y el oleaje producidos por las tormentas tropicales y huracanes, sirven de sitios de cría para muchas especies comerciales y mantienen una gran biodiversidad (Tabla 6.6).

Aun cuando las estimaciones del valor económico de los servicios ambientales son escasas dada la dificultad que implica su cálculo, se ha estimado que en el caso de los ecosistemas acuáticos puede alcanzar varios miles de dólares por hectárea, lo cual se traduce en beneficios “gratuitos” para la población que, de no seguir existiendo,

Tabla 6.5

Magnitud relativa de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas dulceacuícolas y costeros*

Servicios ambientales	Dulceacuícolas					Marinos costeros			
	Ríos y canales permanentes y estacionales	Lagos y reservorios permanentes	Estuarios y marismas	Manglares	Lagunas costeras y estanques salobres	Zona intermareal	Kelp	Pastos marinos	Arrecifes coralinos
Servicios de regulación									
Regulación atmosférica y del clima: regulación de gases de efecto invernadero, temperatura, precipitación y otros procesos climáticos; composición química de la atmósfera	●	●●	●	●	●	●		●	●
Balance hidrológico: recarga de acuíferos, almacenamiento de agua para la agricultura e industria	●●	●●	●		●				
Control de la contaminación: retención, recuperación y remoción de nutrientes y contaminantes	●●	●	●●	●●	●		¿?	●	●
Protección contra la erosión: retención de suelos	●	●	●	●●	●			●	●
Eventos naturales: control de inundaciones y protección contra tormentas	●	●●	●●	●●	●	●	●	●	●●
Servicios de culturales									
Espiritual e inspiracional: bienestar y significado religioso	●●	●●	●●	●	●	●●	●	●	●●
Recreación: turismo y actividades recreativas	●●	●●	●●	●	●	●●	●		●●
Valor estético	●	●	●	●	●	●			●●
Educación e investigación científica	●●	●●	●	●	●	●		●	●

Tabla 6.5

Magnitud relativa de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas dulceacuícolas y costeros¹ (conclusión)

Servicios ambientales	Dulceacuícolas					Marinos costeros			
	Ríos y canales permanentes y estacionales	Lagos y reservorios permanentes	Estuarios y marismas	Manglares	Lagunas costeras y estanques salobres	Zona intermareal	Kelp	Pastos marinos	Arrecifes coralinos
Servicios de provisión									
Alimento: pesca comercial y deportiva, frutos y granos	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Agua dulce: agua para consumo humano y agrícola	●	●	●		●				
Fibra, madera, combustible: leña, turba, etc.	●	●	●	●	●				
Productos bioquímicos	●	●	●	●			●		●
Recursos genéticos: medicinas, genes para biotecnología y especies ornamentales	●	●	●	●	●		●		●
Servicios de soporte									
Biodiversidad	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Formación de suelo: retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica	●	●	●	●	●				
Reciclaje de nutrientes y fertilidad	●	●	●	●	●	●			●
Polinización: sustento para polinizadores	●	●							

Nota:

¹ Se refiere a la magnitud del servicio ambiental que brindan los ecosistemas en función de su superficie. La escala es: ● baja, ● media, ● alta y ? no conocida. Las celdas vacías denotan que el servicio ambiental no es aplicable al ecosistema en cuestión. La información en la tabla representa un patrón global, por lo que diferencias locales y regionales son posibles respecto a la magnitud relativa de su importancia.

Fuente:

Hassan, R., R. Scholes y N. Ash. (Eds.) *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. Volume 1. Island Press. Washington. 2005.

Tabla 6.6

Importancia de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas marinos oceánicos¹

Servicios ambientales	Ecosistemas marinos			
	Plataforma continental interna	Plataforma externa y talud	Montañas y cordilleras marinas	Profundidades oceánicas
Servicios de provisión				
Alimento: pesca comercial y deportiva, frutos y granos	●	●	●	●
Fibra, madera, combustible: leña, turba, etc.	●	●		
Recursos genéticos: medicinas, genes para biotecnología y especies ornamentales	●			
Servicios de regulación				
Regulación atmosférica y del clima: regulación de gases de efecto invernadero, temperatura, precipitación y otros procesos climáticos; composición química de la atmósfera	●	●		●
Servicios culturales				
Cultura y esparcimiento	●			
Servicios de soporte				
Biodiversidad	●	●	●	●
Reciclaje de nutrientes y fertilidad	●	●	●	●
<p>Nota: ● muy importante; ● de alguna importancia. Las celdas vacías denotan que el servicio ambiental no es aplicable al ecosistema en cuestión. La información en la tabla representa un patrón global, por lo que diferencias locales y regionales son posibles respecto a la magnitud relativa de su importancia.</p>				

Fuente:

Hassan, R., R. Scholes y N. Ash. (Eds.). *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. Volume 1. Island Press. Washington. 2005.

representarían una inversión económica cuantiosa (Tabla 6.7). En el caso de México, por ejemplo, se ha encontrado que la producción en las pesquerías de peces y cangrejos en el Golfo de California está relacionada directamente con la abundancia local de manglares: el valor económico de dicha producción se ha estimado en alrededor de 37 mil 500 dólares por hectárea de manglar (Aburto-Oropeza, et al., 2008). Debe recordarse que la pérdida de la biodiversidad y la integridad de estos ecosistemas pueden ocasionar la disminución de la cantidad y calidad de los bienes y servicios ambientales que brindan.

Tabla 6.7	
Humedales: valor promedio estimado de sus bienes o servicios ambientales	
Bien o servicio ambiental	Valor económico estimado (dólares/ha/año)
Control de inundaciones	464
Pesca recreativa	374
Turismo y recreación	492
Purificación de agua	288
Biodiversidad	214
Hábitat para la reproducción o cría	201
Cacería recreativa	123
Suministro de agua	45
Materiales	45
Leña	14

Fuente:
Schuyt, K. and L. Brander. *Living Waters: Conserving the Source of Life. The economic value of the World's wetlands.* WWF. Switzerland. 2004.

Servicios ambientales de los ecosistemas acuáticos: el caso de la pesca

Por su valor económico y volumen de producción, los productos pesqueros son algunos de los bienes más importantes obtenidos de los ecosistemas de las aguas continentales y los océanos a escala

global. La pesca aporta, para al menos 2 mil 600 millones de personas en el mundo, alrededor de 20% de su ingesta anual de proteínas (UNEP, 2007).

Las estimaciones preliminares de la pesca mundial para 2005, basadas en los informes de algunos de los principales países pesqueros, indican que la producción (que incluyó tanto la captura continental y marina como la acuicultura) alcanzó las 142 millones de toneladas, cifra mayor en un millón de toneladas a la registrada en 2004 y que representa una producción récord globalmente. Por su parte, es notorio que la acuicultura es el sector de la producción de alimentos de origen animal que ha crecido más rápidamente, con una tasa anual cercana a 8.8% desde 1970. En contraste, la captura pesquera ha crecido tan sólo a razón de 1.2% y los sistemas de producción de carne en tierra, lo hacen a 2.8% (FAO, 2007). La importancia de la acuicultura representa globalmente 22% de la producción pesquera y 40% del pescado consumido como alimento (MEA, 2005).

La producción pesquera nacional se ha mantenido relativamente constante en los últimos años, contabilizando en promedio 1.464 millones de toneladas anuales para el periodo 1986-2006 (Figura 6.22; [Cuadro D2_PESCA01_02](#)). Para este último año, la producción en peso vivo fue de alrededor de 1.5 millones de toneladas, de la cual 83% provino de la captura pesquera y 17% del cultivo o pesquerías acuiculturales ([Cuadros D2_PESCA01_02](#) y [D2_PESCA02_01](#); **IB 2.2-6**).



Si se analiza la producción pesquera regionalmente, los estados del litoral del Pacífico aportaron entre 1997 y 2006 el 76% de la producción, con alrededor de 14.6 millones de toneladas anuales en promedio, mientras que los estados del litoral del Golfo y el Caribe produjeron 22% (alrededor de 318 millones de toneladas anuales) y aquéllos sin litoral tan sólo 2% (33 mil toneladas anuales) del total de la producción pesquera nacional (Sagarpa, 2007; Figura 6.23; [Cuadro D2_PESCA01_01](#)).

Figura 6.22

Producción pesquera y acuícola nacional, 1996 - 2006

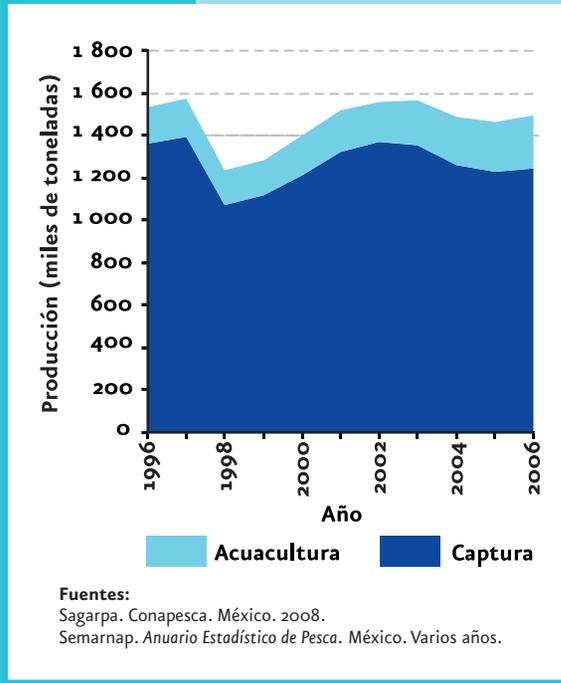
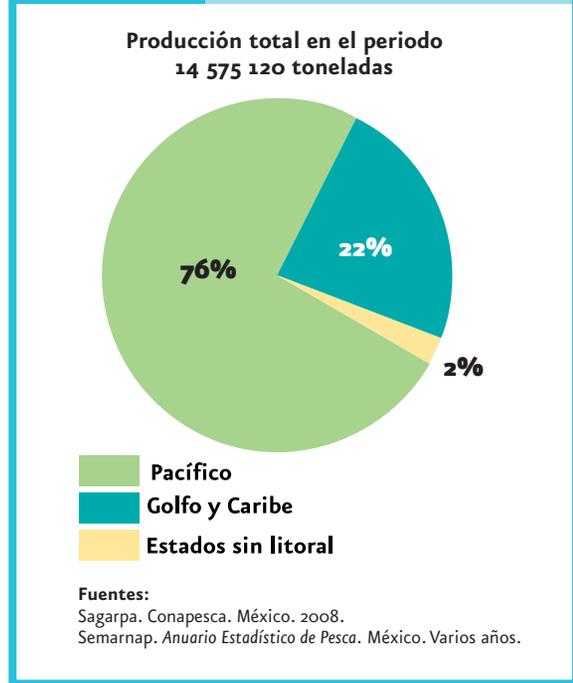


Figura 6.23

Producción pesquera según origen, 1997 - 2006



En 2006, del total de la producción pesquera nacional, incluyendo la captura y la acuicultura, más del 50% (cerca de 866 mil toneladas) fue aportado por sólo cuatro pesquerías (túnidos, sardina, escama y camarón), y de éstas, la pesquería de sardina representó 35%, con una producción estimada de más de 500 mil toneladas. Los estados que aportaron los mayores volúmenes de la producción pesquera en ese mismo año fueron Baja California Sur, Sonora y Sinaloa, con más de 897 mil toneladas anuales en conjunto (Mapa 6.19; Cuadro D2_PESCA01_01).

Impactos sobre la biodiversidad acuática continental

La fuerte dependencia que tienen las sociedades humanas de los bienes y servicios ambientales que ofrecen los cuerpos de agua continentales ha puesto en peligro la existencia de muchas de sus especies, y con ello, la integridad y el

funcionamiento adecuado de los ecosistemas que habitan. En general, puede decirse que el grado de amenaza que sufren los ecosistemas acuáticos continentales es mayor que el de los ecosistemas forestales o costeros (Revenga et al., 2000). La contaminación, la sobreexplotación y la introducción de especies invasoras representan una amenaza adicional para la biodiversidad: aproximadamente 20% de las especies de peces de agua dulce se consideran amenazadas, en peligro o extintas en décadas recientes debido a estas presiones (Revenga et al., 2000). Más de 50% de los ecosistemas acuáticos continentales (excluyendo lagos y ríos) se han perdido en algunas regiones de Norteamérica, Europa y Australia (Finlayson y D’Cruz, 2005; ver el Recuadro *Problemas globales de los ecosistemas marinos*).

Las presiones sobre los ecosistemas dulceacuícolas y su biodiversidad se ejercen en dos frentes distintos: de manera directa, a través del impacto

Los océanos, tanto por su extensión, como por la diversidad de ambientes que abarcan y de servicios ambientales que proporcionan, tienen un valor con frecuencia subestimado. Cubren 71% de la superficie del planeta, y contienen mil 365 millones de kilómetros cúbicos de agua (97.5% del agua del planeta). Por su volumen, son un importante componente del ciclo hidrológico, ya que la evaporación de agua de su superficie aporta la humedad que se precipita en forma de lluvia y mantiene a los ecosistemas que se desarrollan sobre los continentes. Absorben gran parte de la energía solar que llega a la Tierra, almacenándola y distribuyéndola como calor por medio de las corrientes oceánicas, regulando la temperatura del planeta y moderando el clima regional. Son un componente clave del ciclo del carbono y del balance térmico del planeta, ya que absorben gran cantidad del bióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera que, de otra manera, contribuiría a incrementar el efecto invernadero del planeta.

Las regiones costeras, por ser zonas de transición entre los ambientes terrestre y marino, permiten el desarrollo de una gran variedad de ecosistemas, que van desde las lagunas costeras, deltas fluviales, marismas y arrecifes coralinos, hasta manglares y praderas de pastos marinos. Estos ecosistemas proporcionan servicios ambientales como la producción de alimentos, la protección contra la erosión de la costa e inundaciones, zonas de reproducción, alimento y refugio de especies pesqueras, reciclaje de nutrientes,

suministro de materiales y medicinas, control de enfermedades, procesamiento de residuos, regulación atmosférica y condiciones favorables para el desarrollo turístico y la recreación (Hassan *et al.*, 2005, Beck *et al.*, 2003).

Conforme un mayor número de personas vive cerca de las costas oceánicas, aumenta la demanda de recursos y los proyectos de desarrollo y urbanización que ejercen una fuerte presión sobre los ecosistemas y los servicios ambientales que proveen. La alteración física y la destrucción de los hábitats son las amenazas más importantes para las zonas costeras. Adicionalmente, las actividades humanas tierra adentro tienen impacto en las costas a través del transporte de contaminantes y nutrientes por los ríos (Howarth *et al.*, 2000), por la modificación de los ecosistemas naturales y la alteración del flujo hídrico. Por su parte las actividades en el océano extraen recursos, contaminan y cambian la composición de especies (UNEP, 2002).

La pérdida de servicios ambientales, tales como el control de inundaciones, el filtrado de contaminantes o la productividad pesquera, puede tener consecuencias graves para las poblaciones humanas. Son ejemplos particularmente preocupantes de la situación de los océanos la disminución de la captura pesquera, el aumento en el número y superficie de zonas marinas muertas a consecuencia de la contaminación y el blanqueamiento de los arrecifes de coral.

1. Recursos pesqueros en declive

Los océanos proporcionan una de las mayores reservas de alimento del planeta. En total, los alimentos de origen marino aportan al menos 20% de las proteínas de la dieta de 2 mil 600 millones de personas. En un principio, el volumen capturado era una fracción pequeña de las poblaciones de cada recurso. Sin embargo, conforme creció la demanda de alimentos también mejoraron las tecnologías de navegación y pesca, lo que ha traído como consecuencia una presión cada vez mayor sobre los océanos y sus recursos (Pauly y Zeller, 2006). Según la FAO (2009), en 2007 el 80% de las poblaciones de peces estudiadas a nivel mundial se encontraban en diferentes categorías de explotación (19% sobreexplotadas, 8% agotadas, 1% en recuperación y 52% en su máximo aprovechamiento). Las áreas con una mayor proporción de poblaciones en su máximo aprovechamiento son el Atlántico nororiental, el océano Índico occidental y el Pacífico noroccidental. Tan sólo 20% de las poblaciones eran objeto de una explotación moderada o estaban subexplotadas. Esto parece confirmar que se ha alcanzado el potencial máximo de la pesca de captura en los océanos del mundo y que es necesario un reordenamiento y control de la pesca mundial.

Conforme aumenta la presión sobre los recursos pesqueros, se pesca cada vez más a niveles inferiores de la cadena trófica: la pesquería comienza capturando peces de gran

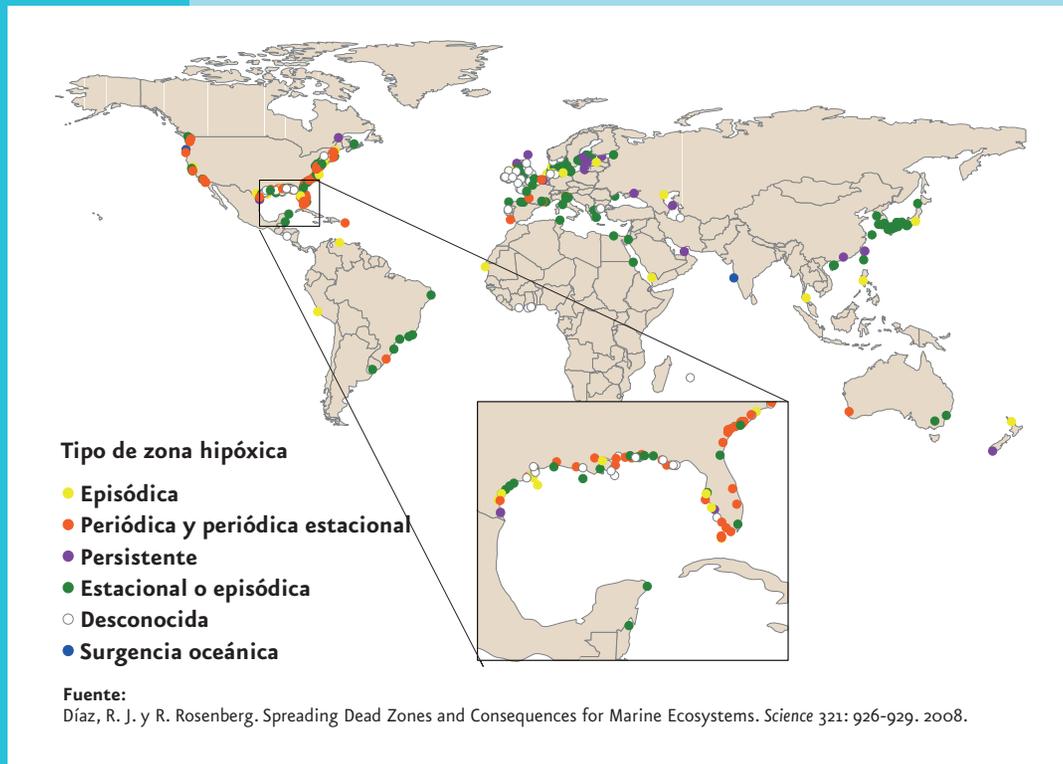
tamaño (depredadores de alto nivel en la red trófica) y gradualmente se desplaza a capturar peces pequeños conforme el recurso inicial se vuelve menos abundante. Este proceso ocurre prácticamente en todas las pesquerías del mundo, con frecuencia acompañado de la destrucción del hábitat (Pauly y Zeller, 2006).

El impacto de las actividades pesqueras es de tal magnitud que ninguna región oceánica se encuentra libre de las presiones antropogénicas: se estima que 41% de la superficie marina es afectada simultáneamente por varios factores antropogénicos (Halpern *et al.*, 2008).

2. Zonas marinas muertas

Como resultado del aumento en la agricultura intensiva, de la actividad industrial y del crecimiento poblacional se ha incrementado el flujo de nitrógeno y fósforo hacia el ambiente (Díaz y Rosenberg, 2008). Estos nutrientes llegan a las costas disueltos en el agua de los ríos y producen cambios en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas costeros, disminuyendo su capacidad para mantener la biodiversidad original y los servicios ambientales. El enriquecimiento excesivo del agua con nutrientes (eutrofización) muestra dos síntomas principales: la disminución de oxígeno en el agua (hipoxia) y la reproducción explosiva de algas nocivas, las cuales pueden destruir la vida acuática en las zonas afectadas (Díaz y Rosenberg, 2008; Selman *et al.*, 2008). De las 415 áreas detectadas en el mundo con este problema, 169 son hipóxicas y solamente

Mapa a Zonas costeras hipóxicas



13 sistemas se consideran en recuperación. Muchas de las zonas hipóxicas registradas ya se han vuelto fenómenos persistentes o periódicos (Mapa a). Uno de los casos de hipoxia mejor conocidos es la zona muerta del Golfo de México. En este sitio se desarrolla una gran zona hipóxica estacional cada año a finales del verano, como consecuencia del aporte de nutrientes y contaminantes que arrastra principalmente el río Mississippi, la cual ha llegado a alcanzar una superficie de hasta 22 mil km².

3. Blanqueamiento de los arrecifes de coral

Los arrecifes de coral agrupan la mayor concentración de la biodiversidad marina: albergan más de 25% de todas las especies que habitan los mares en una zona equivalente al 1% de la superficie oceánica global. Los corales generalmente se establecen cerca de los continentes, donde las aguas son claras y someras. Son altamente productivos, y proporcionan hábitat y zonas de crianza para especies de importancia comercial (como

langostas, camarones y peces), y sirven de barreras protectoras de las costas al recibir parte de la fuerza de las tormentas.

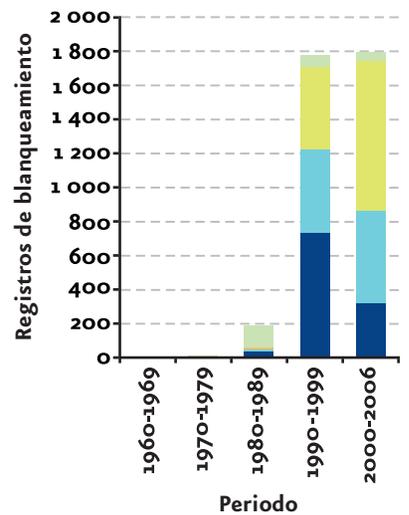
Más de la cuarta parte de los arrecifes coralinos del mundo se encuentran en riesgo alto y un tercio se consideran bajo riesgo moderado por la perturbación humana. La sobreexplotación de los recursos marinos y el desarrollo costero representan las principales amenazas. A escala mundial 36% de los arrecifes coralinos son clasificados como amenazados por sobreexplotación, 30% por el desarrollo costero, 22% por contaminación y erosión sobre los continentes y 12% por contaminación marina. Cuando estas amenazas se combinan, 58% de los arrecifes del mundo están en riesgo (Bryant *et al.*, 1998). Otras dos amenazas muy importantes derivadas del aumento de la concentración atmosférica de CO₂ y del cambio climático son la acidificación de los océanos y el aumento de la temperatura (los corales son muy sensibles a cambios en la temperatura y acidez del agua). Un aumento en el estrés ambiental con frecuencia causa que los corales expulsen sus zooxantelas simbióticas, lo que remueve su color y les da una apariencia blanca. Los corales “blanqueados” son más débiles y propensos a adquirir enfermedades. La combinación de aumento de temperatura y acidificación oceánica ha producido eventos de blanqueamiento masivos, aun con aumentos de temperatura de tan sólo 1°C (Figura a).

A nivel de especies, casi la tercera parte de las 704 especies de coral estudiadas son listadas como en peligro crítico, en

peligro o vulnerables. De estas especies, 32.8% se consideran con alto riesgo de extinción. El Mar Caribe tiene la mayor proporción de especies de coral en alto riesgo de extinción (Carpenter *et al.*, 2008). El deterioro de los arrecifes está ocurriendo con rapidez: un evento de blanqueamiento masivo en 1998 eliminó 16% de los arrecifes mundiales. Cuando el arrecife muere, también desaparecen una gran parte de las plantas y animales asociados (Mapa b).

Figura a

Blanqueamiento de arrecifes coralinos, 1960 - 2006

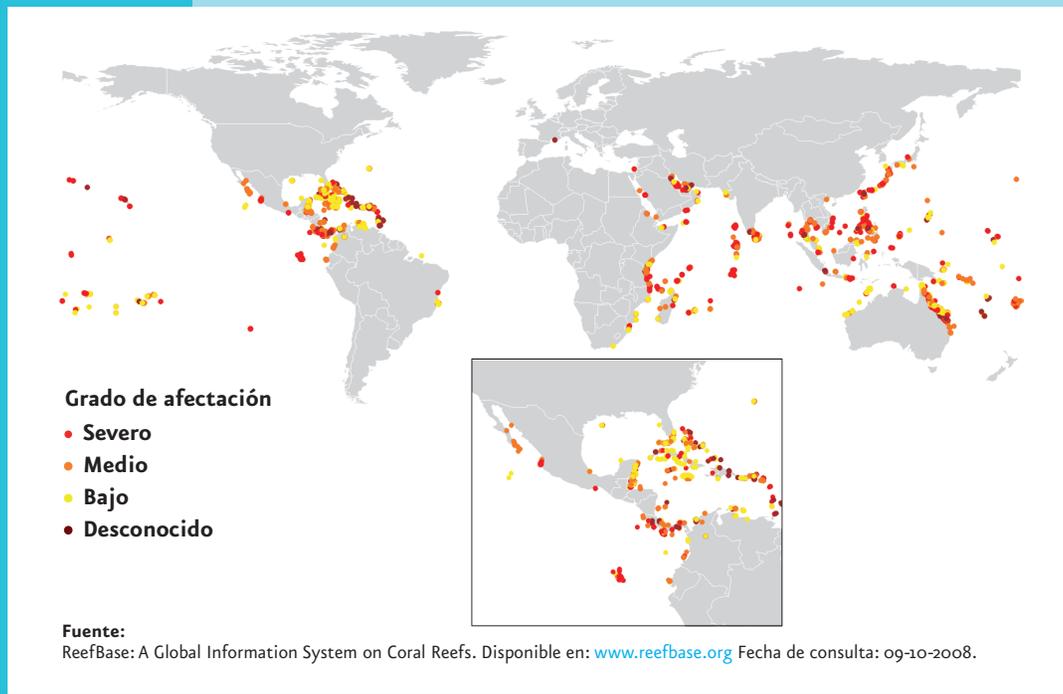


Grado de afectación desconocida Media
 Baja Alta

Fuente: ReefBase. A Global Information System on Coral Reefs. Disponible en: www.reefbase.org Fecha de consulta: 09-10-2008.

Mapa b

Registro de blanqueamiento de arrecifes de coral, 1960 - 2006



Referencias:

Beck, M. W., K. L. Heck, K. W. Able, D. L. Childers, D. B. Eggleston, B. M. Gillanders, B. S. Halpern, C. G. Hays, K. Hoshino, T. J. Minello, R. J. Orth, P. F. Sheridan y M. P. Weinstein. The Role of Nearshore Ecosystems as Fish and Shellfish Nurseries. *Issues in Ecology* 11:1-12. 2003.

Bryant, D., L. Burke, J. Mc Manus y M. Spalding. Reefs at Risk. *A map based indicator of threats to the World's Coral Reefs*. World Resources Institute. USA. 1998.

Carpenter, K. E., M. Abrar, G. Aeby, R. B. Aronson, S. Banks, A. Bruckner, A. Chiriboga, J. Cortés, J. C. Delbeek, L. DeVantier, G. J. Edgar, A. J. Edwards, D. Fenner, H. M. Guzmán, B. W. Hoeksema, G. Hodgson, O. Johan, W. Y. Licuanan, S. R. Livingstone, E. R. Lovell, J. A. Moore, D. O. Obura, D. Ochavillo, B. A. Polidoro, W. F. Precht, M. C. Quibilan, C. Reboton, Z. T. Richards, A. D. Rogers, J. Sanciangco, A. Sheppard, C. Sheppard, J. Smith, S. Stuart, E. Turak, J. E. N.

Veron, C. Wallace, E. Weil y E. Wood. One-Third of Reef-Building Corals Face Elevated Extinction Risk from Climate Change and Local Impacts. *Science* 321: 560-63. 2008.

Díaz, R. J. y R. Rosenberg. Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science* 321: 926-929. 2008.

Halpern, B.S., S. Walbridge, K. A. Selkoe, C. V. Kappel, F. Michelil, C. D'Agrosa, J. F. Bruno, K. S. Casey, C. Ebert, H. E. Fox, R. Fujita, D. Heinemann, H. S. Lenihan, E. M. P. Madin, M. T. Perry, E. R. Selig, M. Spalding, R. Steneck, R. Watson. A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Science* 319:948-952. 2008.

Hassan, R., R. Scholes y N. Ash. (Eds.) *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. Volume 1. Island Press. Washington. 2005.

Howarth, R., D. Anderson, J. Cloern, C. Elfring, C. Hopkinson, B. Lapointe, T. Malone, N. Marcus,

Recuadro

Problemas globales de los ecosistemas marinos (conclusión)

K. McGlathery, A. Sharpley y D. Walker. Nutrient Pollution of Coastal Rivers, Bays, and Seas. *Ecological Society of America. Issues in Ecology* 7: 1-15. 2000.

Nellemann, C., S. Hain y J. Alder. (Eds.). In *Dead Water- Merging of climate change with pollution, over-harvest and infestations in the world's fishing grounds. Rapid Response Assessment*. UNEP. 2008.

Pauly, D. y D. Zeller. Marine fisheries. En: C. J. Cleveland (Ed.). *Encyclopedia of Earth*. Environmental Information Coalition. National Council for Science and the Environment. Washington, D.C. 2006. Disponible en: www.eoearth.org/article/Marine_fisheries Fecha de consulta: 02-12-2008.

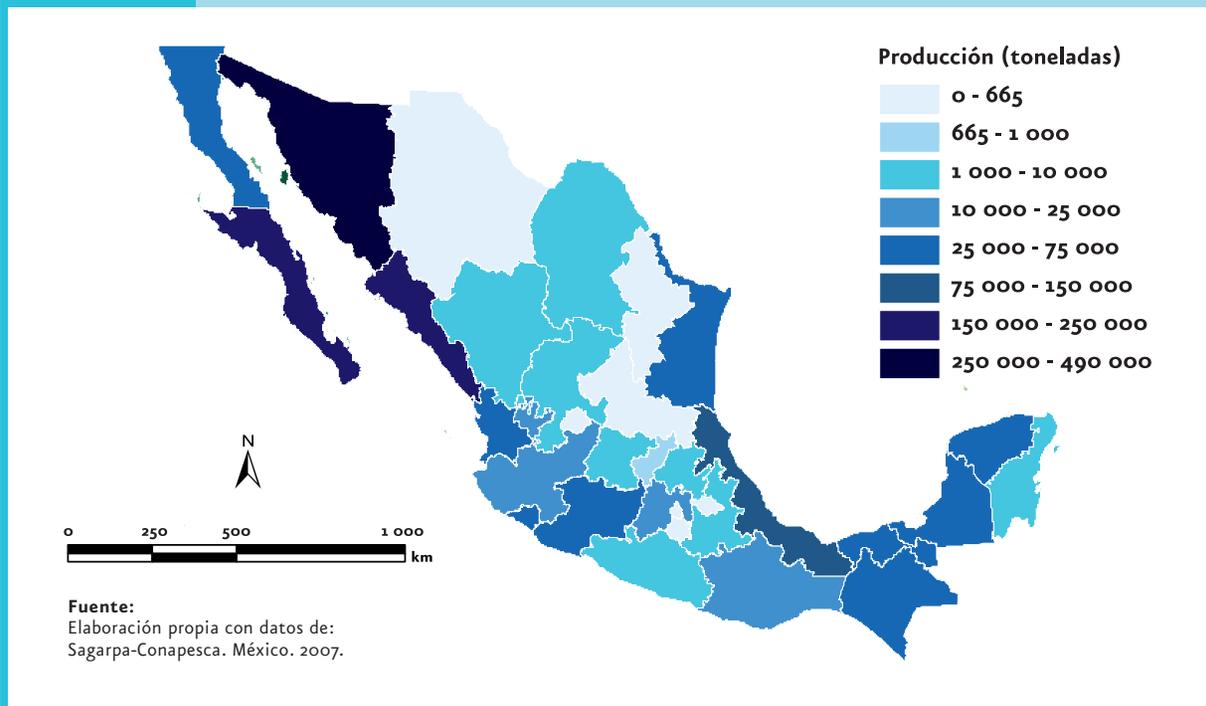
ReefBase: *A Global Information System on Coral Reefs*. Disponible en: www.reefbase.org Fecha de consulta: 9-10-2008.

Selman, M., S. Greenhalgh, R. Diaz y Z. Sugg. *Eutrophication and Hypoxia in Coastal Areas: A Global Assessment of the State of Knowledge. WRI Policy Note, Water Quality: Eutrophication and Hypoxia* 1: 1-6. 2008.

UNEP. *Vital Water Graphics*. Coastal and Marine Waters. 38. Human Actions Leading to Coastal Degradation. 2002. Disponible en: www.unep.org/dewa/assessments/ecosystems/water/vitalwater/38.htm Fecha de consulta: 04-12-2008.

Mapa 6.19

Producción pesquera por entidad federativa, 2006



por la pérdida o degradación de las áreas que ocupan estos ecosistemas o por la extracción e introducción de especies; e indirectamente por los efectos que pueden resultar de las alteraciones

en el flujo y la calidad del agua necesarios para mantener el óptimo funcionamiento de estos ecosistemas. Es importante mencionar que ambos tipos de efectos pueden presentarse dentro de

las áreas que ocupan los ecosistemas acuáticos o sus cuencas. De ahí que los escurrimientos superficiales agrícolas cargados de nutrimentos que se generan en las partes altas de las cuencas puedan alcanzar y contaminar, por medio de los afluentes de menor caudal, los grandes ríos o lagos cuenca abajo.

Las principales amenazas para la biodiversidad acuática continental son la reducción o degradación del hábitat, la introducción de especies invasoras, la sobreexplotación de los recursos pesqueros y el cambio climático (UNESCO-WWAP, 2007). Sin embargo, la modificación de los cauces por presas y embalses, la sobreexplotación del agua y su contaminación por descargas agrícolas, municipales e industriales son también fuentes importantes del deterioro de la calidad de estos ecosistemas (Tabla 6.8).

La presión que estos factores han ejercido sobre los ecosistemas acuáticos ha conducido inevitablemente a la pérdida de las especies que ahí habitan. A nivel mundial hay más especies reconocidas de agua dulce en peligro de extinción que en los ambientes terrestres o marinos. Según la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), existen en el mundo 3 mil 676 especies de agua dulce listadas como vulnerables, amenazadas o extintas (IUCN, 2007). De éstas, mil 92 son peces y mil 73 corresponden a anfibios (UNESCO-WWAP, 2007). La Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 que lista las especies y subespecies de flora y fauna silvestres en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial registra 394 vertebrados acuáticos continentales incluidos en alguna de estas categorías, de las cuales 169 son peces, 197 anfibios y 28 corresponden a reptiles. La misma Norma reporta 16 especies extintas de peces de agua dulce en el país (DOF, 2002; **IB 6.2-4**).

En el caso de los ambientes costeros y marinos, la población y el desarrollo humano también han tenido un gran impacto sobre sus ecosistemas, debido fundamentalmente a que un alto porcentaje de la población mundial habita las zonas costeras, explota sus recursos naturales y desecha sus residuos en ellas. En el año 2000, alrededor de 40% de la población mundial habitaba la franja de tierra ubicada a los 100 kilómetros de la línea de costa (CIESIN, 2006). En México, el desarrollo de la franja costera también ha sido importante: la población de los municipios costeros creció, entre los años 2000 y 2005, a una tasa anual de 1.5%, pasando de 18.9 a 20.4 millones de habitantes (**IB 6.3-5**).



Las principales amenazas para la biodiversidad acuática continental son la reducción o degradación del hábitat, la introducción de especies invasoras, la sobreexplotación de los recursos pesqueros y el cambio climático.

El crecimiento poblacional tiene un impacto directo sobre los ecosistemas costeros y marinos, principalmente por la construcción de infraestructura (a través de muelles, diques y rompeolas, entre otros), la sobreexplotación de sus recursos naturales, la disposición inadecuada de los residuos sólidos y las descargas de aguas residuales municipales sin tratamiento.

La pesca es una de las actividades humanas que más impacto ejerce sobre la biodiversidad costera y oceánica. Afecta tanto por la reducción de las poblaciones de las especies objetivo y la captura incidental de otros organismos (la llamada “fauna de acompañamiento”), como por la falta de selectividad de los métodos tradicionales de pesca. La pesca también afecta directamente a las comunidades marinas modificando los hábitats y alterando la dinámica de la cadena trófica. Según 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 seis en el Golfo y el Caribe. Desde la perspectiva de las



Tabla 6.8

Principales presiones sobre los ecosistemas acuáticos continentales y sus efectos sobre los servicios ambientales

Presión	Efecto principal	Servicio ambiental en riesgo
Crecimiento poblacional y del consumo.	Aumento de la extracción de agua y la demanda de terrenos para la agricultura.	Todas las funciones del ecosistema, incluyendo hábitat, suministro de agua y regulación.
Desarrollo de infraestructura (presas, canales, diques, transferencia entre cuencas, etc.).	La pérdida de integridad cambia los patrones de escurrimiento estacionales y el volumen de las corrientes fluviales, el transporte de nutrientes y de sedimentos. Interrupción de las migraciones de animales acuáticos.	Suministro de agua, hábitat para especies acuáticas, fertilidad de la llanura de inundación, estabilidad de las pesquerías.
Cambios en el uso del suelo.	Pérdida de hábitat y biodiversidad; cambio en patrones de escurrimiento; inhibición de la recarga natural; azolve de cuerpos de agua.	Control de inundaciones, hábitat para las especies de importancia pesquera y aves acuáticas, recreación, suministro de agua, cantidad y calidad del agua.
Sobreexplotación de recursos hídricos y poblaciones biológicas.	Reducción de poblaciones, funciones del ecosistema y biodiversidad. Agotamiento de aguas subterráneas, colapso de pesquerías.	Producción de alimento, suministro de agua, calidad y cantidad de agua.
Introducción de especies exóticas.	Competencia con las especies nativas; alteración de la productividad y de los ciclos de nutrientes; pérdida de biodiversidad.	Producción de alimento, hábitat de fauna y flora.
Descarga de contaminantes en suelos, aire o agua.	Alteración de la calidad del agua de ríos, lagos y humedales; las emisiones de gases de efecto invernadero pueden producir cambios en los patrones de precipitación, evaporación y escorrentía.	Suministro de agua, hábitat, calidad del agua, producción de alimentos, cambio climático, generación de energía, capacidad de dilución, transporte y control de inundaciones.

Fuente:

UNESCO-WWAP. *El agua, una responsabilidad compartida. 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. Sociedad Estatal Expoagua Zaragoza 2008. Zaragoza. 2008.

pesquerías marinas, la misma carta establece que en el Golfo de México y en el Pacífico, 19 y 27% de las pesquerías respectivamente, se encuentran en condiciones de deterioro, 67 y 51% en condiciones de aprovechamiento máximo sostenible, y alrededor de 15% tienen potencial de desarrollo (DOF, 2004).

Uno de los problemas más graves de la pesca es la falta de selectividad de las artes tradicionales, que produce la captura de ejemplares de muchas especies de peces e invertebrados sin valor comercial. En el caso de la pesca del camarón en México, por ejemplo, la fauna de acompañamiento la integran alrededor de 125 especies de peces, 2 de moluscos, 2 de equinodermos y 4 especies de crustáceos; 4 especies de todas las anteriores están incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2001 en alguna categoría de riesgo. Otras pesquerías pueden capturar especies de vertebrados amenazadas, entre las que se encuentran cetáceos, tiburones y tortugas marinas ([Cuadro D2_PESCA04_02](#)). Resulta difícil estimar con precisión el daño que la pesca incidental ha ocasionado en las aguas nacionales. Tan sólo en el año 2000, el descarte de fauna de acompañamiento, en buques de camarón, alcanzó cerca de 176 mil toneladas en el Pacífico, mientras que en el Golfo de México y Mar Caribe fue de 15 mil toneladas ([Cuadro D2_PESCA04_01](#)).

Algunas artes de pesca también perturban el medio marino y destruyen el hábitat de muchas especies. Las redes de arrastre barren el lecho marino en busca de camarones y otras especies de peces en el 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 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 del fondo en México, se calculó que en el año 2000, tan sólo en el Pacífico, la superficie arrastrada fue de casi 550 mil kilómetros cuadrados (es decir cerca de dos veces el estado de Chihuahua), mientras que en el Golfo de México y Mar Caribe pudo sumar los 187 mil kilómetros cuadrados (es decir, la superficie estatal de Sonora; [Cuadro D2_PESCA04_01](#)).

La introducción de especies no nativas también ha modificado la composición original de los ecosistemas acuáticos continentales. Estas especies se han introducido ya sea de manera intencional para la acuicultura, la pesca deportiva o el control biológico, o accidentalmente como resultado de la fuga de especies de ornato. Estas especies afectan a la fauna y flora nativas por la degradación del hábitat, depredación, competencia e introducción de enfermedades. El número de especies invasoras establecidas en los ecosistemas acuáticos continentales del país asciende actualmente a 76: dos especies de anfibios, 55 de peces, diez de plantas, cuatro crustáceos, un mamífero semiacuático, dos tortugas, un molusco y una medusa; su distribución abarca prácticamente todo el territorio nacional (Conabio, 2008; **IB 6.2.-2**). En el caso de las especies invasoras marinas, se han reportado 42 especies establecidas: una especie de anfibio, tres especies de peces, nueve de crustáceos, seis de moluscos, 18 de algas y cinco de otros invertebrados (Conabio, 2008; **IB 6.3.-8**).

Instrumentos para la conservación de la biodiversidad acuática

En México, como en otros países, existen diversos esquemas encaminados hacia la protección de la biodiversidad acuática continental y marina. Algunos de ellos se enfocan directamente hacia la protección de la integridad de los ecosistemas (como las ANP o los humedales de la convención



Ramsar), mientras que otros actúan, a través de la regulación del aprovechamiento de una especie o un conjunto de ellas (por ejemplo, las normas o vedas pesqueras), que pueden tener efectos en la estructura de estos ecosistemas y, por tanto, en su biodiversidad.

La creación de áreas naturales protegidas (ANP) ha sido la estrategia de conservación más utilizada en México y el mundo (ver también el capítulo de *Biodiversidad*). 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 local, regional o internacionalmente. Con respecto a los ecosistemas acuáticos continentales, en total 81 ríos y 3 mil 295 kilómetros de sus cauces están incluidos total o parcialmente dentro de las ANP federales del país. Los ríos Santa María, Grande de Santiago, Bravo, Sabinas y San Fernando son los que tienen una mayor longitud de sus cauces dentro de las ANP. Dentro del sistema de Áreas Naturales Protegidas en 2008 existía una superficie total de 4.5 millones de hectáreas de superficie marina (IB 6.3-

10). Es importante anotar que un número importante de las ANP con ecosistemas acuáticos continentales y marinos se encuentran dentro de las Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP, de las cuales se reconocen 110 en el país) y las Regiones Prioritarias Marinas (RPM, 70 en total) delimitadas por la Conabio, las cuales se distinguen por su alta diversidad biológica e integridad ecológica (Mapas 6.20 y 6.21).

Paralelamente al esquema de las ANP, existen otras estrategias de conservación como la Convención Ramsar (que se explica con mayor detalle en el Recuadro *Humedales y sitios Ramsar*

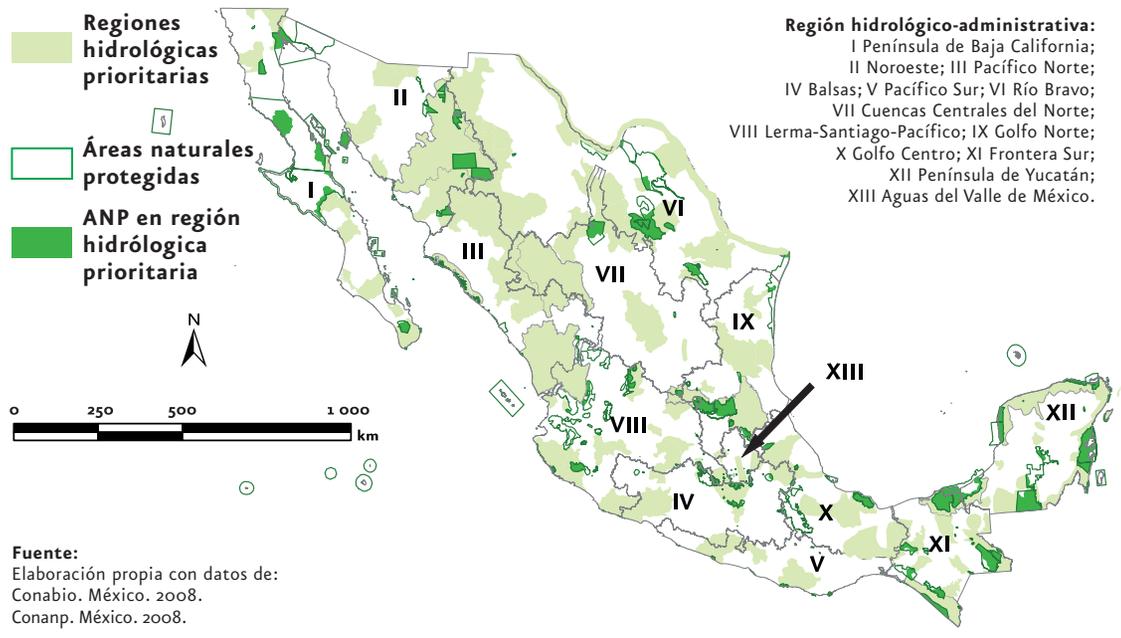
y los indicadores **IB 6.2-5** y **IC 2**) y el Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), implementado en 2003, mediante el cual se retribuye con dinero gubernamental a los propietarios de terrenos que cuenten con bosques y selvas en buen estado por los beneficios públicos que implica su conservación (para mayores detalles consultar el capítulo de *Ecosistemas terrestres*; **IB 2.2-14**; **IC 2**). Aunque este programa se enfoca específicamente en los terrenos forestales por su importancia desde el punto de vista del ciclo hidrológico, ofrece también a sus propietarios una alternativa al desmonte para la agricultura y la ganadería, principales causas de la pérdida de la cobertura vegetal natural en el país.

Al lado de los esquemas de conservación de los ecosistemas, existen otros instrumentos que se han empleado para la protección de los recursos acuáticos, especialmente en el caso de la pesca. Indirectamente, a través de ellos pueden protegerse ciertas especies y con ello, la biodiversidad de las comunidades ecológicas. Con respecto a la problemática de la pesca incidental, se han implementado distintas estrategias para reducir su volumen e impactos. 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 (**IB 6.4.2-5**; ver también el Recuadro de *Las tortugas marinas mexicanas* en el capítulo de *Biodiversidad*).

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



Mapa 6.20 Áreas naturales protegidas en regiones hidrológicas prioritarias, 2008



Mapa 6.21 Áreas naturales protegidas en regiones marinas prioritarias, 2008



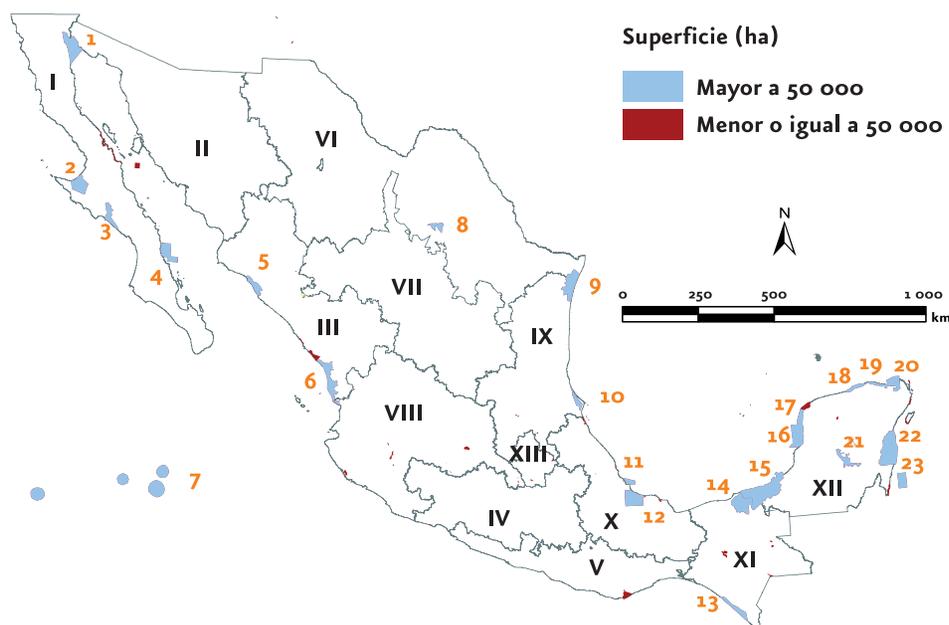
De acuerdo con la definición establecida en la Convención Ramsar, se consideran humedales: “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en

marea baja no exceda de seis metros” (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006).

En México, el tipo de humedal predominante es el marino, del cual sobresalen los estuarios y las lagunas costeras, seguidos por los humedales continentales y en menor proporción se encuentran los humedales de tipo artificial

Mapa a

Distribución geográfica de los principales humedales



Región hidrológico-administrativa:

I Península de Baja California; II Noroeste; III Pacífico Norte; IV Balsas; V Pacífico Sur; VI Río Bravo; VII Cuencas Centrales del Norte; VIII Lerma-Santiago-Pacífico; IX Golfo Norte; X Golfo Centro; XI Frontera Sur; XII Península de Yucatán; XIII Aguas del Valle de México.

Humedales:

1 Humedales del Delta del Río Colorado, 2 Laguna Ojo de Liebre, 3 Laguna San Ignacio, 4 Parque Nacional Bahía de Loreto, 5 Laguna Playa Colorada Santa María La Reforma, 6 Marismas Nacionales, 7 Reserva de la Biosfera Archipiélago de Revillagigedo, 8 Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas, 9 Laguna Madre, 10 Laguna Tamiahua, 11 Sistema Arrecifal Veracruzano, 12 Sistema Lagunar Alvarado, 13 Reserva de la Biosfera La Encrucijada, 14 Pantanos de Centla, 15 Laguna de Términos, 16 Los Petenes, 17 Ría Celestún, 18 Dzilam, 19 Ría Lagartos, 20 Yum Balam, 21 Bala'an Ka'ax, 22 Sian Ka'an, 23 Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro.

Fuente:

Elaboración propia con datos de: Conanp. México. 2007.

representados por reservorios, diques, presas y estanques artificiales (Mapa a). Dada la importancia de los humedales como sitios en donde se llevan a cabo importantes procesos hidrológicos y se mantiene una elevada riqueza biológica, en 1971 se creó la Convención Ramsar, cuyos objetivos principales son la conservación y el uso racional de los humedales. En 2008, la lista de países integrados a esta convención sumaba 158, con alrededor de mil 771 sitios registrados cubriendo poco menos de 162 millones de hectáreas. En el caso de México, el primer sitio incluido en la lista Ramsar fue “Ría Lagartos”, en el estado de Yucatán, en 1986. Actualmente México cuenta con 112 sitios Ramsar, abarcando una superficie de alrededor de 8.1 millones de hectáreas (Conanp, 2008, CUADRO D3_

BIODIV01_06). Estos sitios constituyen el hábitat de numerosas especies endémicas, sujetas a protección especial, amenazadas o en peligro de extinción, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (DOF, 2002).

Referencias:

DOF. NOM-059-SEMARNAT-2001. Diario Oficial de la Federación. México. 2002 (06 de marzo).

Secretaría de la Convención de Ramsar. Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971). 4a. edición. Gland (Suiza). 2006. Disponible en: www.ramsar.org/ Fecha de consulta: 01-12-2008.

Secretaría de la Convención de Ramsar. The List of Wetlands of International Importance. 2008. Disponible en: www.ramsar.org/index_list.htm Fecha de consulta: 01-12-2008.

Conanp. Logros 2008. México. 2008.

reducir la captura incidental de los delfines asociados. Los esfuerzos realizados para la protección de delfines 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 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 (AIDCP, por sus siglas en inglés) y de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) e incorpora el “límite de mortalidad incidental de delfines” (LMD) por barco como instrumento

básico de control.

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 estos recursos.

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. En 2004, 30 pesquerías contaban con instrumentos de este tipo (Semarnat, 2005). 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.

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 su uso y manejo racional, ni su protección y conservación. 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 (ver también el Recuadro *Ordenamientos ecológicos marinos* en capítulo de *Ecosistemas terrestres*).

REFERENCIAS

- Aburto-Oropeza, O., E. Ezcurra, G. Danemann, V. Valdez, J. Murray y E. Sala. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of National Academy of Sciences* 105:10456-10459. 2008.
- Aguilar, V. Aguas continentales y diversidad biológica de México: Un recuento actual. *Biodiversitas* 43:1-13. 2003.
- Aguilar, V., M. Kolb, D. Hernández, T. Urquiza y P. Koleff. Prioridades de conservación de la Biodiversidad Marina de México. *Biodiversitas* 79:2-15. 2008.
- Arriaga, L., E. Vázquez-Domínguez, J. González-Cano, R. Jiménez, E. Muñoz y V. Aguilar. *Regiones Prioritarias Marinas de México*. Conabio. México. 1998.
- Arriaga, L., V. Aguilar y J. Alcocer-Durand. *Aguas continentales y diversidad biológica de México*. Conabio. México. 2000.
- Carabias, J. y R. Landa. *Agua, medio ambiente y sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*. Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México y Fundación Gonzalo Río Arronte. México. 2005.
- Carpenter, S., N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley y V. H. Smith. Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen. *Issues in Ecology* 3:1-12. 1998.
- Carricart-Ganivet, J. P. y G. Horta-Puga. Arrecifes de coral de México. En: *Biodiversidad Marina y Costera*. CONABIO-CIQRO. México. 1993.
- 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.
- CIESIN. *CSD Coastal Population Indicator: Data and Methodology Page*. USA. 2006. Disponible en: sedac.ciesin.columbia.edu/es/csdcoastal.html Fecha de consulta 12-12-2008.
- Conabio. *Capital Natural y Bienestar Social*. Conabio. 2006.
- Conabio. *Sistema de información sobre especies invasoras en México*. México. 2008. Disponible en: www.conabio.gob.mx/invasoras/index.php/Portada Fecha de consulta 01-12-2008.
- Conagua. *Estadísticas del Agua en México, 2007*. Conagua. México. 2007.
- Conagua. *Estadísticas del Agua en México, 2008*. Conagua. México. 2008.
- Conapo. *Proyecciones de la Población de México 2005-2050*. México. 2006.
- 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* 2:1-18. 1997.
- 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).
- DOF. NOM-059-SEMARNAT-2001. Diario Oficial de la Federación. México. 2002 (06 de marzo).
- DOF. *Carta Nacional Pesquera*. Diario Oficial de la Federación. México. 2004 (15 de marzo).
- Falkenmark, M. y J. Rockström. *Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in Ecohydrology*. Reino Unido. 2004.
- FAO. AQUASTAT. *Sistema de Información sobre el uso del agua en la agricultura y el medio rural de la FAO*. Roma. 2007. Disponible en: www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm Fecha de consulta 01-12-2008.
- FAO. *El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2006*. Roma. 2007. Disponible en: www.fao.org/docrep/009/A0699s/A0699s00.htm Fecha de consulta 01-12-2008.
- FAO. *El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2008*. Roma. 2009. Disponible en: www.fao.org/docrep/011/i0250s/i0250s00.htm Fecha de consulta 03-03-2009.
- Finlayson, C. M. y R. D'Cruz. *Inland Water Systems*. En: Hassan, R., R. Scholes y N. Ash (Eds.). *Ecosystems and human well-being, Volume 1: current status and trends: findings of the Condition and Trends Working Group*. Island Press. USA. 2005.
- 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.
- IUCN. *2007 IUCN Red List of Threatened Species*. 2007. Disponible en: www.iucnredlist.org Fecha de consulta 01-12-2008.
- MEA. *Ecosystems and Human Well-Being: Our Human Planet. Summary for Decision Makers*. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. Washington D.C. 2005.
- Miller, R. R. *Composition and derivation of the freshwater fish fauna of Mexico*. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 30:121-153. 1986.
- 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 Cooperation and Development. France. 2002.

OECD. *Water. Performance and Challenges in OECD Countries*. Environmental Performance Reviews. 2003.

ONU. *Objetivos de Desarrollo del Milenio*. Informe 2008. U.S.A. 2008.

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.

PNUMA. *Anuario Geo 2003*. División de Evaluación y Alerta Temprana. Kenia. 2004. Disponible en: www.unep.org/geo/yearbook Fecha de consulta 01-12-2008.

Revenge, C., J. Brunner, N. Henninger, K. Kassem y R. Payne. *Pilot Analysis of Global Ecosystems. Freshwater Systems*. World Resources Institute. Washington, D.C. 2000.

Reyna B., A. y J. C. Hernández E. *Poblamiento, desarrollo rural y medio ambiente. Retos y prioridades de la política de población*. Conapo. 2006. Disponible en: www.conapo.gob.mx/publicaciones/sdm2006/sdm06_12.pdf Fecha de consulta 01-12-2008.

Sagarpa. Conapesca. México. 2007.

Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2005*. Compendio de Estadísticas Ambientales. México. 2005.

Shiklomanov, I. A. *World Water Resources: Modern Assessment and Outlook for the 21st Century. Summary of World Water Resources at the Beginning of the 21st*

Century. IHP-UNESCO. 1999.

Silk, N. y K. Ciruna (Eds.). *A Practitioner's Guide to Freshwater Biodiversity Conservation*. The Nature Conservancy. Boulder, Colorado. 2004.

Spalding, M. D., C. Ravilious y E. P. Green. *World Atlas of Coral Reefs*. WCMC-UNEP. University of California Press. Berkeley. USA. 2001.

UN. *Coping with water scarcity. Challenge of the twenty-first century*. USA. 2007.

UN. *World Urbanization Prospects. The 2007 Revision. Executive Summary*. USA. 2008.

UNDP, UNEP, World Bank y WRI. *World Resources 2000-2001*. WRI. U.S.A. 2000.

UNEP. *Vital Water Graphics*. 2002. Disponible en: www.unep.org/dewa/assessments/ecosystems/water/vitalwater/15.htm#16. Fecha de consulta: 17-09-2008.

UNEP. *Global Environment Outlook, GEO4 environment for development*. Malta. 2007.

UNESCO-WWAP. *El agua, una responsabilidad compartida*. 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Sociedad Estatal Expoagua Zaragoza 2008. Zaragoza. 2007.

Villaseñor-Talavera, R. Mecanismos para la regulación y control de la pesca. En: Morán-Angulo, R. E., S. Santos-Guzmán, M. T. Bravo-Mercado y J. R. Ramírez-Zavala (Eds.). *Manejo de recursos pesqueros*. Reunión Temática Nacional. Universidad Autónoma de Sinaloa. México. 2002.

Vörösmarty, C. J., C. Lévêque, C. Revenge, R. Bos, C. Caudill, J. Chilton, E. M. Douglas, M. Meybeck, D. Prager, P. Balvanera, S. Barker, M. Maass, C. Nilsson, T. Oki, C. A. Reidy, F. Rijsberman, R. Costanza y P. Jacobi. *Fresh Water*. En Hassan, R., R. Scholes y N. Ash. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, Volume 1. Millennium Ecosystem Assessment Series. Island Press. Washington,

Covelo, London. 2005.

WHO. *Guidelines for Drinking-water Quality*. Vol. 1, 3rd. Ed. World Health Organization. Geneva. 2004.

WHO y UNICEF. *Meeting the MDG Drinking Water and Sanitation Target: A Mid-term Assessment of Progress*. WHO. Geneva, New York. 2004.

WHO. *Water, sanitation and hygiene links to health. Facts and Figures updated November 2004*. World Health Organization. Disponible en: www.who.int/water_sanitation_health/publications/en/

Fecha de consulta: 01-12-2008.

WHO y UNICEF. *Joint Monitoring Programme (JMP) for water supply and sanitation*. 2008. Disponible en: www.wssinfo.org/en/welcome.html Fecha de consulta: 01-12-2008.

Wilson, M. A. y S. R. Carpenter. Economic valuation of freshwater ecosystems in the United States 1971-1997. *Ecological Applications* 9: 772-783. 1999.

Capítulo 7. Residuos





Residuos

En México, como en otros países, el proceso de industrialización que se intensificó a partir de la segunda mitad del siglo pasado derivó en una mayor demanda de materias primas para satisfacer el creciente consumo de bienes y servicios de una población cada vez más numerosa y con patrones de consumo cada vez más demandantes. Como consecuencia, se agravaron los problemas ambientales como la contaminación del aire y la generación de residuos tanto urbanos como industriales. Este último se acompañó, inevitablemente, por la disposición inadecuada de los residuos a lo largo del territorio, lo que afectó y continúa impactando directa o indirectamente la salud de la población y de los ecosistemas naturales (ver el Recuadro *Impactos de los residuos sobre la población y los ecosistemas*).

Más formalmente, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) define a los residuos como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido,

líquidos o gases y que se contienen en recipientes o depósitos; pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley (DOF, 2003). En función de sus características y orígenes, se les clasifica en tres grandes grupos: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP).

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS¹

Los residuos sólidos urbanos son aquéllos generados en las casas habitación como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas (por ejemplo, de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques). Proviene también de cualquier otra actividad que se desarrolla dentro de establecimientos o en la vía pública, con características domiciliarias, y los resultantes de las vías y lugares públicos siempre que no sean considerados como residuos de otra índole (DOF, 2003).

Generación de residuos sólidos urbanos

Las cifras actuales sobre la generación de RSU a nivel nacional presentan limitaciones importantes, básicamente porque no se trata de mediciones directas, sino de estimaciones. La estimación de la generación nacional se calcula, conforme a lo establecido en la norma NMX-AA-61-1985 sobre la Determinación de la Generación de Residuos Sólidos, con base en la generación promedio de residuos sólidos por habitante (medida en kg/hab/día), a partir de la información obtenida de muestreos aleatorios en campo, con duración de ocho días, para cada uno de los estratos socioeconómicos de la población. A partir de las estimaciones de generación per cápita puede calcularse la generación diaria y un estimado anual a nivel nacional.

¹Con la publicación de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (DOF, 2003), los residuos sólidos municipales (RSM) cambiaron su denominación a la de residuos sólidos urbanos (RSU). En este capítulo se denominarán con este último nombre, incluyendo aquéllos a los que se hace referencia hasta antes de 1997, que fueron generados con base en la Norma Mexicana NMX-AA-61-1985, la que establece el método para la determinación de la generación de residuos sólidos municipales (DOF, 1985).

El desarrollo económico, la industrialización y la implantación de modelos económicos que conllevan al aumento sostenido del consumo, han impactado significativamente en el volumen y la composición de los residuos producidos por las sociedades del mundo. Las consecuencias ambientales de la inadecuada disposición de los residuos pueden ser negativas en la salud de la población y de los ecosistemas naturales. Algunos impactos de los residuos son los siguientes:

- **Generación de contaminantes y gases de efecto invernadero:** la descomposición de los residuos orgánicos produce biogases que resultan desagradables por los olores que generan, además de ser peligrosos por su toxicidad e incluso, por su explosividad. Entre ellos destacan el bióxido y monóxido de carbono (CO_2 y CO , respectivamente), metano (CH_4), ácido sulfhídrico (H_2S) y compuestos orgánicos volátiles (COVs, entre ellos la acetona, benceno, estireno, tolueno y tricloroetileno). Algunos, como el CO_2 y el CH_4 , además de alterar la calidad del aire, favorecen, como gases de efecto invernadero, el calentamiento global.

- **Contaminación de los suelos y cuerpos de agua:** el contacto del agua con los residuos puede generar lixiviados (es decir, líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales) que contienen, en forma disuelta o en suspensión, sustancias que se infiltran en los suelos o escurren fuera de los sitios de depósito. Los lixiviados pueden contaminar los suelos y los cuerpos de agua, provocando su deterioro y la reducción de su productividad, así como representar un riesgo para la salud humana y de los demás organismos.

- **Proliferación de fauna nociva y transmisión de enfermedades:** los residuos orgánicos que se disponen atraen a un numeroso grupo de especies de insectos, aves y mamíferos que pueden transformarse en vectores de enfermedades peligrosas como la peste bubónica, tifus marino, salmonelosis, cólera, leishmaniasis, amebiasis, disentería, toxoplasmosis, dengue y fiebre amarilla, entre otras.

Referencias:

Semarnat. *Bases para Legislar la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. México. 2006.

Semarnat. *Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental de México 2005*. México. 2006.

En 2007 se estimó una generación de 36.9 millones de toneladas, lo que equivale a una producción diaria de aproximadamente 101 mil toneladas. Esta cifra se ha incrementado notablemente en los últimos años, debido básicamente al crecimiento urbano, al desarrollo industrial, a las modificaciones tecnológicas y al cambio en los

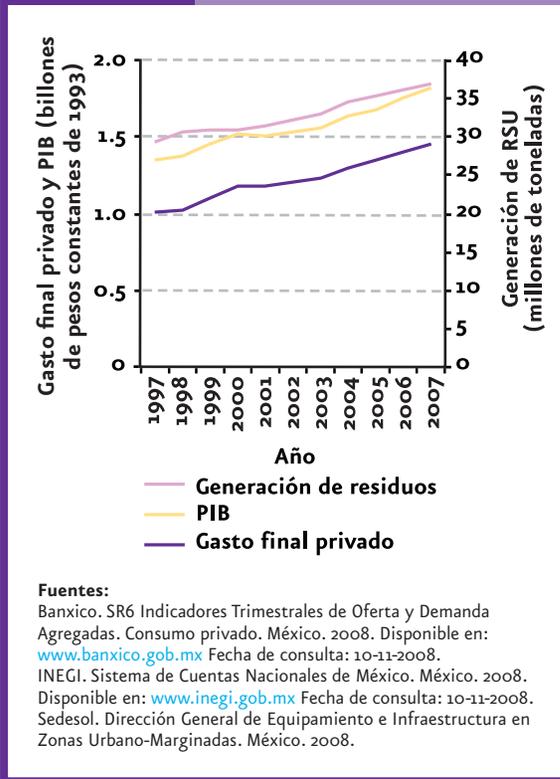
patrones de consumo de la población. Ejemplo de ello es que en el transcurso de los últimos diez años, la generación total de RSU se incrementó 26%, paralelamente al crecimiento del producto interno bruto (PIB) y al gasto de la población² (Figura 7.1; Cuadro D3_RSM01_02; IB 4-1 y 4-2).



²Se refiere al gasto de consumo final privado, el cual es el valor total de todas las compras en bienes y servicios de consumo, individuales y colectivos, realizadas 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, 2008).

Figura 7.1

Gasto final privado, producto interno bruto (PIB) y generación de RSU, 1997 - 2007

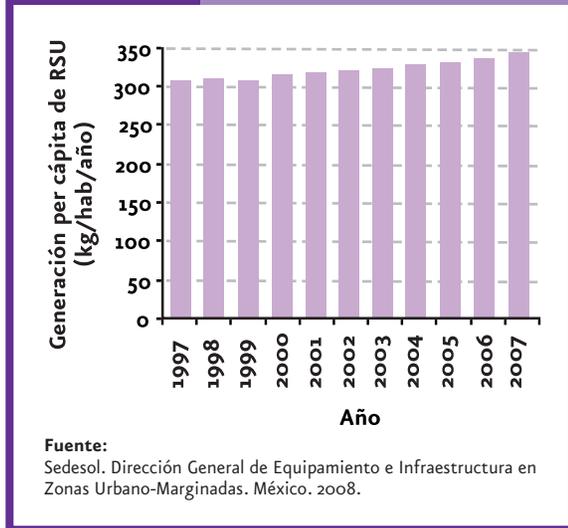


A nivel de los habitantes del país, la generación per cápita diaria creció de 300 gramos en 1950, a casi un kilogramo en 2007. En términos anuales, la generación per cápita se incrementó en promedio 4 kilogramos por año entre 1997 y 2007, alcanzando los 349 kilogramos por habitante en el 2007 (Figura 7.2; **IB 4-2**). Considerando a los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), en 2006 la generación per cápita nacional (336 kg/hab/año) resultó 39% menor al promedio de los países que la componen (550 kg/hab/año; Figura 7.3). En ese año, un ciudadano mexicano promedio generó 29% más residuos que un ciudadano polaco y cerca del 45% del volumen producido por un habitante irlandés promedio (OCDE, 2008).



Figura 7.2

Generación per cápita de RSU en México, 1997 - 2007

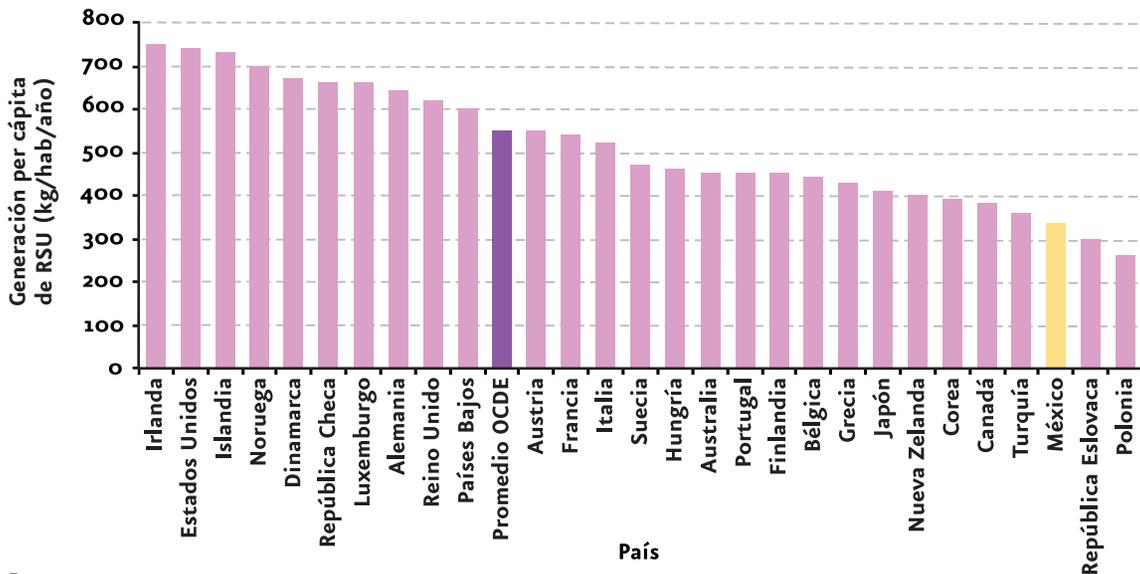


La generación per cápita muestra diferencias importantes entre regiones y entidades federativas del país, debidas básicamente a la influencia de factores culturales, niveles de ingreso y a la dinámica del movimiento hacia los centros urbanos, entre otros ([Cuadro D3_RSM01_01](#)). Si se considera la regionalización de la Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol) para el análisis de la generación de residuos, en 2007, el Distrito Federal y la Frontera Norte registraron las mayores generaciones de RSU per cápita, con cerca de 1.4 y 1.1 kilogramos al día, respectivamente, mientras que los habitantes de otras zonas, como la región Sur, generaron en promedio menos de un kilogramo al día (Mapa 7.1).

En cuanto a la generación total de residuos, también existen diferencias importantes por región. Por ejemplo, la Centro contribuye con la mitad de la generación de los RSU en el país, seguida por la Frontera Norte (16% del total) y el Distrito Federal (13 %; [Figura 7.4; Cuadro D3_RSM01_01](#)). En el periodo 1997-2007, las regiones

Figura 7.3

Generación de RSU per cápita en países de la OCDE, 2006

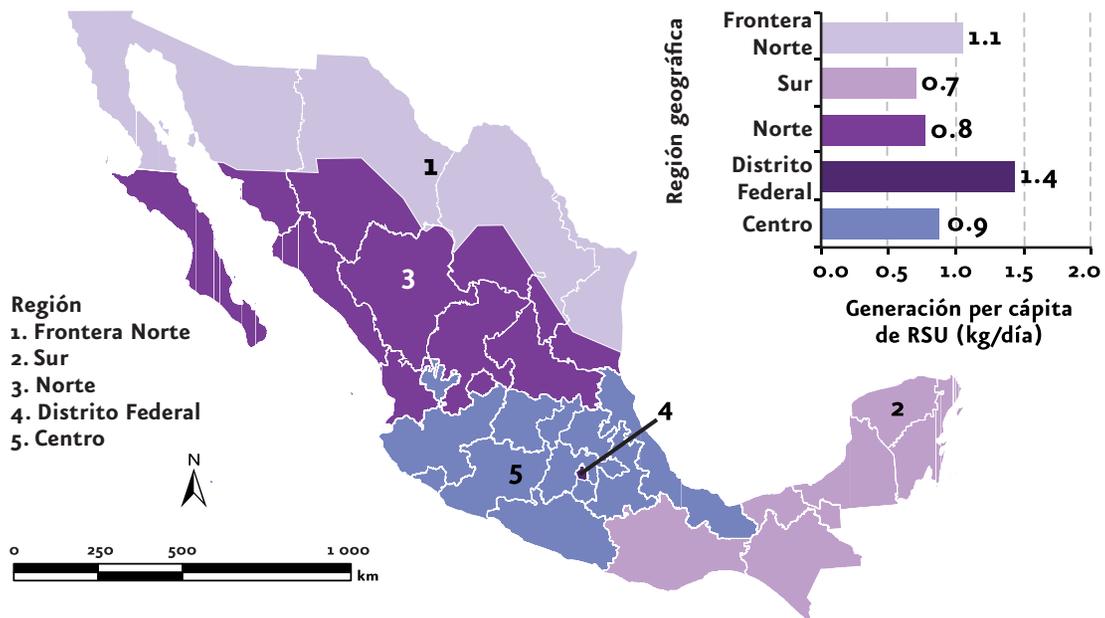


Fuentes:

OECD. OECD Environmental Data. Compendium 2006/2007. France, 2008. Disponible en: www.oecd.org/document/49/0,3343,en_2825_495628_39011377_1_1_1_1,00.html Fecha de consulta: 10-09-2008. Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2007.

Mapa 7.1

Regionalización para el análisis de generación de RSU y generación per cápita, 2007

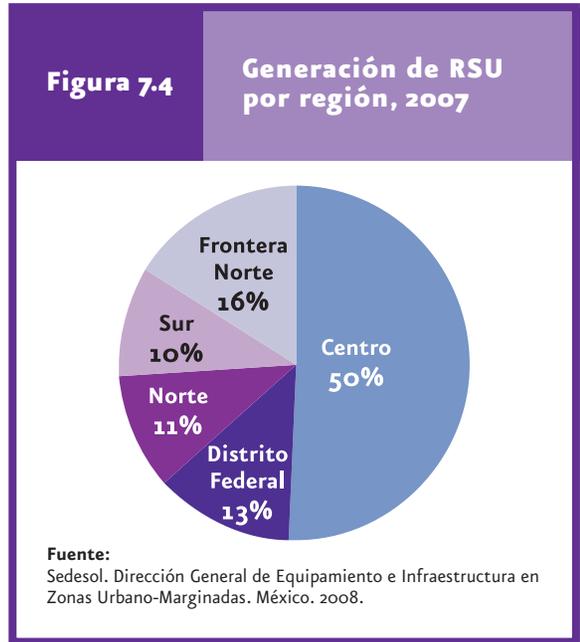


Fuentes:

Semarnap. Estadísticas del Medio Ambiente. México. 1997. Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2007.

Centro, Sur y el Distrito Federal aumentaron su generación de residuos en un 33, 26 y 13%, respectivamente. Casos notables fueron los de la Frontera Norte y la región Norte, que en el mismo periodo aumentaron su generación, en el primer caso, casi tres veces (pasando de más de 2 mil toneladas en 1997 a cerca de 6 mil en 2007) y, en el segundo caso, disminuyendo alrededor de 33%.

En 2007, las entidades que generaron mayores volúmenes de RSU fueron el Estado de México, Distrito Federal y Jalisco, mientras que Colima, Baja California Sur, Campeche y Nayarit registraron las menores volúmenes (Mapa 7.2; Cuadro D3_RSM01_04). Si se analiza la contribución relativa al producto interno bruto nacional de los estados, puede observarse que guarda una relación lineal positiva con la contribución a la generación nacional de RSU (Figura 7.5). Sin embargo, existen entidades como el Estado de México y el Distrito Federal, cuya contribución a la producción total nacional de RSU se aparta significativamente de la tendencia que siguen el resto de las entidades.



Si se considera la generación de residuos de acuerdo al tamaño de las localidades, se observa que aquéllas con una población menor a los 15 mil habitantes (las llamadas “rurales” o “semiurbanas”, y que albergan 37% de la población del país) generaron

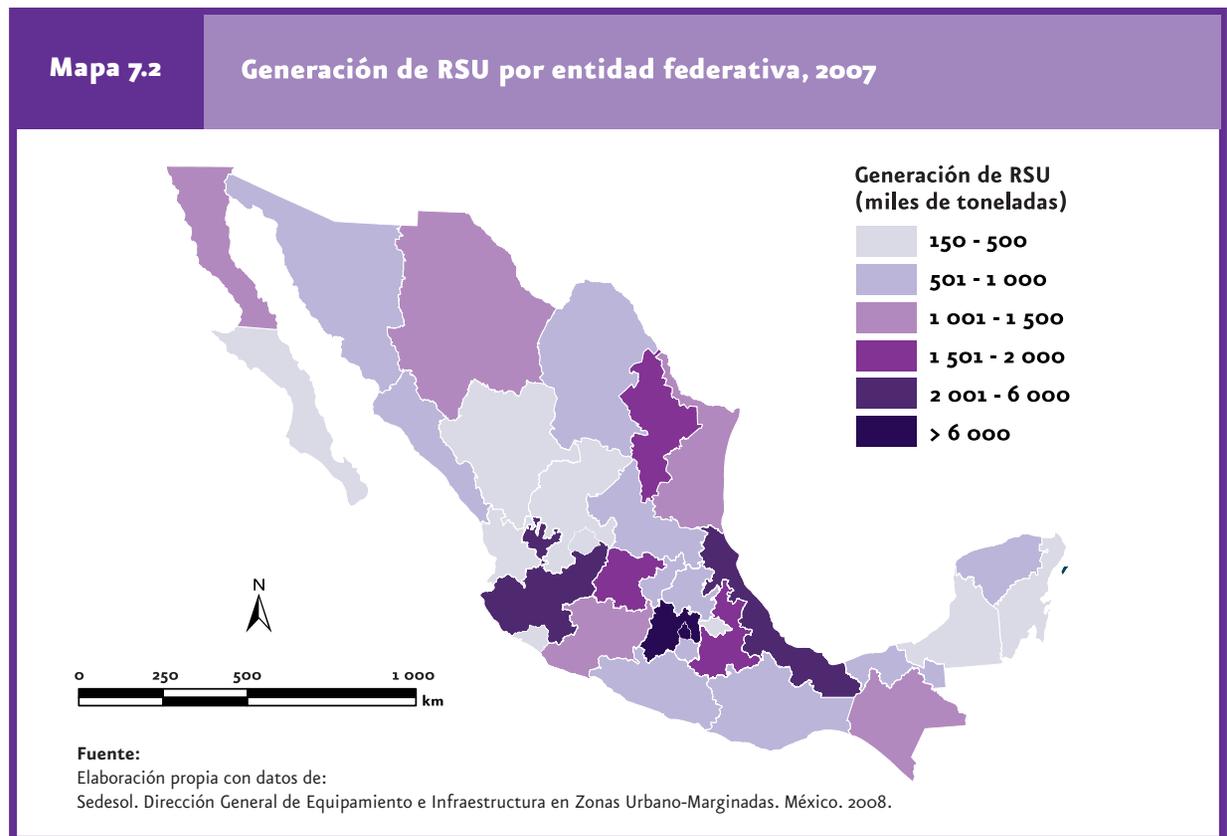
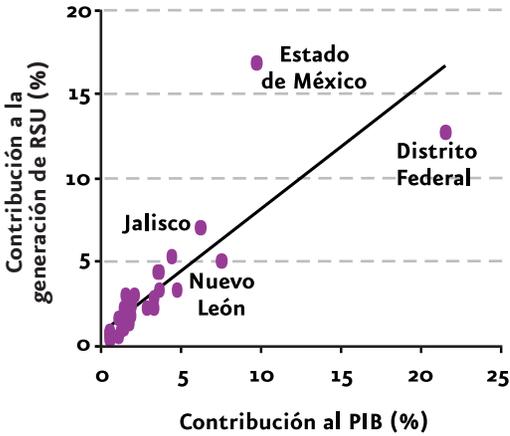


Figura 7.5

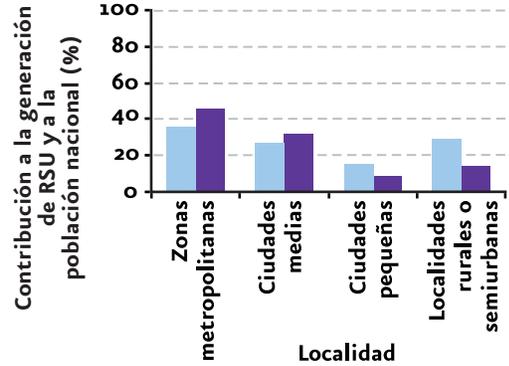
Contribución al PIB y a la generación de RSU por entidad federativa, 2006



Fuentes:
INEGI. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa 1998-2006. México. 2007.
Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2007.

Figura 7.6

Generación de RSU por tipo de localidad, 2007



Nota: Datos de 2005

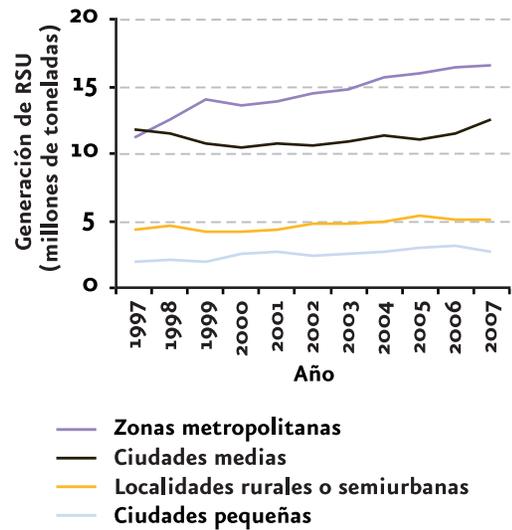
Fuentes:
INEGI. II Censo de Población y Vivienda 2005 y estimaciones del Conapo. Disponible en: www.conapo.gob.mx/ocifras/5.htm
Fecha de consulta: 10-09-2008.
Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2008.

el 13.6% del volumen nacional producido, mientras que las zonas metropolitanas (con más de un millón de habitantes) contribuyeron con 44.9% de los residuos totales (Figura 7.6). La evolución de la generación de residuos por tipo de localidad entre 1997 y 2007 muestra que las zonas metropolitanas incrementaron 48% el volumen de generación, mientras que las ciudades pequeñas lo hicieron en 45% y las rurales o semiurbanas en 15% (Figura 7.7). Las ciudades medias prácticamente no aumentaron el volumen de residuos generados durante este periodo (Figura 7.7; Cuadro D3_RSM01_02).

La composición de los residuos también ha cambiado de manera importante en el tiempo a nivel nacional. En general, la composición de los RSU depende, entre otros factores, de los patrones de consumo de la población. Se ha encontrado que existe una correlación entre la composición de los RSU generados y las condiciones económicas de los países: aquéllos con menores ingresos generan menos residuos y en sus componentes predomina

Figura 7.7

Generación de RSU por tipo de localidad, 1997 - 2007



Fuente:
Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2008.

la materia orgánica, en contraste con los países con mayores ingresos (BID-OPS, 1997). El caso de México ilustra la transformación entre ambos tipos de economías: en la década de los 50, el porcentaje de residuos orgánicos en la basura oscilaba entre 65 y 70% de su volumen, mientras que para 2007, esta cifra se redujo al 50%. (Figura 7.8; Cuadro D3_RSM01_10). En esta última fecha, 32.3% de los RSU generados eran potencialmente reciclables, destacando el papel y cartón (14.9%), vidrio (6.4%), plástico (6%), metal (3.5%) y textiles (1.5%).

En 2007, el 32.3% de los RSU generados eran parcialmente reciclables.

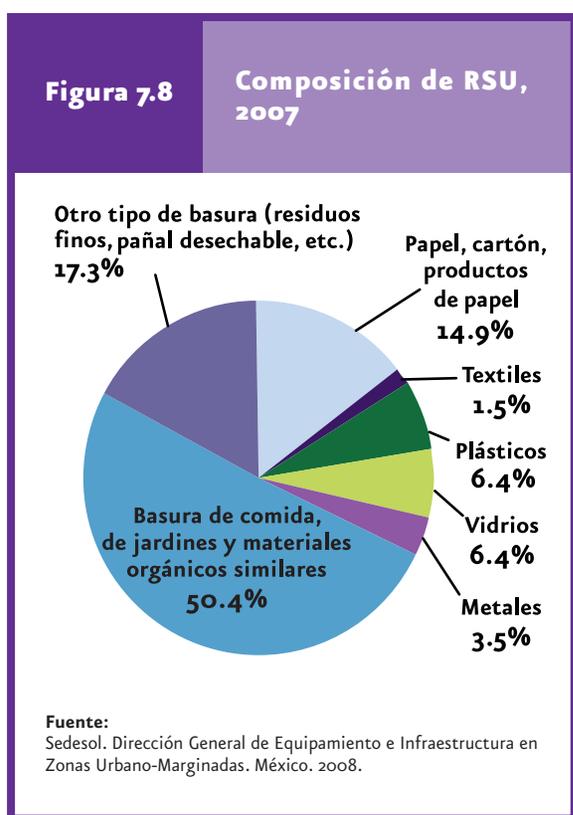
desperdicios, y evitar el impacto potencial que podrían ocasionar sobre los ecosistemas. Durante mucho tiempo, el manejo de los RSU no fue el más adecuado y hoy día no se han incorporado en todo el territorio nacional técnicas modernas para la solución de este problema, por lo que es relativamente frecuente que los residuos se depositen en espacios cercanos a las vías de comunicación, o bien, sobre depresiones naturales del terreno, tales como cañadas, barrancas y cauces de arroyos.

El manejo de los RSU comprende diferentes fases, que van desde su generación, almacenamiento, transporte y tratamiento, hasta su disposición en diversos sitios. Algunas de ellas involucran aspectos importantes del ciclo de vida de los residuos, tales como la recolección, el reciclaje y la disposición final, las cuales se tratan con más detalle en los siguientes párrafos.

Recolección

En 1996 se recolectaba cerca de 70% de los residuos generados en el país, cifra que en 2007 alcanzó 88.4% (Figura 7.9; Cuadro D3_RSM01_05). Sin embargo, esta cifra también difiere si se trata de zonas metropolitanas, ciudades medias o pequeñas áreas urbanas. En las grandes zonas metropolitanas del país, la cobertura en la recolección de los residuos alcanza 95%, mientras que en las ciudades medias varía entre 75 y 85% y en las pequeñas áreas urbanas entre 60 y 80% (Semarnat-INE, 2006).

En 2007, los estados que registraron la mayor cobertura en la recolección de RSU fueron el Distrito Federal (98% del volumen generado), Aguascalientes (97.5%), Baja California Sur (94.7%) y Tlaxcala (94.4%), mientras que los estados con menor cobertura fueron Hidalgo (78.1%), Durango (78.6%), Oaxaca (78.9%) y Michoacán (79.9%; Mapa 7.3; Cuadro D3_RSM01_05).

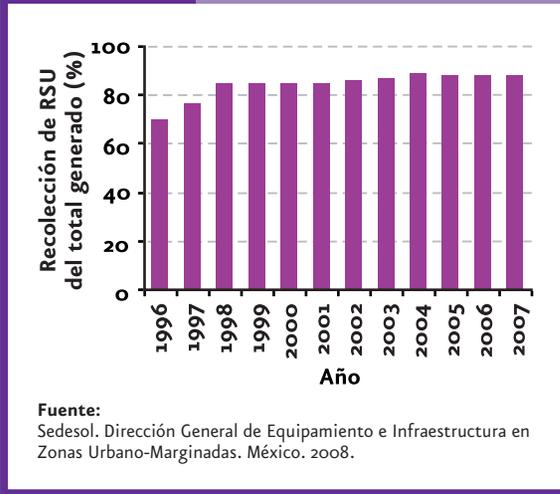


Manejo y disposición final de los residuos sólidos urbanos

El manejo adecuado de los RSU tiene como objetivo final proteger la salud de la población, reduciendo su exposición a lesiones, accidentes, molestias y enfermedades causadas por el contacto con los

Figura 7.9

Recolección de RSU, 1996 - 2007



En 1996, se recolectaba en el país 70% de los residuos generados, en 2007 aumentó a 88.4%.

final de residuos, en 2007 se recicló 3.3% del volumen de los RSU generados

(Figura 7.10; Cuadro D3_RSM01_10; IB 4-5). Sin embargo, esta cifra podría ser mayor, e incluso alcanzar el 10%, dado que muchos de los RSU que se puede reciclar se recuperan directamente en los contenedores y en los vehículos de recolección. Del volumen total de RSU reciclados en 2007, el mayor porcentaje correspondió al papel, cartón y sus derivados (38.7%), seguidos por el vidrio (34.7%) y los metales (26%; Figura 7.11; Cuadro D3_RSM01_10). Por otro lado, si se considera el volumen reciclado de cada tipo de RSU con respecto a su volumen producido, los sólidos que más se reciclaron en 2007 fueron los metales (24.1% del total de metales generados), el vidrio (17.8%), papel (8.5%) y los plásticos y textiles, con 0.3% cada uno.



Reciclaje

El volumen de RSU que se recicla en el país, aunque se ha incrementado, aún resulta bajo. De acuerdo con las cifras obtenidas de los sitios de disposición

Mapa 7.3

Recolección de RSU por entidad federativa, 2007

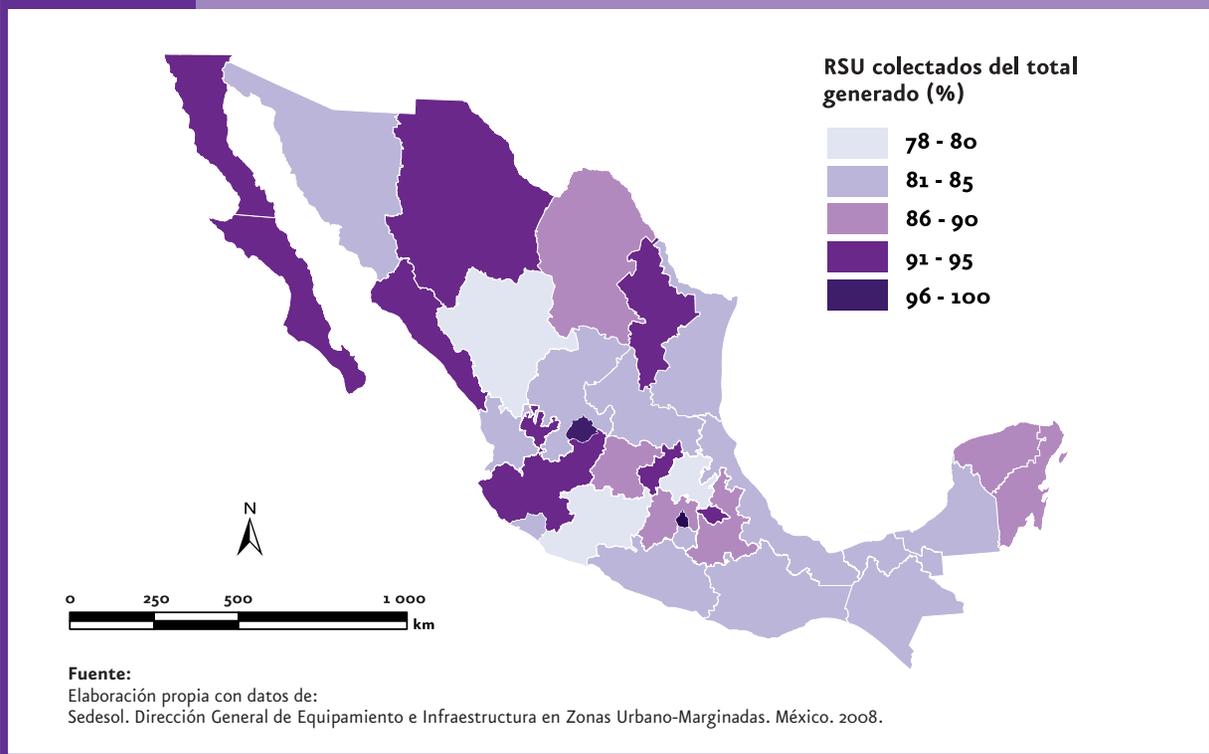
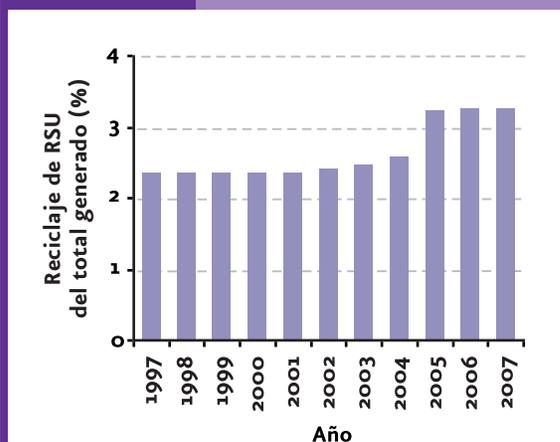


Figura 7.10

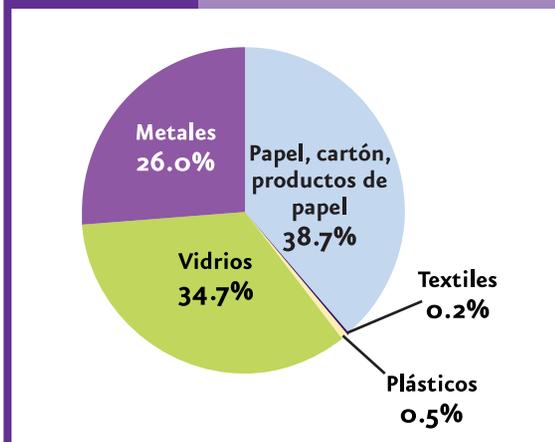
Reciclaje de los RSU, 1997 - 2007



Fuente: Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2008.

Figura 7.11

Reciclaje de RSU por composición, 2007



Fuente: Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2008.

Disposición final

La disposición final de los residuos se refiere a su depósito o confinamiento permanente en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las posibles afectaciones a la salud de la población y de los ecosistemas. Los sitios de disposición final (tanto los rellenos sanitarios como los sitios controlados) deben: 1) garantizar la extracción, captación, conducción y control de los biogases generados; 2) garantizar la captación y extracción de los lixiviados; 3) contar con drenajes pluviales para el desvío de escurrimientos y el desalojo del agua de lluvia; 4) controlar la dispersión de materiales ligeros, así como la fauna nociva y la infiltración pluvial.

En 2007, 67% de los RSU se dispuso en rellenos sanitarios y sitios controlados y el resto se depositó en sitios no controlados.

Los rellenos sanitarios constituyen la mejor solución para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Este tipo de infraestructura involucra métodos y obras de ingeniería particulares que controlan, a través

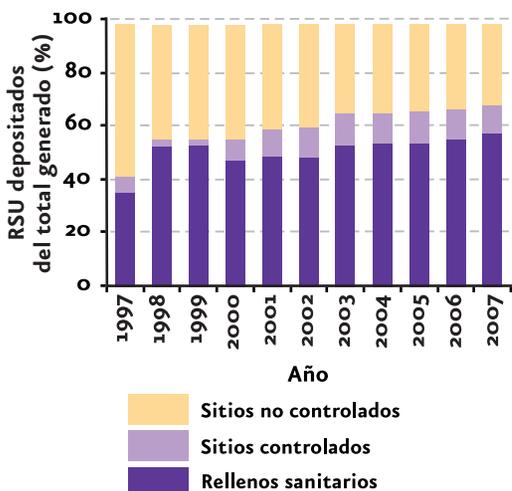
del tratamiento de los lixiviados (es decir, de los líquidos que escurren directamente de los residuos o por efecto de la lluvia), así como de la quema de gases, la reforestación en el área del relleno y el control de olores, los posibles impactos de los residuos al ambiente y la salud humana.

En 2007, se estimó que 67% del volumen generado de RSU en el país se dispuso en rellenos sanitarios y sitios controlados, y el restante se depositó en sitios no controlados. Esto resulta un incremento importante si se considera que en 1997 cerca de 60% se depositaba en sitios no controlados (Figura 7.12; Cuadro D3_RSM01_09_D; IB 4-3). Si se analiza a nivel de entidad federativa, en 2007 el Distrito Federal, Aguascalientes y Nuevo León dispusieron casi la totalidad de sus residuos en rellenos sanitarios y sitios controlados. Sin embargo, Oaxaca, Hidalgo y Chiapas dispusieron un volumen bajo de RSU en este tipo de instalaciones, con valores menores a 30% del total de residuos producidos (Mapa 7.4; Cuadro D3_RSM01_09_D).



Figura 7.12

Disposición final¹ de los RSU, 1997 - 2007



Nota:

¹El porcentaje total de disposición no llega a 100 debido a que una porción de los residuos es reciclada.

Fuente:

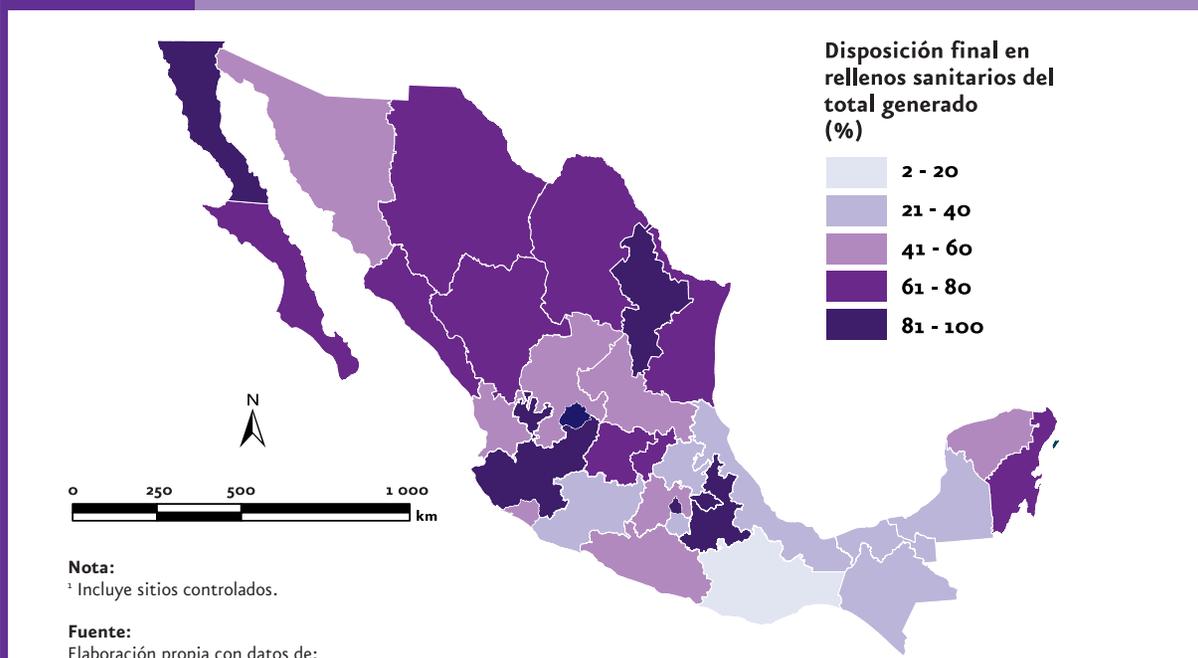
Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2008.

En cuanto al número de rellenos sanitarios en México, se ha logrado un avance significativo en el establecimiento de este tipo de infraestructura en los últimos años. Entre 1995 y 2007 la cifra creció de 30 a 114 sitios, contándose además, para este último año, con 24 sitios controlados. Sólo Oaxaca y Zacatecas no tenían, hasta esa fecha, rellenos sanitarios, pero contaban, respectivamente, con uno y tres sitios controlados (Mapa 7.5; Cuadro D3_RSM01_07_D).

En general, en América Latina los avances en materia de rellenos sanitarios se han orientado principalmente a las grandes ciudades (BID-OPS, 1997) y México no es la excepción. Cuando se analiza la disposición adecuada de los residuos por tipo de localidad, en las zonas metropolitanas el 88% de los residuos se dispone adecuadamente, es decir, en rellenos sanitarios y sitios controlados, mientras que en las localidades rurales o semiurbanas esta cifra es de tan sólo del 9.6% (Figura 7.13; Cuadro D3_RSM01_08_D).

Mapa 7.4

Disposición final de RSU en rellenos sanitarios¹ por entidad federativa, 2007



Nota:

¹ Incluye sitios controlados.

Fuente:

Elaboración propia con datos de: Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2008.

Mapa 7.5

Rellenos sanitarios por entidad federativa, 2007

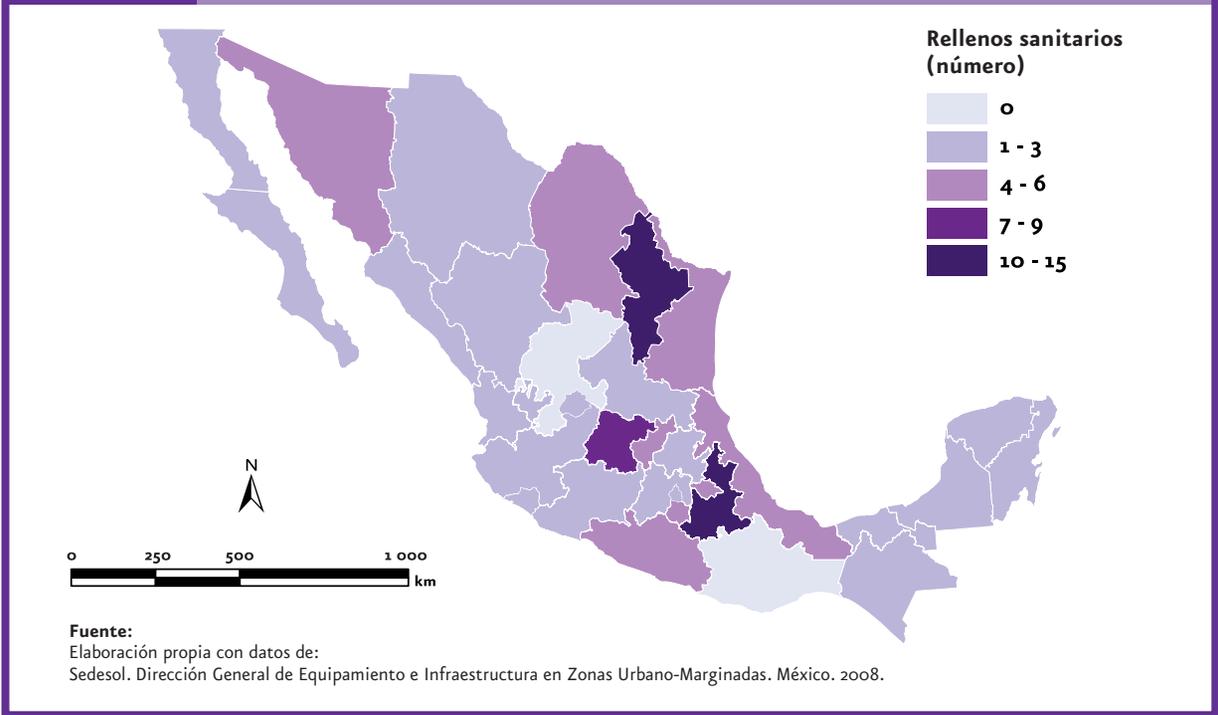
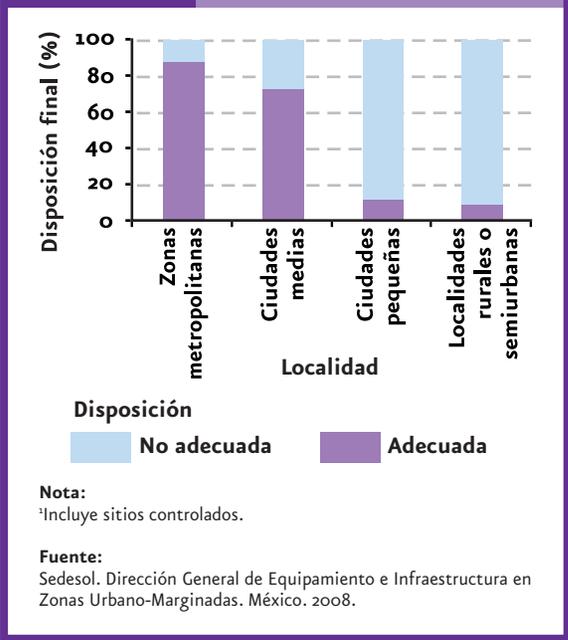


Figura 7.13

Disposición final de RSU en rellenos sanitarios¹ y sitios no controlados por tipo de localidad, 2007



RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL

Los Residuos de Manejo Especial (RME) se definieron recientemente en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (DOF, 2003). En dicha ley se les incluye como aquéllos 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. Algunos ejemplos de residuos de este tipo se muestran en el Recuadro *Residuos de Manejo Especial*.

Debido a la reciente regulación de este tipo de residuos, en la actualidad no se cuenta con datos acerca de los volúmenes de generación para ciertas clases de ellos. La Figura 7.14 muestra la generación estimada de RME en 2005 para cuatro de los ocho servicios que los producen: la mayor parte corresponde a los de la construcción y demolición provenientes de obras para viviendas,

Según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, los residuos de manejo especial son aquellos provenientes de:

- Las rocas o los productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales de construcción o se destinen para este fin, así como los productos derivados de la descomposición de las rocas, excluidos de la competencia federal conforme a las fracciones IV y V del artículo 5 de la Ley Minera.
- Los servicios de salud, generados por los establecimientos que realicen actividades médico-asistenciales a las poblaciones humanas o animales, centros de investigación, con excepción de los biológico-infecciosos.
- Las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de los insumos utilizados en esas actividades.
- Los servicios de transporte, así como los generados a consecuencia de las actividades

que se realizan en puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias y portuarias y en las aduanas.

- Tratamiento de aguas residuales. (Lodos).
- Los residuos de tiendas departamentales o centros comerciales generados en grandes volúmenes.
- Residuos generados por la construcción, mantenimiento y demolición en general.
- Los residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores y otros que al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico.
- Otros que determine la Semarnat de común acuerdo con las entidades federativas y municipios que así lo convengan para facilitar su gestión integral.

Referencia:

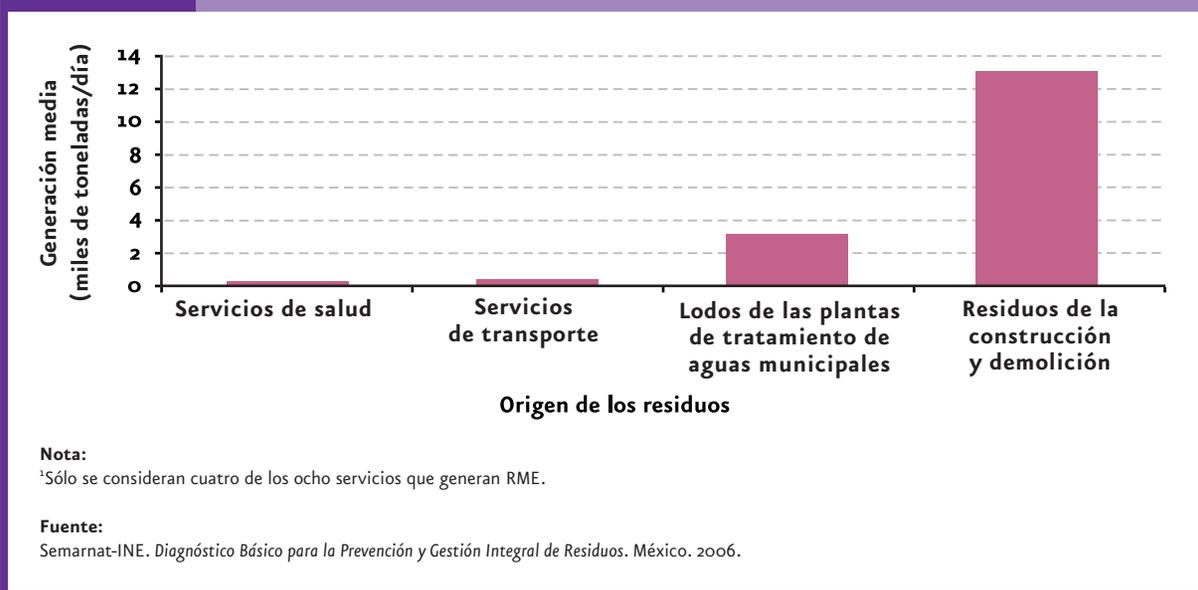
DOF. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. México. 2003 (8 de octubre).

comercios o la industria (77%); 18% a los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales; 3% a los residuos generados por servicios de transporte (en su mayoría provenientes de las terminales de pasajeros y actividades administrativas y comerciales, así como del movimiento de las unidades) y 2% a los que se generan en las unidades médicas (Semarnat-INE, 2006).

De acuerdo con el *Diagnóstico sobre la Generación de Basura Electrónica en México*, la generación nacional anual de residuos electrónicos (entre los que se incluyen televisores, computadoras de escritorio y portátiles, equipo de audio y teléfonos celulares) se estimó entre 150 mil y 180 mil toneladas potenciales al año (IPN, 2007).

Figura 7.14

Generación de RME¹, 2005



RESIDUOS PELIGROSOS

El progreso de la industria química ha permitido el desarrollo de una gran variedad de sustancias que sirven como productos o materias primas para numerosos bienes que consume la sociedad mundial (ver el Recuadro *El universo de las sustancias químicas*). Si bien es cierto que éstos han mejorado significativamente el nivel de vida de la población, también ejercen una presión importante sobre el medio ambiente y la salud humana.

Una consecuencia del uso de sustancias químicas y de materiales peligrosos tanto en los procesos productivos como en el uso doméstico, es la generación de residuos peligrosos (RP). Además, una vez finalizada la vida útil de un producto, éste puede transformarse en un residuo peligroso afectado debido a sus componentes (ver el Recuadro *La problemática de las pilas y baterías*).

Para que un residuo se considere peligroso, debe

poseer alguna de las seis características de peligrosidad CRETIB: corrosividad (C), reactividad (R), explosividad (E), toxicidad (T), inflamabilidad (I) o ser biológico-infeccioso (B).

Generación de residuos peligrosos

Los primeros estudios para estimar el volumen de residuos peligrosos generados en el país fueron elaborados en 1994 por el Instituto Nacional de Ecología (INE). A partir de entonces, las cifras reportadas han sido diversas, y se han basado fundamentalmente en la información reportada por un conjunto de empresas que generaban o daban tratamiento a este tipo de residuos (Tabla 7.1).

La estimación más reciente sobre el volumen de generación de RP, para el periodo 2004-2008, equivale a un millón 25 mil 128 toneladas (Semarnat, 2009; Figura 7.15). Está basada en los reportes de 27 mil 465 empresas incorporadas al Padrón de Generadores de Residuos Peligrosos (PGRP)

Entre 2004 y 2008 se estimó, con base en las empresas registradas en el Padrón de Generadores de Residuos Peligrosos, una generación de un millón 25 mil 128 toneladas de residuos peligrosos en el país.

El descubrimiento, desarrollo y aplicación de nuevas sustancias químicas es uno de los factores que ha contribuido de manera importante al desarrollo de las sociedades modernas. A nivel mundial se han identificado alrededor de 12 millones de sustancias químicas (Yarto *et al.*, 2003), de las cuales, según la FAO, en 2007 cerca de 70 mil se encontraban en el mercado. Estas sustancias permiten controlar plagas, curan enfermedades, preservan alimentos, generan energía e intervienen en multitud de actividades productivas para la generación de bienes (INE, 2007). Sin embargo, estas sustancias pueden traer consigo también riesgos para la salud humana y el medio ambiente, muchos debido a su manejo inadecuado. Pueden alterar la productividad de los suelos, deteriorar la calidad de las fuentes de abastecimiento de agua y afectar la reproducción y el desarrollo de especies acuáticas y terrestres. Su manejo inadecuado afecta a la población por la ocurrencia de explosiones, derrames e incendios.

En México se utilizan unas 100 mil sustancias químicas en diversas actividades productivas. De éstas, se estima que una cantidad muy pequeña, entre mil y 2 mil, son peligrosas (Semarnat, 2006). Por otra parte, se cuenta con un inventario de aproximadamente 400 sustancias químicas consideradas como tóxicas, inflamables y explosivas en los listados de actividades altamente riesgosas (DOF, 1990, 1992). Los sectores industrial, minero y agrícola generan o utilizan

grandes cantidades de sustancias químicas. En la actualidad, la industria petroquímica y la química aportan la mayor cantidad de los insumos químicos necesarios para la industria secundaria del país. En 2006 se produjeron 19.6 millones de toneladas de sustancias químicas, de las cuales, 40.5% correspondieron a petroquímicos de PEMEX (Figura a).

La regulación de las sustancias químicas se basa en tres instrumentos: la Licencia Ambiental Única (LAU), la Cédula de Operación Anual (COA) y el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). La LAU constituye la columna vertebral del sistema, pues agrupa e integra los trámites que los establecimientos industriales deben cumplir en materia de impacto y riesgo ambiental. La información requerida para su emisión se integra en la COA, la cual es un instrumento de reporte y recopilación de información de emisiones y transferencia de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos peligrosos, que a su vez se emplea para la actualización de datos del RETC.

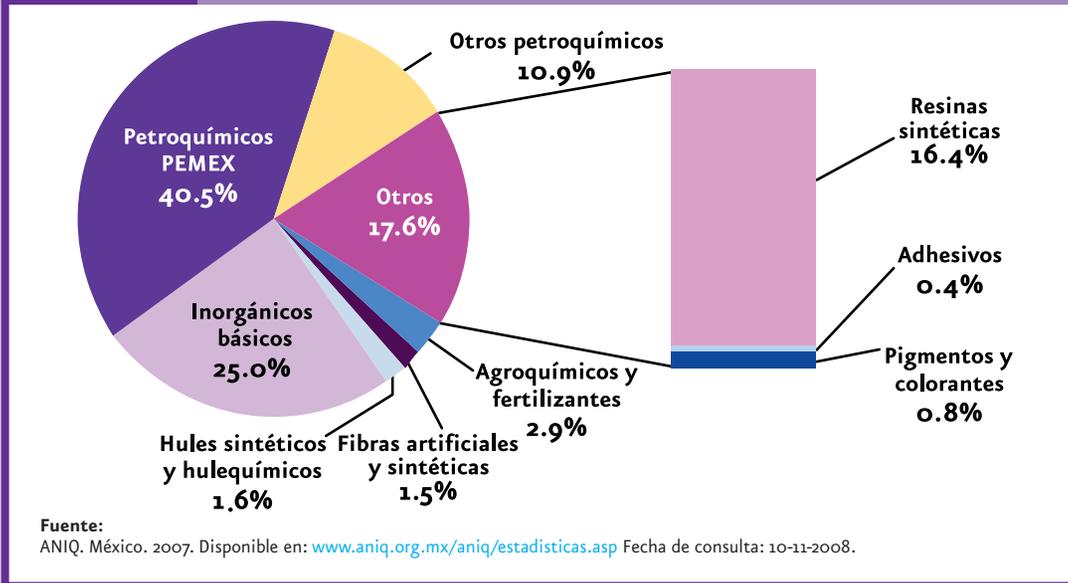
Referencias:

DOF. Acuerdo por el que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 5o. Fracción X y 146 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 27 Fracción XXXII y 37 Fracciones XVI y XVII de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, expiden el primer listado de actividades altamente riesgosas. México. 1990 (28 de marzo).

DOF. Acuerdo por el que las Secretarías de Gobernación

Figura a

Producción de las sustancias químicas en México, 2006



y Desarrollo Urbano y Ecología, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 5o. Fracción X y 146 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 27 Fracción XXXII y 37 Fracciones XVI y XVII de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, expiden el segundo listado de actividades altamente riesgosas. México. 1992 (4 de mayo).

FAO. Convenio de Rotterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo (CFP) aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional. México. 2007. Disponible en: www.pic.int/ Fecha de consulta: 07-12-2008.

INE. El universo de las sustancias químicas y los riesgos ecológicos. Disponible en: www.ine.gob.mx/dgicurg/sqre/universo.html Fecha de consulta 29-08-2008.

Semarnat. La Gestión Ambiental en México. México. 2006.

Yarto, M., I. Ize y A. Gavilán. El universo de las sustancias químicas peligrosas y su regulación para un manejo adecuado. *Gaceta Ecológica* 69: 57-66. México. 2003.

y con registro ante la Semarnat. Esta cifra, sin embargo, no debe considerarse como el volumen total de RP generados en el país en ese periodo, debido por un lado, a que el PGRP no incluye a la totalidad de las empresas que producen estos residuos en el territorio; y por otro, a que a la

fecha sólo se tiene información proveniente de los reportes de 27 delegaciones estatales de la Semarnat³, encargadas de revisar y enviar los reportes de los volúmenes de generación de sus entidades federativas respectivas.

³A diciembre de 2008 faltaban de reportar las delegaciones de Baja California, Sinaloa, Jalisco, Guanajuato y Tamaulipas.

El aumento en el desarrollo de la tecnología portátil es, sin duda, uno de los factores más importantes para detonar la demanda y, por ende, el desecho de pilas y baterías a nivel mundial. Se estima que en 1997 se generaron en nuestro país alrededor de 35 mil 500 toneladas de pilas y baterías (Castro y Arias, 2004). Asimismo, se estimó también que en los últimos 43 años se habían liberado al ambiente aproximadamente 635 mil toneladas, cuyos contenidos incluían elementos inocuos al ambiente y a la salud, como el carbón o zinc, pero también elementos que representaban un riesgo debido a los grandes volúmenes emitidos, como en el caso del dióxido de manganeso y otros elementos tóxicos como el mercurio, níquel, cadmio y litio.

Generalmente, las pilas son arrojadas con el resto de los residuos domiciliarios en tiraderos a cielo abierto, rellenos sanitarios, terrenos baldíos o cauces de agua. Estas pilas pueden sufrir la corrosión de sus cubiertas, ya sea por sus componentes internos, o por factores externos tales como la acción climática y el proceso de descomposición de la basura. Cuando se produce el derrame de los electrolitos internos de las pilas, se

liberan metales pesados al ambiente que pueden contaminar el suelo, el agua y afectar a los seres vivos en su conjunto.

En relación con sus posibles efectos sobre la salud humana, por ejemplo, el metil-mercurio puede atravesar la placenta y provocar daños irreversibles en el cerebro de los fetos. En los lactantes, a través de la leche materna contaminada, puede provocar problemas de retraso en el desarrollo mental, falta de coordinación, ceguera y convulsiones. En los adultos puede ocasionar la pérdida de visión, memoria y coordinación, cambios de personalidad, sordera y daños pulmonar y renal. La exposición al cadmio puede ocasionar daños severos a pulmones, riñones, hígado, aparato digestivo y próstata. El plomo puede dañar los huesos, las articulaciones y el sistema nervioso central y periférico. El níquel es potencialmente carcinógeno y alergénico.

Referencia:

Castro, D. J. y M. L. D. Arias. *Contaminación por pilas y baterías en México*. INE. México. 2004.

Las diferencias entre esta última estimación de la generación de RP con las reportadas en años anteriores, se deben principalmente a: 1) número de empresas y delegaciones que se usaron para calcular el volumen generado, como ya se explicó en el párrafo anterior; 2) la reciente depuración del

padrón y la revisión de los reportes de generación de las delegaciones que permitieron eliminar las duplicidades en las empresas, así como los errores de estimación de generación de los RP por parte de los generadores; y 3) la modificación de la NOM-052-SEMARNAT-1993 -actualmente NOM-052-

Tabla 7.1

Estimaciones de la generación de RP en México

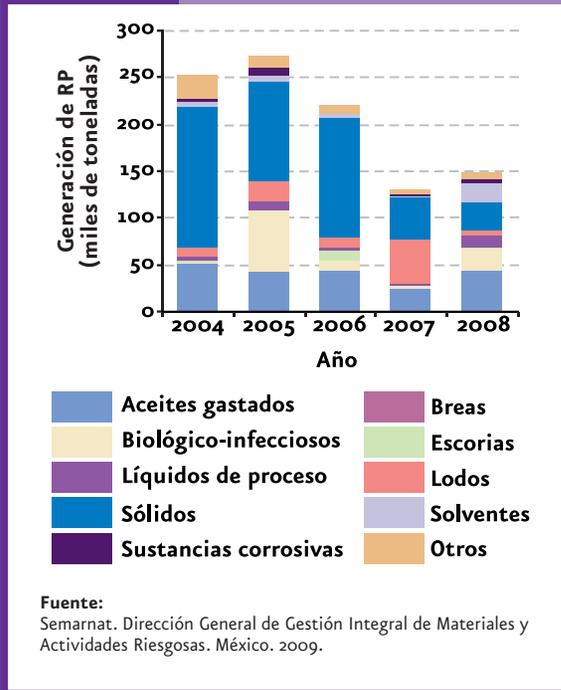
Año	Generación estimada (toneladas/año)	Base de la información
1994	8 millones	Extrapolación de datos de industrias canadienses con el mismo giro y características que las mexicanas
1996	2.1 millones	3 mil empresas
1999	3.2 millones	12 mil 514 empresas
2000	3.7 millones	27 mil 280 empresas
2004	6.2 millones	35 mil 304 empresas
2004	5.3 millones	20% de las empresas autorizadas para tratamiento de RP

Fuentes:

Semarnat. Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2005.
 Semarnat. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2005. Compendio de Estadísticas Ambientales. México. 2005.
 Semarnat-INE. Diagnóstico Básico para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. México. 2006.

Figura 7.15

Volumen de generación de RP reportado por las empresas incorporadas al Padrón de Generadores de Residuos Peligrosos, 2004 - 2008



SEMARNAT-2005- que establece las características de los residuos para ser considerados peligrosos, y de la cual se eliminaron los jales mineros y los recortes de perforación de la industria petrolera, los cuales constituían una importante fracción del total de RP generados reportados en estimaciones anteriores (Semarnat, 2009; ver el Recuadro *Jales mineros y recortes de perforación*).

A nivel regional, en 2008 la generación de RP se concentró en la Zona Metropolitana del Valle de

Los RP que más se produjeron en el 2008 fueron los aceites gastados (cerca del 30% del total de RP generados), seguidos por los sólidos (20.6%) y los RP-BI (15.8%).

México (con cerca del 31% del volumen total generado), seguido por Chihuahua, con alrededor del 17% (Mapa 7.6). En contraste, Morelos, Colima y Yucatán aportaron en conjunto tan sólo el 0.2% del total. Si se observa la generación por tipo de residuo

en 2008 (Figura 7.16), las mayores fracciones correspondieron a los aceites gastados (cerca del

Los jales mineros son los residuos provenientes de la concentración de minerales y que la NOM-052-SEMARNAT-2005 distingue de los peligrosos, de manejo especial y de los sólidos urbanos. Actualmente, los jales mineros se rigen bajo las especificaciones incluidas en la NOM-141-SEMARNAT-2003, que establece el procedimiento para su caracterización, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales. Para este tipo de residuos se tiene contemplado el desarrollo de un inventario de residuos minerometalúrgicos, así como la reducción de su producción y la promoción de su valorización y manejo integral (Semarnat, 2007).

Las actividades petroleras, y en específico la de perforación de pozos, generan grandes volúmenes de los residuos denominados “recortes de perforación”, los cuales, según la LGPGIR y la NOM-052-SEMARNAT-2005 no se consideran más como peligrosos, por lo que son utilizados como insumos para procesos secundarios. Actualmente se trabaja en el proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-153-SEMARNAT-2006, que establece las especificaciones ambientales para la inyección de recortes de perforación en formaciones receptoras y que sería útil en la regulación de este tipo de materiales.

Referencia:

Semarnat. *Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. México. 2007.

30% del total generado), seguidos por los sólidos (que incluyen asbesto, residuos derivados del mantenimiento industrial y metales pesados, entre otros; 20.6%) y los biológico-infecciosos (15.8%). Los RP que menos se generaron fueron las breas, las escorias y las sustancias corrosivas (2.4%).

En lo que respecta a las fuentes generadoras de residuos peligrosos, los sectores manufacturero y minero son los más importantes en el país (OCDE, 1998). Aunque hasta el momento no se tienen datos acerca de cuánto producen, el índice de volumen físico⁴ (que considera el valor económico de su producción) puede dar una idea de su potencial de generación. En el caso del sector manufacturero,

la producción creció 45% con respecto al año base 1993, mientras que el minero aumentó en 30.5% (Figura 7.17; **IB 5-1**). De los residuos peligrosos generados en el país, los biológico-infecciosos (RP-BI) son de gran importancia debido a los riesgos que representan para la salud. En 2008, su volumen de generación en el país representó poco menos de 16% de los RP generados (Figura 7.16), alcanzando aproximadamente las 23 mil 383 toneladas, de las cuales, Chiapas y la ZMVM generaron en conjunto el 98% del total (Mapa 7.7). Por tipo de RP-BI generado, el 54% del total correspondió a los no anatómicos, seguidos de los patológicos (40%), los objetos punzocortantes (4.8%), la sangre (0.9%) y los cultivos y cepas (0.3%).



⁴El volumen físico de producción es utilizado como medida de los niveles de actividad del sector que refleja el potencial en la generación de los RP.

Mapa 7.6

Volumen de generación de RP reportado por las empresas incorporadas al Padrón de Generadores de Residuos Peligrosos por entidad federativa, 2008

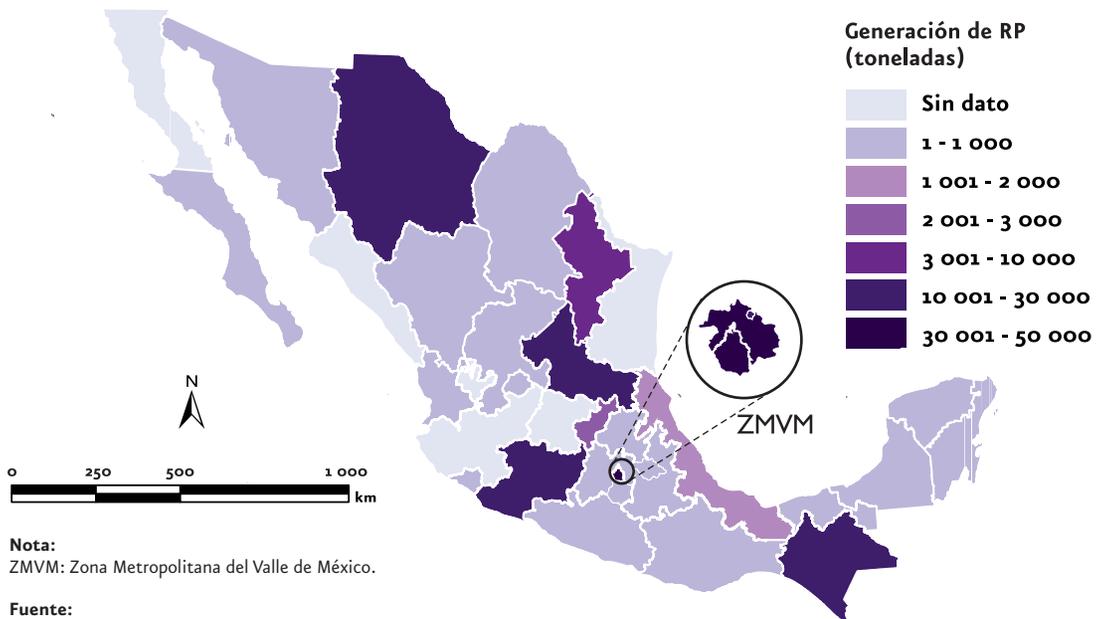
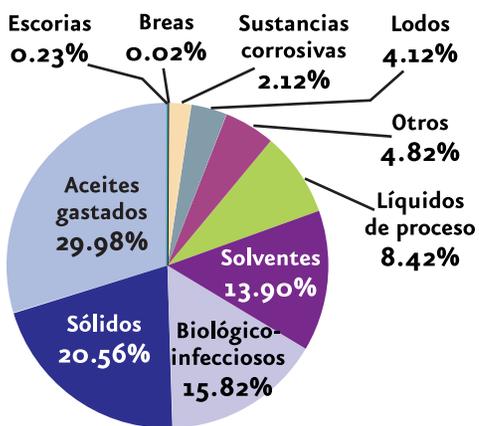


Figura 7.16

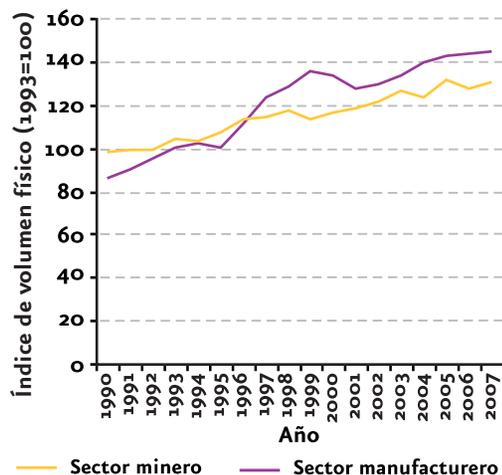
Volumen de generación de RP reportado por las empresas incorporadas al Padrón de Generadores de Residuos Peligrosos, por tipo, 2008



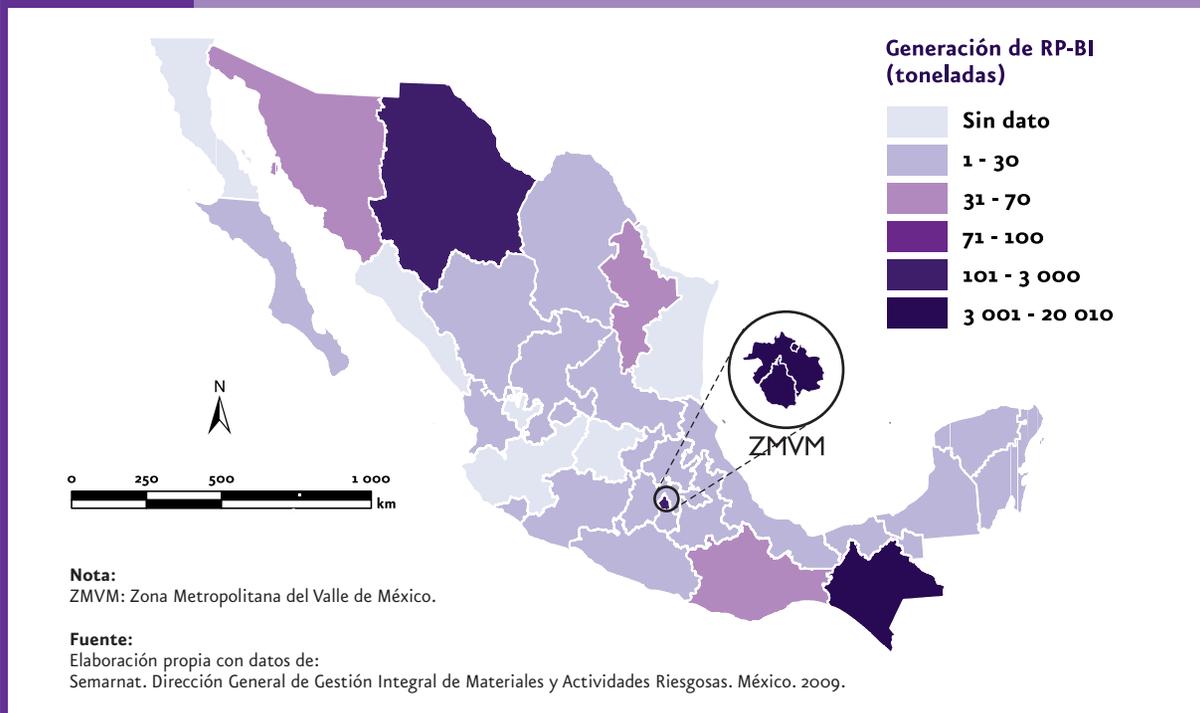
Fuente:
Semarnat. Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2009.

Figura 7.17

Volumen físico de producción de los sectores manufacturero y minero de México, 1990 - 2007



Fuente:
INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. México. 2008.

Mapa 7.7**Volumen de generación de RP-BI reportado por las empresas incorporadas al Padrón de Generadores de Residuos Peligrosos por entidad federativa, 2008****Movimiento transfronterizo de residuos peligrosos**

México y Estados Unidos mantienen un movimiento activo de residuos peligrosos, el cual se lleva a cabo por tres vías básicamente: 1) la industria nacional que exporta sus RP, 2) las empresas mexicanas dedicadas al reciclaje que importan los desechos para sus procesos industriales, y 3) el retorno de RP. Este último se presenta cuando se importan de manera temporal productos, equipos, maquinaria o cualquier otro insumo que será remanufacturado, reciclado, reprocesado y que genera residuos peligrosos, los que deberán retornarse al país de origen.

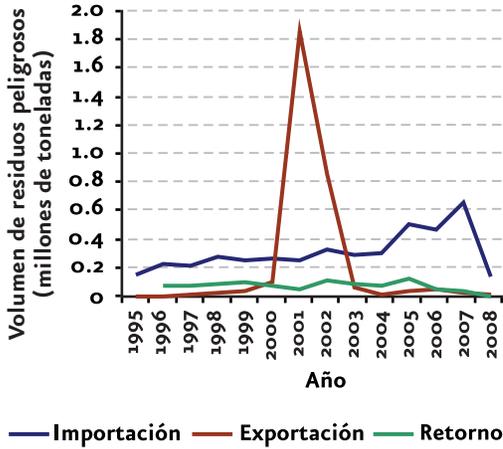
Durante el periodo comprendido entre 1995 y el mes de abril de 2008, aproximadamente 4 millones 355 toneladas de residuos fueron importadas al país para su tratamiento o aprovechamiento; adicionalmente, 980 mil 878 toneladas de materia prima entraron al territorio

para su uso temporal por la industria maquiladora. En el caso de las exportaciones, éstas fueron de aproximadamente 3 millones 123 mil toneladas de residuos para el mismo periodo (Figura 7.18; Cuadros [D3_RESIDUOP01_02](#); [D3_RESIDUOP01_03](#) y [D3_RESIDUOP01_04](#)). Este mismo rubro se mantuvo por debajo de las importaciones hasta el año 2001, en el que se incrementó notablemente debido a la exportación de recortes de perforación (es decir, de tierra y rocas removidas durante las operaciones de perforación de pozos petroleros) que para esa fecha aún eran considerados como residuos peligrosos (ver el Recuadro [Jales mineros y recortes de perforación](#)).

Del total de las importaciones, entre 1995 y abril de 2008, 99.3% de los residuos correspondió a residuos sólidos y acumuladores (Figura 7.19), mientras que en el caso de las exportaciones, el mayor porcentaje (91.8%) correspondió a los recortes obtenidos de la perforación petrolera (Figura 7.20).

Figura 7.18

Movimientos transfronterizos de RP en México, 1995 - 2008¹

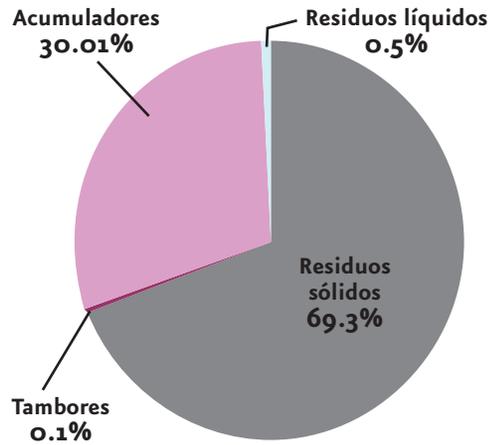


Nota:
¹Al mes de abril.

Fuente:
Semarnat. Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2008.

Figura 7.19

Importación de RP por tipo, 1995 - 2008¹



Nota:
¹Al mes de abril.

Fuente:
Semarnat. Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2008.

Manejo de residuos peligrosos

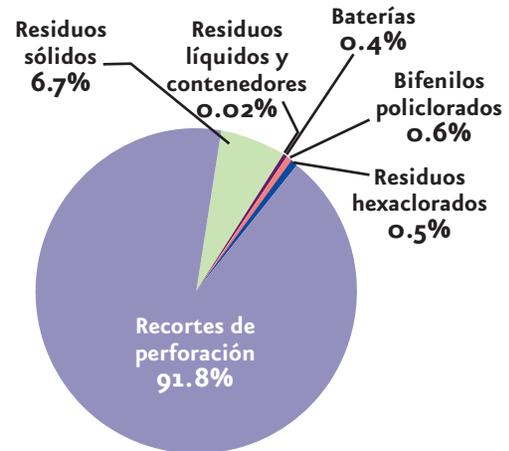
El manejo y/o disposición segura de los residuos peligrosos se puede conseguir de distintas formas: a) mediante la minimización de su generación; b) por el reciclaje y reuso previo a su tratamiento y disposición final; c) por medio del tratamiento que reduce su peligrosidad; y d) por su confinamiento adecuado. Entre 1999 y 2008 se contabilizaron 399 empresas para el manejo de los residuos peligrosos, con una capacidad instalada autorizada de 14.7 millones de toneladas⁵. El incremento de la capacidad instalada autorizada se registró principalmente, en la capacidad de reciclaje y tratamiento, aumentando de 1.6 a 5.3 millones de toneladas y de 3.7 a 8.2 millones de toneladas, respectivamente (Figura 7.21; **IB 5-4** e **IC 5**).



⁵La capacidad real para el manejo de residuos peligrosos puede ser menor a la capacidad instalada autorizada debido a que las empresas manejadoras pueden no trabajar al 100% de la capacidad autorizada.

Figura 7.20

Exportación de RP por tipo, 1995 - 2008¹



Nota:
¹Al mes de abril.

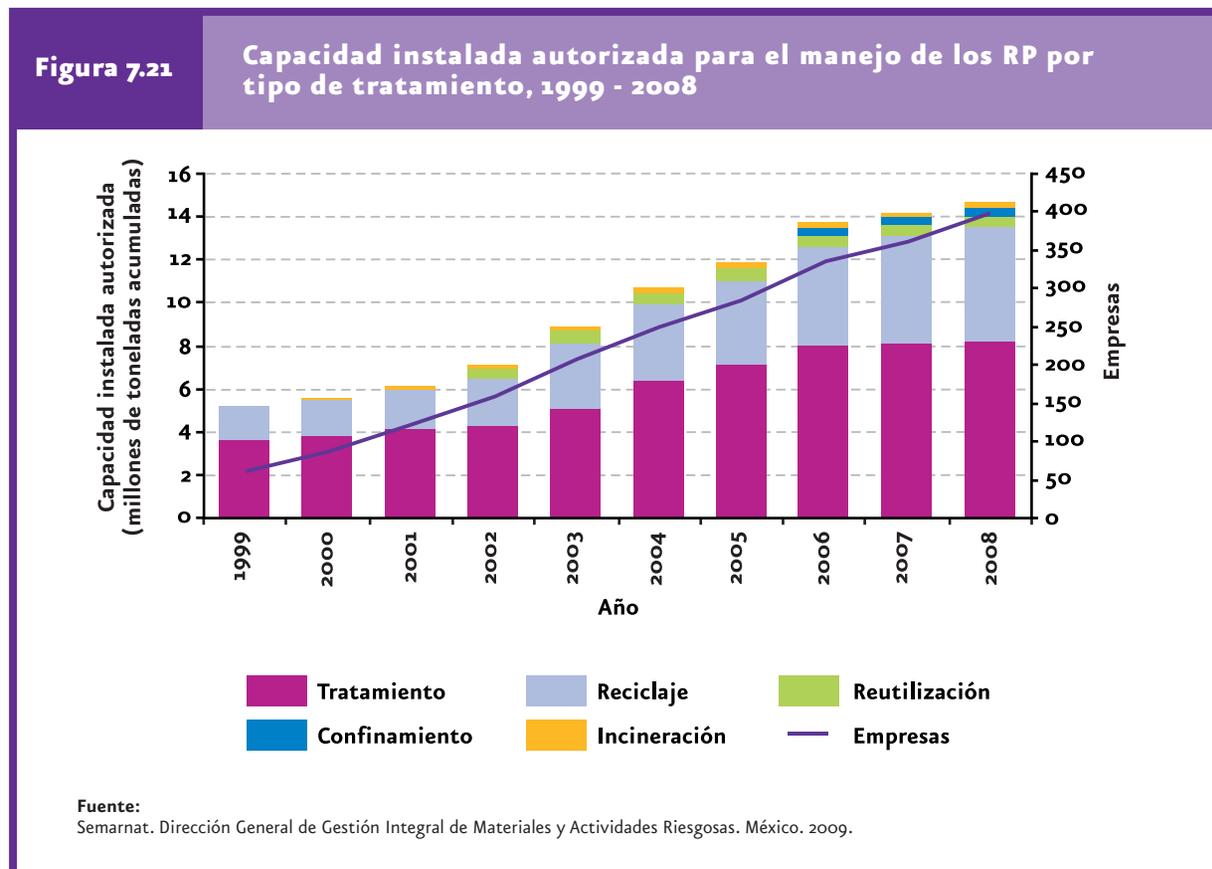
Fuente:
Semarnat. Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2008.

De la capacidad instalada autorizada a nivel estatal para el manejo de los RP en el periodo 2000-2008, el 78.2% se concentró en cinco entidades federativas: Nuevo León (29.2%), Tabasco (17.2%), Estado de México (13.6%), Tamaulipas (11.2%) y Veracruz (7%; Mapa 7.8; Cuadros D3_RESIDUOP01_07; D3_RESIDUOP01_10_D; D3_RESIDUOP01_08; D3_RESIDUOP01_15 y D3_RESIDUOP01_09). En contraste, Zacatecas, Yucatán y Nayarit contaban con una capacidad de manejo inferior a las 7 toneladas cada uno.

La infraestructura para la recolección y transporte de RP, la mayor capacidad en el periodo 2000-2008 se concentró en el estado de Tamaulipas (98.1% del total). En contraste, Colima fue el único estado del país carente de infraestructura específica para la recolección y transporte de RP (Mapa 7.9; Cuadro D3_RESIDUOP01_17).

Para el manejo de los residuos biológico-infecciosos, en el periodo 1999-2008⁶ se contaba con una capacidad instalada para más de 103 mil toneladas en la mayoría de las entidades federativas; sin embargo, Guerrero, Nayarit, Querétaro, Tlaxcala y Chiapas carecían de empresas para su manejo (Mapa 7.10; Cuadros D3_RESIDUOP01_11; D3_RESIDUOP01_18; D3_RESIDUOP01_13 y D3_RESIDUOP01_14).

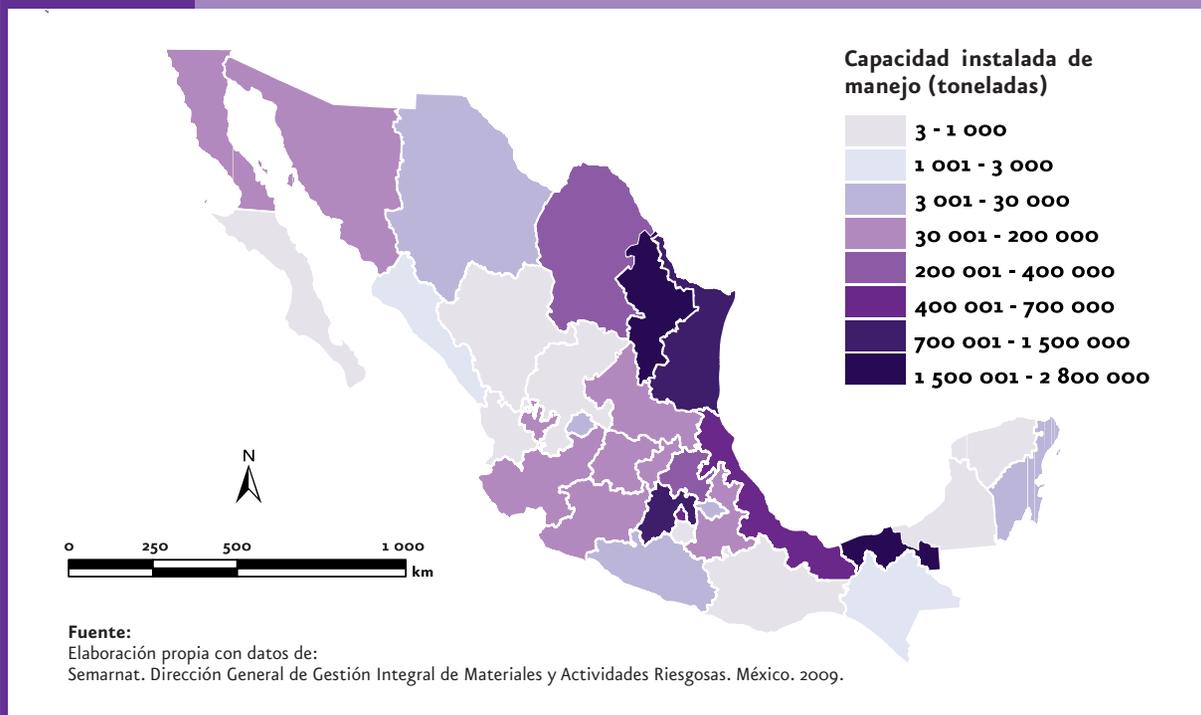
De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, los generadores y gestores de RP deben manejarlos de manera segura y ambientalmente adecuada (DOF, 2003), por lo que la Profepa aplica programas de inspección y vigilancia para verificar el cumplimiento de la normatividad (Profepa, 2008).



⁶Datos al mes de abril de 2008.

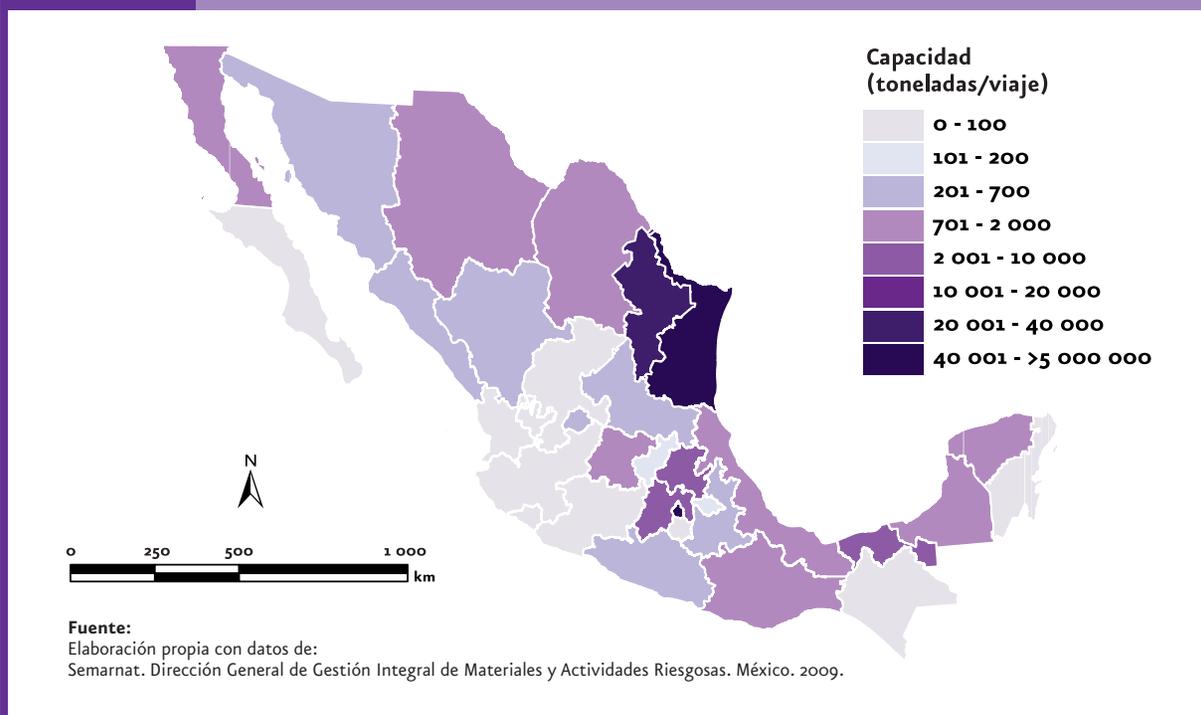
Mapa 7.8

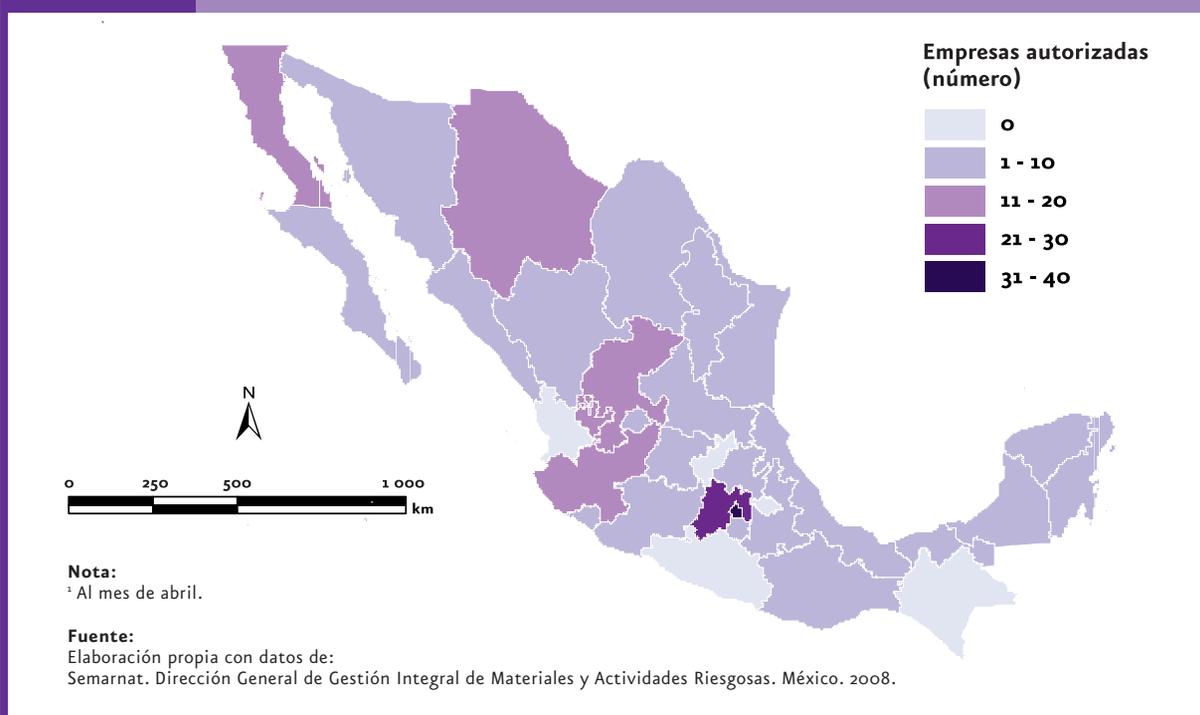
Capacidad instalada autorizada para el manejo de RP por entidad federativa, 2000 - 2008



Mapa 7.9

Recolección y transporte de RP por entidad federativa, 2000 - 2008



Mapa 7.10**Empresas autorizadas para el manejo de los RP-BI por entidad federativa, 1999 - 2008⁷**

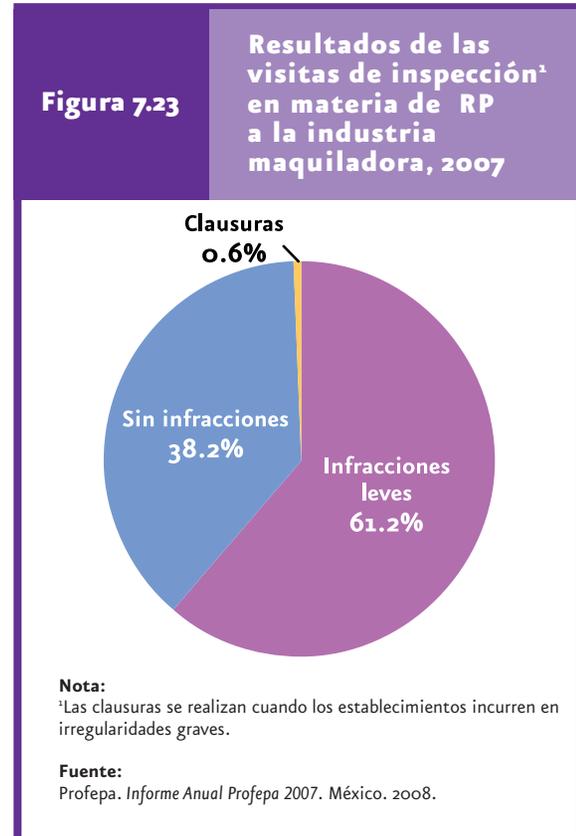
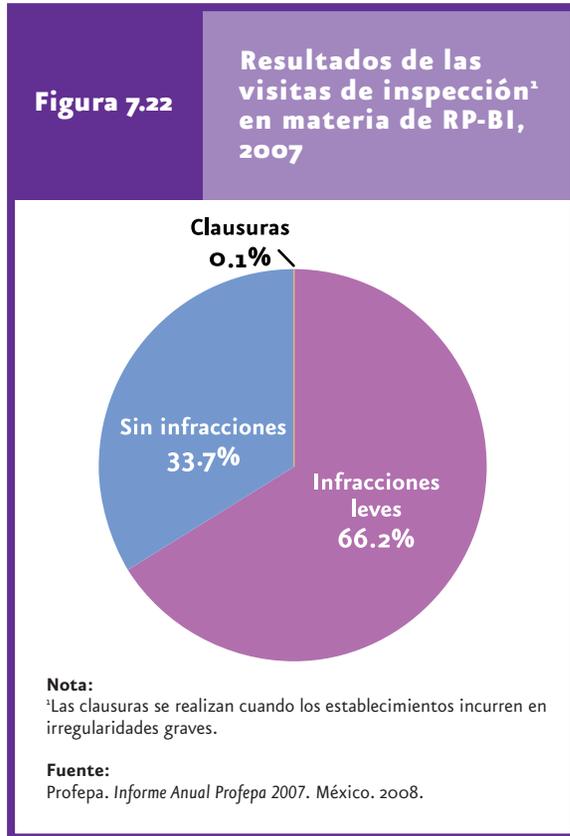
Por medio de las visitas de inspección se identifican irregularidades, se dictan medidas correctivas y se imponen clausuras en caso de presentarse irregularidades graves que representen un riesgo inminente al equilibrio ecológico, daño grave a los recursos naturales o contaminación con repercusiones peligrosas para los ecosistemas o la salud pública. El cumplimiento de las medidas correctivas se vigila mediante las visitas de verificación. En 2007 se realizaron 5 mil 911 visitas⁷ a los establecimientos registrados como generadores de residuos peligrosos y a los prestadores de servicios de éstos, 5 mil 17 empresas (Profepa, 2008).

En 2003 entró en vigor la Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-SSA1-2002 referente al manejo interno, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos biológico-infecciosos en

establecimientos donde se brinda atención médica (Profepa, 2008). Para verificar su cumplimiento, en 2007 se realizaron 757 visitas, de las cuales un elevado porcentaje presentaron irregularidades menores (66.2% de las visitas) y sólo en una ocasión se aplicó, como medida de seguridad, la clausura parcial temporal del establecimiento visitado (Figura 7.22; Profepa, 2008). Entre 2001 y 2007 se realizaron 5 mil 180 visitas, de ellas mil 612 presentaron total cumplimiento de la normatividad (31.1% del total), en 3 mil 559 (68.7%) se presentaron infracciones menores y sólo en 9 casos (0.2%) se llevaron a cabo clausuras debidas a condiciones inadecuadas de manejo de los residuos (Profepa, 2008).

Por último, destaca el sector de las maquiladoras, con poco más de 3 mil 200 empresas, de las cuales 2 mil 421 son verificadas por la Profepa. Durante

⁷Se puede realizar más de una visita de inspección a los establecimientos generadores de RP.



2007 se realizaron 348 visitas de inspección y verificación a este tipo de empresas: en 133 casos no se detectaron irregularidades, en otros 213 hubo infracciones leves y sólo en 2 casos se decretó la clausura total temporal (Figura 7.23; Profepa, 2008).

GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, DE MANEJO ESPECIAL Y PELIGROSOS

En México, se contemplan diversos instrumentos para la normatividad, prevención y gestión integral de los residuos (ver también el Recuadro *Regulación ambiental para los residuos en el país*). Entre los principales instrumentos que contemplan tanto las leyes locales (Distrito Federal y Guadalajara) como la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos destacan cuatro. Primeramente, los Programas Rectores de Gestión de los Residuos, que proponen medidas para reducir la generación de los residuos, su separación en la fuente de

origen, su recolección y transporte, así como su adecuado aprovechamiento, tratamiento y disposición final. Ejemplos de estos programas son el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y los Programas estatales y municipales de Prevención y Gestión Integral de los Residuos -como en los casos del Distrito Federal, Querétaro y Quintana Roo-. En segundo lugar deben citarse los inventarios, que sirven como apoyo a la toma de decisiones para reducir la generación, así como proporcionar a quien genere, recolecte, trate o disponga finalmente los residuos sólidos, indicadores acerca de su estado físico y propiedades. Los tres órdenes de gobierno deben elaborar, actualizar y difundir los inventarios de generación de RSU, RP y RME. Además, deberán integrar los inventarios de tiraderos de residuos o sitios donde se han abandonado clandestinamente. En tercer lugar está la separación de los residuos, en orgánicos e inorgánicos, en domicilios, empresas, establecimientos mercantiles, industriales y de servicios, instituciones públicas y privadas, centros

En materia de regulación para los tres tipos de residuos en el país, se tienen diferentes lineamientos, tales como la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) y su reglamento, el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental, la Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales y la Guía para el Cumplimiento Ambiental de las Empresas Mineras. Complementan estos lineamientos los procedimientos y métodos de buenas prácticas de manejo, en el caso de los residuos peligrosos, así como la divulgación de información, la educación y la capacitación de quienes los manejan. Asimismo, existen otras disposiciones convertidas en leyes como las contenidas en los convenios internacionales de los que México forma parte: el Convenio de Basilea sobre movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su disposición, y el Convenio de Estocolmo, sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP).

Entre los principales objetivos del Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012¹ en materia de residuos, se encuentran la culminación e instrumentación del Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2008-2012, así como impulsar la creación de un Sistema Nacional de Información de Residuos que considere inventarios de generación y de la infraestructura existente para su manejo.

Otras disposiciones regulatorias son las normas que establecen las medidas a seguir

para lograr un manejo seguro de los residuos, a la vez que fijan límites de exposición para reducir su volumen y peligrosidad. Entre las principales normas que regulan los tres tipos de residuos se encuentran:

Residuos sólidos urbanos y de manejo especial

- NOM-083-SEMARNAT-2003. Establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial (DOF, 20-10-2004).

Residuos peligrosos

- NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de residuos peligrosos (DOF, 23-06-2006).
- NOM-133-SEMARNAT-2000. Protección Ambiental-Bifenilos Policlorados (BPC)-Especificaciones de manejo (DOF, 23-04-2003).
- NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio (DOF, 02-03-2007).
- NOM-138-SEMARNAT/SS-2003. Límites máximos permisibles de hidrocarburos

¹El programa se encuentra en una versión preliminar disponible para consultarlo por la internet en el portal de la Semarnat (www.semarnat.gob.mx/queessearnat/programas/Pages/pnpgir.aspx) Fecha de consulta: 28-01-2009.

en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación (DOF, 29-03-2005).

- PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio (DOF, 11-11-2005).

- NMX-AA-020-SCFI-2008. Residuos. Determinación de compuestos orgánicos semivolátiles en producto de extracción de constituyentes tóxicos (PECT) (DOF, 18-06-2008).

- MX-AA-139-SCFI-2008. Residuos. Prueba de extracción para compuestos tóxicos (PECT) (DOF, 18-06-2008).

- NMX-AA-001-SCFI-2008. Residuos líquidos y/o soluciones acuosas. Corrosividad al acero al carbón (DOF, 18-06-2008).

Manejo de residuos peligrosos

- NOM-055-SEMARNAT-2003. Que establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán para un confinamiento controlado de residuos peligrosos previamente estabilizados (DOF, 03-11-2004).

- NOM-056-ECOL-1993. Que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado para residuos peligrosos (DOF, 22-10-1993).

- NOM-057-ECOL-1993. Que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado de residuos peligrosos (DOF, 22-10-1993).

- NOM-058-ECOL-1993. Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado para residuos peligrosos (DOF, 22-10-1993).

- NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte y disposición final de los residuos peligrosos biológicos-infecciosos que se generan en establecimientos que presentan atención médica (DOF, 17-02-2003).

- NOM-133-ECOL-2000. Protección ambiental-bifenilos policlorados (BPC)-Especificaciones de manejo (DOF, 10-12-2001).

- NOM-040-SEMARNAT-2002. Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas, así como los requisitos de control de emisiones fugitivas, provenientes de las fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento (DOF, 18-12-2002). *(Esta norma es aplicable a los hornos cementeros en los que se co-procesan residuos peligrosos como combustible alterno).*

- NOM-098-SEMARNAT-2002. Protección ambiental-incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes (DOF, 01-10-2004).

educativos, dependencias gubernamentales y similares y depositarse en contenedores para su recolección o reciclaje por el servicio público de limpia, con el fin de facilitar su aprovechamiento, tratamiento y disposición final. Finalmente deben mencionarse los planes de manejo de los residuos sólidos, que son instrumentos encaminados a reducir la generación de los RSU y RP, así como facilitar su acopio y aumentar la fracción reutilizable. Así mismo, en la problemática del manejo de los residuos están involucradas diversas instancias, cuyas atribuciones se resumen en la Tabla 7.2.

RIESGO AMBIENTAL

El manejo de un gran número de sustancias químicas involucra la existencia de riesgos para el medio ambiente y la salud humana. El riesgo se considera como la probabilidad de que ocurran accidentes por el manejo de materiales peligrosos en actividades altamente riesgosas. Los accidentes pueden trascender los límites de las instalaciones donde ocurren y afectar adversamente a la población, a los bienes y a los ecosistemas. Una actividad se considera como altamente riesgosa (AAR) cuando maneja alguna de las sustancias químicas (ya sea en cantidades iguales o mayores a las establecidas) incluidas en el primer y segundo listados de las actividades altamente riesgosas (DOF, 1990 y 1992).

En este contexto, la evaluación del riesgo comprende la determinación de los posibles alcances de los accidentes y la intensidad de los efectos adversos en diferentes radios de afectación. Quienes realicen AAR deberán formular y presentar ante la Semarnat un estudio de riesgo ambiental (ERA), cuyo objetivo principal es proteger a la sociedad y al ambiente, anticipando la posibilidad de liberaciones accidentales de sustancias químicas peligrosas en las instalaciones y evaluando su impacto potencial, de manera tal que éste pueda prevenirse o mitigarse.

Durante el periodo comprendido entre 1992 y 2008, los sectores del petróleo y sus derivados, así como el químico y el del gas, ingresaron en conjunto casi la mitad del total de los ERA (3 mil 956 de un total de 7 mil 614 estudios; [Cuadro D3_RESIDUOP02_05](#)). A nivel estatal, Veracruz, Tamaulipas y el Estado de México ingresaron, en conjunto, 25.3% del total de estudios, Baja California Sur y Nayarit ingresaron, cada una, menos del 1% (Mapa 7.11; [Cuadro D3_RESIDUOP02_05](#)). En Veracruz y Tamaulipas, la industria petrolera fue el sector que más ERA realizó en virtud de que gran parte de la producción petrolera nacional se concentra en dichos estados.

SITIOS CONTAMINADOS

El manejo ineficiente o inadecuado de las sustancias químicas y sus residuos puede resultar en sitios contaminados. Los sitios contaminados pueden definirse como aquellos lugares donde ha habido depósito, enterramiento o vertido de sustancias químicas o residuos, vinculados a actividades industriales, comerciales, agrícolas o domésticas. Entre las principales causas que pueden provocar la contaminación de un sitio están: a) la disposición inadecuada de RSU, RP y RME en terrenos baldíos, bodegas, almacenes y patios de las industrias; b) fugas de materiales o RP de tanques y contenedores subterráneos, tuberías y ductos, así como de alcantarillados y drenajes industriales o públicos; c) lixiviación de materiales en sitios de almacenamiento y donde se desarrollan actividades productivas, o bien, de rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto; d) derrames accidentales de sustancias químicas durante su transporte; e) aplicación de sustancias químicas potencialmente tóxicas en el suelo, instalaciones y edificaciones; y f) la descarga de aguas residuales que contienen RP y sustancias químicas potencialmente tóxicas sin tratamiento previo.

Tabla 7.2

Gestión de los residuos según instancia involucrada

Instancia	Responsabilidad y funciones
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat)	Elaborar políticas y estrategias para el control ambiental.
	Normar y fiscalizar el marco regulatorio ambiental.
	Coordinar los programas nacionales para la gestión ambiental.
	Fomentar la creación de infraestructura (en colaboración con la Sedesol).
Secretaría de Salud (SSA)	Elaborar políticas y estrategias para el control sanitario.
	Normar y fiscalizar en materia de salud.
	Elaborar planes para la prevención de riesgos ocupacionales y de riesgos hacia la salud pública en las distintas etapas del manejo de los RSU.
	Coordinar los programas nacionales para el saneamiento ambiental.
Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol)	Fomentar la creación de infraestructura (en colaboración con la Semarnat).
Otras secretarías	Apoyar la gestión de los RSU en sus respectivos ámbitos (turismo, industria, pesca, energía y minas, transporte, vivienda, otros).
	Regulación del manejo de los RSU en sus respectivos ámbitos de intervención.
Gobiernos municipales	Manejo de los RSU: barrido, recolección, transferencia y disposición final.
	Formulación del marco regulatorio local.
	Aplicación de sanciones por incumplimiento en el manejo de los RSU.
	Formulación e implementación de tarifas obligatorias por los servicios brindados.

Fuente:
Semarnat-INE. *Diagnóstico Básico para la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. México. 2006.

Se distinguen dos tipos de sitios contaminados: 1) los denominados “pasivos ambientales”, de grandes dimensiones, con problemas de contaminación causados por el uso industrial del suelo y por el manejo inadecuado de los RP; y 2) los causados por emergencias ambientales (EA), cuya atención ocurre rápidamente una vez que se presentan (Semarnat, 2008).

Con el fin de dar tratamiento tanto a los pasivos ambientales como a las emergencias ambientales, en 2005 el país contaba con

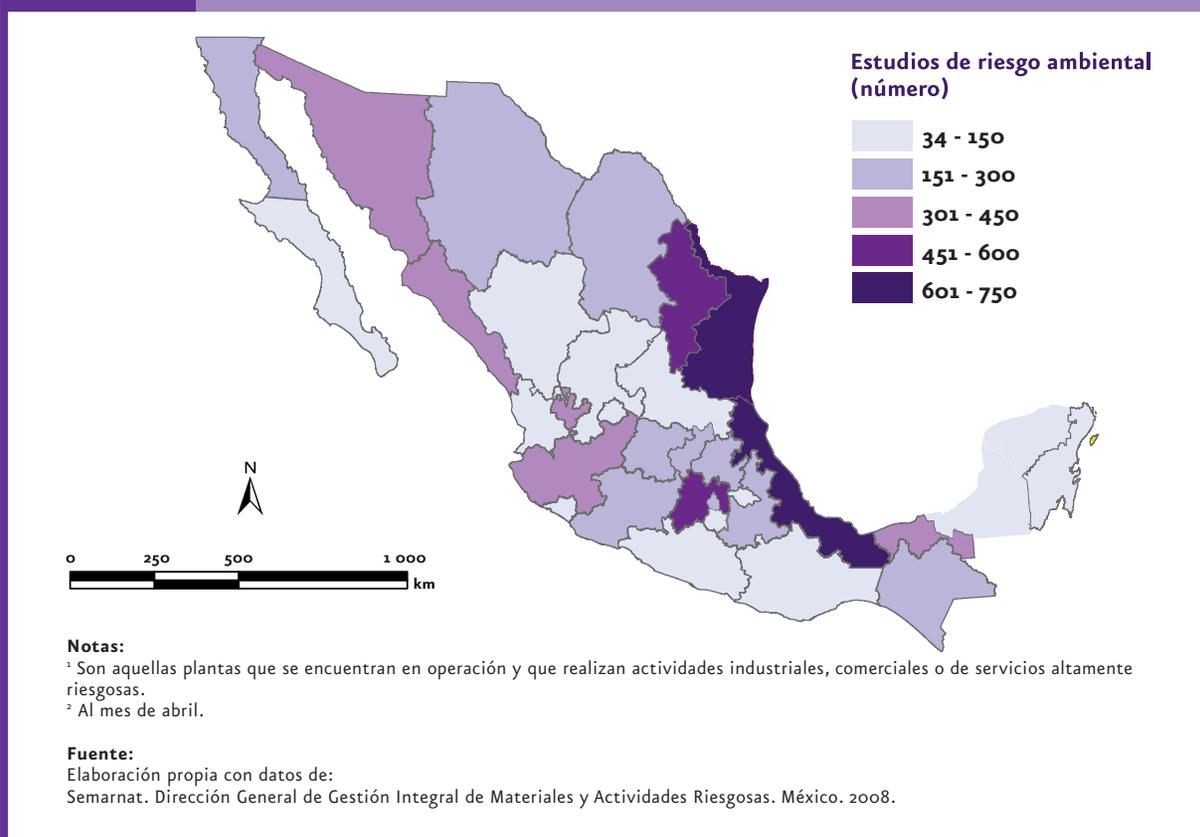
169 empresas autorizadas para la remediación de sitios contaminados, con una capacidad total de tratamiento de aproximadamente 78 millones de toneladas por año. Un gran número de estas empresas se dedicaba a la remediación de sitios contaminados por hidrocarburos, en contraste con la prácticamente falta de atención de los sitios contaminados por metales (Semarnat, 2006). A

nivel estatal, las entidades federativas con una actividad petrolera importante (como Veracruz y Tabasco) o con gran número de industrias (como el Distrito Federal

Se distinguen dos tipos de sitios contaminados: 1) los denominados pasivos ambientales y 2) los causados por emergencias ambientales.

Mapa 7.11

Estudios de riesgo ambiental ingresados de plantas en operación¹ por entidad federativa, 1992 - 2008²



y el Estado de México) contaban con la mayor capacidad instalada para la remediación de sitios contaminados (Mapa 7.12).

Pasivos ambientales

En 2004, se tenían identificados 297 sitios contaminados registrados con materiales o RP. De ellos, 119 se encontraban caracterizados, es decir, clasificados y priorizados de acuerdo al grado de riesgo que representaban para la salud y el ambiente, y otros 12 sitios se consideraban rehabilitados o en proceso de rehabilitación. Para el mes de abril de 2008, los sitios contaminados registrados se incrementaron en cerca de 12%, alcanzando los 333 sitios (Mapa 7.13, **IB 5-3**).

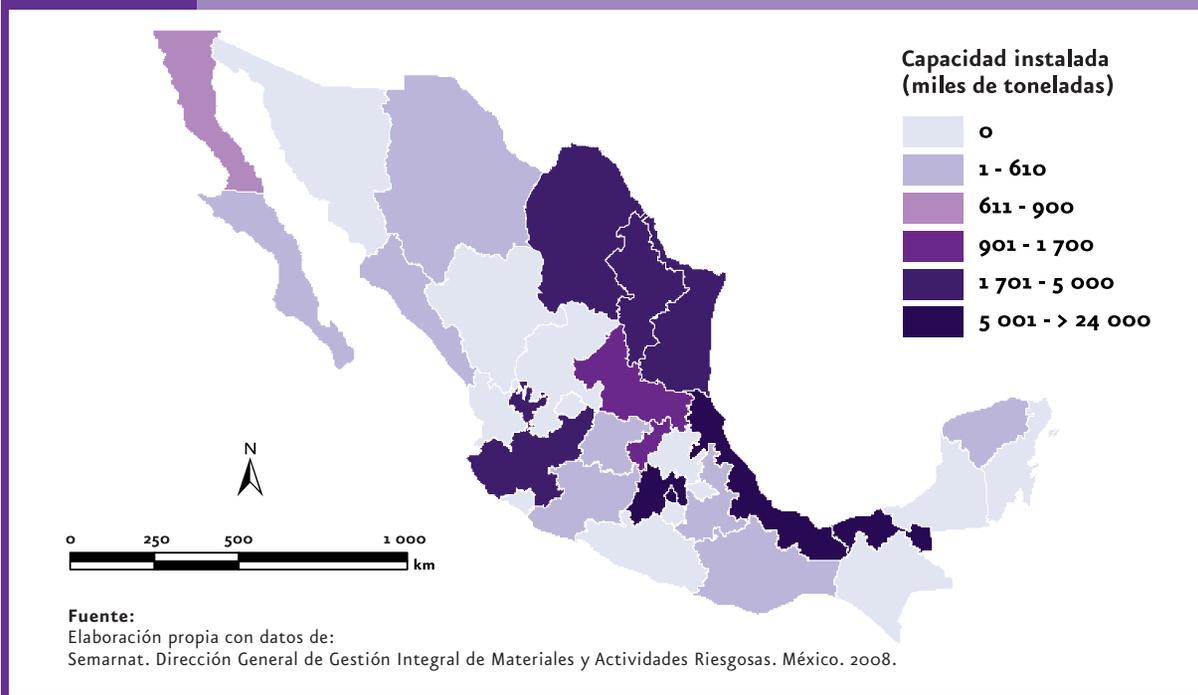
Para 2008, se registraron un total de 333 sitios contaminados registrados con materiales o RP en el país.

La Semarnat realiza diversas acciones para la gestión de los pasivos ambientales, entre las que se encuentran la evaluación de los impactos negativos ocasionados por los suelos contaminados; la dictaminación de los estudios de riesgo ambiental (ERA) y los programas de remediación de los sitios contaminados. En colaboración con otras instancias, la Semarnat tiene proyectos tanto para proporcionar información acerca de los sitios contaminados, como para su remediación (Semarnat, 2008), entre los que destacan:

- 1) el Proyecto “Desarrollo del Sistema Informático de Sitios Contaminados SISCO” en colaboración con la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ);
- 2) el Proyecto de remediación de la ex-fábrica “Cromatos de México S. A.” en el Estado

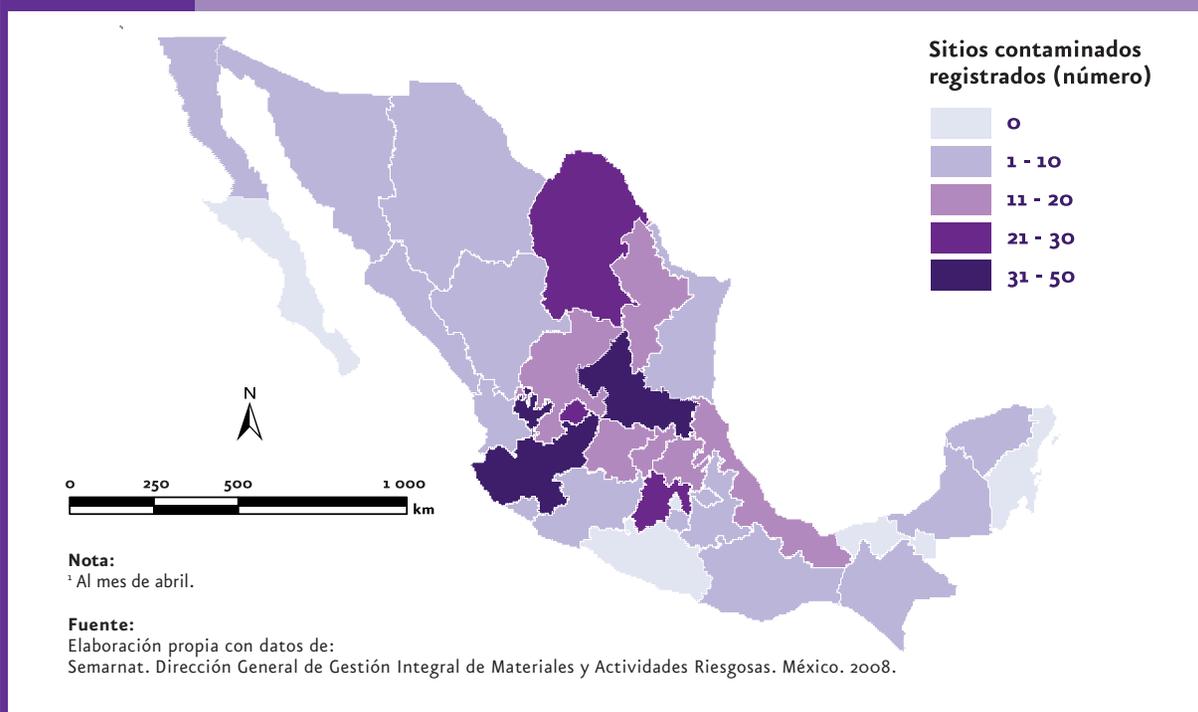
Mapa 7.12

Capacidad instalada para la remediación de suelos contaminados por entidad federativa, 2005



Mapa 7.13

Sitios contaminados registrados con RP por entidad federativa, 1995 - 2008¹



de México en colaboración con el Gobierno del Estado Alemán de Baviera; 3) el Proyecto de remediación del sitio contaminado “Metales y Derivados”, Tijuana, Baja California en cooperación con el Programa “Frontera 2012” de la US-EPA; 4) el Proyecto de recuperación del sitio contaminado “Nuevo Mercurio”, Zacatecas; 5) el Proyecto de remediación del sitio “CYTRAR”, Hermosillo, Sonora; 6) el Proyecto de remediación del sitio “La Pedrera”, Guadalupe, San Luis Potosí; 7) el Proyecto de remediación del sitio “Jales mineros” Nacoziari, Sonora; y 8) el Proyecto de remediación del sitio “Techkem”, Salamanca, Guanajuato.

REFERENCIAS

- 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. 1997.
- DOF. *Acuerdo por el que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 5o. Fracción X y 146 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 27 Fracción XXXII y 37 Fracciones XVI y XVII de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, expiden el primer listado de actividades altamente riesgosas*. México. 1990 (28 de marzo).
- DOF. *Acuerdo por el que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 5o. Fracción X y 146 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 27 Fracción XXXII y 37 Fracciones XVI y XVII de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, expiden el segundo listado de actividades altamente riesgosas*. México. 1992 (4 de mayo).
- DOF. *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. México. 2003 (8 de octubre).
- DOF. NMX-AA-61-1985. México. 1985 (8 de agosto).
- INEGI. SCNM. *Cuentas de Bienes y Servicios 2003-2006, Base 2003*. Tomo I y II. México. 2008.
- IPN. *Diagnóstico sobre la generación de basura electrónica en México*. México. 2007.
- OCDE. *Environmental Indicators. Towards Sustainable Development*. France. 1998.
- Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales*. México. 2005.
- Semarnat. *La Gestión Ambiental en México*. México. 2006.
- Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2008.
- Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. México. 2009.
- Semarnat-INE. *Diagnóstico Básico para la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. México. 2006.
- Semarnat-Profepa. *Informe Anual Profepa 2007*. México. 2008.

Esta publicación consta de 2 000 ejemplares
y se terminó de imprimir en abril de 2009
en los talleres de Impresora y Encuadernadora
Progreso, S. A. de C.V. (IEPSA)
Calz. San Lorenzo 244, Col. Paraje San Juan
09830, México, D. F.

